

Jürg HOSANG und Gaby ZOLLINGER, Basel

Wasser- und stoffhaushaltliche Untersuchungen in zwei Wald- ökosystemen im Markgräfler Hügelland (Südbaden): ein Stand- ortvergleich

1. Einleitung

Die Grundlage für die vorliegende Arbeit bilden geoökologische Messungen in zwei Buchenwaldbeständen des Markgräfler Hügellandes. Ein Standort befindet sich im Raum Kandern auf der Hochfläche des Schorners (TK 25:8211 Kandern) und wurde im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht. Diese überprüfte die Anwendbarkeit der Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25 000 (KA GÖK 25; LESER u. KLINK 1988) und verglich die Kartierergebnisse mit Standorthaushaltsmessungen (HOSANG 1989; 1990). Die zweite Meßstation befindet sich südöstlich von Buggingen im oberen Teil des Einzugsgebietes des Zunzinger Mattbaches (TK 25:8111 Müllheim, TK 25:8112 Staufen im Breisgau). In einem Forschungsprojekt der Universität Basel wurde dieses Einzugsgebiet untersucht und an elf land- und forstwirtschaftlich genutzten Standorten im Zeitraum von 1987 bis 1990 das landschaftsökologische Prozessgeschehen quantitativ erfasst. Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf Messungen vom 25. Mai bis 28. Dezember 1988.

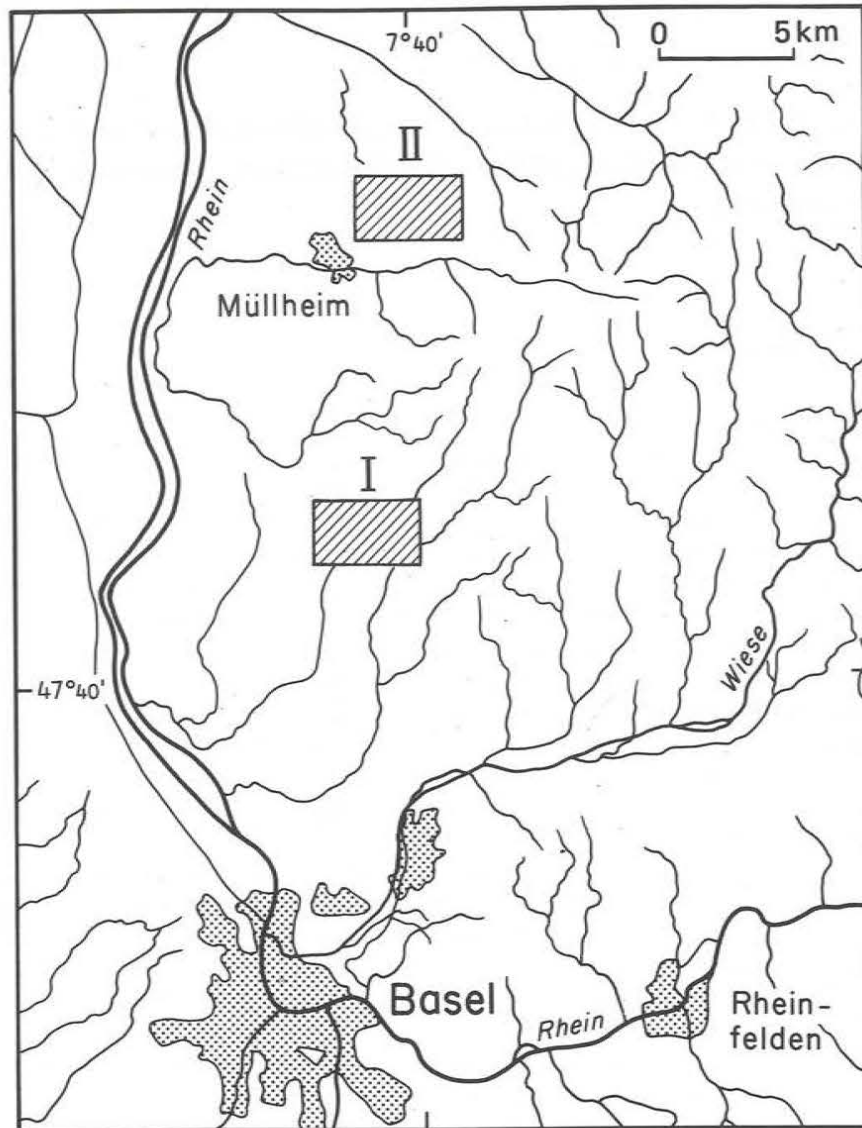
Menge und chemische Beschaffenheit von Niederschlags- und Bodenwasser stellen wichtige Glieder im geoökologischen Wasser- und Stoffhaushalt dar. Das Verhalten dieser Größen an den beiden Standorten wird untersucht, wobei folgende Fragen behandelt werden:

- Wie unterschiedlich verhalten sich Wasser- und Stoffhaushalt zweier eng benachbarter, ähnlich ausgestatteter Standorte?
- Wie werden die untersuchten Niederschlags- und Bodenwasserparameter von strukturellen Standortmerkmalen beeinflusst?
- Welche Standortfaktoren bestimmen die Unterschiede in den Wasser- und Stoffumsätzen beider Standorte hauptsächlich?

2. Lage und naturräumliche Charakterisierung der Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungsgebiete liegen im südöstlichen Randbereich des Oberrheingrabens (vgl. Abb. 1), 20 bzw. 30 km nördlich von Basel, in der sogenannten

Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete
 Beide Gebiete liegen im Markgräfler Hügelland in der Region Basel. (Arbeitsgebiet I mit Schorner, Arbeitsgebiet II mit Innerberg).



Grabenrandzone. Geologisch vermittelt diese zwischen der tief eingesenkten Trogzone der Oberrheinebene und den Flankenzonen von Schwarzwald und Vogesen. Die einzelnen Staffelschollen konnten der allgemeinen Absinktendenz der weiter grabenwärts liegenden Schollen nicht in gleichem Maße folgen und treten heute als Vorbergzone mit markanten Höhenzügen und Rücken in Erscheinung. Sie sind aufgebaut aus mesozoischen und tertiären Sedimenten, die im Pleistozän von einer unterschiedlich mächtigen Lößdecke überlagert wurden.

Naturräumlich gesehen liegen beide Standorte im Markgräfler Hügelland, das als westexponiertes Gebirgsvorland eine Zwischenstellung einnimmt zwischen dem Naturraumtyp des Schwarzwaldes und der Oberrheinebene. Diese Zwischenstellung, die primär im geotektonischen Bau des Untergrundes begründet liegt, paust sich in der Ausprägung wichtiger Geoökofaktoren durch. Die Reliefverhältnisse sind gekennzeichnet durch mittlere und geringe Hangneigungen. Die flächendeckende Lößbedeckung bestimmt einerseits das Vorherrschen von flachen Mulden und Rücken und andererseits die Verbreitung und Vergesellschaftung der Bodenformen. Es dominieren typische, reliefabhängige Lößbodensequenzen. Die Niederschlagsmengen nehmen von Westen nach Osten zu. In der Colmarer Trockeninsel widerspiegeln sich die warm-trockenen Klimaverhältnisse der Oberrheinebene mit einer Niederschlagssumme von etwa 500 mm/a, während in der Hügelzone 800 bis 1000 mm/a erreicht werden. Sie leiten über zu den kühl-feuchten Gipfellagen des Südschwarzwaldes mit Niederschlagswerten bis 2000 mm/a (SCHÜEPP 1982; BIDER et al. 1984). Auch in thermischer Hinsicht nimmt das Markgräfler Hügelland eine Sonderstellung ein: die mittlere Höhenlage bewirkt einerseits, daß es im Jahresmittel noch relativ warm ist (9,4° C in Badenweiler) und andererseits die Anzahl der Inversionstage gegenüber dem Tiefland deutlich reduziert ist.

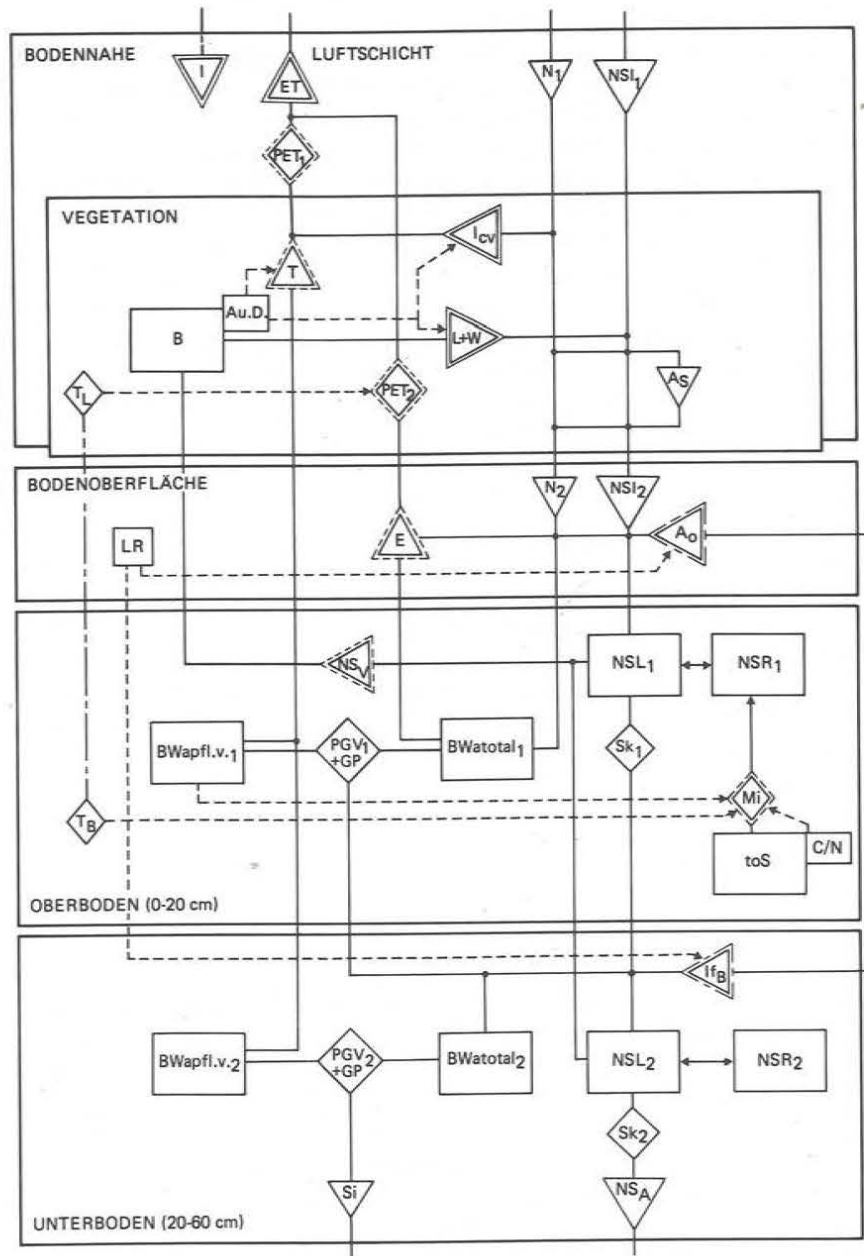
In Abhängigkeit von diesen Geoökofaktoren ergibt sich das Nutzungsmuster im Untersuchungsgebiet. Die klimatische, pedologische und geomorphographische Gunstsituation ermöglicht eine intensive Landwirtschaft und teilweise den Anbau von Sonderkulturen. Die Waldflächen beschränken sich daher in der Vorbergzone vor allem auf die Schichtflächen und die steilgeneigten Schichtstufenränder.

3. Ziele

Ziel der Arbeit ist es, anhand ausgewählter geoökologischer Struktur- und Prozeßgrößen einen Standortvergleich zwischen den zwei untersuchten Buchenaltbeständen vorzunehmen. Die Strukturgrößen bzw. die Vergesellschaftung von Strukturmerkmalen dienen in der Landschaftsökologie dazu, geoökologische Raumeinheiten auszuscheiden. Tabelle 1 gibt die Ausprägung der von der KA GÖK 25 herangezogenen Strukturgrößen an den beiden Untersuchungsstandorten Schorner und Innerberg wider. Die Auswahl der dargestellten Größen illustriert die Bedeutung von Boden- und Vegetationsparameter als landschaftsökologische Hauptmerkmale (NEEF et al. 1961). In der vorliegenden

Abb. 2: Der „Standortregelkreis“ als graphische Darstellung des Untersuchungszusammenhanges

Alle im Rahmen der Untersuchungen erfaßten Größen sind in ihrem Zusammenhang und nach der Art ihrer Bearbeitung dargestellt. Der Verständlichkeit halber sind auch solche Elemente aufgeführt, die selbst nicht untersucht wurden aber mit den Untersuchungsgegenständen in engem Zusammenhang stehen.



Legende zu Abb. 2:

Freiland

Legende:

Prozesse:

- I = Direkte Einstrahlung
- ET = Evapotranspiration
- N = Niederschlag
- NSI = Stoffeintrag im Niederschlag
- T = Transpiration
- L+W = "leaching and washoff" (Veränderungen der Niederschlags-Stofffracht im Kronendach)
- I_{cv} = Interception
- AS = Stammabfluss
- E = Evaporation
- NSV = Stoffaufnahme durch die Vegetation
- A_o = Oberflächenabfluss
- Si = Tiefensickerung
- NSA = Stoffauswaschung
- If_B = Bilanz lateraler Bodenwasserbewegungen

Regler:

- PET = Potentielle Evapotranspiration
- T_L = Lufttemperatur
- T_B = Bodentemperatur
- Mi = Mineralisierungsrate
- PGV+GP = Porengrößenverteilung und Gesamtporenvolumen
- Sk = Sorptionskapazität

Speicher:

- B = Biomasse
- NSL = Stoffe in Bodenlösung
- NSR = Reservenährstoffe
- BWapfl.v. = pflanzenverfügbare Bodenwassergehalt
- BWatotal = totaler Bodenwassergehalt
- toS = tote organische Substanz

Morphologische Variablen:

- LR = Lage im Relief
- A u. D = Art und Dichte der Vegetation

- = berechnete Größe
- = nicht quantifizierte Größe
- = abgeschätzte Größe
- = Prozess
- = Strukturregler
- = Intensitätsregler
- = Speicher
- = Morphologische Variable
- = Wirkungszusammenhang
- = Stoffumsatz
- = Energieumsatz

Tab. 1: Ausprägung wichtiger geoökologischer Strukturgrößen an den Untersuchungsstandorten

Die Auswahl der dargestellten Größen lehnt sich an die KA GÖK 25 (LESER u. KLINK 1988) an.

Strukturgrößen	Schorner	Innerberg
Hangneigungsstärke	6°	21°
Bodenarten (Profiliefen in dm)	1'U ₃ /IÜ	utL ₁ /tL ₆ /IT
Gründigkeit	> 100 cm	90 cm
Skelettgehalt	< 2 %	< 2 %
Deckschichtenmächtigkeit	> 100 cm	90 cm
Festgesteinsuntergrund	Kalkstein	Kalkstein
pH-Wert in H ₂ O (Profiliefen in dm)	4,2-5,0 ₅ / 5,0-6,2	5,0-6,2 ₁ /4,0-5,0 ₂ / 5,0-6,2 ₄ /6,2-8,0
Nutzbare Feldkapazität (bis 100 cm)	190 mm	80 mm
Vegetationstyp	mesophiler Buchenwald	mesophiler Buchenwald
Vegetationsstruktur (Höhe/Deckungsgrad)	Baumschicht: 25 m/75 % Krautschicht: 65 %	Baumschicht: 25 m/90-95 %; Krautschicht: 5 %

Arbeit werden diese Merkmale jedoch nicht für eine Raumgliederung herangezogen, sondern dienen der Charakterisierung beider Standorte.

Als Prozeßgrößen werden Menge und Chemismus von Niederschlags- und Bodenwasser untersucht (vgl. Abb. 2). Die Unterschiede im Stoff- und Wasserumsatz der beiden Standorte sollen

- quantifiziert und
- aus den Strukturmerkmalen der Standorte erklärt werden.
- Außerdem sollen die Strukturgrößen herausgearbeitet werden, welche die Standortdifferenzen bedingen.

4. Konzept

Die Instrumentierung der Meßflächen erfolgte nach dem Prinzip der Landschaftsökologischen Komplexanalyse von MOSIMANN (1984). Im Bestandes-

inneren wurden jeweils an repräsentativen Flächen die wichtigsten Prozeßgrößen quantitativ bestimmt. Der „Standortregelkreis“ von HOSANG (1989) widerspiegelt den untersuchten Funktionalkomplex (vgl. Abb. 2). Es würde den Rahmen dieser Arbeit überschreiten, hier alle untersuchten Größen zu diskutieren. Daher werden nur diejenigen Prozesse behandelt, die hauptsächlich die Stoff- und Wasserumsätze an den Standorten charakterisieren und Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen ihnen kennzeichnen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt einerseits quantitativ-deskriptiv. Andererseits wird für gewisse Teilprozesse eine weitergehende, modellmäßige Charakterisierung vorgenommen.

5. Messungen

Die Menge des Niederschlages wurde mit je vier HELLMANN-Totalisatoren bestimmt; Proben für die chemischen Analysen wurden aus einem bzw. vier Sammelgefäßen gewonnen. Außerdem wurde an beiden Standorten der Stammabfluß gemessen. An den Freiland-Referenzstationen, die sich je zirka 400 m von den Waldstationen entfernt befinden, wurde je ein Totalisator und ein Sammelgefäß eingesetzt.

Die Bodenfeuchte wurde wöchentlich gravimetrisch und tensiometrisch gemessen. Zur Gewinnung der Bodenlösung wurden Saugkerzen eingesetzt.

Klimatische Messungen wurden in 50 bzw. 200 cm Meßhöhe in Wetterhütten durchgeführt (Temperatur- und Luftfeuchtereistrierung).

6. Resultate

Da beide Standorte mit einem Buchenaltbestand bestockt sind, ist ein direkter Vergleich der verschiedenen Niederschlagsparameter möglich. Bei der Diskussion der Prozesse im Boden muß hingegen berücksichtigt werden, daß die Messungen auf dem Schorner in einer Pseudogley-Parabraunerde aus Lößlehm, am Innerberg dagegen in einer Braunerde-Terra Fusca aus Löß-Kalksteinverwitterungslehm-Fließerde durchgeführt wurden. Die Profilbeschreibungen und die bodenchemischen und -physikalischen Kennzeichnungen sind in Abbildung 3 dargestellt.

6.1 Niederschlag

Als erste wichtige Standorthaushaltsgröße wird der Niederschlag diskutiert. Menge und Chemismus an den beiden Standorten werden verglichen und mit Hilfe der Freiland-Referenzstationen interpretiert.

6.1.1 Menge

Die Niederschlagsmenge während der Meßperiode ist — gemessen an den lang-jährigen Verhältnissen — sehr hoch: verglichen mit den Niederschlagswerten von 1950—1980 der nahegelegenen Stationen Kandern und Badenweiler des Deutschen Wetterdienstes ist der Meßzeitraum feuchter als 85–90 Prozent der Jahre. An der Freiland-Referenzstation für den Schorner fielen während der Meßperiode 643 mm Niederschlag, an jener für den Innerberg 565 mm. Das Verteilungsmuster der Niederschläge über den Meßzeitraum ist infolge der räumlichen Nähe

Abb. 3: Bodenformen an den Untersuchungsstandorten

Dargestellt sind die wichtigsten chemischen, physikalischen und biologischen Parameter, wie sie im Rahmen geökologischer Untersuchungen standardmäßig erhoben werden. Abbildung 3a repräsentiert den Schorner, 3b den Innerberg.

Abb. 3a:

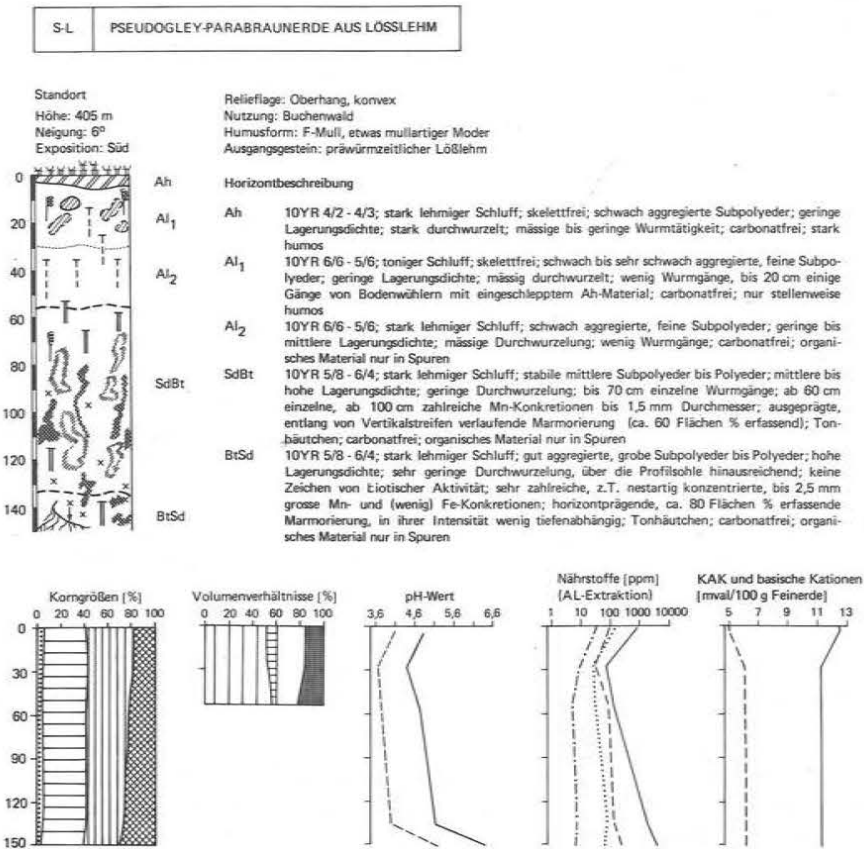
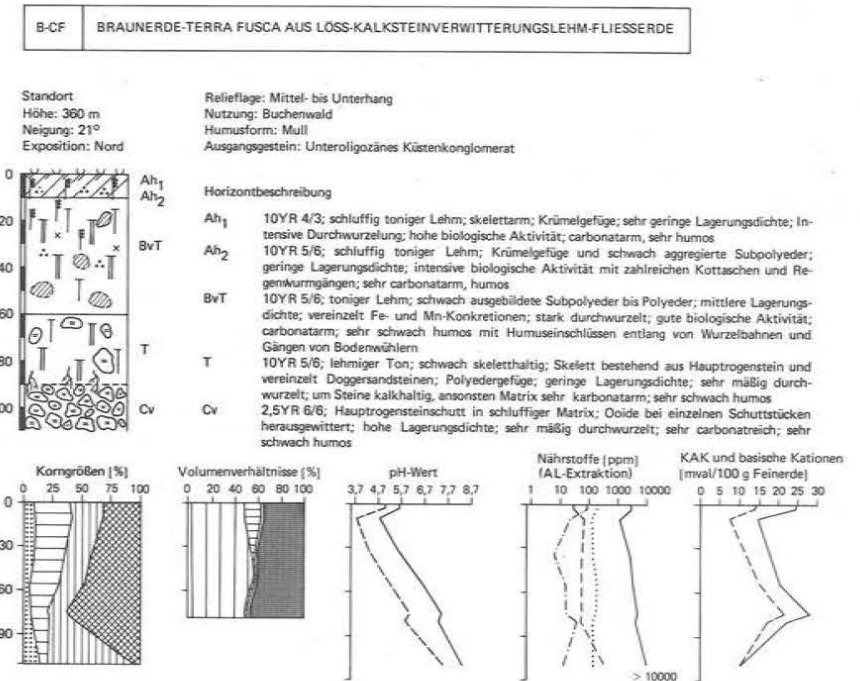


Abb. 3b:



Legende zu Abb. 3:

Legende zu den Profilskizzen:

- Humus:**
- ○ ○ ○ Blattstreu lose
 - □ OF-Horizont
 - ▨ ▨ OH-Horizont
 - ▧ ▧ Ah-Horizont, 3.1 - 5.0% Humus
 - ▩ ▩ Ah-Horizont, 5.1 - 10.0% Humus
 - ▪ Humuseinschlüsse im Mineralkörper

- Mineralboden:**
- T Lessivierung
 - — — — — Verbraunung
 - ▨ ▨ Tonanreicherung
 - x x Fe- und Mn-Konkretionen

- Verfallung
- Rostfleckung
- Wurmröhren
- Kottaschen
- Gänge von Bodenwühlern
- Wurzeln (im Grenzbereich)
- Kalksteine
- Erscheinung über Profil hinausreichend

- Horizontgrenzen:**
- scharf
 - - - - - deutlich
 - diffus

Legende zu den Tiefenprofilen:

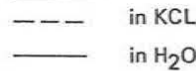
Korngrößen:



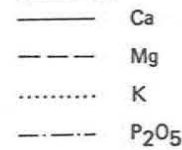
Volumenverhältnisse:



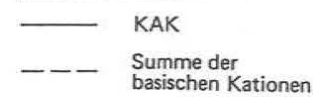
pH-Wert:



Nährstoffe:



KAK und basische Kationen:



der Stationen ähnlich. Gewisse Verschiebungen ergeben sich aus den unterschiedlichen Ablesungsterminen (vgl. Abb. 4).

Der Freilandniederschlag wird im Bestand um den Betrag der Interception reduziert. Für beide untersuchten Standorte wurden Wald- und Freilandniederschlag miteinander verglichen und der Zusammenhang durch Regressionsanalysen quantifiziert (vgl. Abb. 5). Die Steigungen der Regressionsgeraden (Schorner: 0,80; Innerberg: 0,63) können als inverses Maß für den mittleren Interceptionsanteil an den beiden Standorten interpretiert werden. Dieser ist auf dem Innerberg deutlich höher als auf dem Schorner — eine Folge des dichteren Kronenschlusses am ersten Standort (vgl. Tab. 1). Der Interceptionsverlust während der Meßperiode beträgt auf dem Innerberg 42,2 Prozent, auf dem Schorner 17,1 Prozent. Der Effekt der höheren Interception auf dem Innerberg verstärkt also im Bestand die bereits im Freiland vorhandenen Unterschiede in den Niederschlagswerten: auf dem Schorner fielen im Meßzeitraum 534 mm Niederschlag gegenüber 325 mm auf dem Innerberg. Hinzuweisen ist außerdem auf die bedeutend stärkere Streuung der Datenpaare (Wald- und Freilandniederschlag) auf dem Innerberg — ohne daß dies im Detail interpretiert werden könnte. Zusammenfassend kann ein starker Kontrast in den Niederschlagseinträgen der beiden Standorte festgehalten werden. Dieser Hintergrund muß bei der Bewertung der Eintragsfrachten (vgl. Kap. 6.1.2) berücksichtigt werden.

6.1.2 Chemismus

Als stoffliche Niederschlagsparameter wurden die Frachten während der Meßperiode sowie die mittleren Konzentrationen für die Makronährstoffe und einige

Abb. 4: Freilandniederschlag an den Referenzstationen der Untersuchungsstandorte

Die Abbildung zeigt die Wochensummen für die Bezugsstation des Schorners (4a), bzw. des Innerbergs (4b).

Abb. 4a:

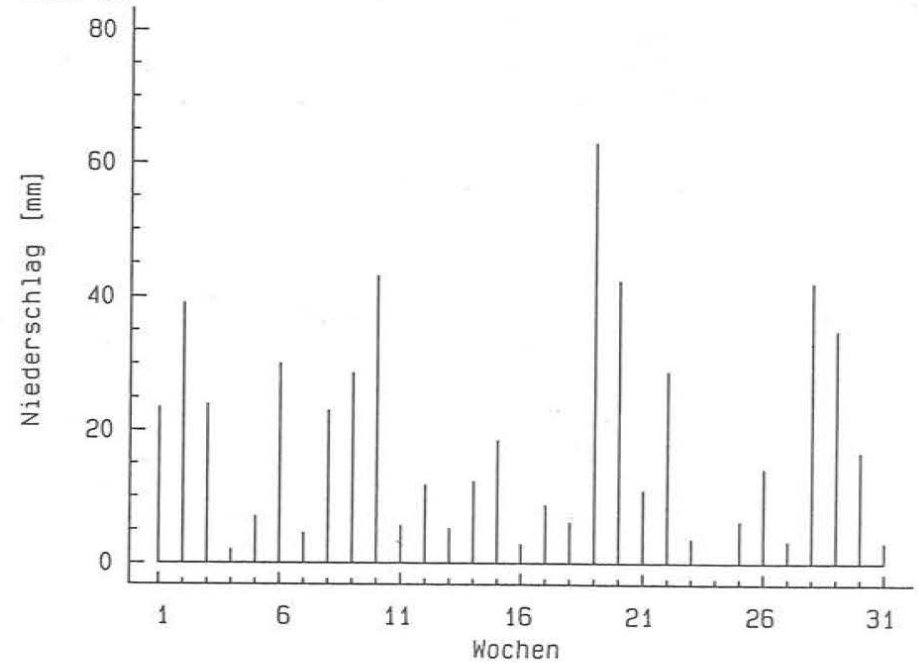


Abb. 4b:

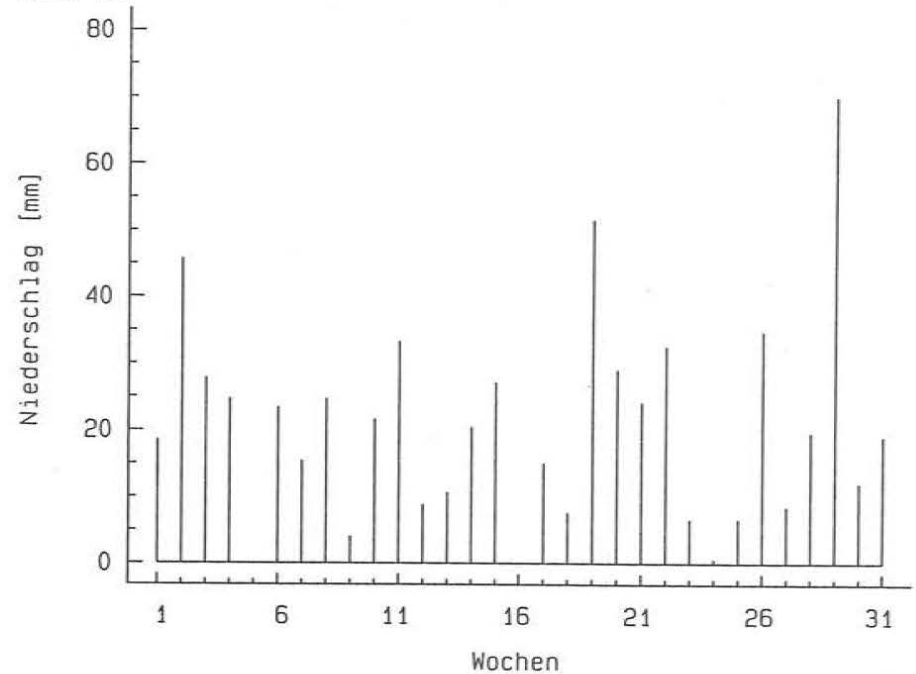


Abb. 5: Regressionen für die Beziehung zwischen Wald- und Freilandniederschlag

Den Regressionsbeziehungen liegen wöchentliche Messungen zugrunde. Der Bestandesniederschlag wurde als Summe aus Kronendurchlaß und Stammabfluß errechnet.

5a stellt den Zusammenhang auf dem Schorner dar:

$$y = 0,61 + 0,80 x$$

$$(n = 31; r^2 = 0,96; \alpha < 0,01),$$

5b auf dem Innerberg:

$$y = -0,86 + 0,63 x$$

$$(n = 29; r^2 = 0,85; \alpha < 0,01).$$

Abb. 5a:

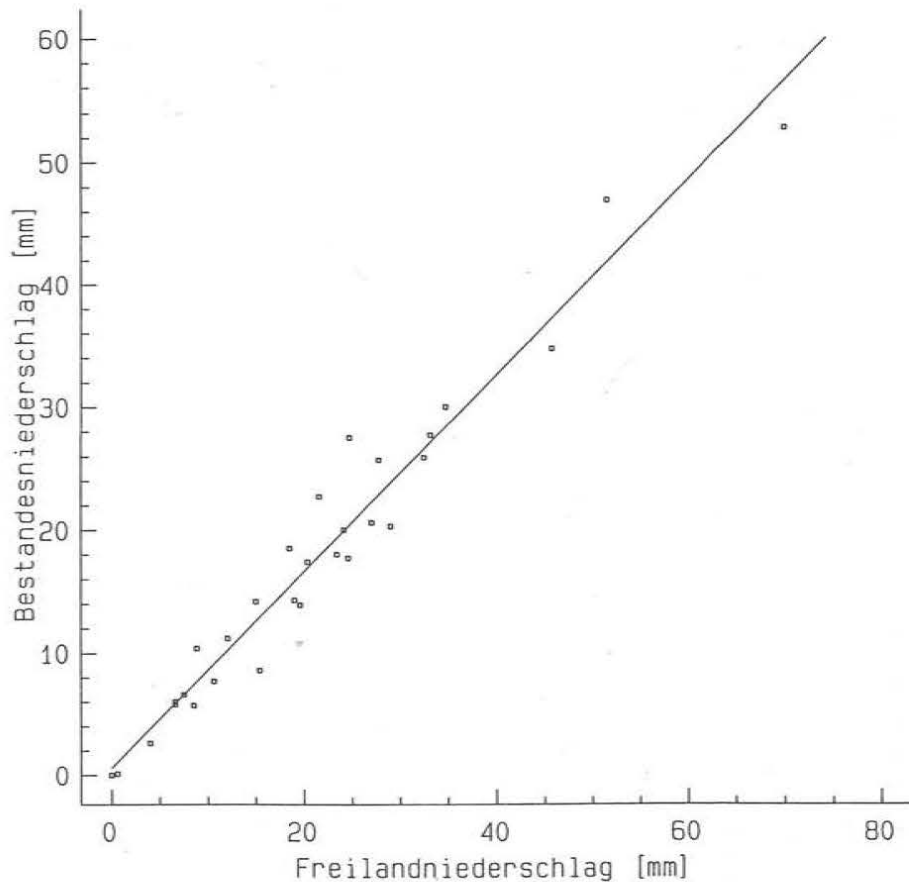
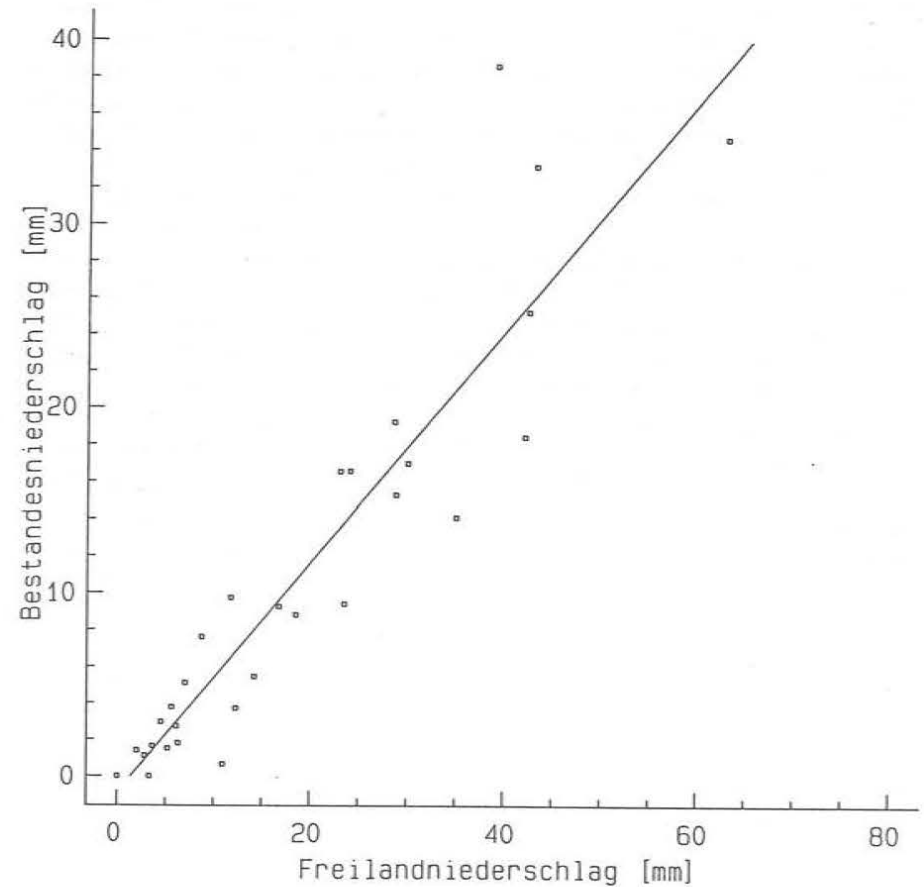


Abb. 5b:



potentielle Schadstoffe untersucht. Diese Parameter werden standortbezogen verglichen und in einen überregionalen Bezug gestellt. Für den regionalen Standortvergleich werden sowohl die Frachten als auch die Konzentrationen herangezogen, für die überregionale Einordnung der Gebiete dagegen nur die Konzentrationen, weil die Niederschlagsfrachten anderer Untersuchungen in der Regel nur bezogen auf ein ganzes Jahr verfügbar sind. Diskutiert wird auch die Veränderung der Stoffzusammensetzung des Niederschlags bei der Passage des Kronendaches.

Die mittleren Unterschiede der Konzentrationen an den beiden Freiland-Referenzstationen bewegen sich bei den meisten der untersuchten Parameter (NO_3 , NH_4 , PO_4 , Cl , SO_4 , Ca , Mg , K , pH) im Rahmen von einigen Prozenten. Lediglich die stark durch lokale Quellen geprägten Stoffe Ca und K liegen im Bereich des Innerbergs deutlich über denen des Schorners, wo dagegen die NO_3 -Werte deutlich erhöht sind (um ca. 30 %). Dieses Muster dürfte auch die Unterschiede in den mittleren pH -Werten erklären: sie liegen im Bereich des Schorners um 0,4 pH -Einheiten höher als im Untersuchungsgebiet Zunzinger Mattbach.

Der relativen Ähnlichkeit der Freilandverhältnisse stehen große Konzentrationsunterschiede zwischen den beiden Untersuchungsgebieten im Wald gegenüber (vgl. Tab. 2). Dies illustriert Abbildung 6, die die Wald-Freiland-Unterschiede für alle untersuchten Niederschlagskomponenten zeigt. Die Darstellung belegt zunächst, daß an beiden Standorten im Kronendach bei allen untersuchten Stoffen eine Anreicherung gegenüber dem Freiland erfolgt — eine Ausnahme bildet SO_4 am Standort Schorner sowie an beiden Standorten die H^+ -Ionen. Das Ausmaß der Konzentrationserhöhung im Kronendach ist generell am Innerberg erheblich stärker als am Schorner. Durch dichteren Kronenschluß am ersten Standort kommen größere mittlere Aufenthalts- und damit Reaktionszeiten im Kronenraum zustande, was stoffliche Interaktionen an den Blattflächen begünstigt. Außerdem ist die spezifische Blattfläche am Innerberg größer, was ebenfalls stärkere chemische Veränderungen erwarten läßt. Durch hohe Interceptionsanteile kommt es darüberhinaus gerade bei wenig ergiebigen Niederschlägen zu sehr starker stofflicher Anreicherung. Auch die mittlere Variabilität der Anreicherung ist auf dem Schorner erheblich geringer als auf dem Innerberg.

Hinsichtlich der Prozesse im Kronendach kann zwischen Stoffen unterschieden werden, deren Konzentrationsveränderungen hauptsächlich durch „leaching“¹ verursacht werden — hierzu gehören nach MATZNER (1986) v. a. Ca, K, Mg und Mn. Der zweite Mechanismus, das „wash-off“² betrifft vor allem Cl sowie sie S- und N-Verbindungen.

Tab. 2: Mittlere Stoffkonzentrationen im Bestandesniederschlag

Die Werte (ppm) ergeben sich aus wöchentlichen Messungen über die gesamte Untersuchungsperiode und sind mit den Niederschlagsmengen gewichtet. Es wurde sowohl der Kronendurchlaß als auch der Stammabfluß berücksichtigt.

Komponente	Schorner	Innerberg
NO_3	3,6	6,2
NH_4	1,0	2,8
PO_4	0,3	0,8
Cl	1,6	1,6
SO_4	4,9	8,6
Ca	2,1	3,2
Mg	0,3	0,3
K	1,7	3,7
pH	4,7	4,9

Bei den durch „leaching“ betroffenen Stoffen lassen sich an beiden Standorten ähnliche Muster erkennen: Ca und Mg werden in ähnlichem Maß und deutlich weniger stark angereichert als K, das außerdem durch eine bedeutende Variabilität gekennzeichnet ist. Im Schönbusch und im Solling wurden (jeweils unter Buche) ähnliche Verhältnisse gefunden (BÜCKING et al. (1986) und Verein

Deutscher Ingenieure (1983)). Die Anreicherungsfaktoren auf dem Schorner liegen mit durchschnittlich 1,4 für Ca, 1,8 für Mg und 3,5 für K in ähnlichen Bereichen, wie die der vorgenannten Untersuchungen, die am Standort Innerberg sind dagegen, vor allem beim K, bei Mittelwerten um 20, deutlich höher. Für Ca und Mg liegen sie bei 2,6 bzw. 2,7. In der Literatur wird die Anreicherung der erwähnten Nährkationen im Bestandesniederschlag üblicherweise durch Ionen-

Abb. 6: Anreicherungsfaktoren der untersuchten Stoffe im Bestandesniederschlag gegenüber dem Freilandniederschlag

Die gewählte Darstellungsform (sog. Box-and-Whisker Plot) zeigt die wochenweise Verteilung der Anreicherungsfaktoren über die Meßperiode. Der zentrale Balken umfaßt den Interquartilbereich, die Querlinie zeigt den Median. Die übrigen Werte liegen im Bereich der Linien — außer denen, die über 1,5 Interquartilbeträge außerhalb des unteren bzw. oberen Quartils liegen. Diese Ausreißer werden als Einzelpunkte dargestellt. Die Abbildung beruht auf Wochenwerten der Niederschlagskonzentrationen. Im Bestand wurde die Konzentration aus den Komponenten Kronendurchlaß und Stammabfluß ermittelt. 6a stellt die Verhältnisse auf dem Schorner, 6b jene auf dem Innerberg dar.

Abb. 6a:

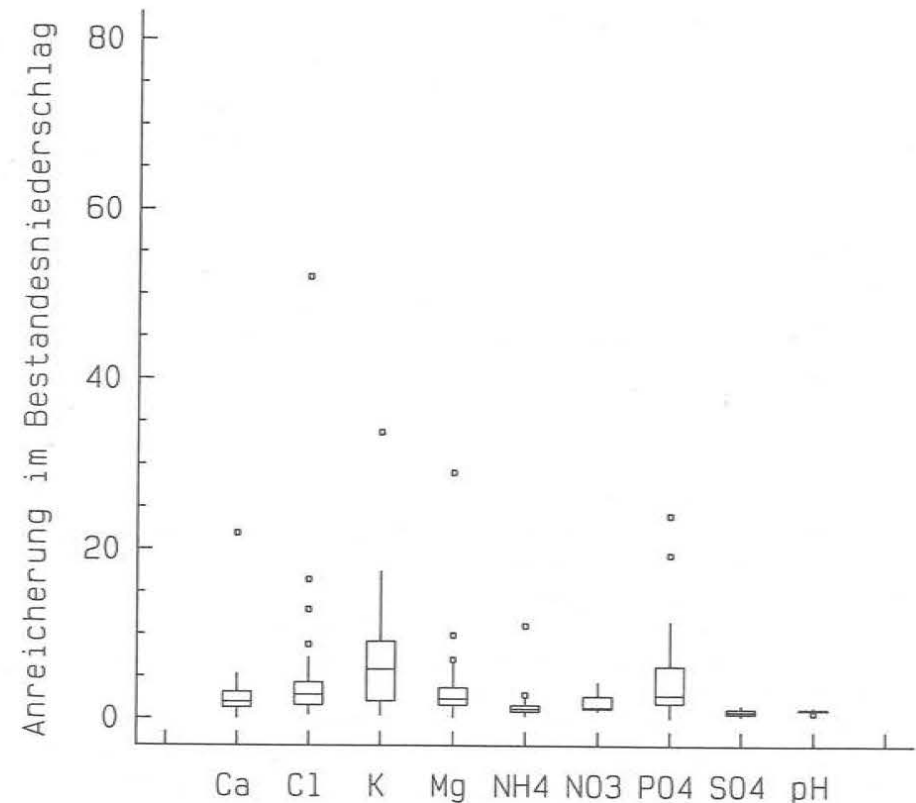
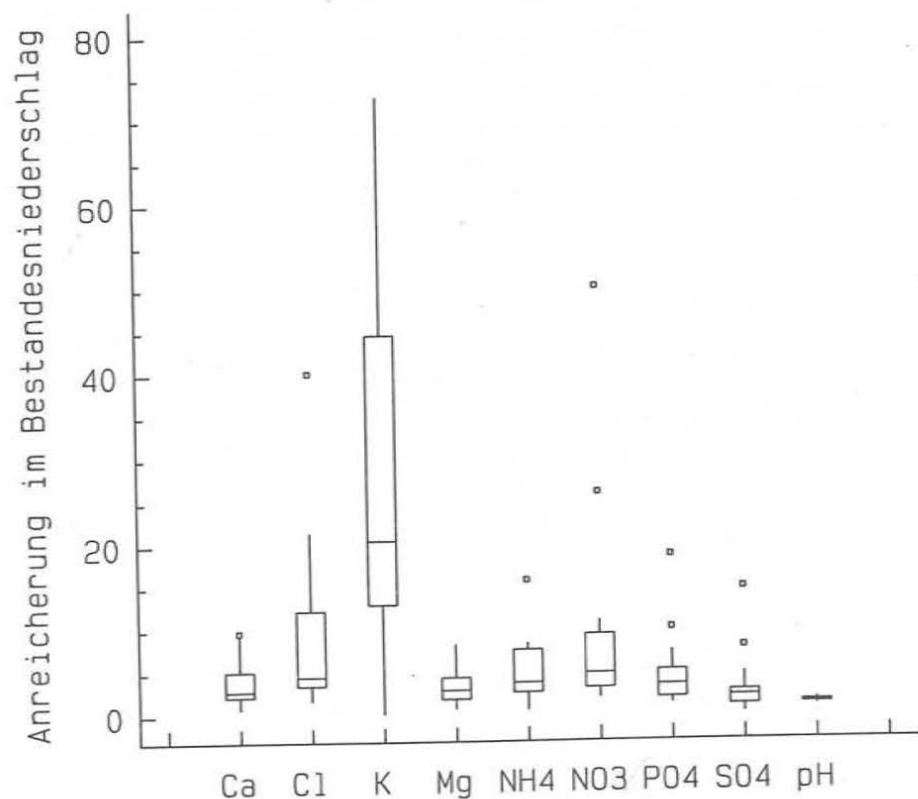


Abb. 6b:



austausch erklärt. Die Protonen im Niederschlag verdrängen die basischen Kationen von den Austauschplätzen (BINKLEY et al. 1989). Damit wird eine pH-Pufferung des Niederschlags erreicht. Trotzdem ist der Gesamteffekt auf das System Boden-Pflanze versauerungsfördernd, da der Gehalt an Nährkationen im Blattgewebe auch bei starkem „leaching“ konstant gehalten wird und die Auswaschung durch verstärkte Aufnahme basischer Kationen aus dem Boden kompensiert werden muß (BINKLEY et al. 1989).

Zu den übrigen Stoffen lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Für Cl wurden auf dem Innerberg mittlere Anreicherungsfaktoren von 4,8, auf dem Schorner von 2,8 bestimmt. Verglichen mit den Befunden der zwei oben genannten Untersuchungen sind sie etwas höher als die im Schönbuch, aber tiefer als die im Solling-Projekt gemessenen Werte.
- Für PO₄ wurden mit 2,3 (Schorner) und 2,8 (Innerberg) Mittelwerte bestimmt, die über denen des Sollings liegen. Für den Schönbuch liegen keine Referenzwerte vor.
- Die N-Verbindungen NO₃ und NH₄ werden einerseits durch Gasadsorption verschiedener N-Verbindungen, andererseits in partikulärer Form an den Blattoberflächen deponiert. Darüberhinaus finden an den Blattoberflächen

Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse statt und teilweise werden N-Verbindungen auch ins Blattgewebe inkorporiert. Aus diesen Gründen sind die Veränderungen im Kronendach, denen die N-Verbindungen unterworfen sind, grundsätzlich komplizierter als bei den übrigen diskutierten Stoffen. Die Anreicherungsfaktoren für NO₃ liegen auf dem Schorner bei 1,7, auf dem Innerberg bei 4,9. Die Werte des Schorner liegen im Rahmen der Solling- und Schönbuch-Untersuchungen, die des Innerberg sind wiederum deutlich höher. Beim NH₄ liegen die Anreicherungen bei 1,1 (Schorner) bzw. 3,0 (Innerberg). Damit liegen die Verhältnisse verglichen mit den beiden anderen Untersuchungen wieder ähnlich wie beim NO₃.

- SO₄ wird im Gegensatz zu allen anderen untersuchten Stoffen (mit Ausnahme der Protonen) nur an einem Standort (Innerberg) angereichert, während auf dem Schorner im Bestandesniederschlag durchschnittlich geringere Konzentrationen gemessen wurden als im Freiland (Abreicherungsfaktor: 0,8). Mit einem Anreicherungsfaktor von 1,9 liegt die Station Innerberg im Bereich der im Solling und Schönbuch gemessenen Werte. Schwierig zu erklären, aufgrund der geringen Variabilität der Verhältnisse (vgl. Abb. 6a) jedoch gesichert, ist die Abreicherung von SO₄ auf dem Schorner. Obwohl in der überwiegenden Zahl der Untersuchungen eine Anreicherung des Sulfats im Bestandesniederschlag beobachtet wird, betont MORRISON (1984) in einer Literaturstudie, daß bei hohen Nitrat- und Sulfatgehalten im Niederschlag teilweise auch positive Wirkungen auf das Pflanzenwachstum beobachtet wurden (Düngungseffekt), und daß bei ungenügender Versorgung des Standorts mit diesen Stoffen Assimilation durch die Blattoberflächen beobachtet wurde. Eine S-Unterversorgung am Standort Schorner könnte also eine Inkorporation von S-Verbindungen aus dem Niederschlagswasser erklären.
 - Bei den Protonen zeigt sich an beiden Standorten eine Abreicherung gegenüber dem Freilandniederschlag. Hauptursache dieser Erscheinung dürfte die trockene Deposition von partikulär gebundenen basischen Kationen auf den Blattoberflächen sein, sowie die bereits erwähnte Tatsache, daß Ionenaustauschreaktionen an den Blattoberflächen stattfinden. Im Solling wie im Schönbuch wurden dagegen meist tiefere pH-Werte im Bestand gemessen.
- Für die Beurteilung der Stoffeintragsituation an den beiden untersuchten Waldstandorten sind außer den diskutierten Veränderungen der Stoffkonzentrationen im Kronendach vor allem auch die Gesamtfrachten von Bedeutung. Tabelle 3 zeigt die summierten Eintragsfrachten der untersuchten Stoffe über die Meßperiode. Vergleicht man die Eintragsfrachten mit den Konzentrationen der Bestandesniederschläge, so zeigt sich, daß sich die Frachten an den beiden Standorten bedeutend ähnlicher sind als die Konzentrationen. Die Frachten widerspiegeln relativ genau das Bild der Freilandkonzentrationen. Damit kann gefolgert werden, daß die starken Konzentrationsveränderungen auf dem Innerberg durch die dort geringeren Niederschlagsmengen weitgehend kompensiert werden und die chemischen Prozesse im Kronendach an beiden Standorten vergleichsweise ähnlich sind.

Tab. 3: Stofffrachten im Bestandesniederschlag

Dargestellt sind Summen (kg/ha) über die Meßperiode. Sie schließen sowohl den Kronendurchlaß als auch den Stammabfluß ein.

Komponente	Schorner	Innerberg
NO ₃	19,4	20,0
NH ₄	5,1	9,2
PO ₄	1,5	2,6
Cl	8,8	5,1
SO ₄	26,0	27,9
Ca	11,4	10,3
Mg	1,5	1,1
K	9,2	12,0
pH	0,11	0,07

6.2 Bodenwasser

Als zweite wichtige Standorthaushaltsgröße wird das Bodenwasser diskutiert. Alle vergleichenden Untersuchungen beschränken sich auf den oberen Wurzelraum bis 60 cm Bodentiefe, weil für den Schorner nur bis in diese Tiefe Daten vorliegen. Ausgewählte stoffliche Parameter der Bodenlösung werden für 30 und 60 cm Tiefe diskutiert.

6.2.1 Menge

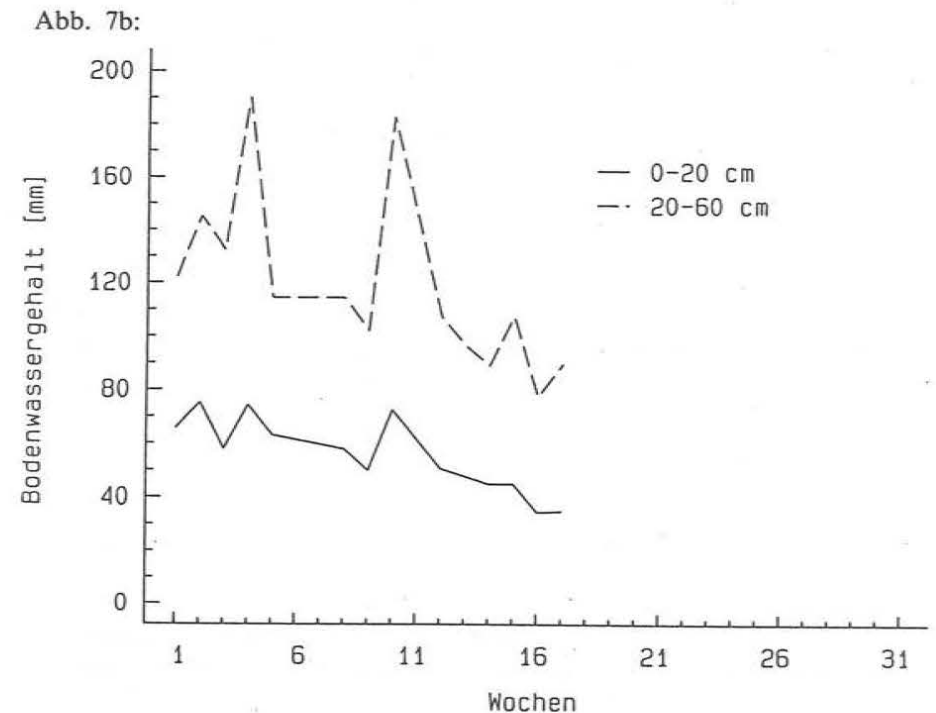
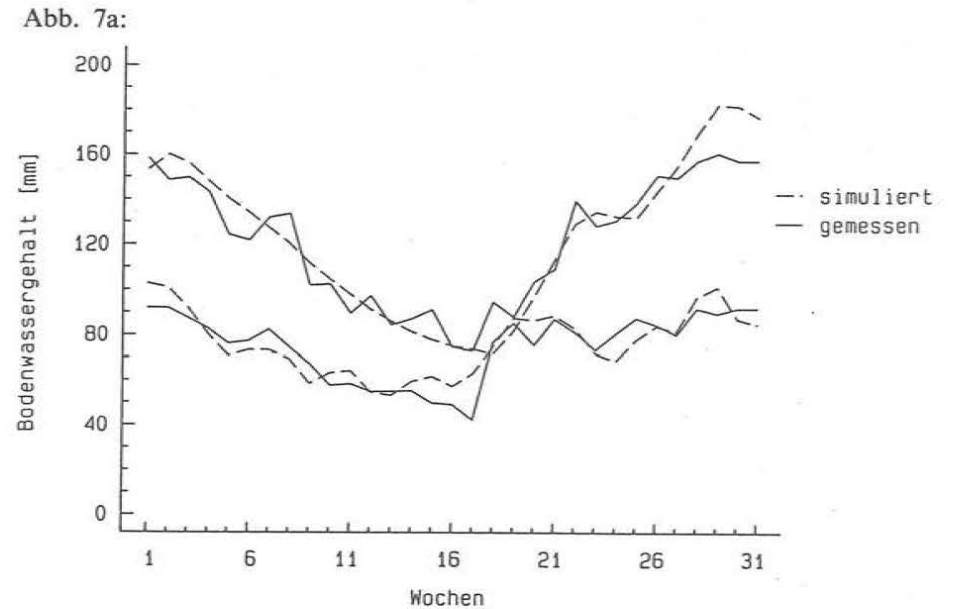
Die Bodenwassergehalte im Bereich von 0 bis 20 cm und von 20 bis 60 cm sind an beiden Standorten durch eine Austrocknungsphase, die bis Mitte September dauert und eine anschließende Befeuchtungsphase gekennzeichnet (vgl. Abb. 7). Die Bodenwassergehalte am Standort Innerberg sind nur bis Mitte September dargestellt, weil die nachfolgend erhobenen Daten infolge methodischer Umstellungen nur bedingt vergleichbar sind.

Die Aktivität, das heißt der Transpirationswasserverbrauch der Vegetation prägt vor allem am Standort Schorner das Muster des Bodenfeuchteverlaufs. Im Sommer bewirken auch relativ ergiebige Niederschläge (vgl. Abb. 4) kaum nachhaltige Feuchteänderungen im untersuchten Profilbereich. Erst mit der Reduktion bzw. dem Wegfallen der produktiven Verdunstung im Herbst werden die Feuchtereserven wieder nachhaltig ergänzt.

Dagegen zeigt der Feuchteverlauf auf dem Innerberg vor allem im Profilbereich von 20 bis 60 cm, daß bereits mittlere Sommerniederschläge deutliche Feuchtefluktuationen auslösen. Die Tatsache, daß die tieferen Bodenbereiche

Abb. 7: Zeitlicher Verlauf der Bodenwassergehalte in 0 bis 20 cm und 20 bis 60 cm Bodentiefe

Die Darstellungen basieren auf wöchentlichen Messungen. 7a zeigt den Verlauf am Standort Schorner, 7b auf dem Innerberg. Die obere Kurve, bzw. das obere Kurvenpaar repräsentiert die Wassergehalte zwischen 20 und 60 cm, die untere Kurve, bzw. das untere Kurvenpaar diejenigen zwischen 0 und 20 cm.



stärker als die oberen auf Niederschlagsereignisse reagieren, läßt sich vermutlich auf laterales Zuschußwasser am Standort zurückführen (der Meßstandort liegt im Bereich des Unterhanges) oder auf schnelle Infiltration in Makroporen.

Schließlich bleibt darauf hinzuweisen, daß die in Abbildung 7 dargestellten Totalwassergehalte um den Totwassergehalt reduziert werden müssen, um eine Beurteilung der physiologischen Wasserhaushaltssituation zuzulassen. Die Totwasseranteile sind auf dem Innerberg erheblich höher als auf dem Schorner (vgl. Abb. 3) und damit die dortige Wasserversorgung gegenüber dem Schorner schlechter.

6.2.1.1 Simulation des Bodenwasserhaushaltes

Konzept

Zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes wurde ein einfaches Kompartimentmodell entwickelt und für den Standort Schorner angepasst³. Der zu simulierende Boden wird in eine Anzahl von Schichten gleicher Mächtigkeit gegliedert. Einziger Parameter der einzelnen Segmente ist ihre Feldkapazität und die relative Wurzeldichte. Die Bilanzgleichung für ein Kompartiment lautet

$$L \frac{d\theta_n}{dt} = S_{i_{n-1}} - S_{i_n} - ET_n \quad (1)$$

L ist die Mächtigkeit des Kompartiments, θ der volumetrische Wassergehalt, S_i die Sickerung, ET die Evapotranspiration und t die Zeit. Der Index n bezeichnet die Nummer des Kompartiments. Für das erste Kompartiment gilt

$$L \frac{d\theta_1}{dt} = N_i - S_{i_1} - ET_1 \quad (2)$$

wobei N_i der Niederschlag ist.

Die Sickerung aus einem Kompartiment wird beschrieben durch

$$S_{i_n} = \begin{cases} 0 & ; \theta_n \leq FK_n \\ \theta_n - FK_n & ; \theta_n > FK_n \end{cases} \quad (3)$$

Der in der Bilanz (Gleichung (1)) erscheinende Senkenthalp (ET_n) wird aus der gesamten Evapotranspiration (ET) des Standortes aufgrund der geschätzten relativen Wurzeldichte im Profil bestimmt. Es gilt

$$\sum_{n=1}^N ET_n = ET \quad (4)$$

N ist die Anzahl der Kompartimente.

Randbedingungen

Der Bestandesniederschlag und die Evapotranspiration gehen als Randbedingungen in die Simulation ein. Der Bestandesniederschlag wird aus dem Nieder-

schlag am benachbarten Freilandstandort über die in Kapitel 6.1.1 gefundene Regressionsbeziehung bestimmt.

Die reale Verdunstung wird im Modell mittels eines mehrstufigen Ansatzes abgeschätzt:

- Die potentielle Evapotranspiration nach HAUDE wird aufgrund der Temperatur- und Feuchtwerte der benachbarten Freilandstation wochenweise berechnet (SCHRÖDTER 1985). Diese Werte werden aufgrund eines Ansatzes von SPONAGEL (1980) für Bodenwassergehalte unter der Feldkapazität reduziert⁴.
- In einem zweiten Schritt werden die gebräuchlichen HAUDE-Monatskoeffizienten so optimiert, daß als Verdunstungssumme über den Meßzeitraum ein Wert resultiert, wie er für ein relativ feuchtes Jahr⁵ in einem ähnlichen Buchenbestand im Solling gemessen wurde (ELLENBERG 1986).

Resultate

Das beschriebene Modell wurde zur Simulation des Bodenwassergehaltes (0 bis 60 cm) am Standort Schorner eingesetzt. Als geeignete Kompartimentmächtigkeit erwies sich 10 cm. Entsprechend den Ablesungsintervallen betragen die Zeitinkremente der Simulation eine Woche. Einen Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Wassergehalten zeigt Abbildung 7a.

Diskussion

Die einzigen Parameter des Modells, die eine physikalische Bedeutung haben, sind die Mächtigkeiten der Kompartimente und ihre Feldkapazität. Die Feldkapazität ist theoretisch schlecht definiert und das Modell geht von der einfachen Annahme aus, daß alle Niederschläge, die während einer Woche fallen (unabhängig vom genauen Zeitpunkt) sich sofort gemäß dem geforderten Gleichgewicht (Gleichung (3)) verteilen. Trotz der rigorosen Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse erreicht das Modell eine gute Nachbildung des Bodenwasserhaushaltes — mindestens während der trockenen Meßperiode, wo Sickerwasserbewegungen nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen und für die gewählte, grobskalige zeitliche Auflösung. Ein Test des Modells in feuchteren Perioden wurde nicht durchgeführt, dürfte aber schlechtere Resultate liefern, weil dann nicht mehr die Verdunstung, sondern bodeninterne Umverteilungen die dominierenden Faktoren im Wasserhaushalt sind und eben diese werden durch das Modell vermutlich unzureichend beschrieben, weil die eigentlich entscheidenden Transportparameter (ungesättigte Wasserleitfähigkeiten) gar nicht Bestandteil des Modells sind. Eine weitere Schwäche des Modells liegt darin, daß kurzzeitige Wassergehaltszustände, die unter der charakteristischen Zeit der Einstellung der Feldkapazitätswassergehalte (etwa 2—3 Tage) liegen, nicht zuverlässig beschrieben werden können. Ähnliche Typen von Plattenmodellen, in denen der vertikale Wasserfluß aus einem Bodenvolumen ebenfalls eine Funktion allein des Wassergehaltes dieses Volumens ist, wurden etwa von BURNS (1974) entwickelt, um die Verteilung von Nährsalzen im Bodenprofil zu beschreiben oder von BLACK (zitiert in JURY u. ROTH 1990).

6.2.2 Chemismus

Zur stofflichen Charakterisierung der Bodenlösung wurden Äquivalentsummen einerseits der basischen Kationen Ca, Mg und K und andererseits der konjugierten Basen der Schwefel-, Salpeter-, Orthophosphor- und Salzsäure SO_4 , NO_3 , PO_4 und Cl gebildet und im X-Y-Diagramm gegeneinander aufgetragen (vgl. Abb. 8).

Die Bodenlösung am Standort Innerberg zeichnet sich durch deutlich höhere Ionensummen aus als am Schorner. Der Mittelwert über beide Tiefen und alle Meßwerte liegt — bezogen auf die oben genannten Ionen — auf dem Schorner bei zirka $700 \mu\text{Eq/l}$, auf dem Innerberg bei zirka $1550 \mu\text{Eq/l}$. Das mittlere Verhältnis zwischen den Äquivalentsummen der Basen und der basischen Katio-

Abb. 8: Äquivalentsummen der basischen Kationen und der konjugierten Basen der wichtigsten Säuren im X-Y-Diagramm

Die Berechnungen der Ionensummen basieren auf wöchentlichen Analysen des Bodenwasser in 30 (Kreuze) und 60 cm (Vierecke) Bodentiefe. 8a repräsentiert die Verhältnisse auf dem Schorner, 8b jene auf dem Innerberg.

Abb. 8a:

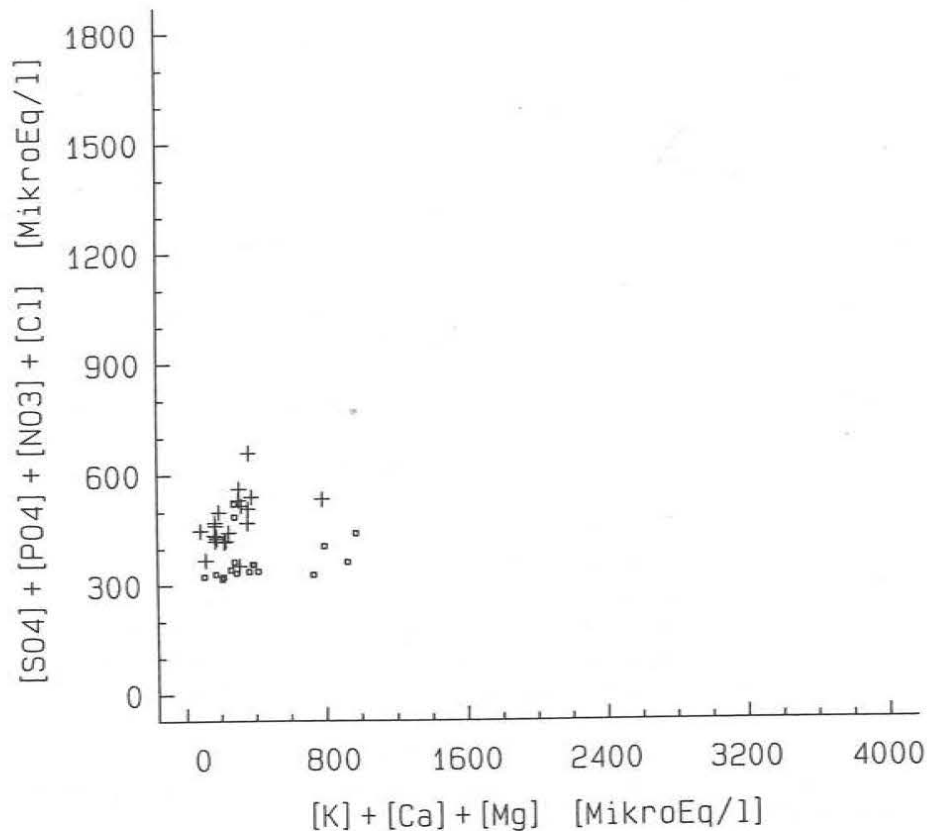
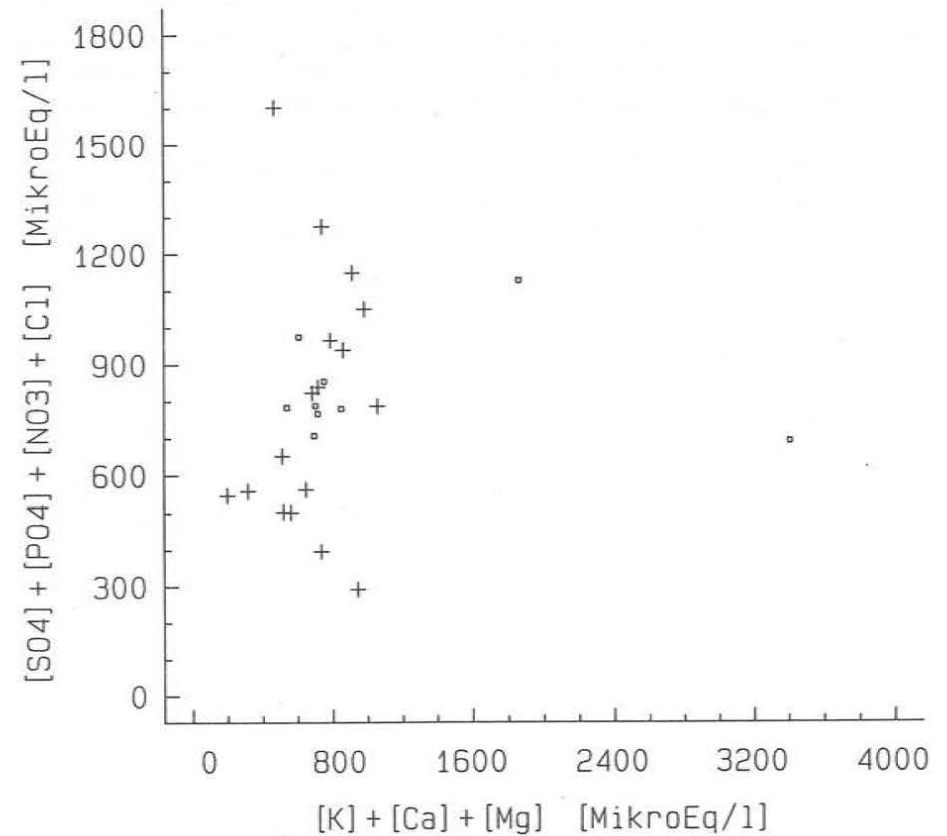


Abb. 8b:



nen liegt auf dem Schorner um 3, auf dem Innerberg um 1. Auf dem Innerberg sind die Äquivalentsummen sowie das Basen/basische Kationen-Verhältnis bedeutend heterogener als auf dem Schorner. Die Ursachen dafür dürften darin liegen, daß auf dem Innerberg verschiedene Prozesse, die zu unterschiedlichen Zeiten wirksam sind, Einfluß auf die Zusammensetzung der Bodenlösung haben:

- Schnelle Infiltration in Makroporen, die zu vergleichsweise schwach ionisierter Bodenlösung führt (im Gegensatz zum Schorner waren auf dem Innerberg im Sommer Trockenrisse entwickelt).
- Langsame Infiltration in Feinporen führt dagegen zu relativ ionenreicher Bodenlösung — es stellt sich am ehesten ein Gleichgewicht zwischen der Austauscherbelegung der Bodenmatrix und der Lösung ein.
- Lateraler Wasserzuschuß führt dazu, daß die standortstypische Ionenzusammensetzung vom Einfluß von herantransportierten „Fremdstoffen“ überprägt wird.
- Die bedeutende Heterogenität (Horizontentwicklung und -mächtigkeit, Skelettgehalt) des Profils am Standort Innerberg (vgl. Abb. 3) führt gepaart

mit unterschiedlichen Aufenthaltszeiten und -räumen des infiltrierenden Wassers zu einer variablen chemischen Zusammensetzung der Bodenlösung. Verglichen mit diesen nur qualitativ umschreibbaren Sachverhalten herrschen auf dem Schorner relativ homogene Verhältnisse. Langsame vertikale Infiltration dürfte dominieren und die beobachtete Einheitlichkeit der Bodenlösung erklären.

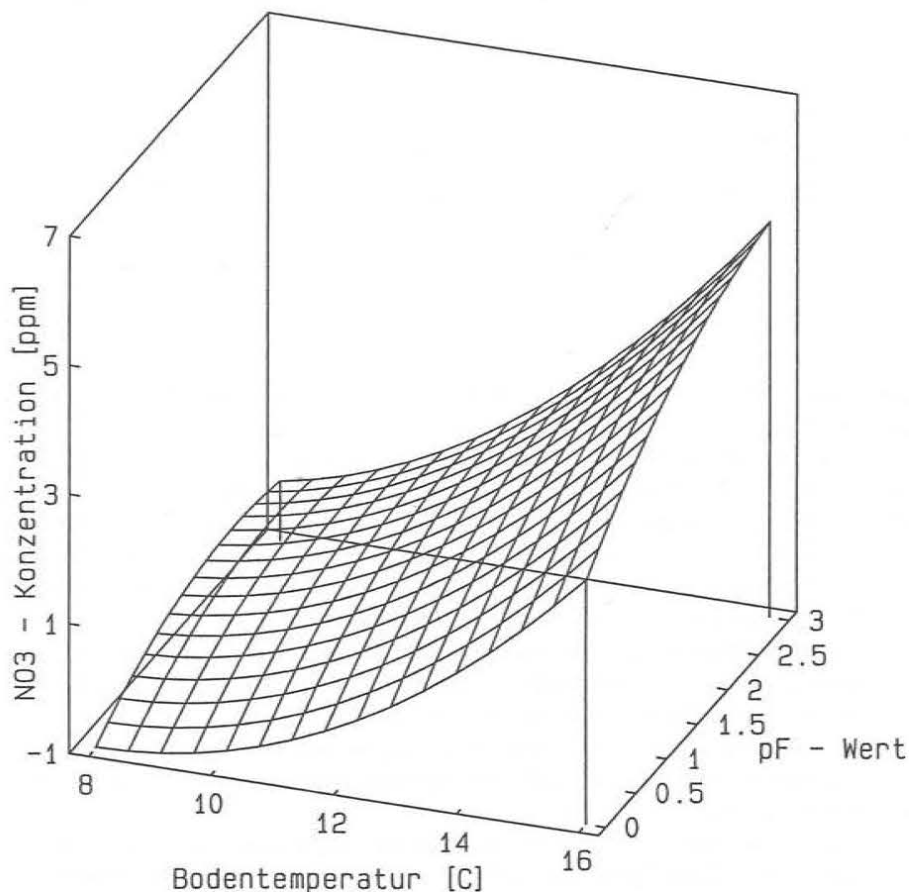
Auf dem Schorner ergibt sich eine deutliche Verschiebung der Ionenzusammensetzung vom Ober- zum Unterboden. Das mittlere Basen/basische Kationen-Verhältnis im Oberboden liegt bei zirka 2,5 und verschiebt sich auf zirka 1,8

Abb. 9: NO₃-Konzentrationen in der Bodenlösung in Abhängigkeit von Bodentemperatur und Wasserspannung am Standort Schorner

Die dargestellte Beziehung lautet:

$$z = 2,94 - 0,97x + 0,39y + 0,06x^2 + 0,19y^2 + 0,06xy \quad (n = 26; r^2 = 0,87; \alpha < 0,01).$$

Die Bodenlösung wurde wöchentlich entnommen und dabei auch der pF-Wert gemessen. Die Bodentemperaturen wurden über die Vorwoche gemittelt. Alle Messungen wurden in 20 cm Bodentiefe durchgeführt.



in 60 cm Tiefe. Dieser Trend läßt sich gut mit steigenden pH-Werten parallelisieren (vgl. Abb. 3). Für den Standort Innerberg läßt sich schwach angedeutet eine ähnliche Tendenz erkennen, also ebenfalls eine Abnahme des Basen/basische Kationen-Verhältnisses mit zunehmender Tiefe.

Nebst den beschriebenen Analysen wird am Standort Schorner versucht, das Ausmaß der Nitrifizierung in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und Bodentemperatur zu beschreiben. Es ergibt sich ein deutlicher Zusammenhang primär mit der Temperatur und sekundär mit der Feuchte. Die angepaßte Funktion zeigt Abbildung 9. Entsprechend ließ sich im Meßzeitraum ein ausgeprägter Gang der Nitratgehalte in der Bodenlösung feststellen. Maximale Werte wurden im Vor-sommer — bei relativ hoher Feuchte und hohen Temperaturen — gemessen. In der Folge gingen die Werte durch starke Austrocknung und schließlich aufgrund sinkender Temperaturen stark zurück.

7. Diskussion

Im Rahmen geoökologischer Untersuchungen steht die quantitative Kennzeichnung von Raumeinheiten im Vordergrund (LESER 1991). Diese wird mit Hilfe von Standortshaushaltsmessungen erreicht. In dieser Arbeit werden zwei Standorte miteinander verglichen, die in zwei unabhängigen Projekten untersucht wurden. Einige Hauptgrößen des Wasser- und Stoffhaushaltes dieser Standorte werden vergleichend diskutiert. Entsprechend dem Charakter des komplexen Gegenstandes „Landschaftshaushalt“ berühren die Vergleiche nebst den atmosphärischen Randbedingungen (Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte) auch pflanzenphysiologische und bodenchemische und -physikalische Aspekte. Sowohl auf räumlicher wie auf thematischer Ebene sind also die Untersuchungen auf einem hohen Integrationsniveau angesiedelt. Verschiedene Einzelsachverhalte können aus diesem Grund nur andiskutiert, aber nicht sehr weitgehend vertieft werden.

Obwohl die meisten Geoökofaktoren im allgemeinen eine große räumliche Variabilität aufweisen, zeigt diese Arbeit, daß die Freilandniederschläge hinsichtlich Menge und Chemismus geringe Unterschiede aufweisen. Dies ergibt sich aus der räumlichen Nähe der Stationen. Die Effekte der unterschiedlichen Vegetationsstruktur zeigen sich sowohl beim Ausmaß der Veränderung der chemischen Inhaltsstoffe im Bestandesniederschlag als auch bei der Interception. Ein ausgeglichenes Verhältnis besteht hingegen bei den Eintragsfrachten der untersuchten Stoffe.

Der wichtigste Faktor für die Haushaltsunterschiede an beiden Standorten ist der Boden. Die Unterschiede in Menge und Zusammensetzung des Bodenwassers als wichtiges landschaftsökologisches Merkmal gehen hauptsächlich auf die Gründigkeit und Basensättigung sowie auf Hangzuschußwasser am Innerberg zurück.

Die Bedeutung der vorliegenden Arbeit liegt darin, daß zwei Standorte miteinander verglichen werden. An beiden wurden integrativ angelegte geoökologische

Messungen durchgeführt, die eine volle Vegetationsperiode umfaßten und auf einem einheitlichen Konzept basierten. Die Repräsentativität der Standorte für größere Waldflächen im jeweiligen Untersuchungsraum darf infolge sorgfältiger Standortwahl (nach gründlicher Vorerkundung der Umgebung) und nach Auswertung der nachfolgenden Boden- und Vegetationskartierung als gesichert gelten. Die getroffenen Aussagen haben also im Markgräfler Hügelland für physiogeographisch ähnlich ausgestattete Gebiete Gültigkeit. Eine qualitative Übertragung der Ergebnisse auf andere Gebiete mit ähnlicher struktureller Ausstattung ist im Rahmen der grundsätzlichen Variabilität geoökologischer Größen ebenfalls vertretbar.

8. Zusammenfassung

Zwei geoökologische Meßstandorte im Markgräfler Hügelland werden miteinander verglichen. Menge und stoffliche Zusammensetzung von Niederschlags- und Bodenwasser werden in Abhängigkeit von den Ausstattungsgrößen der Standorte diskutiert. Die strukturellen Hauptfaktoren, welche das unterschiedliche Wasser- und Stoffumsatzgeschehen bestimmen, sind physikalische und chemische Bodenmerkmale. Die unterschiedliche Vegetationsstruktur an den Standorten wirkt sich dagegen weniger stark aus: die stofflichen Niederschlagsparameter sind an beiden Standorten relativ ähnlich. Lediglich die Mengen des Bestandesniederschlags zeigen signifikante Unterschiede.

Anmerkungen

- 1 Als „leaching“ wird die Auswaschung von im Biogewebe inkorporierten Stoffen durch den Niederschlag bezeichnet.
- 2 Als „wash-off“ bezeichnet man das Abwaschen trocken deponierter Stoffe von Pflanzenoberflächen.
- 3 Auf eine Anpassung des Modells für den Standort Innerberg wurde verzichtet, weil dort der Bodenwasserhaushalt in starkem Maß durch laterales Zuschußwasser kompliziert wird und weil für den Untersuchungszeitraum keine homogene Bodenfeuchte-meßreihe vorliegt.
- 4 Herangezogen wurden dazu die für die Vorwoche berechneten Wassergehalte des Profils bis 60 cm.
- 5 Das betreffende Jahr weist ähnliche Niederschlagsverhältnisse auf wie das Untersuchungsgebiet während der Meßperiode.

Literatur

- BIDER, M., HERRENSCHNEIDER, A., v. RUDLOFF, H. u. W. SCHÜEPP 1984: Die klimatischen Verhältnisse in der weiteren Basler Region. *Regio Basiliensis* 15/1, S. 53—83.
- BINKLEY, D., DRISCOLL, C. T., ALLEN, H. L., SCHOENEGER, P. u. D. MCAVOY 1989: Acidic Deposition and Forest Soils. In: *Ecological Studies* 72, 149 S.
- BÜCKING, W., EVERS, F.-H. u. A. KREBS 1986: Stoffdeposition in Fichten- und Buchenbeständen des Schönbuchs und ihre Auswirkungen auf Boden- und Sickerwasser verschiedener Standorte. In: G. EINSELE (Hrsg): *Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch*. Weinheim, S. 271—324.
- BURNS, I. G. 1974: A Model for Predicting the Redistribution of Salts Applied to Fallow Soils after Excess Rainfall or Evapotranspiration. — *Journal of Soil Science* 25, No 2, S. 165—178.
- ELLENBERG, H. 1986: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*. 4. Aufl., Stuttgart.
- HOSANG, J. 1989: Die Anwendung der Kartieranleitung *Geoökologische Karte 1:25 000 (KA GÖK 25)* und der Vergleich mit geoökologischen Messungen auf einem Ausschnitt des Blattes *Kandern der TK 25 (Südbaden)*. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Basel (unveröffentlicht).
- HOSANG, J. 1990: Probekartierung im Raum *Kandern* — Anwendbarkeit der Kartieranleitung *Geoökologische Karte 1:25 000 (KA GÖK 25)*. — *Regio Basiliensis* 31/1, S. 27—40.
- JURY, W. A. u. K. ROTH 1990: *Transfer Functions and Solute Movement through Soil*. Basel.
- LESER, H. 1991: *Landschaftsökologie*. 3. Aufl., Stuttgart.
- LESER, H. u. H.-J. KLINK 1988: *Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25 000 (KA GÖK 25)*. Trier.
- MATZNER, E. 1986: Deposition/Canopy-Interactions in two Ecosystems of Northwest Germany. In: GEORGII, H.-W. (Ed.): *Atmospheric Pollutants in Forest Areas*. Dordrecht, S. 247—262.
- MORRISON, I. K. 1984: Acid Rain: A Review of Literature on Acid Deposition Effects in Forest Ecosystems. — *Forestry Abstracts* 45, S. 483—506.
- MOSIMANN, T. 1984: *Landschaftsökologische Komplexanalyse*. Stuttgart.
- NEEF, E., SCHMITT, G. u. M. LAUCKNER 1961: *Landschaftsökologische Untersuchungen an verschiedenen Phytotopen in Nordwestsachsen*. In: *Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse* 47/1, Berlin.
- SCHRÖDTER, H. 1985: *Verdunstung*. Berlin.
- SCHÜEPP, W. 1982: Das Klima der Basler Region als Bestandteil des menschlichen Lebensraumes. — *Regio Basiliensis* 23/1+2, S. 25—45.
- SPONAGEL, H. 1980: Zur Bestimmung der realen Evapotranspiration landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. In: *Geologisches Jahrbuch, Reihe F*, H. 9.

- ULRICH, B. 1983: Interaction of Forest Canopies with Atmospheric Constituents: SO_2 Alkali and Earth Alkali Cations and Chloride. In: ULRICH, B. u. J. PANKRATH (Eds): Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems. Dordrecht, S. 33—45.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1983: Säurehaltige Niederschläge — Entstehung und Wirkungen auf terrestrische Ökosysteme. Düsseldorf.