

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie  
**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel  
**Band:** 32 (1991)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Niederschlagsqualität und Stoffumsatz : eine Untersuchung von Klima und Stoff-Flüssen in Jura-Ökosystemen  
**Autor:** Kempel-Eggenberger, Christa  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088660>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Niederschlagsqualität und Stoffumsatz

Eine Untersuchung von Klima und Stoff-Flüssen in  
Jura-Ökosystemen

Christa Kempel-Eggenberger

## *Zusammenfassung*

*An je einem von Immissionen unbelasteten Wald- und Freiland-Standort im Faltenjura wurde die Niederschlagsqualität gemessen. Es zeigte sich, dass im Frühling die höchste niederschlagbedingte Säurebelastung eintritt. Die Autorin interpretiert die Unterschiede, die zwischen den beiden Standorten festgestellt wurden.*

Qualité des précipitations et bilan pédologique. Une recherche sur le climat et les transferts de matériaux du sol dans le Jura.

## *Résumé*

*Dans le Jura plissé, la qualité des précipitations a été déterminée dans un secteur boisé et dans un secteur découvert, tous deux exempts de nuisances. Il s'est révélé que les plus fortes nuisances acides sont le fait des précipitations printanières. L'auteur explique les différences présentées par les deux terrains.*

Quality of Precipitation and Flow of Elements. A Study of Climate and Soils in the Jura

## *Abstract*

*Precipitation make-up was measured at two places in the Jura: a forested area and an open field. The results show that the highest acid levels occur in spring. The author analyses the differences between the two sites.*

---

Adresse der Autorin: Dipl.-geogr. Christa Kempel-Eggenberger, Geographisches Institut der Universität Basel, Spalenring 145, 4055 Basel.

# 1 Überblick über das Untersuchungsgebiet HFJ

Das Untersuchungsgebiet HFJ (Hoher Faltenjura) wird seit 1984 im Rahmen des Geoökologischen Forschungsprogramms des Geographischen Instituts der Universität Basel unter verschiedenen Aspekten untersucht. Das Arbeitsgebiet liegt 25 km südlich von Basel im Faltenjura (Raum Passwang). Die Fläche des Einzugsgebietes beträgt 2,13 km<sup>2</sup> und erstreckt sich von 594 mNN bis 1153 mNN; 43% der Fläche sind bewaldet, im übrigen Areal herrschen Mähwiesen und Weiden vor. Die komplexe tektonische Situation von Falten- und Bruchstrukturen bestimmt die Anordnung anstehender Kalkbänke, Ton- und Mergelschichten. Viele Bodenformen sind auf z.T. mächtigen, polygenetischen, quartären Verwitterungsdecken und Hangrutschmassen gewachsen.

Der folgende Bericht basiert auf Resultaten einer längerfristigen Untersuchung der Stoffflüsse mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Klimafaktoren. Vorge stellt werden hier die jahreszeitlich gemittelten Werte der Messperiode Dezember 1987 - November 1988; die Messintervalle betragen in der Regel eine Woche. Die Schneedaten wurden von *Dettwiler* 1990 übernommen. Ausgewählt wurden die Standorte "Weide20" und "Mischwald22". Sie befinden sich auf mittlerer Höhe (800 bzw. 860 m NN) und sind ostexponiert; die Böden (Braunerden) sind auf einer quartären Bergsturzmasse gewachsen. Diese ist bezüglich Substratschichtigkeit, Staunässehorizonte und Skelettgehalt äusserst heterogen und dürfte beim Standort "Weide20" mehrere Meter mächtig sein. Beide Standorte können als relativ gut mit Calciumkarbonat versorgt angesehen werden.

## 2 Stoffdeposition durch Niederschläge

Zwei Mechanismen bestimmen im wesentlichen den Transfer von atmosphärischen Spurengasen und Aerosol Partikeln: die trockene und die nasse Deposition. Die Effektivität dieser Prozesse hängt hauptsächlich von den meteorologischen Bedingungen, den Eigenschaften der transportierten Substanzen und den Eigenschaften der Erdoberfläche ab (*Whelpdale* 1982). Unter Niederschlagsdeposition (bulk deposition) versteht man die summarisch gemessene nasse und trockene Deposition, wie sie innerhalb bestimmter Sammelzeiträume gelöst in Summenproben ermittelt wird (*Brechtel* 1989).

Das Untersuchungsgebiet HFJ kann als relativ emissions-unbelastet eingestuft werden; entsprechend wird davon ausgegangen, dass die nasse Deposition überwiegt. Hier geht es vor allem um die erhöhte Immissionsbelastung des Waldstandortes im Vergleich zum Freilandstandort. Grund für diese Stoff-Anreicherung sind Prozesse, die bei der Interaktion Atmosphäre-Kronendach stattfinden; es sind dies vor allem das Filtern und Abfangen von Stoffen (Interzeption), sowie das Abwaschen und Auswaschen (Leaching) von Stoffen aus den Blättern bzw. Nadeln (*Brechtel* 1989).

Der Niederschlagsinput in ein Waldökosystem ist sehr heterogen. Man unterscheidet zwischen abtropfendem und durchfallendem Niederschlag und Stammabfluss. Bei dieser Untersuchung wurde der Eintrag durch Stammabfluss nicht berücksichtigt. Abb. 1 zeigt an beiden Standorten maximale Niederschlagsmenge während des Sommers und minimale Einträge während des Winters. Der Kronendach-Interzeptionsver-

lust ist im Winter mit 53% am höchsten (Schneeeinträge). In der Regel überwiegen die starken Säurebildner ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) im Niederschlag. Die höchsten mittleren Säurekonzentrationen wurden während des Winters und des Frühlings gemessen. Die Konzentrationen im Bestandesniederschlag (Abb. 2) sind erwartungsgemäss erhöht im Vergleich zum Freilandniederschlag (Abb. 3). Auch die Kationenkonzentrationswerte liegen im Bestandesniederschlag höher als im Freilandniederschlag (Abb. 4 und Abb. 5). Bei beiden Standorten wird im Sommer der Niederschlag vor allem durch erhöhte Calcium-Einträge, aber auch durch Ammonium-Ionen stärker neutralisiert. Dabei müssen wegen Freisetzung von Protonen durch Pflanzenaufnahme und Nitrifikation die Ammonium-Ionen als Säureinträge gewertet werden (Hertz u.a. 1988). Während des Herbstes sind die Kronendach-Leaching Prozesse am wirksamsten (Erhöhung der Kalium-Konzentration im Bestandesniederschlag).

### 3 Stofffrachten im Bodenwasser

Stoffflüsse implizieren einerseits Sets hydrodynamischer Prozesse und andererseits chemische Interaktionsprozesse zwischen der Bodenlösung und der Bodenmatrix. Eine annähernd genaue quantitative Beschreibung der Stofffrachten ist problematisch; die DARCY-Gleichung, mit der Wasserflüsse durch poröse Medien beschrieben werden, hat nur sehr beschränkt Gültigkeit (Gerke 1987, Smettem 1986): die Fließregion ist heterogen und ungesättigt; es ist schwierig auszumachen, welche Poren wie schnell leiten. Ausserdem sind Bodenmatrix und Bodenwasserlösung belebt und reaktiv und können in ihrer Zusammensetzung ereignisbedingt erheblich variieren. Zusätzlich spielen Temperatur- und Feuchtezustand für alle im Boden ablaufenden Prozesse eine wichtige Rolle. Ein Beispiel dafür sind saisonal bedingte Versauerungsschübe im Boden (Cassens-Sasse 1987).

In Abb. 6 sind die Ergebnisse der gravimetrischen Bodenfeuchtebestimmungen dargestellt. Trockene Zustände treten bei "Mischwald22" überwiegend im Winter auf. Umgekehrt trocknet der Boden bei "Weide20" eher im Sommer aus. Die Darstellung der Ergebnisse der Lysimetermessungen (Abb. 7) soll die Vielfalt der nebeneinander existierenden Bodenwasserbewegungsarten innerhalb der Fließregion bei "Weide20" dokumentieren. Dargestellt sind zwei gegensätzliche Fließwegtypen, die beim betrachteten Standort in allen möglichen Übergangsformen existieren. Das "Bypass"- oder "Channelling flow"-Wasser (Burt 1988) fließt in Systemen verbundener Makro- bis Grösstporen oder entlang von Substratschichtgrenzen; die Einzugs- oder Quellgebiete können durchaus variieren. Dieser oberflächennahe Abfluss kann sehr hohe Durchflussraten aufbringen und ist im Winter am aktivsten, wenn die Durchflussrate sogar die Niederschlagsmenge übertrifft. Der andere Fließstyp ("Sickerwasser") repräsentiert Bereiche mikro- bis mittelgrosser Porengrösse. Die Sickerwasserraten zeigen kleinere Absolutbeträge und eine geringere Schwankungsbreite.

Abb. 8 stellt die unterschiedliche Chemodynamik der beiden Standorte anhand der mittleren jahreszeitlichen Entwicklung der Calciumkonzentration im Bodenwasser dar. Auffallend ist, dass beim Standort "Weide20" vor allem das Sickerwasser entsprechend der hohen Gesamtumsatzrate während des Frühlings stark verdünnt wird, während die Calcium-Konzentrationen im Bodenwasser beim Standort "Mischwald22" ansteigen.

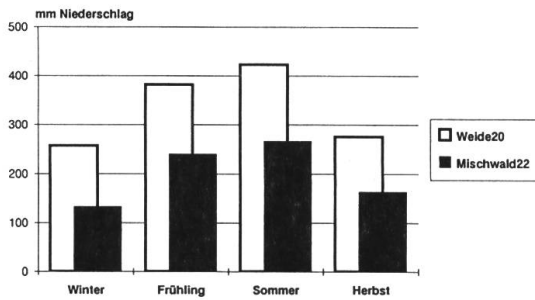


Abb. 1 Niederschlagsmengen: Jahreszeitliche Niederschlagssummen und Interzeptionsverluste des Standorts "Mischwald22" im Vergleich zum Standort "Weide20".

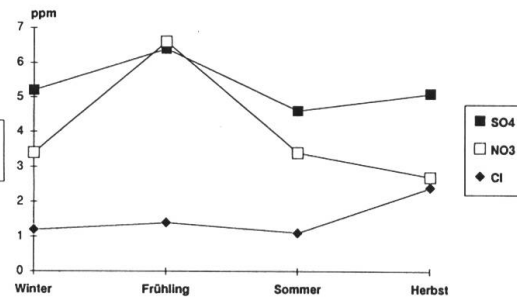


Abb. 2 Säurebildner im Niederschlag bei "Mischwald22": Mittlere jahreszeitliche Konzentration der Anionen starker Mineralsäuren im Kronendurchlass und abtropfenden Niederschlag.

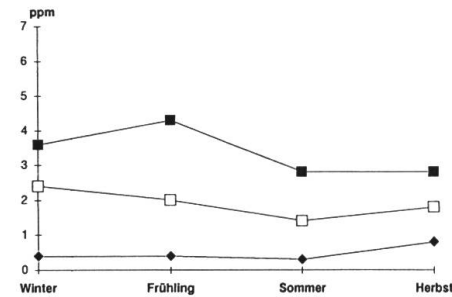


Abb. 3 Säurebildner im Niederschlag bei "Weide20": Mittlere jahreszeitliche Konzentration der Anionen starker Mineralsäuren im Niederschlag.

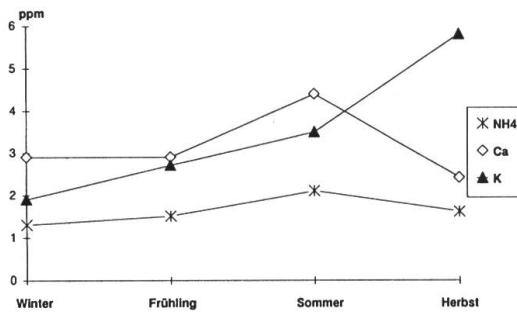


Abb. 4 Kationen im Niederschlag bei "Mischwald22": Mittlere jahreszeitliche Konzentration der Ammonium-, Calcium- und Kalium-Ionen.

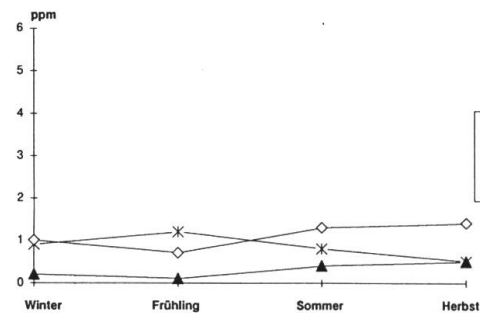


Abb. 5 Kationen im Niederschlag bei "Weide20": Mittlere jahreszeitliche Konzentration der Ammonium-, Calcium- und Kalium-Ionen.

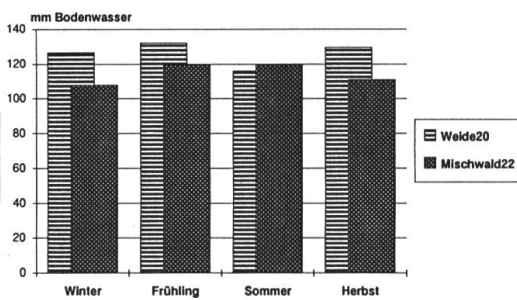


Abb. 6 Wassergehalt im Boden (0-20cm): Ergebnisse der gravimetrischen Bodenfeuchtebestimmungen: mittlere jahreszeitliche Wassergehalte des Bodens (0-20cm) bei "Mischwald22" im Vergleich zu "Weide 20".

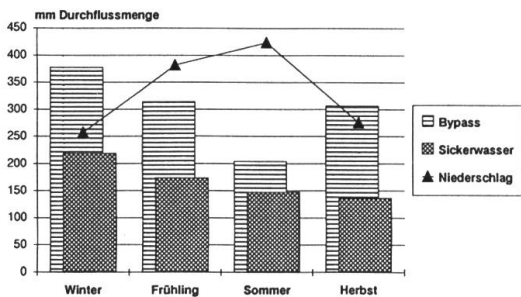


Abb. 7 Fließarten und Flussraten des Bodenwassers im Vergleich zu den Niederschlagssummen bei "Weide20".

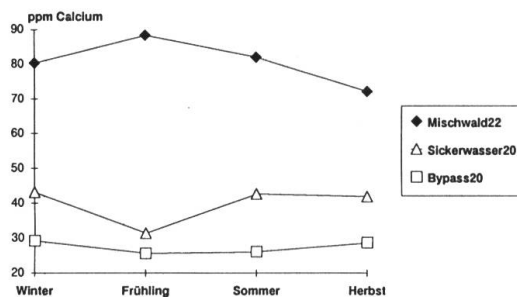


Abb. 8 Mittlere jahreszeitliche Calcium-Konzentrationen im Bodenwasser bei "Mischwald22" im Vergleich zu den beiden Fließstypen "Sickerwasser" und "Bypass" bei "Weide20".

Wie die Calcium-Konzentrationen zeigen auch die Anionen starker Säuren Sulfat und Chlorid beim Standort "Mischwald22" höhere Konzentrationen (Abb. 9 und Abb. 10). Während des Frühlings wird die tiefste mittlere Konzentration gemessen. Die Saisonalität der Nitrat-Konzentrationsentwicklung in der Bodenlösung (Abb. 11) zeigt am deutlichsten die Überlappung mit witterungsbedingten bodeninternen Faktoren (Bodentemperatur, Feuchtezustand und Nährstoffverbrauch); die niedrigen sommerlichen Konzentrationen bleiben im Mittel beim Waldstandort auch während des Herbstes tief.

## 4 Diskussion: Die Niederschlagsqualität als Faktor bei Stoffumsätzen im Boden

Konzentrationsentwicklungen in der Bodenwasserlösung werden sowohl durch Stoffdepositionen aus der Umwelt als auch durch bodeninterne Prozesse bedingt. Wichtig zur Beurteilung des Belastungszustandes und der Belastbarkeit eines Systems ist neben dem Mass und der Intensität der Prozesse, welcher der beiden Faktoren überwiegt. Generell kann gesagt werden, dass, wenn die Säuredeposition durch Niederschläge dominant ist, es sich um eine Dauerbelastung handelt; andererseits erfährt das System Stabilisierungsphasen, wenn die Säureproduktion bodenintern, d.h. saisonal bedingt ist (Cassens-Sasse 1987).

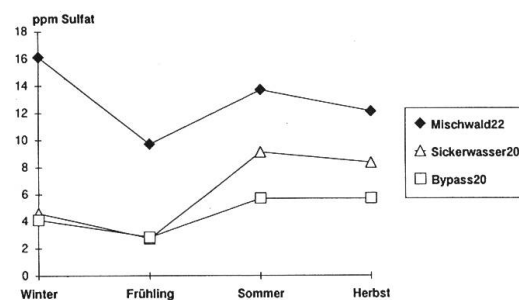


Abb. 9 Mittlere jahreszeitliche Sulfat-Konzentrationen im Bodenwasser bei "Mischwald22" im Vergleich zu den beiden Fliesstypen "Sickerwasser" und "Bypass" bei "Weide20".

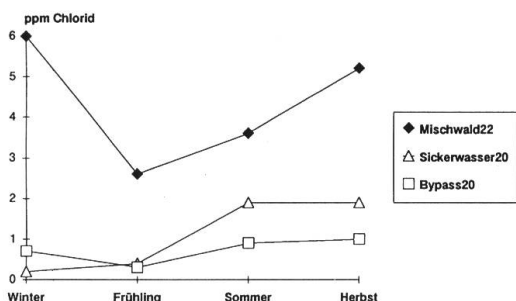


Abb. 10 Mittlere jahreszeitliche Chlorid-Konzentrationen im Bodenwasser bei "Mischwald22" im Vergleich zu den beiden Fliesstypen "Sickerwasser" und "Bypass" bei "Weide20".

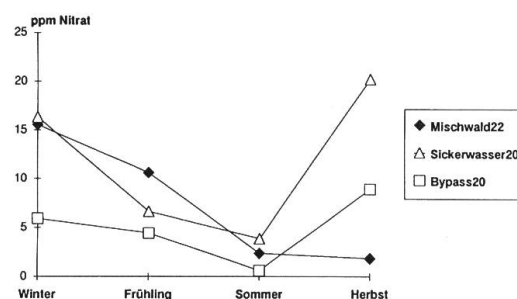


Abb. 11 Mittlere jahreszeitliche Nitrat-Konzentrationen im Bodenwasser bei "Mischwald22" im Vergleich zu den beiden Fliesstypen "Sickerwasser" und "Bypass" bei "Weide20".

Bei der vorgestellten Untersuchung stellt sich die grundsätzliche Frage, inwieweit bei den beiden ausgewählten relativ naturnahen, emissions-unbelasteten und mit Calciumcarbonat im Mittel gut gepufferten Standorten die Säuredeposition durch Niederschläge für Stoffumsätze im Boden überhaupt relevant ist; und wenn ja, welche Messparameter geeignet sind, um diese stofflichen Veränderungen zu quantifizieren.

Nach *Matzner* (1989) führt der Eintrag von freien Protonen, mobilen Anionen starker Säuren und Ammonium-Ionen in den Boden in jedem Fall zu stofflichen Veränderungen; er möchte den Begriff und die Problematik "Bodenversauerung" auf alle stofflichen Veränderungen erweitern, die als Folge von Säureinträgen auftreten. Zentrale Bedeutung haben dabei die standorttypischen Pufferungsmechanismen.

Während des Frühlings ergibt sich bei den betrachteten Standorten durch eine hohe Säurekonzentration der Niederschläge bei gleichzeitig beträchtlichen Niederschlagsmengen eine hohe Säuredeposition. Dabei sind die Nitrat- und die Chlorid-Depositionsmengen beim Standort "Mischwald22" mit 15,8 kg/ha bzw. 3,4 kg/ha gegenüber dem Standort "Weide20" um einen Faktor von 2,1 bzw. 2,2 angereichert. Beim Standort "Mischwald22" lässt sich ein Trend zur Erhöhung der Calcium-Konzentration im Bodenwasser ablesen. Gleichzeitig bleibt der pH-Wert mehr oder weniger konstant hoch. Die deponierten Säuren werden durch Carbonat-Auflösung abgepuffert. Eine auf den Kriterien "pH-Wert" und "Basensättigung" definierte "Bodenversauerung" lässt sich nicht nachweisen, obwohl in der Folge saurer Deposition stoffliche Reaktionen stattfinden.

Zur gleichen Zeit scheinen beim Standort "Weide20" bei allgemein tieferem pH-Niveau schwache "Versauerungsschübe" bei verdünnter Calcium-Konzentration im Bodenwasser registriert. Offensichtlich spielen hier bei den hohen Säureinträgen, die durch die Sulfatdeposition (16,4 kg/ha) dominiert wird, vor allem die Entwicklung der Fliesswege und -raten des oberflächennahen Abflusses eine Rolle. Die Reaktionszeiten sind zu kurz bzw. die Desorptionsraten zu klein, als dass die Verfügbarkeit von Calcium-Ionen gewährleistet ist.

Charakteristisch für den Belastungszustand und das Funktionieren der Pufferungsmechanismen ist, dass sich sowohl bodenintern als auch extern eine bei beiden Standorten unterschiedliche Saisonalität der Säurebelastung beobachten lässt. Wesentlich ist die Tatsache, dass diese Stressoren gleichzeitig bzw. überlappend während der vorgestellten Messperiode vor allem im Frühling eintreten. Diese doppelte oder verstärkte Stresssituation bewirkt in der Bodenlösung beim Standort "Mischwald22" erhöhte Calcium-Konzentrationen bei konstant hochgehaltenem pH. Beim Standort "Weide20" kann die Austauschkapazität der Bodenmatrix durch die hohen Flussraten des oberflächennahen Abflussnetzes nicht genutzt werden und es resultiert eine Absenkung der Calcium-Konzentration.

Diese stark vereinfachte Darstellung muss – gerade weil es sich um relativ unbelastete und gut gepufferte Standorte handelt – durch eine vertiefte statistische Analyse des Datenmaterials erhärtet werden, in die die Einzelereignisse in ihrer Faktorenkonstellation mit einbezogen werden. Unsicher bleibt beim Standort "Weide20" vor allem die Identifikation und Quantifizierung der Fliesswege. Beim Standort "Mischwald22" sind die Niederschlagsmessungen wegen der Heterogenität des Kronendaches mit Fehlern

behaftet und entsprechend zu verrechnen (Fehlerrechnung). Eine weitere Datenlücke stellt die grundsätzlich schwierige Abschätzung der Gesamtpotentialzustände in der Fließregion (hier: Wurzelzone) dar.

## 5 Zusammenfassung

Dieser Bericht basiert auf Messresultaten einer geoökologischen Untersuchung im Faltenjura. Vorgestellt werden Ergebnisse der Niederschlagsqualitäts-Messungen im Zusammenhang mit Ionenkonzentrationsentwicklungen im Bodenwasser bei einem Wald- und einem Freilandstandort. Beide Standorte werden als emissions-unbelastet und gut calciumcarbonat-gepuffert eingestuft. Im Frühling tritt die höchste durch Niederschlags-Deposition verursachte Säurebelastung auf. Diese Stresssituation kann durch bodeninterne Versauerungsschübe verstärkt werden. Bei der Waldstation tritt eine Erhöhung der Calcium-Konzentrationswerte in der Bodenlösung ein – parallel zu der hohen Interzeptions-Säurebelastung. Beim Freiland-Standort wird die Austauschkapazität vor allem durch die hohen Flussraten im oberflächennahen Fließwegnetz überfordert, und eine Verdünnung der Calcium-Konzentration im Bodenwasser resultiert.

## Literatur

- Brechtel H.M. 1989. Stoffeinträge in Waldökosysteme. – Niederschlagsdeposition im Freiland und in Waldbeständen. *DVWK Mitteilungen* 17, 27-53.
- Burt T.P. 1988. Slopes and Slope Processes. *Progress in Physical Geography* 12, 583-593.
- Cassens-Sasse E. 1987. *Witterungsbedingte saisonale Versauerungsschübe im Boden zweier Waldökosysteme*. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben Reihe A 30. Göttingen.
- Dettwiler K. 1990. *Die Schneedecke als Wasser- und Stoffspeicher im Geoökosystem. Entwicklung und Anwendung einer Methodik zur Erfassung der Ein- und Austräge im Einzugsgebiet HFJ (Hoher Faltenjura, Raum Passwang, Winter 1987/1988)*. Lizentiatsarbeit am Geographischen Institut der Universität Basel.
- Gerke H. 1987. *Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines Kalkbuchenwald-Ökosystems und zur Wasserbewegung in flachgründigen Böden und im durchwurzelten Kalkgestein als Grundlage zur Modellentwicklung*. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben Reihe A 27. Göttingen.
- Hertz J. et al. 1988. Chemische Untersuchungen der atmosphärischen Deposition. *Chimia* 42(2) 57-67.
- Matzner E. 1989. Stoffliche Veränderungen in schadstoffbelasteten Waldböden. *DVWK Mitteilungen* 17, 107-120.
- Smettem K.R.J. 1986. Solute movements in soil. *S.T. Trudgill (ed): Solute Processes*, 141-167. New York.
- Whelpdale D.M. 1982. Wet and dry deposition. H.W. Georgii und W. Jaeschke (eds): *Chemistry of the polluted and unpolluted Troposphere*, 375-391.

