

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie  
**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel  
**Band:** 33 (1992)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Modellierung der Stoffumsätze im Kettenjura : Qualifizierungsprobleme  
**Autor:** Kempel-Eggenberger, Christa  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088749>

### 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:** 15.01.2026

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

# Modellierung der Stoffumsätze im Kettenjura

Qualifizierungsprobleme

Christa Kempel-Eggenberger

## Zusammenfassung

Vorgestellt werden Ergebnisse einer "Geoökologischen Untersuchung" des Stoffumsatzes im Faltenjura. Es werden Probleme diskutiert im Zusammenhang mit der Parametrisierung. Hauptproblem bei vielen Auswertungen machen Mischintervalle: In ihnen sind gegensätzliche Prozessabläufe nicht isolierbar zusammengefasst. Bei der Bestimmung des Infiltrationsregimes ist die Identifikation und Lokalisierung des Oberflächennahen Abflussnetzes im Testgebiet mittels der erarbeiteten Datengrundlage nur schlecht beschreibbar.

## 1 Einleitung

Seit 1986 werden im Testgebiet HFJ (Hoher Faltenjura) im Raum Passwang klima- und stoffhaushaltliche Messungen durchgeführt. Vorgegangen wurde nach der Geoökologischen Arbeitsvorschrift der Komplexen Standortanalyse (Mosimann 1984) mit dem Ziel, die als Konzeptmodell ausgearbeiteten Subsysteme des Regelkreises zu "füllen" und zu verketten. Der auf diese Weise gefüllte Regelkreis kann als Prozess-Korrelations-System umschrieben werden.

Dem folgenden Bericht liegen Messungen des Zeitraumes 1986-1989 zugrunde. Ausgewählt wurde der Standort 20 im Teileinzugsgebiet Schwang; solche polygenetischen quartären Bergsturzmassen sind verbreitete Landschaftselemente höherer Jura-weiden und spielen für den Wasserhaushalt im allgemeinen und das Abflussregime im speziellen qualitativ und quantitativ eine wichtige Rolle, wie dies im Testgebiet HFJ gezeigt wurde (Scherrer 1990).

---

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

Der Inhalt dieses Aufsatzes setzt sich mit Problemen, die bei der Parametrisierung der Subsysteme auftreten, auseinander. Grundsätzlich wurden die folgenden vier Leitsätze beachtet:

- Das Modell und seine Teileinheiten sollen überschaubar sein,
- die eingesetzten Parameter sollen messbar sein,
- der Raumbezug ist ein zentrales Anliegen,
- und schliesslich muss der “gefüllte” Regelkreis “funktionieren”.

Im folgenden wird jeweils ein Ausschnitt aus der Element- oder Parametrisierungsstruktur der Subsysteme “Stoffeintrag durch Klimafaktoren” und “Stoffumsatz im Boden” vorgestellt.

## 2 Parametrisierung des Depositionsgeschehens

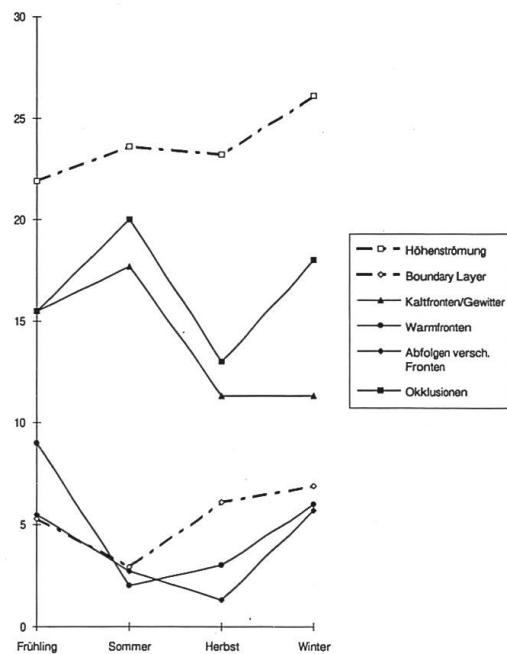
Das Subsystem “Stoffeintrag durch Klimafaktoren” soll die Prozesse des Depositionsgeschehens charakterisieren. Zwei Aufgaben muss die Parametrisierung erfüllen:

- Unterschiedliche, insbesondere für den Depositionschemismus gegensätzliche Depositionsmechanismen müssen isolierbar sein.
- Das Subsystem “Stoffeintrag durch Klimafaktoren” soll an das Subsystem “Stoffumsatz im Boden” anknüpfbar (integrierbar) sein.

Der vorgestellte Ausschnitt aus der Modellstruktur beschreibt die Charakterisierung der Ereignisse. Verschiedene Untersuchungen haben deutlich gemacht, dass wegen thermodynamischer und physico-chemischer Prozessabläufe in der Atmosphäre ein Zusammenhang zwischen Ereignisstruktur und Niederschlagschemismus besteht (*Gatz 1971, Gascoyne & Patrick 1980, Bloxam 1984*). In Anlehnung an diese Untersuchungen wurden für die Ereignischarakterisierung im Testgebiet HFJ folgende Parameter eingesetzt: Strömungsverhalten, Niederschlagstyp, -art, -intensität, -menge und -dauer.

Abb. 1 Strömungsverhalten und Frontalgeschehen in den Jahreszeiten.

Die eingesetzten Parameter zeigen ein ausgeprägtes jahreszeitliches Verhaltensmuster. Alle Informationen sind den täglichen Wetterkarten der SMA entnommen. Die Höhenströmung und die Strömung in der Grenzschicht (Boundary Layer) sind als Mittelwert des Umsatzes (m/sec), die Niederschlagstypen sind als mittlere Anzahl der verschiedenen Frontenarten eingetragen.



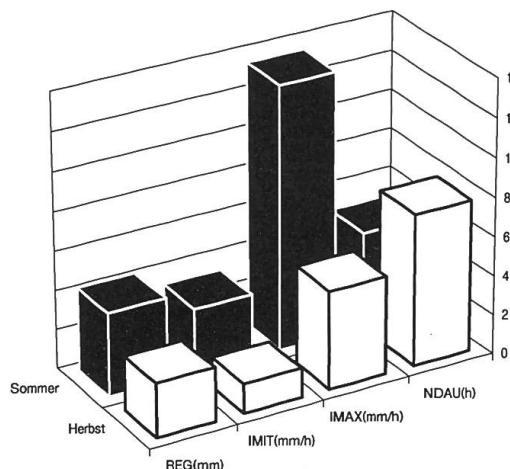


Abb. 2 Ereigniseigenschaften im Sommer und im Herbst.  
Die Mittelwerte der Ereignisparameter REG (Regenmenge), IMIT (mittlere Regenintensität), IMAX (maximale Regenintensität) und NDAU (Dauer der Ereignisse) zeigen für Sommer und Herbst unterschiedliche Niederschlagsmechanismen an: Ein typisches Sommerereignis ist ergiebig, kurz und intensiv, während die Herbststagen länger dauernd, weniger ergiebig und wenig intensiv sind.

Schon eine erste einfache Annäherung über Mittelwertbildungen zeigt ein stark ausgeprägtes jahreszeitliches Verhalten dieser Parameter (Abb. 1). Maximale Windgeschwindigkeiten in der Höhenströmung bringt der Winter mit sich; deutlich heben sich die minimalen Luftumsätze im Sommer von den erheblich höheren Luftumsätzen im Herbst in der Grenzschicht ab. Warmfronten gewinnen nur im Frühling und im Winter an Bedeutung; der Sommer wird dominiert durch konvektive Niederschlagsaktivität (Kaltfronten und Gewitter). Die unterschiedlichen Niederschlagsmechanismen im Sommer im Vergleich zum Herbst werden deutlich in Abb. 2: Typische Sommerereignisse sind ergiebig, kurz und intensiv (Typ "Gewitter"), typische Herbstereignisse dagegen sind anhaltend und wenig intensiv (Typ "Landregen").

Eine analoge Annäherung an die Niederschlagschemie gibt nur schwach die jahreszeitlich ändernden Bedingungen in der Atmosphäre wieder. Stellvertretend sind in Abb. 3 Sulfat-Konzentration und pH-Wert aufgezeichnet: Der pH-Mittelwert zeigt das stärkere Neutralisierungsvermögen durch Calciumstäube und Ammonium-Ionen v.a. während des Sommers (Hertz 1988). Erstaunlich ist, dass die Sulfat-Konzentration während der betrachteten Zeitspanne im Jahreszeitenmittel kaum eine Schwankung aufweist. Erwartet wurde doch zumindest ein deutlicheres Minimum im Sommer u.a. entsprechend der mehrheitlich hohen Regenintensitäten, da in der Regel das Verhältnis der SO<sub>4</sub>-Konzentration im Regen invers zur Regenintensität sein soll (Georgii 1986).

Ein nächster Bearbeitungsschritt, die Korrelations- und Regressionsstatistik, macht dann das Problem sehr deutlich: Die Statistiken zeigen mehrheitlich schwache Korrelationskoeffizienten, in vielen Fällen müsste man sogar den Schluss ziehen, dass es zwischen den Elementen keine Beziehung gibt. Abb. 4 zeigt die Situation als

Abb. 3 pH und Sulfat im Niederschlag.  
Sulfatkonzentration (ppm) und der pH-Wert zeichnen als Mittelwerte nur schwach die jahreszeitlich unterschiedlichen Bedingungen der Depositionsmechanismen auf.

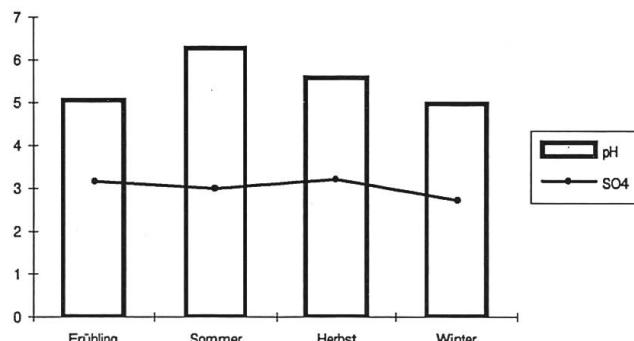
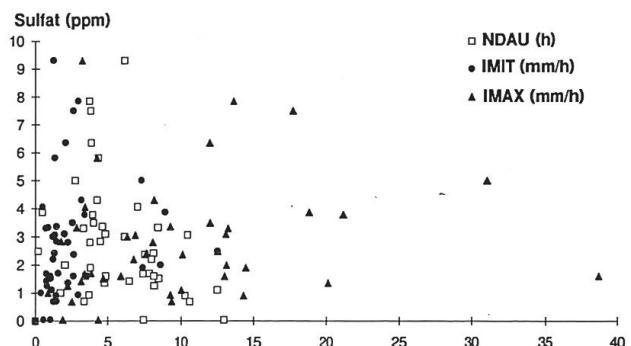


Abb. 4 Mittlere und maximale Regenintensität, Niederschlagsdauer und Sulfatkonzentration im Niederschlag: Des Parameters SULFAT im Niederschlag als abhängige Grösse von IMIT (mittlere Regenintensität), IMAX (maximale Regenintensität) und NDAU (Niederschlagsdauer).



Punktwolke; ausgewählt wurde die Sulfat-Konzentration im Regen als abhängige Grösse, die mittlere und maximale Regenintensität sowie die Ereignisdauer sind als unabhängige Grössen eingetragen. Obwohl in speziellen Fällen auch eine direkte Abhängigkeit der Sulfat-Konzentration von der Regenintensität beobachtet wurde (*Bloxam 1984*), dürften doch mehrheitlich signifikante Korrelationen und Regressionen erwartet werden; dies ist aber nicht der Fall.

Hauptursache für dieses statistische “Nicht-Erkennen” einer Abhängigkeitsstruktur der Parameter in den Datensätzen ist das Ableseverfahren in Intervallen. Der Ableserhythmus war i.d.R. eine Woche. Diese Probe setzt sich häufig aus mehreren Ereignissen zusammen. Die Charakterisierung des Messintervalls (und damit in der Zuordnung der Probe) ist problematisch. Bei den vorliegenden Resultaten wurde nach dominanten Merkmalen bzw. Mittelwertbildung vorgegangen. Für viele Datensätze bedeutet dies, dass gegensätzliche Depositionsmechanismen nicht berücksichtigt oder aber durch Mittelwert- und Mischprobenbildung “verwässert” werden. Ein eindrückliches Beispiel bietet die Bestimmung der Niederschlagsart. Schneefall, Mischeintrag, Regenniederschlag, Nebelniederschlag und Rauhreifablagerung sind Depositionsmechanismen grundsätzlich unterschiedlichster Art mit den unterschiedlichsten Effekten auf die Aktivierung des Bodenwasserflusses. Wird nun ein Winterintervall, in dem Schneefall als dominantes Merkmal erkannt wurde, kurzfristig von einer warmen sauberen Westlage unterbrochen, dann sind in der Probe die gegensätzlichsten Mechanismen und Chemismen zusammengefasst; die Probe ist schlimmstenfalls bzgl. der Abhängigkeitsstruktur der Parameter nichtssagend. Analoges ist auch bei der Bestimmung des dominanten Frontalgeschehens und der Charakterisierung des Umsatzgeschehens möglich; Intervalle können Windfelder, die zu gegenläufigen Depositionsmustern im Einzugsgebiet führen, umfassen; sie wurden aufgrund des dominanten Windmusters qualifiziert. Als Beispiel sei hier die Höchstbelastung im internen Hangbereich 20 während stabilen, windschwachen Situationen mit Ausbildung eines hanginternen Turbulenzbereichs angeführt. Dieses Geschehen wird nun von einer strömungsstarken Nordwestlage kurzfristig abgelöst; die beschriebene Depositions-Situation wird durch eine Höhenstufung der Depositionsrate überlagert.

### 3 Parametrisierung des Infiltrationsregimes und der Stoffumsätze im Boden

Das Subsystem "Stoffumsatz im Boden" soll das Infiltrationsregime und das Stoffumsatzgeschehen im Boden beschreiben. Grundsätzlich müssen die gleichen Anforderungen wie an das Modul des Depositionsgeschehens gestellt werden:

- Unterschiedliche, in Bezug zum Stoffumsatzgeschehen gegensätzliche Umsatzmechanismen müssen isolierbar sein.
- Die Parameter des Subsystems Stoffumsatz im Boden müssen anknüpfbar an das Modul "Abfluss aus dem Einzugsgebiet" sein.

Vorgestellt wird der Ausschnitt, der das Infiltrationsregime definiert. Folgende Parameter wurden eingesetzt: Vegetationshöhe, Wasserwert der Schneedecke, Tiefe der Bodengefrohnis, Bodentemperatur und -wassergehalt (Abb. 5). Auch hier zeigt sich ein deutlicher Jahresgang der mittleren Werte der eingesetzten Parameter. Weitere Statistiken bringen ähnliche Probleme wie beim Depositionsgeschehen. Nicht eindeutig "erkannt" in der Korrelationsstruktur werden die im Hinblick auf die Stoffumsatzdynamik im Boden gegensätzlichen Abbaumechanismen der Schneedecke (Besonnungs-, Wind-, Wärme-, Regen-auf-Schnee-Ausaperung). Bei der Grösse Bodengefrohnis kommt zusätzlich zum Problem der Intervall-Charakterisierung (nur Zustand am Ablesetag bekannt!) hinzu, dass eine Zunahme der Bodengefrohnis im Modell gleichgesetzt wurde mit der Immobilisierung der Bodenflüsse. Dieser Zusammenhang lässt sich – gerade bei sehr heterogenen, vielschichtigen Bodenformen – auch deshalb nicht eindeutig bestätigen, weil der Einfrievorgang eng an die Bodenstruktur gebunden ist. Beim vorgestellten Teileinzugsgebiet gibt es Einfrier-Phasen, während derer der Umsatz in der Makrostruktur (s.u.) sogar gesteigert wird. Diese Phasen können als solche aber nur quantifiziert werden, wenn sie isoliert erkannt werden.

Bei der Parametrisierung des Stoffumsatzgeschehens im oberflächennahen Untergrund wurde rasch erkannt, dass die am repräsentativ definierten Bodenprofil bestimmten traditionellen Größen (Porengröße, Wasserkapazität, Austauschkapazität etc.) die Umsatzprozesse des Standortes (und insbesondere des Teileinzugsgebietes) nicht beschreiben können. In Anlehnung an *Schulin et al. 1985* und *Roth 1989* wurde die Beschreibung der Bodenflüsse mit dem 2-Regionen-Modell angegangen; dieses Modell beschreibt den Boden als Überlagerung zweier wechselwirkender poröser Medien, der Makro- und Mikrostruktur. Die Makrostruktur ist gebunden an Grossporensysteme sowie Strukturänderungsbereiche (Schichtgrenzen, Variationen des Bodenskelett-Gehalts etc.). Abb. 6 und 7 zeigen die höheren Umsätze des schnell ansprechenden,

Abb. 5 Infiltrationsparameter während der Jahreszeiten.

Auch die Parameter Vegetationshöhe, Bodenfrostmächtigkeit, Wasserwert der Schneedecke, Bodentemperatur und gravimetrische Bodenfeuchte weisen als Mittelwerte einen ausgeprägten Jahresgang auf.

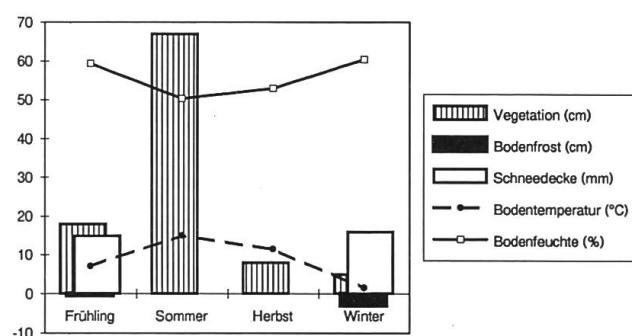
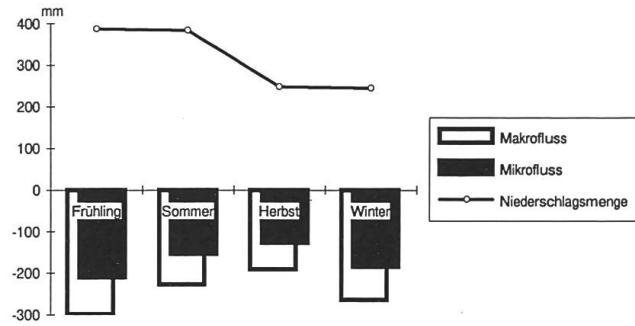


Abb. 6 Das Infiltrationsregime: Makro- und Mikroflussentwicklung im Boden und Niederschlagsmenge. Die Umsätze des schnell fliessenden Wasserflusses in der Makrostruktur sind wesentlich höher als die Raten des sich langsamer bewegenden Flusses in der Mikrostruktur.

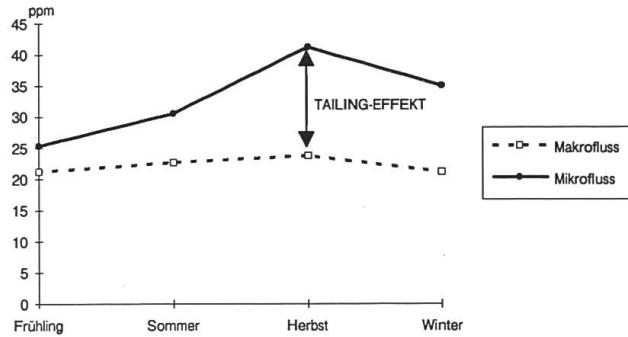


verdünnten Makroflusses im Vergleich zur langsameren Bewegung im konzentrierteren Mikrobereich im Verlauf der Jahreszeiten. Stellvertretend für den Stoffumsatz wurde hier die Calciumkonzentrationsentwicklung dargestellt. Gut zum Ausdruck kommt die verminderte Wechselwirkung der beiden Bereiche während Herbst und Winter (sog. Tailing-Effekt: "Aufspalten" der Flüsse). Zur Lokalisierung und Identifizierung der Makro- und Mikroflüsse wurden weitere 6 Saugkerzen installiert. Schon eine erste Betrachtung der Ionenkonzentrationen (Abb. 8) zeigt stellvertretend die Punktwellen der Calciumkonzentrationsentwicklung) macht deutlich, dass die Parametrisierungsgrundlage Makro- und Mikrostruktur-Regionen unzureichend ist. Das Geschehen im "Mesobereich" (Übergangszone von Makro- zu Mikroverhalten) muss analysiert werden, v.a. im Hinblick auf eine Quantifizierung der Entwässerung des Teileinzugsgebietes, bzw. der gesamten Bergsturzmasse des beschriebenen Areals.

## 4 Diskussion und Lösungsansätze

Qualifizierungsprobleme sind bei der vorgestellten Untersuchung häufig Ursache oder Verursacher von Quantifizierungsproblemen. Ein für die Auswertung einschneidendes Problem ist die Tatsache, dass die meisten geoökologischen Untersuchungen mit einem Ableserhythmus eines zeitlich konstanten Intervalls (hier i.d.R. eine Woche) durchgeführt werden. Dadurch ergibt sich bei der Qualifizierung vieler Parameter sehr oft das Problem, dass gegenläufiges Prozessgeschehen zusammengefasst wird als dominantes Merkmal oder durch Mittelwertbildung. Ein Aufstellen eines Prozess-Korrelationsmodells auf dieser Grundlage ist unbefriedigend und häufig nicht signifikant. Dieses Intervall-Problem trifft z.B. für die für das Stoffumsatzgeschehen zentralen

Abb. 7 Calcium-Konzentrationsentwicklung in Makro- und Mikrofluss. In der Regel ist der Makrofluss verdünnt im Vergleich zum Mikrofluss. Je weniger die Mikro- mit der Makrostruktur über die Bodenlösung in Wechselwirkung steht, desto mehr unterscheiden sich die Konzentrationsentwicklungen (=Tailing Effekt).



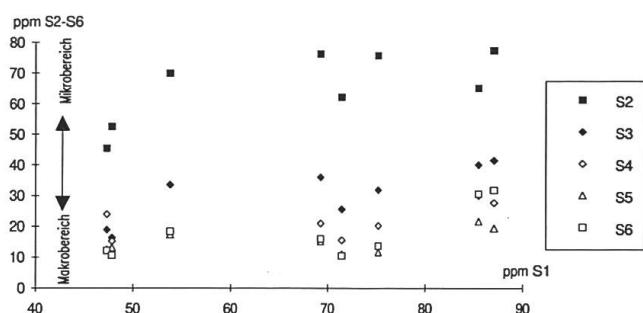


Abb. 8 Übergänge von Makro- zu Mikrobereich am Beispiel der Calcium-Konzentrationsentwicklung der Parallelsaugkerzen S2-S6 als abhängige Größen der Saugkerze S1. Die Punktwolke zeigt, dass eine Zweiteilung des Umsatzprozessgeschehens unzureichlich ist

Größen Eintragsart, Niederschlagstyp, Schneedeckendynamik und Bodengeformis häufig zu. Die Verdichtung der Ablesungen ist aus arbeitstechnischen Gründen kaum möglich. Eine mögliche Lösung vieler Intervall-Probleme bieten die immer häufiger eingesetzten registrierenden Geräte (z.B. für die Regenchemie, die Bodenfeuchte und -temperatur). Bei der vorliegenden Untersuchung ergibt sich als einzige Möglichkeit, alle Intervall-Datensätze zu überprüfen und für die Durchführung der statistischen Analysen ausschliesslich Datensätze zu verwenden, die hinsichtlich der Charakterisierung der Parameter eindeutig sind, das heisst "homogene" Intervalle (keine Mischproben) darstellen. Unklar ist, inwieweit eine solche nun doch sehr kleine Auswahl an Datensätzen repräsentativ ist.

Ein unlösbares Problem ist die Identifikation und Lokalisierung des oberflächennahen Abflussnetzes im vorgestellten Teileinzugsgebiet des Testgebietes. Austrocknungs- und Aktivierungsabläufe und damit auch Nährstoff- und Schadstofffragen und nicht zuletzt die Pufferungsmechanismen sind – über die zugängliche Bodenmatrix – stark an das raum-zeitliche Verhalten des Fliesswegnetzes gebunden. Die Einordnung des Areals in den Karbonatpufferbereich auf Grund von Analysen am "repräsentativen Standortprofil" erweist sich – zumindest zeitweilig – bei Betrachtung der Chemosdynamik des Bodenwassers als fragwürdig. Eine Erweiterung des 2-Regionen-Modells in ein 3 (oder mehr)-Regionen Modell (z.B. durch Einführung einer zusätzlichen "Mesostruktur") löst das Problem der räumlichen Identifikation nur teilweise. Das Standortmodell ist bezüglich der Übertragbarkeit der für den Stoffhaushalt wichtigsten gewonnenen Einsichten das Teileinzugsgebiet doch sehr beschränkt. Offensichtlich tragen viele Standortparameter den im Raum ablaufenden Stofftransportprozessen weder qualitativ noch quantitativ genügend Rechnung. Gesucht werden Raumparameter, die das Oberflächennahe Abflussnetz und seine Teilarme für den Standort und seine nähere Umgebung (hier: für das Teileinzugsgebiet) in seiner Dynamik befriedigend charakterisieren können.

## Literatur

- Bloxam R.M. 1984. The influence of storm characteristics on sulfate in precipitation. *Water, Air and Soil Pollution* 23, 359-379.
- Gascoyne M. & Patrick C.K. 1980. Variation in rainwater chemistry and its relation to synoptic conditions, at site in north-west england. *Int. J. Environmental Studies* Vol. 15, 209-214.

- Gatz D.F. & Dingle A.N. 1971. Trace substances in rain water: concentration variations during convective rains, and their interpretation. *Tellus* 23, 14-27.
- Georgii H.-W., Perseke C., Rohbock E. 1986. Investigation of the wet and dry deposition of acidic and heavy-metal components. *NATO ASI Series Vol. G6*, 227-248.
- Hertz J., Bucher P., Furrer G., Keller L., Daniel O., Thöni L. 1988. Chemische Untersuchungen der atmosphärischen Deposition. *CHIMIA* 42/2, 57-67.
- Mosimann T. 1984. *Landschaftsökologische Komplexanalyse*. Stuttgart.
- Roth K. 1989. *Stofftransport im wasserungesättigten Untergrund natürlicher, heterogener Böden unter Feldbedingungen*. Dissertation ETHZ Nr. 8907.
- Scherrer S. 1990. *Wasserhaushaltgrößen Niederschlag und Abfluss, Abflussbildung und Stoffaustausch eines Einzugsgebietes im Solothurner Faltenjura*. Diplomarbeit GIB. Basel.
- Schulin R., Selim H.M., Flühler H. 1985. Bedeutung des Bodenskeletts für die Verlagerung und Verteilung von gelösten Stoffen in einer Rendzina. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 41, 397-405.