

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 40 (1999)
Heft: 3

Artikel: Die Nitratproblematik im Karstgebiet des Gempenplateau : Nitratbelastung und jährliche Nitratfrachten von Trinkwasserquellen in einem Karstgebiet
Autor: Plattner, Christoph
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088514>

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: 13.01.2026

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

Die Nitratproblematik im Karstgebiet des Gempenplateau

Nitratbelastung und jährliche Nitratfrachten von Trinkwasserquellen in einem Karstgebiet

Christoph Plattner

Zusammenfassung

Die Nitratbelastung im Trinkwasser einiger Karstquellen im Bereich des Gempenplateau sorgt seit längerer Zeit für Schlagzeilen. Am Geographischen Institut Basel wurde deshalb mit hydrologischen und bodenkundlichen Methoden ein Überblick über die momentane Situation der Nitratbelastung erarbeitet, um wirksame Massnahmen zur Entschärfung der Nitratproblematik vorschlagen zu können. Die Nitratauswaschung als Prozess und Verlustgrösse im Stickstoffhaushalt hat sich in den vergangenen Jahren nicht merklich verringert, obwohl bereits viele Landwirtschaftsbetriebe nach den verschärften Richtlinien der Integrierten Produktion (IP) wirtschaften. Es zeichnet sich ab, dass die Nitratproblematik, der Nutzungskonflikt zwischen der ackerbaulichen Nutzung und der Wassergewinnung nur längerfristig, mit parzellenscharf angeordneten Massnahmen und den dafür nötigen wissenschaftlichen Grundlagen befriedigend zu lösen ist.

1 Einleitung

Die Entwicklung der Wasserqualität, genauer die Belastung des Trinkwassers mit unterschiedlichen Stoffen anthropogener Herkunft, gibt gesamtschweizerisch zunehmend Anlass zur Sorge. Im Bereich des Gempenplateau überschreiten vornehmlich das Pestizid Atrazin und das Nitrat als gesundheitsrelevante Schadstoffe die geltenden Toleranzwerte der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) vom 26.6.1995.

Nitrat ist im Unterschied zu Atrazin ein natürlicherweise in der Natur vorkommender Stoff, ein unentbehrliches und besonders stark ertragsbeeinflussendes Betriebsmittel für die Produktion pflanzlicher Nahrungsmittel und gleichzeitig ein zentrales Element im Stickstoffkreislauf. Die Nitratkonzentrationen erreichen in verschiedenen Quellen im Bereich des Gempenplateau zumindest zeitweilig den festgelegten Toleranzwert von $40 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$. Eine Tendenz in Richtung abnehmender Werte lässt sich aus den bestehenden Datenreihen nicht feststellen.

Das Gempenplateau gehört deshalb im Kanton Solothurn zu den Einzugsgebieten von Trinkwasserfassungen erster Priorität bezüglich Sofortmassnahmen für eine Verbesserung der Nitratbelastungssituation. In diesem Zusammenhang wurde nach dem Modell der 'Nitratkommission' im solothurnischen Gäu zwischen den betroffenen Gemeinden des Gempenplateau eine Kommission gebildet, welche das Spannungsfeld zwischen den ökonomischen Interessen und Zwängen der Landwirtschaft und der Verpflichtung der Wasserversorgungen entschärfen soll.

Die Forschungsgruppe Stoffhaushalt der Abteilung Physiogeographie und Landschaftsökologie am Departement Geographie der Universität Basel befasst sich seit längerem mit hinsichtlich Stickstoffhaushalt relevanten Fragestellungen, insbesondere mit der Regulation von Nährstoff- und Stoffflüssen in der Landschaft des Schweizer Juras (*Spycher 1992; Spycher & Wüthrich 1993, Brunner 1998*). Mit landschaftsökologischen Felduntersuchungen wird nun nach den Gründen für die übermässige Nitratbelastung im Problemgebiet gesucht (*Plattner C. 1999, Plattner T. in Bearb.*). Ziel dieser Untersuchung ist ein Massnahmenkatalog, der eine gezielte Reduktion der Nitratinträge in die Karstquellen erwarten lässt. Eine befriedigende Lösung bedarf einer parzellenscharfen Information. Ausserdem müssen die Massnahmen an die spezifischen Gegebenheiten in diesem Gebiet angepasst werden, wozu regional differenzierte Ziele zu formulieren sind (vgl. hierzu auch *Braun et al. 1997, 341*)

Die Hauptursache für die Nitratanreicherung in Grund- und Quellwasserfassungen ist die intensive ackerbauliche Nutzung in deren Zuströmbereich (*Bundesamt für Landwirtschaft und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1998, 4; Balmer 1993, 958; Furrer & Stauffer 1986, 69; Bundesamt für Umwelt 1987, 41, Schweiger et al. 1989, 53*). Mitverantwortlich für die erhöhten Nitratwerte im Grundwasser ist ein schleichender aber folgenschwerer Wandel in der Bodennutzung, der sich in den zurückliegenden 30 Jahren vollzogen hat und sich seit 1960/65 vor allem in einer Abnahme des Dauergrünland- und Kunstwieseanteils (Klee gras, Luzerngras) und einer Zunahme der Maisfläche zeigt (*FiBL 1998, 2*). Durch den Umbruch von Dauergrünland können Stickstoffmengen von bis zu einigen 100 kg N/ha freigesetzt werden, was die Trinkwasserqualität nachfolgend über

Jahre gefährden kann. Im Zuge dieses Kulturlandschaftswandels wurde die einstige, meist standortgerechtere Nutzung durch ökonomisch gewinnbringendere und marktwirtschaftlich gefragtere Kulturen ersetzt. Das herrschende dynamische Gleichgewicht im Stickstoffhaushalt wurde dadurch massiv verändert.

Der Stickstoffkreislauf, ein System von Reglern, Speichern und Prozessen, wurde dahingehend verschoben, dass der erhöhte Stickstoffbedarf der neuen Nutzungsart im Rahmen der Ertragsmaximierung mit gezielten Bewirtschaftungsmethoden und einer Beschleunigung der Umsetzungsprozesse zwischen den verschiedenen Formen des Stickstoffs gedeckt werden konnte (*Fachkommission Nitratbekämpfung* 1996, 7). Als Folge davon wurde das Risiko einer erheblichen Auswaschung wasserlöslicher Stoffe erhöht. Dass der Düngung (Art, Menge, Zeitpunkt und Häufigkeit der Düngergabe) in diesem Wirkungsgefüge eine wichtige Rolle zufällt, ist unbestritten. Dennoch wird das vereinfachte Bild einer nur in der Düngung begründeten Nitratproblematik der wahren, in Abbildung 1 dargestellten, Komplexität der Sachverhalte nicht gerecht. Vermehrt wird die Meinung vertreten, dass v.a. die Freisetzung von Stickstoff aus der organischen Substanz als Regler für die Nitratauswaschung und dessen Eintrag in das Trinkwasser entscheidend sei (*Knappe & Russow* 1998 20; *Zerulla et al.* 1993, 283).

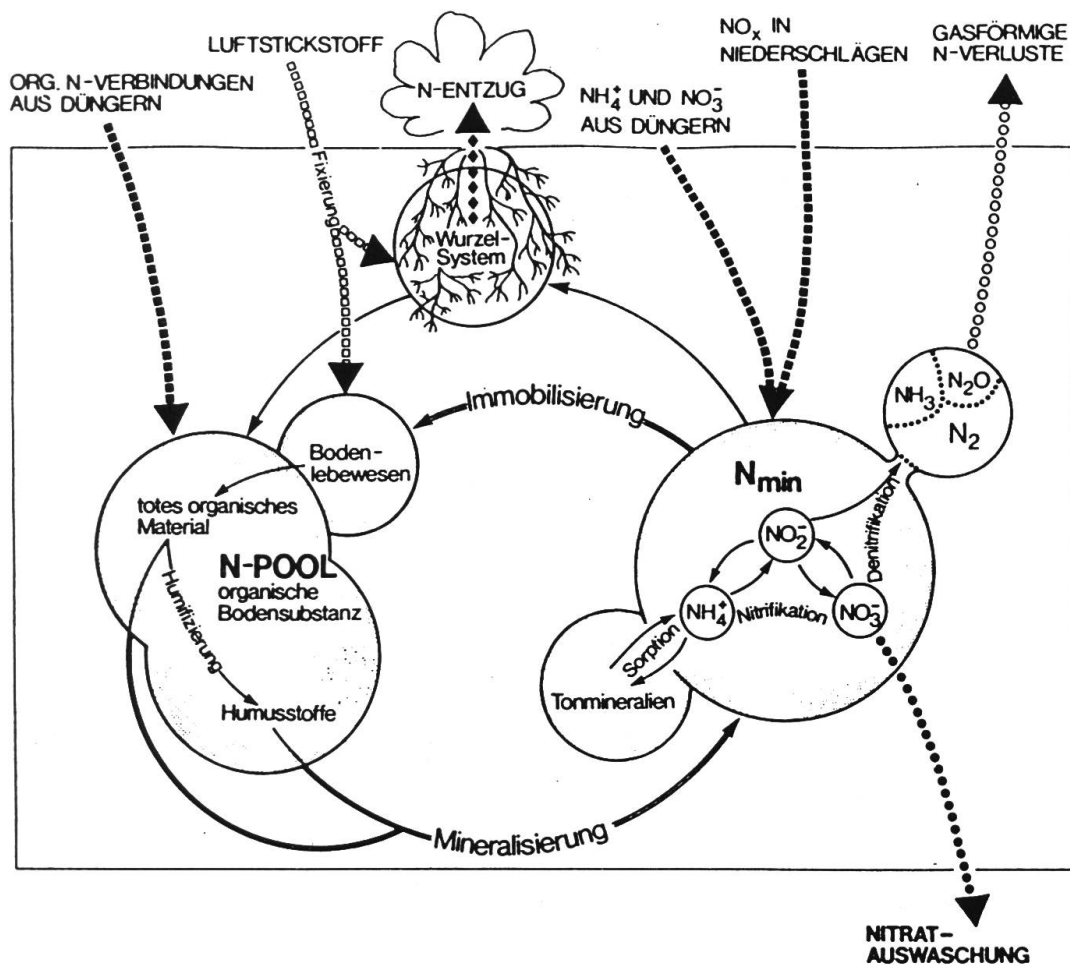


Abb. 1 Stickstoffkreislauf (Rohmann & Sontheimer 1985, 165).

Nitrat wird im Boden aus den grossen Reserven an organisch gebundenem Stickstoff dauernd durch Ammonifikation und anschliessender Nitrifikation gebildet, und zwar um so reichlicher, je fruchtbarer, humusreicher und biologisch aktiver der Boden ist (*Furrer & Stauffer* 1986, 470).

Die Verluste sind insbesondere dann massiv, wenn nach der Ernte im Boden noch grosse Vorräte an mineralisiertem Stickstoff vorhanden sind, und diese nicht mehr benötigten Nitratrestmengen mit einer zunehmenden Niederschlagshäufigkeit und folgender Sickerwasserbildung zusammenfallen, d.h. die Konstellation der Einflussfaktoren ungünstig ist (*Furrer & Stauffer* 1986, 460).

Umweltschonenden Ackerbau betreiben bedeutet deshalb, das äusserst labile Gleichgewicht zwischen ausreichender Stickstoffversorgung und Grundwassergefährdung zu halten.

Trotz fortschreitender Extensivierung der Landwirtschaft im Zuge der Umstellung auf integrierte Produktion hat sich die Belastungssituation im Trinkwasser des Gempenplateau in vielen Quellen – zumindest bis heute – nicht verändert.

In der Forschungsgruppe Stoffhaushalt des Geographischen Instituts werden dazu drei Hypothesen verfolgt:

- Beim Herbst-Winter-Übergang werden Ernterückstände bei immer noch günstigen Bedingungen (hohe Temperaturen, genügend Bodenfeuchte, Belüftung nach der Bodenbearbeitung, etc.) effizient abgebaut. Je nach Konstellation ist nach Niederschlägen, welche zu einer Sickerwasserbildung mit stark nitratangereichertem Bodenwasser führen, nach einer bestimmten Verzögerung mit einer erhöhten Nitratkonzentration im Quellwasser zu rechnen. Diese – aus humanmedizinischer Sicht heikle – herbstliche Konzentrationsspitze ist nur mit einer zeitlich sehr engen Beprobung aufzulösen und konnte bis anhin, mit viertel- bis halbjährlichen Routineuntersuchungen vom kantonalen Labor, nie erfasst werden (vgl. hierzu auch *Fachkommission Nitratbekämpfung* 1996, Anhang).
- Die Grösse des unterirdischen Karstwasserspeichers entscheidet einerseits über die zeitliche Verzögerung und die Dämpfung einer Konzentrationsspitze im Sickerwasser und andererseits über die Zeitdauer, bis sich eine verminderte Auswaschung aus dem Boden aufgrund von Massnahmen in einer deutlich verringerten Langzeitbelastung im Quellwasser niederschlägt.
- Je nach Ausmass der Störung des natürlichen Gleichgewichts im Stickstoffhaushalt dauert es sehr lange, bis der durch langjährige Stickstoffbilanzüberschüsse in der Düngung landwirtschaftlich genutzter Böden aufgebaute Stickstoff-Pool wieder ausgehagert ist und damit die Ursachen für die Belastung des Karstwassersystems behoben sind (vgl. hierzu *Strauss et al.* 1993, 89).

2 Untersuchungsgebiet und Methoden

Für die ersten Abklärungen im Hinblick auf eine Entschärfung der Nitratproblematik im Bereich des Gempenplateau wurde auf zwei Ebenen vorgegangen. In einem ersten Schritt wurde ein Überblick über die Nitratbelastung verschiedener Quellen rund um das Gempenplateau geschaffen. Durch die Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Nitratganglinie einer stark belasteten Quelle wurden in einem zweiten Schritt die kritischen Zeitpunkte der Nitratkonzentration im Quellwasser und damit der Auswaschung im Einzugsgebiet aufgelöst.

Anhand der Gewässerschutzkarte des Kantons Solothurn, des Quellskatasters des Kantons Basel-Landschaft und mehrerer geologischer Studien zu Quellen im Untersuchungsgebiet wurden die Daten zu den bedeutendsten gefassten bzw. genutzten und zu einzelnen ungenutzten Quellen zusammengetragen. Diesen Quellen wurden die bestehenden Trinkwasserqualitätsanalysen, insbesondere die gemessenen Nitratkonzentrationen zugeordnet.

Nach einer groben Abschätzung der jährlichen Nitratfracht (nach *Bosshart* 1985, 35), der hydrologischen Bilanz, der daraus abgeleiteten flächenbezogenen Nitratauswaschung und verschiedener weiterer Kriterien, wurde für die weiteren Arbeiten die 'südliche' Schomelquelle ausgewählt.

2.1 Der neuralgische Punkt der Nitratbelastung – die 'südliche' Schomelquelle

Die Gemeinde Nuglar - St. Pantaleon, deren Bevölkerung in den letzten Jahren stetigen Zuwachs erfahren hat, ist mangels Alternativen auf die Nutzung ihrer Karstquellen angewiesen. Zumal seit einigen Jahren das Wasser der ergiebigen Oberimattquelle aufgrund zu hoher Atrazinwerte für die Wasserversorgung nicht mehr verwendet werden darf, wird die Erhaltung bzw. Verbesserung der Wasserqualität der 'südlichen' Schomelquelle als prioritäres Ziel betrachtet.

Die Schomelquelle besteht aus zwei Fassungen, wobei die nördlich gelegene Fassung seit langem fälschlicherweise als 'südliche' Schomelquelle bezeichnet wird. Diese Brunnstube befindet sich auf einer Höhe von 655 m NN, an der Basis der Malmkalke (Koordinaten 618035 / 257325, vgl. Abb. 2). Dort stauen die Schichten des Oxfordien das Sickerwasser in die Klüfte und Hohlräume des etwa 60 m mächtigen Malms – dem Karstwasserleiter – zurück. Gespeist wird das Karstwassersystem vom Niederschlagswasser, das nach dem Durchgang durch die im Einzugsgebiet überwiegenden Rendzinen als Sickerwasser in das Gestein eingetreten ist. Die jährliche Schüttung beträgt im Mittel der Jahre 1995 bis 1997 etwa 65 000 m³ Wasser, was etwa 70 % der gesamten Schüttungsmenge der Schomelquellen entspricht. Die jährlichen Schüttungsmaxima spiegeln das Witterungs-geschehen bzw. die Phasen der Sickerwasserbildung wider und treten deshalb nicht immer zum selben Zeitpunkt auf. Das Quellwasser ist selten getrübt, was auf ein mehrheitlich konstantes Fliessverhalten schliessen lässt.

2.2 Landnutzung im Bereich der Schomelquelle

Die landwirtschaftliche Nutzung im Zuströmbereich der Schomelquelle zählt gemäss der Gliederung nach *Gallusser & Danielli* (1982, 146) zum Bodennutzungssystem Getreide-Futterbau. Der eingangs erwähnte Nutzungs- und Bewirtschaftungswandel zeigt sich im Bereich des Gempenplateau seit 1960/65 v.a. in einer Abnahme der kombinierten Nutzung mit Hochstammobstbäumen und Wies- und Weideland, den sogenannten Streuobstwiesen (vgl. Obstbaumzählungen des Bundesamtes für Statistik 1961-1991). Die Zahl der Obstbäume sank hierbei in der Gemeinde Gempen von 8441 im Jahre 1951 auf 5250 im Jahr 1991, obwohl Flächen mit Hochstamm-/Feldobstbäumen zu den ökologischen Ausgleichsflächen gezählt würden (vgl. hierzu *Kanton Solothurn* 1996, 15). Anstelle dieser traditionellen Nutzung konnte in einer Studie über die Tendenzen in der landwirtschaftlichen Nutzflächenentwicklung für den Bezirk Dorneck zwischen 1960 und 1980 eine starke Zunahme des Getreideanbaus und eine Zunahme der Maiskultur um 258 % registriert werden (*Gallusser & Danielli* 1982, 154). Der Tierbesatz ist mit einer Dünger-Grossvieheinheit pro Hektare (inkl. Naturwiese) niedrig (*Schudel* 1994, 12). Ende letzten Jahres wirtschafteten bereits mehr als 80 % der Landwirte nach den Richtlinien der Integrierten Produktion.

2.3 Nitratanalytik

Um allfällige kurzzeitige Belastungsspitzen nach einem Niederschlagsereignis beim Herbst-Winter-Übergang und die Veränderungen der Nitratkonzentration erfassen zu können, wurde die Quelle ab Mitte September mit einem automatischen Probenahmegerät (ISCO 6700) in der Fassung und einem zeitproportionalen, hochaufgelösten Rhythmus von sechs Stunden beprobt. Der aus 24 Einzelflaschen bestehende Flaschensatz erforderte einen Wartungs- und Flaschenwechselrhythmus von sechs Tagen. Um Veränderungen der Nitratkonzentration in den Wasserproben durch mikrobielle Aktivität in diesem Zeitraum auf ein Minimum reduzieren zu können, wurde zur Probenkonservierung den Flaschen vor der Probenahme Schwefelsäure zugegeben (pH 3). Nach dem Flaschenwechsel wurden die Proben im Labor umgehend analysiert oder bei 4°C bis zur Analyse aufbewahrt. Das Nitrat wurde mit einer ionenselektiven Elektrode (Typ Metrohm, Ionenselektive Elektrode, Nr. 6.0504.120) bestimmt.

Zur Berechnung der Nitratfracht wurde zudem die Quellschüttung aufgezeichnet, die Leitfähigkeit gemessen, Kartierungen im Feld vorgenommen und die wichtigsten meteorologischen Parameter von einer REKLIP-Station der Abteilung Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung des Departements Geographie ausgewertet (Datenausfall ab dem 24.11.1998). Mit der hydrologischen Bilanz und der jährlichen Gesamtfracht wurde eine grobe Abschätzung der flächenmässig gemittelten Nitrat Auswaschung im Einzugsgebiet möglich.

3 Resultate

3.1 Überblick über die Nitratbelastung

Abbildung 2 veranschaulicht die Nitratbelastung der Quellen rund um das Gempens-plateau. Über die ungenannten Quellen liegen – falls überhaupt – nur wenige Qualitätsanalysen vor.

Das differenzierte Bild der Nitratbelastung lässt sich grob in drei Klassen einteilen. Augenfällig ist die Klasse der Quellen mit hohen mittleren Nitratkonzentrationen: die Schwynbachquelle (Gemeinde Dornach) im Westen, die Oberimatt- und die 'südliche' Schomelquelle (beide Gemeinden Nuglar - St. Pantaleon) am östlichen Abhang des Plateau. Deren Belastung liegt ganzjährig mit mehr oder weniger deutlichen jahreszeitlichen Veränderungen nahe am Toleranzwert der Trinkwasserverordnung. Eine weitere Klasse von Quellen weist einen ausgeprägten

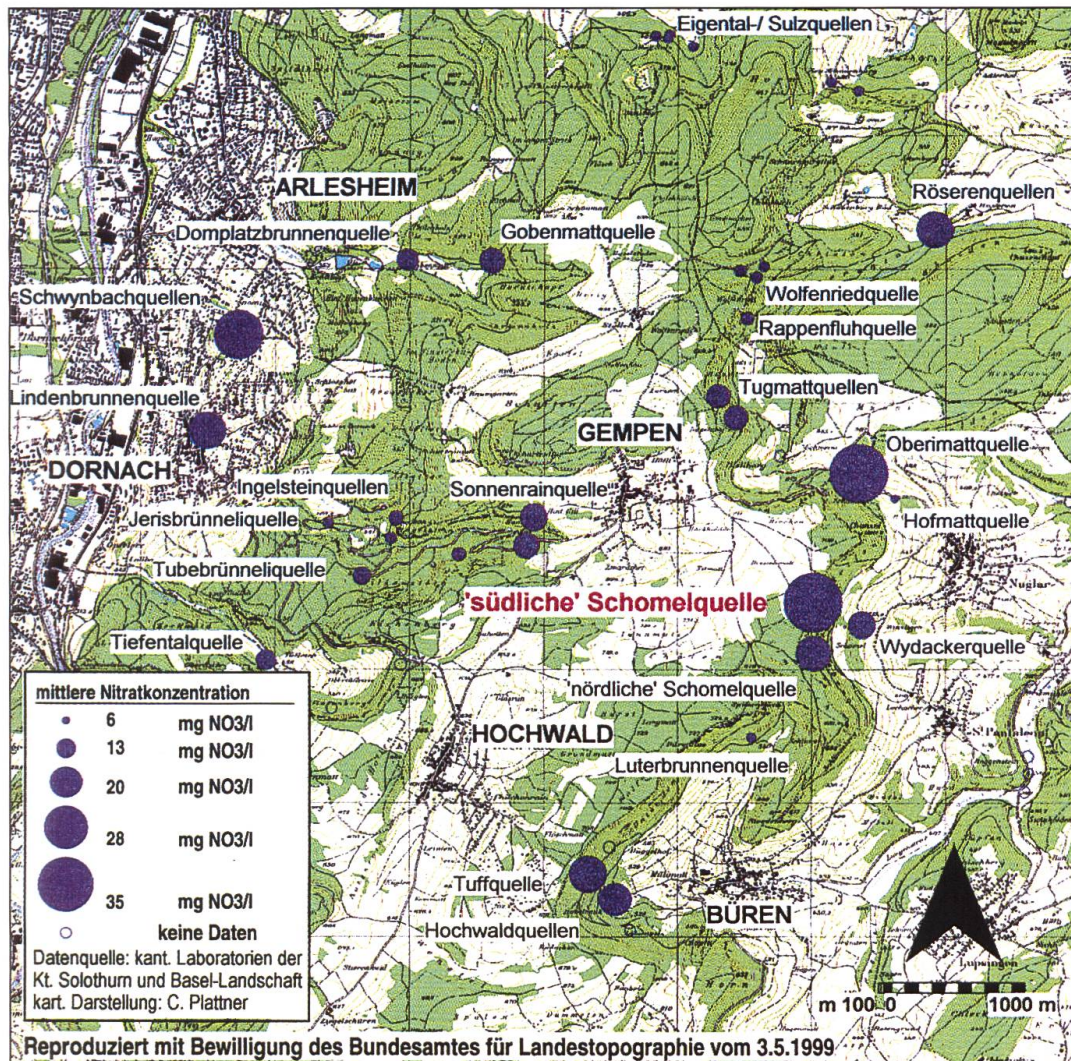


Abb. 2 Überblick über die Nitratbelastung. Dargestellt sind die aus bestehenden Daten (viertel- bis halbjährliche Einzelanalysen) der vergangenen Jahre berechneten Mittelwerte der Nitratkonzentrationen.

Jahresgang der Belastung und mittlere Nitratkonzentrationen im Bereich des Qualitätsziels der Trinkwasserverordnung von 25 mg NO₃⁻/l auf (Tuff-, Hochwald-, Gobenmatt-, Tugmattquellen, u.s.w.). Die dritte Klasse umfasst Quellen, welche ganzjährig Wasser mit tiefer Konzentration im Bereich von etwa 10 mg NO₃⁻/l führen (Wolfenried-, Hofmatt-, Ingelstein-, Jerisbrunnen-, Tubebrünneli-, Eigent- / Sulz und Luterbrunnenquelle, etc.).

3.2 Die 'südliche' Schomelquelle

Wird mit den Quellschüttungssummen und den extrapolierten monatlichen Nitratwerten als grobe Abschätzung die jährliche Nitratfracht für die 'südliche' Schomelquelle berechnet, ergeben sich für die Jahre 1995 bis 1997 ca. 3600 kg, 3300 kg bzw. 2500 kg NO₃⁻/a. Die Nitratfracht hängt stark von der Sickerwassermenge und damit in hohem Masse von der hydrologischen Situation eines bestimmten Jahres ab, womit die enge Kopplung von Stickstoff- und Wasserkreislauf untermauert ist.

Im Jahr 1998 fiel bei der REKLIP-Station Gempen (Koordinaten 617680 / 257880) eine Niederschlagsmenge von 1230 mm. Mit der von *Haude* (1955) entwickelten Formel lässt sich für das selbe Jahr eine potentielle Evapotranspiration von etwa 460 mm/a, mit jener von *Priestley-Taylor* (1972) hingegen gar von 670 mm/a berechnen. Oberflächlicher Abfluss lässt sich auch bei Extremereignissen auf dem Gempenplateau nicht beobachten. Unter der Annahme, dass sich der Speicherterm im Laufe eines Jahres nicht markant ändert, ergibt sich für das Restglied der hydrologischen Bilanz eine jährliche Grundwasserneubildung von 770 mm/a für die erste und 560 mm/a für die zweite Variante. Für die mittlere Quellschüttung von 65 000 m³ wäre mit diesen Angaben ein Einzugsgebiet von mindestens 8 ha bzw. knapp 12 ha vonnöten. Mit der deutlich über dem 25-jährigen Mittel von 1029 mm/a (SMA-Station Gempen) liegenden Niederschlagsmenge wird in diesen Überlegungen die Grundwasserneubildungsrate wohl über- und die daraus abgeleitete Einzugsgebietsfläche deutlich unterschätzt.

Wird die mittlere Nitratfracht der 'südlichen' Schomelquelle von etwa 3100 kg NO₃⁻/a auf eine Einzugsgebietsgrösse von 12 ha zurückgerechnet, ergäbe dies eine über das ganze Einzugsgebiet und damit über die verschiedenen Nutzungen gemittelte Nitratauswaschung von etwa 260 kg NO₃⁻/ha * a bzw. von knapp 60 kg NO₃⁻-N/ha * a.

Erwähnenswert ist an dieser Stelle der substantielle mittlere Stickstoffeintrag mit Niederschlägen an der REKLIP-Station Gempen in der Breitenmatt in der Höhe von 10.8 kg N/ha/a (*Reber* 1995, 49).

Die hochaufgelöste Nitratkonzentrationsmessreihe zeigt nach anfänglich relativ konstanten Werten bis zum 15.10.98 um etwa 50 mg NO₃⁻/l eine erste Abnahme auf ca. 46 mg NO₃⁻/l bis zum 26.10.1998 (s. Abb. 3). Dann sinken die Werte bis zum Ende der Beprobung auf durchschnittlich etwa 42 ± 1 mg NO₃⁻/l. Diesem mittleren Verlauf der Nitratkurve sind drei deutliche Phasen mit Konzentrationsverminderungen – wahrscheinlich Verdünnungseffekte – überlagert. Die erste Phase beginnt am 9.11., erreicht am 11.11. mit 36.4 mg NO₃⁻/l das Minimum und dauert insgesamt eine Woche. Die zweite und die dritte Phase beginnen am 15.11. bzw. etwa am 11.12.1998. Diese sind wegen zwei Datenlücken weniger genau

erfasst und unterscheiden sich von der ersten Phase durch einen langsameren Wiederanstieg der Konzentration. Eine deutliche Nitratkonzentrationsspitze im Verlauf des Herbst-Winter-Übergangs konnte nicht festgestellt werden. Dennoch sinken die Nitratkonzentrationen trotz häufiger, mengenmässig bedeutender Niederschläge und nicht optimaler Mineralisationsbedingungen nie unter 35 mg NO₃⁻/l ab.

Die Leitfähigkeitsmessreihe untermauert mit einem zur Nitratganglinie nahezu identischen Verlauf die Plausibilität der ermittelten Nitratwerte. Die Leitfähigkeitsabnahme und damit die Verminderung der gesamten Ionenstärke im Zeitraum vom 9.11.1998 stützt die These von niederschlagsbedingten Verdünnungseffekten im Karstwasser, welche die beobachteten Schwankungen der darin enthaltenen Nitratkonzentration nach sich ziehen (vgl. hierzu Kapitel 4). Interessant ist hierbei, dass bei diesem Verdünnungseffekt die Leitfähigkeit nur um ca. 8 %, die Nitratkonzentration hingegen um 18 % absinkt. Die Zusammensetzung des Sickerwassers scheint sich während den für den Verdünnungseffekt verantwortlichen Niederschlägen deutlich zu ändern.

Die Bodentemperatur als wichtiger Steuerfaktor für die Stickstoffmineralisierung sinkt in 5 cm Tiefe von anfänglichen 15.8°C mit mehr oder minder ausgeprägten Tagesgängen bis zum Datenausfall vom 24.11.1998 auf 1.2°C. Dieser Abkühlungstendenz ist nur eine deutliche, etwa fünf Tage dauernde Erwärmungsperiode ab dem 12.10. überlagert.

Im Zeitraum von Anfang September bis Ende Dezember sind im Untersuchungsgebiet total 460 mm Niederschlag gefallen. Es ist indes nicht primär die Menge, sondern die Häufigkeit der Niederschläge, der hohe mittlere Bewölkungsgrad und die relativ geringe Sonnenscheindauer, welche die Witterung im Herbst 1998 von den mittleren Verhältnissen in dieser Jahreszeit abhebt.

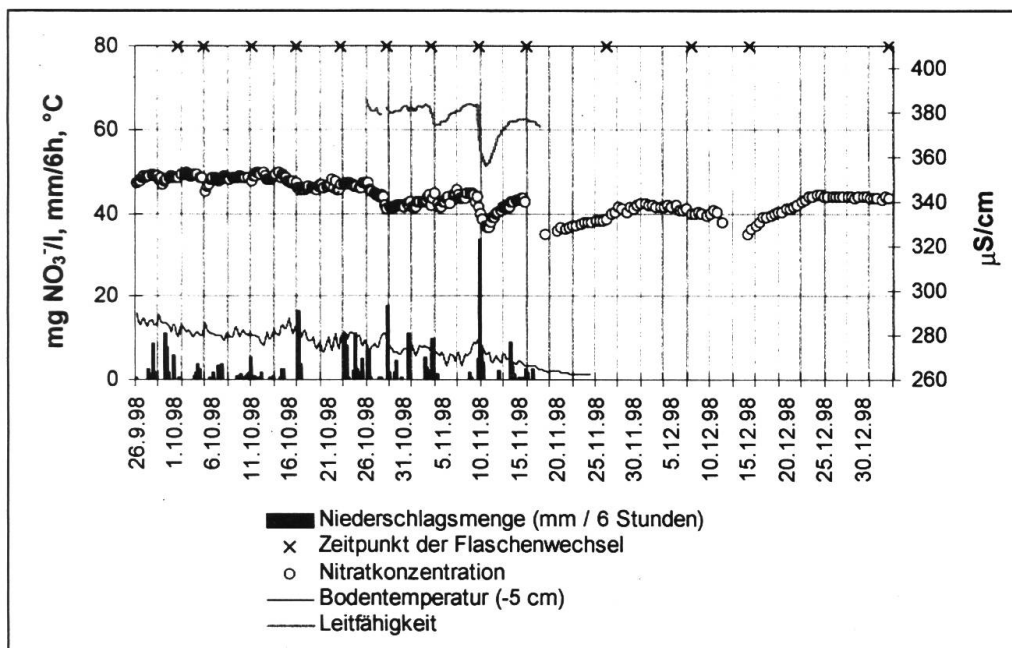


Abb. 3 Niederschlagssummen der letzten sechs Stunden und Bodentemperaturen (REKLIP-Station 'Breitenmatt', Gempen), Zeitpunkte der Flaschenwechsel, Nitratkonzentrationen und Leitfähigkeit des Quellwassers der 'südlichen' Schmelquelle.

Die Quellschüttung steigt aufgrund der regnerischen Witterung im ganzen Monat Oktober von knapp 100 l/min Ende September bis am 30.10.1998 auf 230 l/min an, verbleibt bis zum 6.11. auf diesem Wert und erreicht nach einem zwischenzeitlichen Minimum von 170 l/min am 13.11. das absolute Maximum von 270 l/min (s. Abb. 4). Bis zum 8.12. sinkt die Schüttung wieder auf unter 100 l/min. Die Schneeschmelze im Zeitraum der ersten Dezemberwoche lässt die Schüttung erneut auf ein lokales Maximum von über 250 l/min am 15.12. ansteigen. Bis zum Ende der Feldmesskampagne fällt die Schüttung stetig auf etwa 100 l/min ab. Das Verhältnis von maximaler zu minimaler Schüttung lag somit im betrachteten Zeitraum bei rund 3.

Zur Berechnung der Nitratfracht im Quellwasser wurden die entsprechenden Quellschüttungs- und Nitratkonzentrationswerte miteinander multipliziert und deren Verlauf ebenfalls in der Abbildung dargestellt. Weil die Nitratkonzentrationen maximal um knapp 20 %, die Quellschüttung hingegen um bis zu beinahe 300 % variieren, ist letztere für den Verlauf der Nitratfracht bestimmend. Die Höhe der Nitratfracht hängt folglich im wesentlichen von der Schüttung und nicht von Konzentrationsschwankungen im Quellwasser ab. Diese Erkenntnis wurde bereits in früheren Studien gewonnen (Bosshart 1985, 75; Bundesamt für Umweltschutz 1987, 36), obgleich sich daraus keine Rückschlüsse auf die – landschaftsökologisch aussagekräftigere – Nitratwaschung vom Boden in das Gestein im selben Zeitraum ziehen lassen.

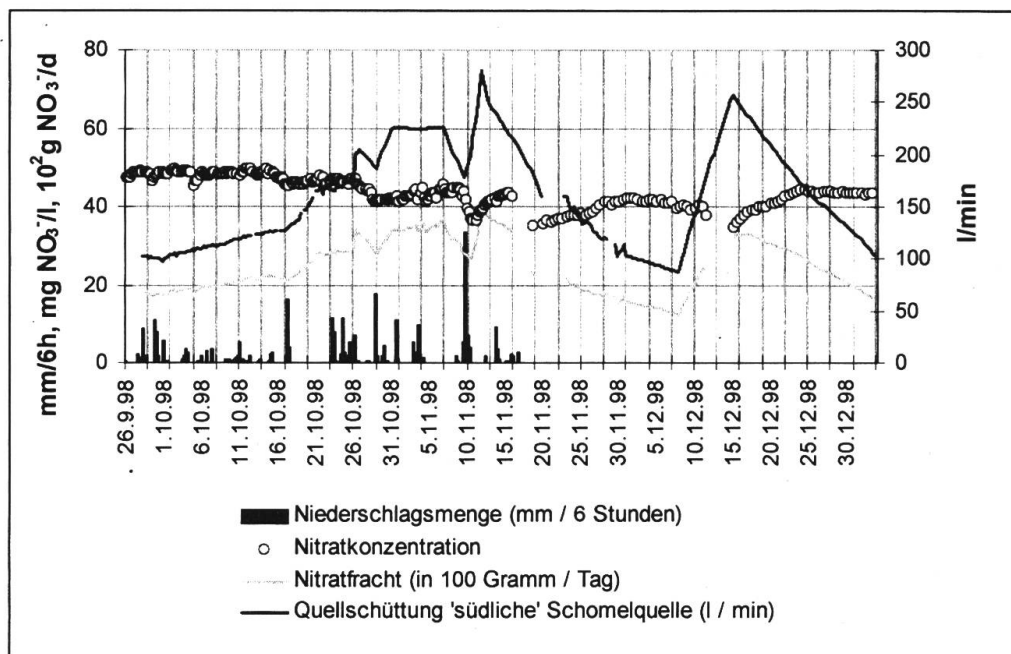


Abb. 4 Niederschlagssummen der letzten sechs Stunden (REKLIP-Station 'Breitenmatt', Gempfen), Nitratkonzentrationen, Nitratfracht und Quellschüttung der 'südlichen' Schomelquelle.

4 Diskussion

Der Verdacht auf kurzfristige aber deutliche Nitratkonzentrationsspitzen im Quellwasser nach bedeutenden Niederschlägen beim Herbst-Winter-Übergang konnte für die Schomelquelle nicht erhärtet werden.

Der überraschend konstante Austrag an Nitrat kann folgende Gründe haben:

- die langandauernde regnerische Witterung mit ungünstigen Bedingungen hinsichtlich intensiver Mineralisation,
- die bei derart hoher Niederschlagshäufigkeit geringere mittlere Aufenthaltszeit des Sickerwassers im Boden und damit die – einer übermässigen Nitratanreicherung widersprechende – erhöhte Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (vgl. hierzu auch *FiBL* 1998, 24),
- die Grösse des Karstwasserspeichers, der Konzentrationsschwankungen im Sickerwasser dämpft und verzögert. Allfällige Konzentrationsspitzen im Bodenwasser (mengenmässig im Vergleich zum Karstwasserspeicher unbedeutend) werden durch Vermischung mit dem Karstwasser, das sich bereits im Gestein befindet und relativ weniger belastet ist, auf dem Weg zur Quelle gekappt.

Bei der Interpretation der Nitratganglinie und Zuordnung der beobachteten Konzentrationsschwankungen zu den erfassten Daten entstand schon früh der Eindruck, dass die Konzentrationsänderungen (v.a. -abnahmen) im Quellwasser viel mehr von Niederschlagsereignissen bzw. von Sickerwassermengen als von markanten Änderungen der Mineralisierungsrate ausgelöst würden. Insbesondere die beobachteten Verdünnungseffekte aufgrund des höheren Anteils von nur kurz im Boden verbleibenden Niederschlagswasser unterstützten diese Hypothese und vereinfachten die Zuordnung der ermittelten Nitratkonzentrationen zu vorangegangenen Niederschlägen bzw. zur Schneeschmelze von Anfang Dezember. Die Vermutung liegt nahe, dass zwischen Sickerwasserereignissen und nachfolgenden Konzentrationsänderungen in der 'südlichen' Schomelquelle – gesättigte Bodenwasserverhältnisse vorausgesetzt – i.d.R. eine Phasenverschiebung von etwa sieben bis acht Tagen vorliegt (vgl. hierzu Abb. 3). Beispielsweise ist der angesprochene Verdünnungseffekt vom 10.11.1998 nicht durch die heftigen Niederschläge vom 10.11. selbst, sondern von den Niederschlägen am 3./4.11. verursacht worden. Eine Bestätigung erfuhr diese Vermutung in einem parallel zu diesen Untersuchungen durchgeführten Markierversuch.

Vergleichbare Zusammenhänge zwischen Niederschlägen und Konzentrationsänderungen wurden bereits in einer Studie über eine Hofquelle und Drainagerohre im Kanton Luzern erkannt, obwohl dort mit zunehmender Schüttung in der einen Drainage eine Abnahme (Verdünnungseffekt), in der anderen Drainage hingegen eine Zunahme der Konzentration (vergleichbar mit der hier vermuteten Nitratbelastungsspitze) verbunden war (*Bundesamt für Umweltschutz* 1987, 32 und 84). In welcher Richtung die Konzentrationsänderung erfolgt, scheint hauptsächlich davon abhängig zu sein, wie gross der Pool an verfügbarem Nitrat im Boden zum Ereigniszeitpunkt ist (*Strauss et al.* 1993, 90).

Inwieweit der Verlauf der Nitratkonzentration in der 'südlichen' Schomelquelle kausal mit den herrschenden Bodentemperaturen, dem Witterungsverlauf, den Gründigkeiten der Böden und vor allem der Landnutzung im Einzugsgebiet verbunden ist, entbehrt einer umfassenden Antwort und bedarf genauerer Abklärungen (vgl. *Plattner T.* in Bearb.).

Trockenperioden scheinen aufgrund von Erkenntnissen aus anderen Studien nicht zwingend eine Veränderung der Nitratkonzentration in den Quellen nach sich zu ziehen, aber sich indirekt über die Abnahme der Schüttung deutlich in einer Abnahme der Nitratfracht niederschlagen (*Bundesamt für Umweltschutz* 1987, 36). Diese Aussage stützt die Erkenntnisse aus Abbildung 4 mit einer deutlich sickerwassermengenbestimmten Nitratfrachtkurve. Anstelle der vermuteten Konzentrationsspitze wurden beim Herbst-Winter-Übergang 1998 zwei deutliche Nitratfrachtspitzen – entsprechend grosser Auswaschungsverluste aus dem Einzugsgebiet – festgestellt (vgl. hierzu auch *Bosshart* 1985, 19).

Damit ist die Frage indes noch nicht geklärt, weshalb es trotz sachgerechter Bodenbewirtschaftung, unter Berücksichtigung des heutigen technischen Wissensstandes im Rahmen der integrierten Produktion (und des Biologischen Landbaus), bis anhin nicht gelungen ist, die Nitrat auswaschung in hinreichendem Masse zu verringern und die mittlere Nitratkonzentration in der Schomelquelle zu senken.

Als Regler für die Nitrat auswaschung scheint die Freisetzung von Stickstoff aus dem organischen Material entscheidend zu sein. Es wurde mehrfach festgestellt, dass die Menge applizierten Düngerstickstoffs unmittelbar nur einen unbedeutenden Beitrag zur Nitrat auswaschung leistet (*Meissner et al.* 1993), wohingegen die Hauptmenge des mit dem Perkolat ausgetragenen Nitrats der Mineralisierung der organischen Bodensubstanz entstammt (*Knappe & Russow* 1998, 20).

In dieser Hinsicht ist dem Bewirtschaftungswandel der vergangenen Jahre und der nahen Zukunft eine grosse Beachtung zu schenken. Mit der Umstellung auf Integrierte Produktion und Bio-Landbau bzw. mit der Agrarreform 2002 werden zukünftig weitere Flächen einer naturnahen Nutzung zugeführt. Ob sich allerdings dadurch die Nitratbelastung in Problemgebieten wie dem Gempenplateau kurzfristig ändert, muss bezweifelt werden.

Das *Forschungsinstitut für biologischen Landbau* (1998, 79) kommt zum Schluss, dass die Neuanlage von ökologischen Ausgleichselementen zu einer Entlastung beitragen kann, wenn vorausgehend eine *Nährstoffaufshagerung* erfolgt sei (vgl. hierzu auch *Knappe et al.* 1997, 108). Wird der frei werdende Stickstoff nicht bewusst mit Abernten des Aufwuchses abgeführt, müsse mindestens in den ersten 10 bis 20 Jahren in der *Etablierungsphase* nach der Stilllegung mit erhöhten Stickstoffausträgen gerechnet werden. Daher sei zu gewährleisten, dass die ökologischen Ausgleichsflächen langfristig bzw. dauerhaft aus der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung herausgenommen werden (*Prasuhn et al.* 1997, 89).

5 Fazit

Die Nitratauswaschung im Bereich des Gempenplateau variiert aufgrund der Nutzung und der naturräumlichen Gegebenheiten von Standort zu Standort beträchtlich. Auch wenn die Ausdehnung der Einzugsgebiete in den meisten Fällen eines hydrogeologischen Befunds entbehren, bestätigt der gewonnene Überblick über die Nitratbelastung im Karstgebiet des Gempenplateau den bedeutenden Einfluss der Landwirtschaft (s. Abb. 2).

Am folgenschwersten ist der Nutzungskonflikt zwischen der landwirtschaftlichen Nutzung und der Trinkwassergewinnung im Einzugsgebiet der 'südlichen' Schomelquelle. Mit Hilfe der jährlichen Nitratfracht ergeben sich über die Einzugsgebietsfläche gemittelte Auswaschungsverluste im Bereich von $260 \text{ kg NO}_3^-/\text{ha} \cdot \text{a}$.

Die Nitratkonzentrationen im Trinkwasser dieser Quelle liegen beinahe ganzjährig im Bereich des Toleranzwertes der Trinkwasserverordnung von $40 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$. Im Beobachtungszeitraum zwischen Ende September 1998 und Anfang Januar 1999 bewegten sich die Werte zwischen 35 und $50 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$. Die deutlichsten Schwankungen wurden durch Niederschlags- und Schneeschmelzereignisse ausgelöst und sind als kurzfristige Verdünnungseffekte zu interpretieren. Hierbei sanken die Konzentrationen innerhalb weniger Stunden um bis zu 18% ab.

In Anbetracht dieser bedeutenden Gradienten ist die bestehende Vorstellung eines unterirdischen grossen Sees als Karstwasserspeicher zu revidieren. Plausibler erscheint die Vermutung eines Systems von Klüften und Hohlräumen im Gestein, in denen das Wasser unterschiedlich schnell fliesst. Nach bedeutenden Niederschlägen verschiebt sich das Verhältnis der Beiträge zur Quellschüttung zu den schnelleren Fließwegen hin. Die deutlich verminderte Nitratkonzentration im Quellwasser dürfte mit dieser Vorstellung nicht auf eine gleichzeitige Verdünnung des ganzen Karstwasservolumens, sondern vielmehr auf den hohen Anteil schneller Fließwege mit geringer Konzentration zurückzuführen sein. Die Berechnung der Grösse des gesamten Karstwasserspeichers gestaltet sich aufgrund der vorliegenden Struktur des Karstwasserleiters entsprechend schwierig.

Unklar bleibt weiterhin, weshalb besonders im Einzugsgebiet der Schomelquelle das natürliche Gleichgewicht im Stickstoffhaushalt so gestört ist, dass die Nitratauswaschung und die Konzentrationen in Sicker- bzw. Quellwasser beinahe konstant auf hohem Niveau verbleiben.

In einem nächsten Schritt wird den Standortverhältnissen genauere Beachtung geschenkt. Die standörtlichen naturräumlichen Gegebenheiten müssen hinsichtlich der Nitratauswaschungsgefährdung beurteilt werden. Die Resultate dieser Untersuchungen könnten den Landwirten bei der Fruchtfolgeplanung in Form einer parzellenscharfen Nitratauswaschungsrisikokarte zugänglich gemacht werden.

Literatur

- Balmer W. 1993. Nitratbelastung des Grundwassers im Urtenental. *Gas – Wasser – Abwasser* 12: 958-970.
- Bosshart U. 1985. *Einfluss der Stickstoffdüngung und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise auf die Nitratauswaschung ins Grundwasser (am Beispiel Naturlabor Buechberg SH)*. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie 32, 1-107.
- Braun M. & Prasuhn V. 1997. Massnahmen, um die Gewässerbelastung zu vermindern. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) – Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) (Hg.), Liebefeld-Bern. *Agrarforschung* 4(8): 339-342.
- Brunner Th. 1998. *Auswirkungen biologischer und konventioneller Bewirtschaftung auf die Netto-Stickstoffmineralisierung und auf die C- und N-Gehalte organischer Fraktionen in einem Lössboden*. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Basel, 1-93.
- Bundesamt für Umweltschutz 1987. *Nitrat-Untersuchung bei einer Hofquelle (Nitrat-Naturlabor)*. Schriftenreihe Umweltschutz 78, Bern, 1-107.
- Bundesamt für Landwirtschaft & Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1998. *Konzept zur Verminderung der Nitratbelastungen aus der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung*. Bern, 1-22.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1997. *Verminderung des Nährstoffeintrags in die Gewässer durch Massnahmen in der Landwirtschaft*. Schriftenreihe Umweltschutz 293, Gewässerschutz, Bern, 1-101.
- Fachkommission Nitratbekämpfung 1996. *Programm zur Ursachenbekämpfung der Nitratauswaschung im Kanton Bern 1989-1995*. Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Volkswirtschaftsdirektion, Gesundheits- und Fürsorgedirektion des Kantons Bern (Hg.), 1-48.
- Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) 1998. *Erarbeitung von Massnahmen zur Reduktion der Nitratauswaschung ins Grundwasser durch Anpassungsmassnahmen in der Landwirtschaft im Klettgau*. Vorstudie 1998 Teil 1: Pflanzenbau. Frick, 1-113.
- Furrer O. & Stauffer W. 1986. Stickstoff in der Landwirtschaft. *Gas – Wasser – Abwasser* 7: 460-472.
- Gallusser W. & Danielli G. 1982. Die landwirtschaftliche Bodennutzung der Regio und ihre aktuelle Veränderung 1960-80. *Regio Basiliensis* 23(1/2): 144-157.
- Haude W. 1955. *Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise*. Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes 11, 1-24.
- Knappe S. , Keese U. & Kalbitz K. 1997. Lysimeteruntersuchungen zur Wirkung von Flächenstilllegungsmassnahmen auf den Stickstoffaustrag und den Nitratgehalt von Sickerwasser von vier Bodenformen. In: *7. Gumpensteiner Lysimetertagung 1997*, BAL Gumpenstein, 105-109.

- Knappe S. & Russow R. 1998. Multitracer-Untersuchungen zur Bestimmung der Sickerwasser- und Anionenbewegung in monolithischen Lysimetern mit unterschiedlichen Bodenformen. *Bulletin der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz* 22: 17-24.
- Meissner R., Seeger J., Rupp H. & Schonert P. 1995. Lysimeterversuchsergebnisse über die Beeinflussung des Wasser- und Stoffhaushaltes durch Flächenstilllegungs- und Extensivierungsmassnahmen. In: 5. *Gumpensteiner Lysimetertagung 1995*, BAL Gumpenstein, 167-171.
- Plattner C. 1999. *Nitratproblematik im Gebiet des Gempenplateau*. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Basel, 1-101.
- Plattner T. (in Bearb.). *Nitrat im Bodenwasser der Böden im Einzugsgebiet der Schomelquelle*. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Basel.
- Prasuhn V., Braun M. & Kopše Rolli D. 1997. *Massnahmen zur Verminderung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft in die Gewässer*. Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), Liebefeld-Bern; Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) im Auftrage des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern (Hg.), 1-216.
- Priestley C.H.B. & Taylor R.J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameter. *Monthly Weather Review* 100(1): 81-92.
- Reber S.A. 1995. *Niederschlagschemie im REKLIP-Teilraum südlicher Oberrhein*. Stratus 2, Geographisches Institut der Universität Basel, 1-86.
- Rohmann U. & Sontheimer H. 1985. *Nitrat im Grundwasser. Ursachen, Bedeutung, Lösungswege*. DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe, 1-468.
- Schudel P. 1994. *Pestizide im Grundwasser von Büren, Hochwald und Nuglar - St. Pantaleon*. Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn, Amt für Umweltschutz (Hg.), Bericht 10, 1-47.
- Spycher B. & Wüthrich C. 1993. Über den Einfluss von Untersaaten im Maisanbau auf die Stickstoffmineralisation und die Bodenatmung. *Bulletin der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz* 17: 31-36.
- Spycher B. 1992. *Inkubationsversuche zur Stickstoffmineralisation im Boden, in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, der Feuchte, der Temperatur und der Probenlagerung*. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Basel, 1-79.
- Strauss P. & Blum W.E.H. 1993. Stickstoffaustrag von drei landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten im Waldviertel, Niederösterreich. *Bulletin der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz* 17: 89-92.
- Zerulla W., Isermann K. & Heynes G. 1993. Einfluss langjährig unterschiedlicher N-Düngung auf Ertrag und N-Verlagerung im Bodenprofil verschiedener Ackerböden. *Agrobiological Research* 46(4): 277-285.

