

Kapitel 1

Forschung zu Quellökosystemen an der Universität Bayreuth - eine Einführung

Carl Beierkuhnlein & Thomas Gollan

Quellen sind für den aquatischen Ökologen natürliche Laboratorien mit konstanter Temperatur. Wegen ihrer relativen Konstanz der chemischen Zusammensetzung, Wasserführung und Temperatur, im Vergleich zu Seen, Flüssen, Meer und terrestrischen Gemeinschaften, sind Quellen als Untersuchungsobjekte in einer Weise wichtig, die nicht im Verhältnis zu ihrer Größe und Zahl steht.

ODUM (1983), Lehrbuch der Ökologie

1. Eigenschaften silikatischer Waldquellen

Quellen sind unter verschiedenen Aspekten besondere Lebensräume. Sie stellen einen Übergang, eine Schnittstelle, zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser und damit zwischen unterirdischen und oberirdischen Kompartimenten der Hydrosphäre dar. Quellen müssen daher als eigenständiger Gewässertyp betrachtet werden. Sie sind weder den Stillgewässern noch den Fließgewässern eindeutig zuzuordnen.

Die Waldquellen der silikatischen Mittelgebirge treten zumeist als helokrene Quellen, d.h. als Sicker- oder Sumpfquellen, in Erscheinung. Sie nehmen mit ihren ständig durchsickerten Bodenkörpern eine intermediäre Stellung zwischen terrestrischen und limnischen (aquatischen) Ökosystemen ein. Der Schnittstellen- bzw. Übergangscharakter wird hier besonders deutlich.

Eine besondere Qualität von Quellbereichen ist die relative Konstanz maßgeblicher Umwelteigenschaften. Temperatur oder Luftfeuchte verhalten sich an Quellen, im Vergleich zu anderen Biotopen, sehr ausgeglichen. Ähnliches gilt an helokrenen Quellen für die Schüttung. Diese Ausgeglichenheit erleichtert die Analyse der Wirkung sonstiger Umweltvariablen z.B. auf die Artenzusammensetzung oder auf die Ausbildung von Vegetationsstrukturen. Dies gilt zum Beispiel für hydrochemische Eigenschaften oder den Lichthaushalt.

Unter den Aspekten des Monitorings von Umweltbelastungen sind Einzugsgebiete mit oberflächennahem Grundwassertransport besonders interessant. Der Interflow weist in der Regel kurze Fließstrecken und geringe Verweilzeiten der Wässer in den Einzugsgebieten auf. Liegen derartige Verhältnisse vor, so können Quellen als eine Art Trichterauslass ihrer Einzugsgebiete angesehen werden. Dies ist in den silikatischen Mittelgebirgen Mitteleuropas großräumig der Fall. Quellen verkörpern dort ein räumliches und zeitliches Integral der in den Einzugsgebieten stattfindenden grundwasserrelevanten Prozesse und Stoffflüsse.

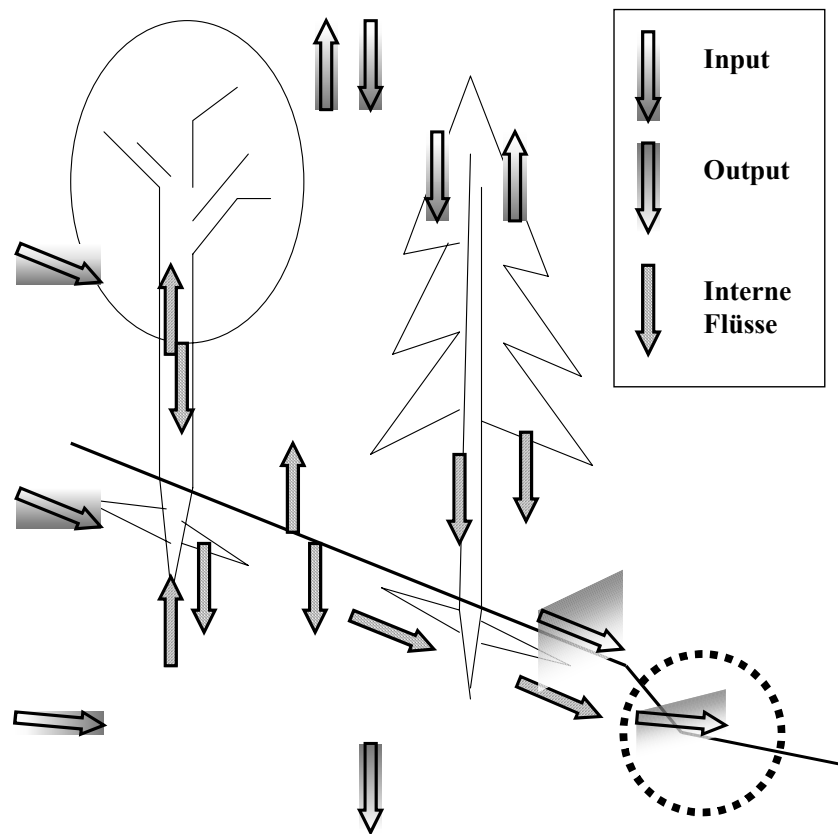


Abb. 1.1: Schematisierte Darstellung der Stoffflüsse in einem Waldeinzugsgebiet oberhalb einer Quelle. Der Quellaustritt (Kreis) verkörpert ein räumliches und zeitliches Integral der in seinem Einzugsgebiet stattfindenden Stoffflüsse und Prozesse

Für einen raumorientierten Monitoringansatz ist die Möglichkeit der Betrachtung von Einzugsgebieten als „black box“ von Vorteil. Es ergeben sich aber zwangsläufig entsprechende Unschärfen. So sind bei vergleichbarem Ausgangsgestein und bei ähnlicher Höhenlage und Baumartenzusammensetzung die Standortverhältnisse zwar oft ähnlich, aber doch z.B. durch Deckschichtenaufbau modifiziert.

Für die Nutzung helokrener Quellen als Indikationssysteme spricht weiter, dass derartige Quellen in den großflächigen Waldgebieten der silikatischen Mittelgebirge einen häufigen Biotoptypus mit geringer physiognomischer Variabilität repräsentieren. Es ist somit eine große Grundgesamtheit von vergleichbaren Untersuchungsobjekten verfügbar. Dies lässt wiederum aufgrund der Dichte der Objekte geographisch differenzierte und aussagekräftige Ergebnisse erwarten. Uncharakteristische Singularitäten können leicht erkannt und berücksichtigt werden.

Die Anwendung der Bioindikation an solchen Quellen bringt einen weiteren Integrationschritt mit sich. Mit Hilfe der Organismen können Hinweise auf die Umweltbedingungen eines gewissen zurückliegenden Zeitintegrals gegeben werden. Pflanzen eignen sich hierzu aufgrund ihrer geringen Mobilität besonders gut.

In den untersuchten silikatischen Mittelgebirgen (Thüringer Wald, Thüringer Schiefergebirge, Frankenwald, Fichtelgebirge, Erzgebirge) erweist sich insgesamt der Wasserchemismus als wesentliche Steuergröße der Artenzusammensetzung der Vegetation. Doch wird diese durch das Lichtangebot im Quellbereich und durch Störeinflüsse modifiziert. Insgesamt sind die wirksamen Umweltvariablen jedoch überschaubar und zum größten Teil messend zu erfassen. Damit ist die Voraussetzung für eine Analyse von Prozessen und Wechselwirkungen in Quellökosystemen gegeben.

Menschliche Nutzungsbeanspruchungen bestehen für die eigentlichen Quellbereiche nahezu nicht. Damit stehen helokrene Waldquellen im Gegensatz zu den Sicker- und Sumpfquellen des Offenlandes. Zwar gehört die Streunutzung von Feuchtflächen der Vergangenheit an, doch werden Offenlandquellen durchaus auch heute noch landwirtschaftlich genutzt. Vor allem werden Wiesenquellen direkt durch Düngung und bei Beweidung durch Viehtritt beeinflusst. Derartige Störungen sind im Wald von untergeordneter Bedeutung. Zwar wird auch hier teilweise zur Kompensation von Immissionsbelastungen gedüngt. Dies erfolgt aber in einer deutlich geringeren Intensität. In einzelnen Fällen können Hirsche und Wildschweine mit ihren Suhlstellen erheblichen Einfluss auf Sumpfquellen haben. Solche Störungen sind dann aber offensichtlich und schließen eine weitere Berücksichtigung der betroffenen Lokalitäten im Rahmen des Monitorings aus. Direkte mechanische Störungen können auftreten, wenn bei forstlichen Rückarbeiten Quellbereiche nicht beachtet werden. Dies ist aber nur selten zu beobachten und erfolgt nutzungsbedingt in großen zeitlichen Abständen.

Folglich ist an Waldquellen die Störungshäufigkeit - und in den meisten Fällen auch -intensität - und damit die Überlagerung ökologischer Steuergrößen durch nicht messbare oder quantifizierbare Einflüsse, im Vergleich zu nahezu allen sonstigen terrestrischen und semi-terrestrischen Biotopen sehr gering. Waldquellen zeichnen sich ganz allgemein durch einen hohen Natürlichkeitsgrad aus. Veränderungen ihrer Artenzusammensetzung ergaben sich in der Vergangenheit vor allem über Veränderungen des Strahlungshaushaltes. Diese brachte vor allem der Ersatz der Buche und der quellnah wachsenden Laubhölzer durch die Fichte mit sich.

Aus den vorliegenden Kenntnissen lässt sich entnehmen, dass dieser Einfluss durchaus lokal zu einer Erhöhung der Pflanzenartenzahl an Quellen geführt haben kann. Artenvielfalt und Natürlichkeit sind nicht zwingend gleichlaufend. Die Buche kann über den kleinflächigen Quellökotopen noch den Kronenschluss erreichen und führt daher während der Vegetationsperiode zu sehr geringem Lichtgenuss am Boden.

Eine nutzungsbedingte Versauerung der Einzugsgebiete (Rohhumusbildung unter Fichte) bzw. deren Auswirkung über den Aquifer auf die Quellaustritte erscheint bei den Substrat-eigenschaften der untersuchten Mittelgebirge unwahrscheinlich. Sie ist in den Einzugsgebieten der Sandsteine des triassischen und jurassischen Vorlandes eher zu erwarten. Dort sind andererseits aufgrund der geringen Höhenlage die Einflüsse saurer Depositionen geringer.

2. Forschungsarbeiten an der Universität Bayreuth

Das Bayreuther Institut für terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK) der Universität Bayreuth wurde 1989/1990 gegründet. Eine Aufgabe ist die Vorhersage und Erklärung des Verhaltens und der Belastbarkeit von Ökosystemen. Die mittelfristigen Änderungen der Umweltbedingungen (Stickstoff- und Schwefeleinträge) sind für die Forschung in BITÖK bedeutende Faktoren.

Im gleichen Zeitraum begannen an weiteren Lehrstühlen der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften Untersuchungen zu ökologischen Aspekten von Quellen. Nach nunmehr zehn Jahren soll mit diesem Band eine erste Bilanzierung der inzwischen angesammelten Ergebnisse vorgelegt werden.

Dieser Band erhebt nicht den Anspruch einer wirklich umfassenden Behandlung der Ökotope der silikatischen Waldquellen und ihrer standörtlichen Eigenschaften. Dennoch erhält er den Charakter einer ökologischen Monographie, da Wissenschaftler sehr unterschiedlicher Fachrichtungen für das gleiche Objekt begeistert werden konnten. Die hier behandelten ökologischen Aspekte spiegeln allerdings stark die Konstellation der ökologischen Disziplinen an der Universität Bayreuth wider.

Die besonderen physikalischen, chemischen oder biotischen Aspekte der Quellen bieten sowohl Hydrologen, Geomorphologen, Bodenkundlern, Vegetationskundlern oder Zoologen ein interessantes Feld. Sie eröffnen Perspektiven der Grundlagenforschung, können jedoch auch im Rahmen von Fragestellungen der praxisorientierten Umweltwissenschaften genutzt werden.

In Bayreuth wurden die ersten Untersuchungen an Quellen im Jahr 1989 begonnen. Dies geschah unter anderem mit dem Ziel der Identifikation geeigneter Untersuchungsflächen für das BITÖK zur Analyse des Stoffumsatzes und der Regulation von Stoffflüssen in Waldökosystemen. Unter der Leitung von Prof. Herrmann (Lehrstuhl Hydrologie) und Prof. Schulze (Lehrstuhl Pflanzen-ökologie) wurden hierzu oberflächennahe Grundwässer im Fichtelgebirge beprobt. Auch die Gewässerversauerung selbst war eine Fragestellung (STENZEL & HERRMANN 1990).

Gleichzeitig befassten sich die Arbeiten am Lehrstuhl Biogeographie (Prof. Müller-Hohenstein) vor allem mit der pflanzlichen Lebensgemeinschaft und den ökologischen Bedingungen von Quellfluren im Frankenwald. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten für die Indikation von Umweltverhältnissen in Einzugsgebieten genutzt werden (BEIERKUHNEIN 1991). Der Frankenwald war wegen seiner vergleichsweise homogenen klimatischen, tektonischen, petrographischen und pedologischen Verhältnisse als Arbeitsgebiet ausgewählt worden. Es sollten möglichst viele Variable mit geringer Schwankungsbreite vorliegen, um die Einflüsse einer räumlich differenzierten anthropogenen Umweltbelastung (Versauerung) eingrenzen und darauf aufbauend Steuergrößen der Artenzusammensetzung identifizieren zu können.

Es ergab sich ein inhaltlicher und methodischer Austausch zwischen den Arbeitsgruppen und schließlich die Zusammenarbeit bei der Bearbeitung verschiedener Aspekte. Im Verlauf der Untersuchungen traten rasch neue Fragestellungen zutage, die durch die Kooperation mit Mitarbeitern weiterer Lehrstühle angegangen wurden. Untersuchungen der Lehrstühle für Bodenkunde und Bodengeographie (Prof. Zech) und für Geomorphologie (Prof. Stingl)

befassten sich mit der Beschaffenheit der Einzugsgebiete, ihren Böden und Deckschichten (ROTHAMMEL 1992, SCHELLENBERGER 1996). Untersuchungen zur tages- und jahreszeitlichen Variabilität der Wassereigenschaften wurden in der Biogeographie, der Limnologie und in BITÖK durchgeführt (GRÄSLE 1992, BEIERKUHNLEIN 1994, LINDEMANN 1997), wobei neben chemischen auch physikalische Parameter wie Wassertemperaturen oder Schüttung berücksichtigt wurden.

In Tabelle 1.1 ist das stratifizierte Konzept dargestellt, welches sich im Verlauf der Erweiterung der Untersuchungsgebiete und Fragestellungen ergab. Es wird offensichtlich, dass in den Untersuchungsgebieten Frankenwald und Fichtelgebirge umfangreichere Untersuchungen durchgeführt wurden. Diese stellen die Grundlagen für die Konzeption der Arbeiten in den benachbarten silikatischen Mittelgebirgen dar. Frankenwald und Fichtelgebirge stellen nach wie vor einen Schwerpunkt der Untersuchungen dar, es wurden inzwischen aber auch Arbeiten im Thüringer Schiefergebirge (SCHMIDT 1993), im Thüringer Wald (PEINTINGER 1998) und im Erzgebirge (RIEDEL 1999) durchgeführt. In der Zukunft wäre eine Ausdehnung der Arbeiten auf Oberpfälzer Wald, Bayerischen Wald, Harz sowie Rheinisches Schiefergebirge denkbar. Kalktuffquellen der Frankenalb wurden an der Universität Erlangen untersucht (STÜMPPEL 1993).

Tab. 1.1: Stratifiziertes Vorgehen bei der ökologischen Bearbeitung von Quellen (Zahl der Quellen)

	Thüringer Wald	Thüringer Schiefergebirge	Frankenwald	Fichtelgebirge	Erzgebirge
kartierte Quellen	48	50	750	386	50
Vegetationsaufnahmen	48	50	421	71	50
einmalige Wasserbeprobung			206	261	
Wasserbeprobung Frühjahr / Herbst	48	50			50
mehrfache Wasserbeprobung			52	11	
Mikroklima im Quellbereich			25		
Vegetationsstruktur der Quellfluren			25		
Bodenchemie der Einzugsgebiete			9	11	
Bodenchemie der Quellbereiche			2		
Grundwassertransport			1		
kontinuierliche Wasserbeprobung			1		
Dauerflächen	48	50	52	52	50

Einige Quellen wurden intensiver untersucht (GRÄSLE 1992) und in Einzelfällen Jahresgänge kontinuierlich beprobt (LINDEMANN 1997). Andere werden zusammen mit Quellbächen in regelmäßigen Abständen bereits seit Jahren erfasst und für die Analyse von Zeitreihen genutzt (LISCHEID et al. 1995, LISCHEID et al. 1998). Eine Teilmenge der 1989 und 1990 durch BEIER-

KUHNLEIN im Frankenwald und durch DURKA im Fichtelgebirge untersuchten Quellen wurde inzwischen durch AUDORFF (1997) bezüglich einer potenziellen versauerungsbedingten Vegetationsentwicklung beurteilt.

Die ökochemischen Prozesse in den Einzugsgebieten und im eigentlichen Quellbereich selbst, und vor allem die Sulfatreduktion, interessierte in Arbeiten, welche an der Limnologischen Forschungsstation der Universität Bayreuth (SAHIN 1993, MÜLLER 1996, SAHIN et al 1998) und am Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie (DIEFFENBACH 1993) durchgeführt wurden. Modellierungen der künftigen Entwicklung (ROTHAMMEL 1992) legen die Grundlage für weitere vergleichende Analysen unter den sich verändernden Stoffeinträgen und Prozessen in den Einzugsgebieten. Ein weiteres Beispiel für prognostizierende Ansätze ist die Simulation des Abflussverhalten derartiger Einzugsgebiete durch LANGE et al. (1995).

Im Lauf der Zeit konnten Mitarbeiter und Studenten unterschiedlicher Arbeitsrichtungen für eine Bearbeitung verschiedener Aspekte der Waldquellen und ihrer Einzugsgebiete gewonnen werden. Da diese Arbeiten zum Teil über Diplomarbeiten liefen, deren Inhalte nicht allgemein verfügbar sind, sind in der folgenden Literaturliste alle an der Universität Bayreuth angefertigten Diplomarbeiten und Promotionen zu diesem Themenbereich aufgelistet. Folgende Einrichtungen der Universität Bayreuth beteiligten sich über die Vergabe von Diplom- und Doktorarbeiten: Lehrstuhl für Biogeographie, Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, Lehrstuhl für Hydrologie, Lehrstuhl für Geomorphologie, Lehrstuhl für Pflanzenökologie, Abteilung für Hydrogeologie (BITÖK). Die Routineanalytik wasserchemischer Parameter wurde weitgehend durch die Zentrale Analytik des BITÖK durchgeführt.

Der hier vorliegende Band verfolgt das Ziel in einer Zusammenschau in prägnanter Kurzform die im Rahmen von Veröffentlichungen, Diplom- und Doktorarbeiten erzielten Ergebnisse vorzustellen. Eine wesentliche Motivation ist hierbei, den interdisziplinären Charakter des gesamten Forschungsansatzes herauszuarbeiten, der in Einzelbeiträgen in den Hintergrund treten muss.

Referenzen

- AUDORFF, V. (1997): Vergleichende Untersuchung der Vegetationsdynamik und wasserchemischer Gegebenheiten von Waldquellfluren in Frankenwald und Fichtelgebirge. - Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Pflanzenökologie I der Universität Bayreuth.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1991): Räumliche Analyse der Stoffausträge aus Waldgebieten durch Untersuchung von Waldquellfluren. - *Die Erde* **122**: 291-315.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1993): Waldquellfluren - ein Beitrag zum Monitoring von Umweltbelastungen im Frankenwald. - In: BARSCH, D., H. KARRASCH (Hrsg.): *Geographie und Umwelt*. - *Verh. d. Deutschen Geographentages* **48** (Basel): 214-219.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1994): Waldquellfluren im Frankenwald - Untersuchungen zur reaktiven Bioindikation. - *Bayreuther Forum Ökologie* **10**: 253 S. und Tabellenband.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1995a): Auswirkungen saurer Quellwässer auf die Artenzusammensetzung von Waldquellfluren. - *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft* **3/95**: 175-182.

- BEIERKUHNLEIN, C. (1995b): Florenveränderungen durch Immissionseinflüsse - Pflanzengeographische Analyse der Vegetation von Waldquellen. - Artenschutzreport **5**: 34-43.
- BEIERKUHNLEIN, C., W. DURKA (1993): Beurteilung von Stoffausträgen immissionsbelasteter Waldökosysteme Nordostbayerns durch Quellwasseranalysen. - Forstwissenschaftliches Zentralblatt **112** (3): 225-239.
- BEIERKUHNLEIN, C., W. GRÄSLE (1993): Zum Temperaturverhalten von Waldquellen des Frankenwaldes (Nordost-Bayern). - *Crunoecia* **2**: 5-14.
- BEIERKUHNLEIN, C., W. GRÄSLE (1998): The influence of light regime and water chemistry on the structure of forest spring vegetation. - L. BOTOSANEANU (Hrsg.): *Studies in Crenobiology*: 9-22. Leiden.
- DIEFFENBACH, A. (1993): Beitrag reduktiver Prozesse zur Neutralisierung atmosphärischer Säureeinträge in kleinen Quelleinzugsgebieten des Frankenwaldes. I. Säure-Base-Zustand. - Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie der Universität Bayreuth.
- DURKA, W. (1994): Isotopenchemie des Nitrat, Nitrataustrag, Wasserchemie und Vegetation von Waldquellen im Fichtelgebirge (NO-Bayern). - Bayreuther Forum Ökologie **11**: 197 S.
- DURKA, W., E.-D. SCHULZE (1992): Hydrochemie von Waldquellen des Fichtelgebirges. - *Z. Umweltchem. Ökotox.* **4**: 217-226.
- GRÄSLE, W. (1992): Waldquellfluren im Frankenwald. Floristische, strukturelle, hydrochemische und mikroklimatische Untersuchungen an ausgewählten Quellen. - Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Biogeographie der Universität Bayreuth.
- HAUHS, M., G. LISCHIED (1998): Nutzung, Monitoring und Prozessforschung als konkurrierende Wissensquellen über aquatische Ökosysteme - Erfahrungen aus dem Umgang mit der Gewässerversauerung. - Mitteilung der Bundesanstalt für Gewässerkunde **16**, 31-40
- KLEBER, A., J. LINDEMANN, A. SCHELLENBERGER, C. BEIERKUHNLEIN, M. KAUPENJOHANN, S. PEIFFER (1998): Slope deposits and water paths in a spring catchment, Frankenwald, Bavaria, Germany. - *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **50**:119-126.
- LANGE, H., G. LISCHIED, M. HAUHS (1995): Shallow water flow in a deeply weathered granite aquifer and implications for hydrochemical models. - *Water, Air and Soil Pollution* **85**, 1825-1830
- LINDEMANN, J. (1997): Säureneutralisierung durch biogeochemische Fe-/SO₄-Umsetzungen. - Bayreuther Forum Ökologie **51**: 271 S.
- LINDEMANN J., PEIFFER S., HERRMANN R., KAUPENJOHANN M., ZECH W. (1995): Ökosysteminterne Neutralisierung atmosphärischer Säureeinträge durch redoxchemische Prozesse in Quellmooren. *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft* **3/95**: 197-200.
- LISCHIED, G., H. LANGE, R. CALLENBERG, M. HAUHS (1995): Residence Time and Flow Paths of Soil Water and Groundwater in a Shallow Forested Catchment. - *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft* **3/95**, 201-204
- LISCHIED, G., H. LANGE, M. HAUHS (1998): Neural Network Modelling of NO₃-Time Series from small Headwater Catchments. - *Proc. IAHS «International Advances in Hydrological Sciences»* **248**, 467-473

- MÜLLER, F. (1996): Sulfatreduktion in einem Quellmoor des Frankenwaldes - Optimierung der 35SO_4 -Methode und Bestimmung räumlicher und saisonaler Unterschiede der Sulfatreduktionsraten. - Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Hydrologie der Universität Bayreuth.
- ODUM, E.P. (1983): Grundlagen der Ökologie, Bd. 2. 477-836. Stuttgart.
- PEINTINGER, P. (1998): Hydrochemische und vegetationskundliche Untersuchungen an Waldquellen im Thüringer Wald. - Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Biogeographie der Universität Bayreuth.
- RIEDEL, R. (1999): Vergleichende Untersuchungen an Waldquellfluren des Westlichen Erzgebirges anhand floristischer und hydrochemischer Parameter. - Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Biogeographie der Universität Bayreuth.
- ROTHAMMEL, B. (1992a): Modellierung des Einflusses wichtiger Steuergrößen auf den boden- und gewässerchemischen Zustand ausgewählter Einzugsgebiete. Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie der Universität Bayreuth.
- ROTHAMMEL, B. (1992b): Modellierung des Einflusses wichtiger Steuergrößen auf den boden- und gewässerchemischen Zustand ausgewählter Einzugsgebiete. - Bayreuther Bodenkdl. Ber. **28**: 121 S.
- SAHIN, H. (1993): Beitrag reduktiver Prozesse zur Neutralisierung atmogener Säureeinträge in kleinen Quelleinzugsgebieten des Frankenwaldes. II. Redoxchemische Prozesse. - Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Hydrologie der Universität Bayreuth.
- SAHIN, H., A. DIEFFENBACH, M. KAUPENJOHANN, S. PEIFFER (1998): Neutralization of atmospheric acid inputs in small spring catchments in the Frankenwald mountains, Germany. - Water, Air and Soil Pollution 102, 117-138
- SCELLENBERGER, A. (1996): Der Einfluss des oberflächennahen Untergrundes auf den Wasserhaushalt eines Quelleinzugsgebietes im Frankenwald. - Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Geomorphologie der Universität Bayreuth.
- SCHMIDT, J. (1994): Möglichkeiten und Grenzen der Bioindikation an Waldquellfluren des Hohen Thüringer Schiefergebirges. - Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Biogeographie der Universität Bayreuth.
- SCHMIDT, J., C. BEIERKUHNLEIN (1995): Zur Vegetation der Waldquellen im Hohen Thüringer Schiefergebirge. - Crunoecia **4**: 21-43.
- STENZEL, A., R. HERRMANN (1990) Comparing the effects of acidic deposition on the chemistry of small streams in the South Island of New Zealand with those in the Fichtelgebirge, F.R.G. Catena 17, No. 1, 69-83
- STÜMPPEL, P. (1993): Vegetationskundliche Untersuchungen der Kalktuffbäche und Kalkflachmoore im Landkreis Forchheim / Oberfranken. Unveröff. Diplomarbeit Institut für Botanik und Pharmazeutische Biologie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- WILDE, I.K. (1996): Biogeochemie des Eisens in einem Quellmoor des Frankenwaldes. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Hydrologie, Limnologische Forschungsstation, Universität Bayreuth, unveröffentlicht, 99 S.