

# Wald und Trinkwasser

## Eine Literaturstudie

Christoph Hegg

Michel Jeisy

Peter Waldner





# **Wald und Trinkwasser**

## **Eine Literaturstudie**

Christoph Hegg  
Michel Jeisy  
Peter Waldner

Herausgeber  
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft,  
WSL, Birmensdorf, 2004

Verantwortlich für die Herausgabe: Dr. J. Roost, Direktor WSL a. i.

Die vorliegende Publikation ist das Ergebnis einer Literaturstudie, welche von der WSL bearbeitet und vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft massgeblich finanziert wurde.

**Autoren:**

*Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf:*

Dr. Christoph Hegg,  
Michel Jeisy,  
Dr. Peter Waldner

**Reviewgruppe:**

*Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf:*

Dr. Christoph Hegg,  
Alois Kempf,  
Dr. Patrick Schleppei,  
Melissa Swartz

*Antenne romande de l'Institut Fédéral de Recherches WSL (AR-WSL), case postale 96 CH-1015 Lausanne*

Jean Combe,  
Dr. Walter Rosselli

**Begleitgruppe:**

*Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, CH-3003 Bern:*

Daniel Hartmann,  
Christian Kuchli (Leitung),  
Benjamin Meylan,  
Hans Peter Schaffner,  
Claire-Lise Suter,  
Dr. Richard Volz

Beat Jordi, Freier Journalist, Dählenweg 7, Postfach 7065, CH-2500 Biel 7

**Layout:**

*Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf:*

Michel Jeisy,  
Sandra Gurzeler

Zitiervorschlag:

Hegg, C.; Jeisy, M.; Waldner, P., 2004:  
Wald und Trinkwasser. Eine Literaturstudie.  
Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 60 Seiten

ISBN 3-905621-20-7

Zu beziehen bei:

Bibliothek WSL  
Zürcherstrasse 111  
CH-8903 Birmensdorf  
Fax: (+41) (0)1 739 22 15  
E-mail: publikationenvertrieb@wsl.ch

Preis: CHF 20.–

© Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2004

## **Abstract**

### **Forests and drinking water – a literature review**

As a base for political decisions a literature research on the influence of forests on the quality of drinking water was carried out. In Switzerland groundwater infiltrating through forests normally is of high quality for two reasons. Because of legal restrictions in forested areas little activities take place that have a negative impact on water quality (passive influence of the forest). Forests in general and especially forest soils alter or absorb chemical and biological pollutants (active influence of the forest). In most cases the passive influence is more important.

The capability of forests to absorb pollutants is limited. Therefore negative influence of continuing Nitrogen input by aerial pollution on drinking water quality has to be expected. A quantification of this effect is not possible because the capability of a forest to absorb or alter pollutants depends on many factors. E.g. soils below beech trees absorb and alter more pollutants than soils below spruce.

Forest management can have a positive long term influence on the active influence of forests on the water quality through altering the species of a forest and thus initiating a change in soil properties.

Forest management may have a negative short term influence on water quality through harvesting. Clear cutting breaks open the nutrient cycle of the forest ecosystem on a large area and results in an important nutrient pulse to the ground water.

### **Keywords**

Water quality, drinking water, forest influence, literature review



## Vorwort

«Wald garantiert gutes Trinkwasser». Diese Aussage galt bis jetzt in der Schweiz weitgehend uneingeschränkt. So ist heute in der Regel Grundwasser, das aus bewaldeten Trinkwasserschutzgebieten gewonnen wird, ohne weitere Behandlung als qualitativ hochwertiges Trinkwasser nutzbar. Die heute herrschenden Belastungen (v. a. Luftverschmutzung) und die laufenden Veränderungen in den gesetzlichen Rahmenbedingungen können diese Leistung des Waldes grundsätzlich beeinflussen. Um hier über wissenschaftlich möglichst gut abgestützte Grundlagen zu verfügen, beauftragte das BUWAL die WSL mit der Bearbeitung der vorliegenden Literaturstudie.

An der Erarbeitung der vorliegenden Studie haben neben den Autoren zahlreiche weitere Personen mitgewirkt. Ihnen allen gebührt unser Dank für die offene und konstruktive Zusammenarbeit:

- Jean Combe, Alois Kempf, Walter Rosselli, Patrick Schleppe, Melissa Swartz, Mitglieder der Reviewgruppe der WSL, haben die fachliche Ausarbeitung der Studie an der WSL massgeblich unterstützt,
- die Begleitgruppe des BUWAL unter der Leitung von Christian Kuchli mit den Mitgliedern Daniel Hartmann, Beat Jordi, Benjamin Meylan, Hans Peter Schaffner, Claire-Lise Suter und Richard Volz hat die Ziele der Studie formuliert sowie die Arbeit fachlich und politisch begleitet,
- die Bibliothek der WSL hat zahlreiche Publikationen zum Thema der Studie im In- und Ausland beschafft und damit eine unverzichtbare Grundlage für die vorliegende Arbeit gelegt,
- und Michel Jeisy wurde in der Gestaltung des Berichts tatkräftig von Sandra Gurzeler unterstützt.

Ein besonderer Dank gilt auch der Eidg. Forstdirektion im Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, welche das Projekt finanziell massgeblich unterstützt und damit erst ermöglicht hat.

Birmensdorf und Bern, im August 2004

Christoph Hegg und Christian Kuchli



# Inhalt

<b>Abstract</b>	3
<b>Vorwort</b>	5
<b>1 Einleitung</b>	9
<b>2 Methodik</b>	9
2.1 Beschreibung der Recherchemethoden	
<b>3 Literaturtabelle</b>	10
<b>4 Diskussion der Hauptfragen</b>	12
4.1 Literatur zu den Themengruppen	12
4.2 Stand der Forschung hinsichtlich der Fragen aus der Praxis	13
4.2.1 Modell des Systems Wald – Wasser und Wasserqualität	14
4.2.2 Wertung der Übertragbarkeit	18
4.2.3 Frage A: Inwieweit haben Wald, Baumartenzusammensetzung und die Waldbewirtschaftung Einfluss auf die Wasserqualität?	19
4.2.4 Frage B: Welche Folgen haben Sturmschäden auf die Trinkwasserqualität im Wald?	21
4.2.5 Frage C: Welche Waldbewirtschaftungsart fördert die Trinkwasserqualität am besten?	23
4.2.6 Frage D: Was für Verrechnungs- resp. Abgeltungsmodelle gibt es und welche haben sich bewährt?	27
4.2.7 Frage E: Was passiert auf dem Sickerweg?	28
<b>5 Schlussfolgerungen</b>	29
Anhang 1: Personenliste	31
Anhang 2: Untersuchungsgebiete	32
Anhang 3: Literaturliste	33



# 1 Einleitung

Die Eidgenössische Forstdirektion hat den gesetzlichen Auftrag, die Leistungen des Waldes umfassend sicherzustellen. Grundlage für derartige Entscheidungen bilden unter Anderem wissenschaftliche Erkenntnisse zur Wirkung des Waldes und dessen Bewirtschaftung auf die Qualität des Trinkwassers. Bis heute wurden in der Schweiz, teilweise im Unterschied zum benachbarten Ausland, relativ wenige Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt.

Das BUWAL beauftragte deshalb die WSL eine Literaturrecherche durchzuführen, welche die relevante Forschung zum Thema Wald und Trinkwasser aufarbeitet und plausible, politisch glaubwürdige Aussagen zu den Wirkungen des Waldes bezüglich der Trinkwasserqualität in der Schweiz herausfiltert.

Das Ziel dieser Studie ist es, auf die folgenden fünf Fragen aus der Praxis eine Antwort zu geben:

- A Inwieweit haben Wald, Baumartenzusammensetzung und die Waldbewirtschaftung Einfluss auf die Wasserqualität?
- B Welche Folgen haben Sturmschäden auf die Trinkwasserqualität im Wald?
- C Welche Waldbewirtschaftungsart fördert die Trinkwasserqualität am besten?
- D Was für Verrechnungs- resp. Abgeltungsmodelle gibt es und welche haben sich bewährt?
- E Was passiert auf dem Sickerweg?

Um diese Fragen zu beantworten, wurde eine umfangreiche Suche nach Artikeln zum Thema Wald und Trinkwasser, welche in den letzten Jahren in wissenschaftlichen Zeitschriften weltweit beziehungsweise in anwendungsorientierten Publikationen in Europa erschienen sind, durchgeführt. Zudem wurde die Übertragbarkeit der Hauptaussagen auf Schweizer Verhältnisse überprüft. Aus den Diskrepanzen zwischen den Fragen und den auf die Schweiz übertragbaren Ergebnissen kann allfälliger Forschungsbedarf abgeleitet werden.

## 2 Methodik

### 2.1 Beschreibung der Recherchemethoden

Um eine möglichst umfassende Zusammenstellung der vorhandenen Literatur zum Thema «Wald und Trinkwasser» zu erhalten, wurden gleichzeitig Literaturdatenbanken abgefragt, im Internet recherchiert und ausgewählte Experten (siehe Personenliste im Anhang 1) direkt kontaktiert.

Ausgangspunkte für die Literatursuche waren diverse Artikel von MEYLAN (2003, 2001), KÜCHLI und MEYLAN (2002), HARTMANN *et al.* (2003) und JORDI (2001, 2003), welche in «Umwelt Schweiz» und «Wald und Holz» erschienen sind, der Tagungsband des Journé Thematique «eau et bois» der WSL (COMBE et ROSSELLI 2002), die Mitteilungen und Fact-Sheets (KESSLER 2003a, 2003b) zum Tag des Waldes im UNO-Jahr des Wassers und die Erkenntnisse der WSL-Forschung zu dieser Thematik. Mit diesen Informationen und einem zusätzlichen Brainstorming wurde eine Stichwortliste erstellt. Mit dieser wurden im Juni 2003 die in Tabelle 1 aufgeführten Datenbanken, Zeitschriften, Reihen und das Internet nach Literaturangaben durchsucht.

Tabelle 1: Zusammenstellung der abgefragten Literaturdatenbanken, Zeitschriften, Reihen und Internet-Suchmaschinen.

	Zeitraum der Suche
<b>Datenbanken und Reihen</b>	
Web of Science	23. Juni 2003
Web of Knowledge	Ende Juni 2003
BIOSIS	Ende Juni 2003
CAB Abstracts	Ende Juni 2003
ULIT, Umweltdatenbanken	Juni 2003
Bibliothek Nancy – ENGREF	Juni 2003
Bibliographia scientiae naturalis helvetica BSNH	Juni 2003
ELFIS	Juni 2003
NEBIS	Juni 2003
BUWAL, Sekt. Gewässerschutz u. F.	Juni 2003
<b>Zeitschriften</b>	
BSNH, SFZ, Bündnerwald	Anfang Juni 2003
<b>Internet</b>	
Google	Juni 2003 bis März 2004

Die so gefundenen Publikationen wurden mit jenen der kontaktierten Experten in einer EndNote-Datei zusammengeführt. Erfasst wurden dabei die bibliographischen Angaben, die Quelle und sofern vorhanden, das Abstract oder die URL. Danach wurde die Literaturliste nach Prioritäten klassiert und der Review-Gruppe zur Sichtung und Beurteilung zugestellt. Anhand dieser Bewertung wurden die Literaturverzeichnisse der wichtigsten Publikationen durchgeschaut und noch nicht vorhandene Referenzen übernommen. Bei den am häufigsten zitierten Autoren und Organisationen wurde im Internet, im NEBIS<sup>1</sup>-Katalog und im Web of Science nach deren Publikationslisten und weiteren Angaben gesucht. Dadurch konnten weitere rund 100 Publikationen gefunden werden.

Die so gefundenen Publikationen wurden einer oder mehreren in der Einleitung erwähnten Fragen aus der Praxis zugeordnet. Es wurde auch nachträglich noch weitere Literatur aufgenommen, ohne diese aber in die statistischen Auswertungen einzubeziehen. Publikationen welche sich auf Felduntersuchungen beziehen, wurden zusätzlich noch nach Untersuchungsgebieten gegliedert. Der Vergleich der naturräumlichen Eigenschaften der Schweiz mit denjenigen der verschiedenen Untersuchungsgebiete und der involvierten Prozesse bildete die Grundlage für die Bewertung der Übertragbarkeit der Hauptaussagen auf Schweizer Verhältnisse.

### 3 Literaturtabelle

Die Literaturliste «Wald und Trinkwasser» umfasste zum Auswertungszeitpunkt insgesamt 805 Referenzen. Die vollständige Liste mit den bibliographischen Angaben ist in Anhang 3 zu finden. Die Publikationen sind alphabetisch geordnet. An der WSL besteht eine EndNote-Literaturdatenbank, in der zusätzliche Informationen wie die Zuteilung zu den einzelnen Fragen, das Abstract oder die zitierten Untersuchungsgebiete aufgeführt sind.

<sup>1</sup> Netzwerk von Bibliotheken und Informationsstellen in der Schweiz

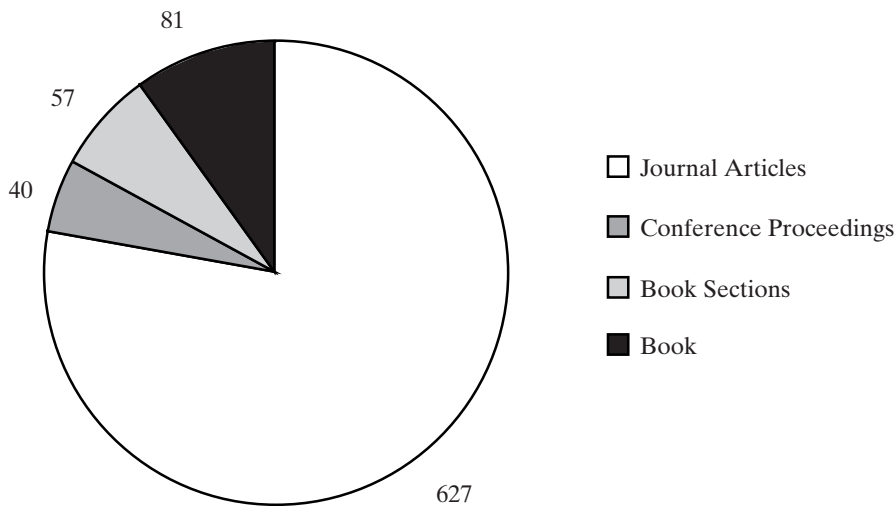


Abbildung 1: Publikationsarten der Referenzen aus der Literaturliste «Wald und Trinkwasser».

Die Verteilung der gefundenen Literatur auf die vier Publikationsarten Journal Article, Conference Proceedings, Book Section und Book ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Journal Articles stammen aus über 170 verschiedenen Zeitschriften. Folgende sechs Zeitschriften beinhalten zirka ein Drittel aller Artikel: Forest Ecology and Management, Water, Air and Soil Pollution, Biogeochemistry, Journal of Hydrology, Journal of Environmental Quality und die AFZ – Der Wald. In rund 40 weiteren Zeitschriften wurden zwischen 5 und 15 Beiträge zu diesem Thema publiziert. In den restlichen 120 Zeitschriften wurden nur zwei oder weniger Veröffentlichungen zum Thema gefunden.

Rund 85 % der gefundenen Publikationen wurden zwischen 1991 und heute veröffentlicht. Dabei steigt die Anzahl der gefundenen Referenzen pro Jahr von 1991 bis 2000 kontinuierlich und stark an. Dies bedeutet allerdings nicht, dass der Einfluss des Waldes auf die Wasserqualität nicht auch schon früher untersucht wurde. So wurde zum Beispiel 1974 eine ganze Ausgabe der Allgemeinen Forstzeitschrift (FRÖHLICH 1974) dem Thema Wald und Wasser gewidmet. Darin befinden sich etliche Beiträge, welche sich mit der Wasserqualität aus bewaldeten Gebieten befassen (BÜCKING 1974; HÖLL 1974; KELLER 1974; KUNKLE 1974; SCHULZ 1974).

Die Referenzen beziehen sich auf weltweit über hundert verschiedene Untersuchungsgebiete. Es gilt dabei zu beachten, dass auf Grund der vorgelegenen Informationen nur rund 60 % der Publikationen einem Untersuchungsgebiet zugeordnet werden konnten. Da Untersuchungen aus tropischen Ländern, aus Gründen der Übertragbarkeit, gar nicht aufgenommen wurden, befinden sich zirka 45 % der Untersuchungsflächen in Europa, rund 50 % in den USA und nur 5 % in anderen Ländern. Allerdings beziehen sich rund zwei Drittel der Publikationen auf europäische und nur ein Drittel auf amerikanische Untersuchungsgebiete. Die meisten Untersuchungsgebiete in Europa befinden sich in Deutschland (rund 50), wobei sich sehr viele Publikationen auf Untersuchungen in Bayern abstützen. Frankreich, Grossbritannien und Skandinavien weisen ebenfalls viele Untersuchungsgebiete auf (vgl. Anhang 2).

Die meisten Referenzen (80 %) wurden als wissenschaftliche Publikationen klassifiziert. Nur 9 % sind als Umsetzungsprodukte publiziert und sogar weniger als 1 % sind als Berichte oder als Anweisungen für die Praxis erschienen (siehe Abb. 2). Da die Einteilung zumeist auf Grund des Titel und der Publikationsart gemacht wurde, dürfen diese Zahlen aber nicht als absolute Werte betrachtet werden. Dies wird durch die Tatsache unterstrichen, dass zirka zehn Prozent der Publikationen keinem Publikationstyp zugeordnet werden konnte.

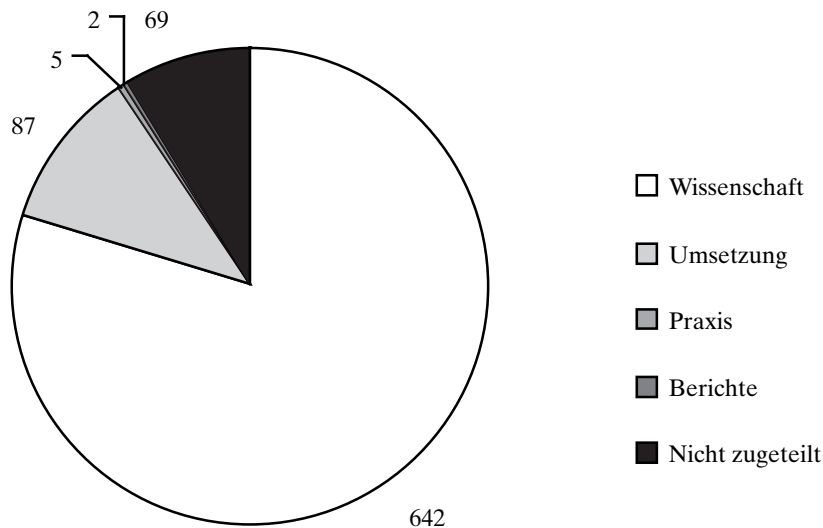


Abbildung 2: Aufteilung der 805 Literaturreferenzen auf die verschiedenen Publikationstypen.

## 4 Diskussion der Hauptfragen

### 4.1 Literatur zu den Themengruppen

Abbildung 3 gibt einen Überblick über den Umfang der zu den fünf Fragen aus der Praxis (vgl. Einleitung) gefundenen Literatur. Weil diese in einem sehr komplexen Themenfeld mit vielen Überschneidungen angesiedelt sind, gestaltete sich die Zuordnung nicht immer einfach. Deshalb dürfen die Zahlen nicht als absolute Werte betrachtet werden. So sind zum Beispiel die Antworten zu Frage C zum Teil Grundlagen für Aussagen zur Frage A. Einige Referenzen wurden deshalb mehreren Fragen zugeordnet andere wiederum werden in Abbildung 3 unter «Keine Zuordnung» aufgeführt.

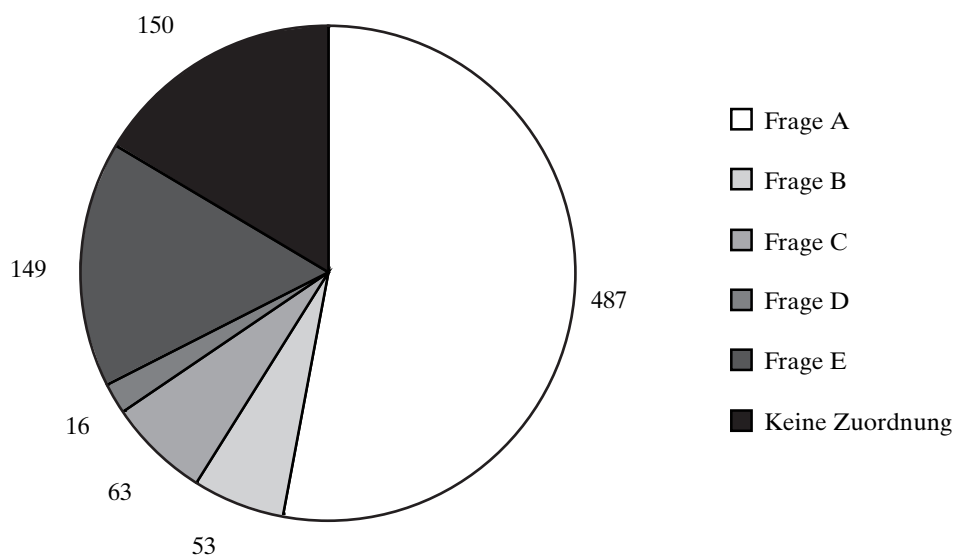


Abbildung 3: Aufteilung der gefundenen Literatur auf die fünf, von der Praxis gestellten Fragen.

Auf Grund der breiten Fragestellung wurden zur Frage A am meisten Publikationen gefunden. Allerdings umfasst kaum ein Artikel die gesamte Fragestellung. So beinhalten die einen Referenzen nur Informationen zur Stickstoffdeposition, andere wiederum befassen sich ausschliesslich mit den Auswaschungsprozessen oder zeigen die unterschiedlichen Auswirkungen von Nadel- oder Laubbestockung auf die Wasserqualität auf. Es gibt nur wenige Publikationen, welche den ganzen Prozessablauf beschreiben und die Auswirkungen auf die Trinkwasserqualität beurteilen. Für den amerikanischen Raum hat dies DISSMEYER (2000) mit seiner Literaturrecherche «Drinking Water from Forests and Grassland» getan. In Europa sind es vor allem Zeitschriftenartikel, welche die bisherigen Forschungstätigkeiten in Bayern zusammenfassen, so zum Beispiel KÖLLING und NEUSTIFTER (1997) und ROTHE *et al.* (1998). Insgesamt ist zu sagen, dass sich sehr viele Studien mit den Auswirkungen von Waldbewirtschaftung, Depositions- und Auswaschungsprozessen auf das Sickerwasser befassen, aber den weiteren Weg des Wassers bis zur Trinkwasserfassung nicht mehr beschreiben.

Auf Grund der präzisen Fragestellung wurden zur Frage E ebenfalls viele Referenzen gefunden. Dabei behandeln die meisten den Teil des Sickerwegs, der im Einflussbereich des Waldes (durchwurzelter Waldboden) steht und nur wenige beziehen sich auf den weiteren Sickerweg. Ein grosser Teil der zu Frage E gefundenen Publikationen bezieht sich auf Analysen der Nährstoffauswaschung aus dem Boden. Die meisten Publikationen beziehen sich dabei auf die Nitratauswaschung. Zu den übrigen Nährstoffen und anderen Verunreinigungen wurden nur wenige Artikel gefunden.

Knapp über 60 Publikationen beschäftigen sich mit der Frage nach der besten Waldbewirtschaftung für die Trinkwasserversorgung (Frage C). Die Schwerpunkte wurden dabei auf die Verminderung der Stickstoffaufnahme durch den Bestand und auf die Auskämmwirkung der Baumkronen oder die Reinigungswirkung der Waldböden gelegt (BOLTE *et al.* 2001; EMMETT *et al.* 1993). Es wurden aber kaum Publikationen gefunden, welche zeigen, von welcher räumlichen Ausdehnung eine Änderung der Waldbewirtschaftung in einem Trinkwassereinzugsgebiet sein muss, damit sie sich auf die Wasserqualität bei der Quelfassung auswirkt (HENRIKSEN und KIRKHUSMO 2000; HÜSER *et al.* 1996; MELLERT 2000).

Zu den Folgen von Sturmschäden auf die Trinkwasserfunktion eines Waldes wurden nur wenige Referenzen gefunden. Diese stammen praktisch alle aus Bayern (MELLERT *et al.* 1998; SCHLÄR 1996; SCHLÄR 1999). Ein grosser Teil der Referenzen, die der Frage B zugeordnet wurden, befassen sich mit Kahlschlagexperimenten. In der Schweiz beschäftigte sich die Windwurf-Forschung bisher vor allem mit Fragen zum Wiederaufkommen des Bestandes und dem Schutz vor Lawinen und Steinschlag.

Deutlich am wenigsten Publikationen wurden zur Frage D gefunden. OLSCHIEWSKI *et al.* (1997) erstellten eine Nutzen-Kosten-Analyse des Wasserschutzes durch eine Aufforstung.

## 4.2 Stand der Forschung hinsichtlich der Fragen aus der Praxis

In der Schweiz wird rund 80 % des Trinkwassers aus Grundwasservorkommen gewonnen, rund 40 % davon werden noch zusätzlich aufbereitet (HARTMANN *et al.* 2003). Die meisten der Einzugsgebiete, in denen die Neubildung dieses Grundwassers durch Versickerung stattfindet, sind zumindest teilweise bewaldet und gemäss einer GIS-Studie des BUWAL liegen rund 42 % der Fläche der Grundwasserschutzzone im Wald (MEYLAN 2003).

Menge und Qualität des Sickerwassers an einem Standort werden durch mehrere Prozesse (vgl. Abb. 4 und Abb. 5) bestimmt. Neben dem Baumbestand gibt es noch eine Reihe weiterer Faktoren, die sich auf die massgebenden Prozesse und damit auch wesentlich auf die Wasserqualität auswirken können. Allgemein gültige Aussagen können meist nur für den Einfluss eines Faktors auf einen Prozess gemacht werden. Zudem hängt der Einfluss eines Standortes auf die Trinkwasserqualität von der Sickerwasserqualität der weiteren Standorte

und den hydrogeologischen Verhältnissen im Einzugsgebiet der jeweiligen Fassung ab. Für die Übertragung der Erkenntnisse einer Studie auf andere Gebiete ist es deshalb wichtig sich auf ein adäquates System- oder Prozessmodell zu stützen (Abschnitt 4.2.1), zumindest müssen die weiteren Standortfaktoren berücksichtigt werden (Abschnitt 4.2.2).

#### 4.2.1 Modell des Systems Wald – Wasser und Wasserqualität

Da in der Literatur viele, je nach Fragestellung und Autor unterschiedliche Modelle und Begriffe für den Wasserkreislauf vorkommen (z. B. LIKENS und BORMANN 1999; ORTLOFF und SCHLAEPFER 1996; SCHACHTSCHABEL *et al.* 1989), stellen wir das Modell und die Begriffe, die in dieser Studie verwendet werden, in diesem Abschnitt vor.

##### Zielgrösse

Für alle Fragen aus der Praxis ist die Wasserqualität des Trinkwassers aus Waldgebieten die Zielgrösse. Die Wasserqualität bestimmt sich aus der Konzentration der im Wasser enthaltenen Stoffe, welche sich auf die Gesundheit positiv oder negativ auswirken können.

Zur Vermeidung gesundheitsschädigender Wirkungen sind im Bundesrecht der Schweiz für Grundwasser, welches als Trinkwasser genutzt wird, Anforderungen an die Wasserqualität in Form von Höchstkonzentrationen festgelegt (vgl. Tab. 2).

Tabelle 2: Liste ausgewählter Stoffe/Parameter und deren Anforderungen an die Qualität für Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen wird (Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung GSchV SR 814.201), und Werte für Trinkwasser (Schweizerisches Lebensmittelbuch [SLB] sowie Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln [FIV]).

Stoff/Parameter	Anforderungen an Grundwasser gemäss GSchV	Wert für Trinkwasser gemäss SLB bez. FIV
Sauerstoff	kein sauerstoffarmer Zustand	Über 60 % (Qualitätsziel SLB)
PH	kein nachteiliger Wert	9,2
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (bei oxischen Verhältnissen)	0,1 mg/l	0,5 mg/l
Nitrat NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25 mg/l	40 mg/l (Toleranzwert FIV)
Sulfat SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	40 mg/l	200 mg/l
Chlorid Cl <sup>-</sup>	40 mg/l	200 mg/l
Pestizide	0,1 µg/l je Einzelstoff	0,1 µg /l je Einzelstoff (Toleranzwert FIV)

Problemstoffe, hinsichtlich dieser Werte, bilden den Schwerpunkt dieser Studie. In der Schweiz sind dies gemäss NAQUA Jahrbuch 2004 (BUWAL und BWG 2004) vor allem Nitrat und das Pflanzenschutzmittel Atrazin mit seinen Abbauprodukten Desethylatrazin und Desisopropylatrazin, insbesondere in den Grundwasservorkommen im Mittelland, sowie chlorierte Kohlenwasserstoffe. Atmosphärische Deposition von Säure stellt an einem Teil der Waldstandorte ein langfristiges Risiko für die Bodenversauerung und damit auch für die Sickerwasserqualität dar (KURZ *et al.* 1998).

### System

An einem Waldstandort beeinflussen verschiedene Wasser- und Stoffflüsse aktiv die Menge und Qualität des Sickerwassers:

### Wasserflüsse

In Abbildung 4 sind die wichtigsten Wasserflüsse durch die Kompartimente des Systems dargestellt: Die Vegetation, insbesondere die Blätter und Nadeln der Bäume, fängt einen Teil des Niederschlags auf und dieses Wasser gelangt entweder verzögert, zusammen mit dem direkten Niederschlag, als Bestandesniederschlag oder Stammabfluss auf den Boden oder durch Verdunstung/Sublimation (Interzeptionsverlust) wieder in die Atmosphäre (BENECKE und VAN DER PLOEG 1978). Die Beschaffenheit des Bodens (Mächtigkeit, Feinanteil, Porosität) bestimmt dessen Wasserspeicherkapazität. Die Vegetationsart beeinflusst, wie viel des zurückgehaltenen Wassers von den Wurzeln aus dem Boden aufgenommen wird (Deckungsgrad, Durchwurzelung) oder direkt von der Bodenoberfläche verdunstet (Beschattung, Streuauflage). Wasser, welches nicht im Boden gespeichert oder von den Wurzeln aufgenommen wird, sickert zum grossen Teil durch die Deckschichten in den Grundwasserleiter.

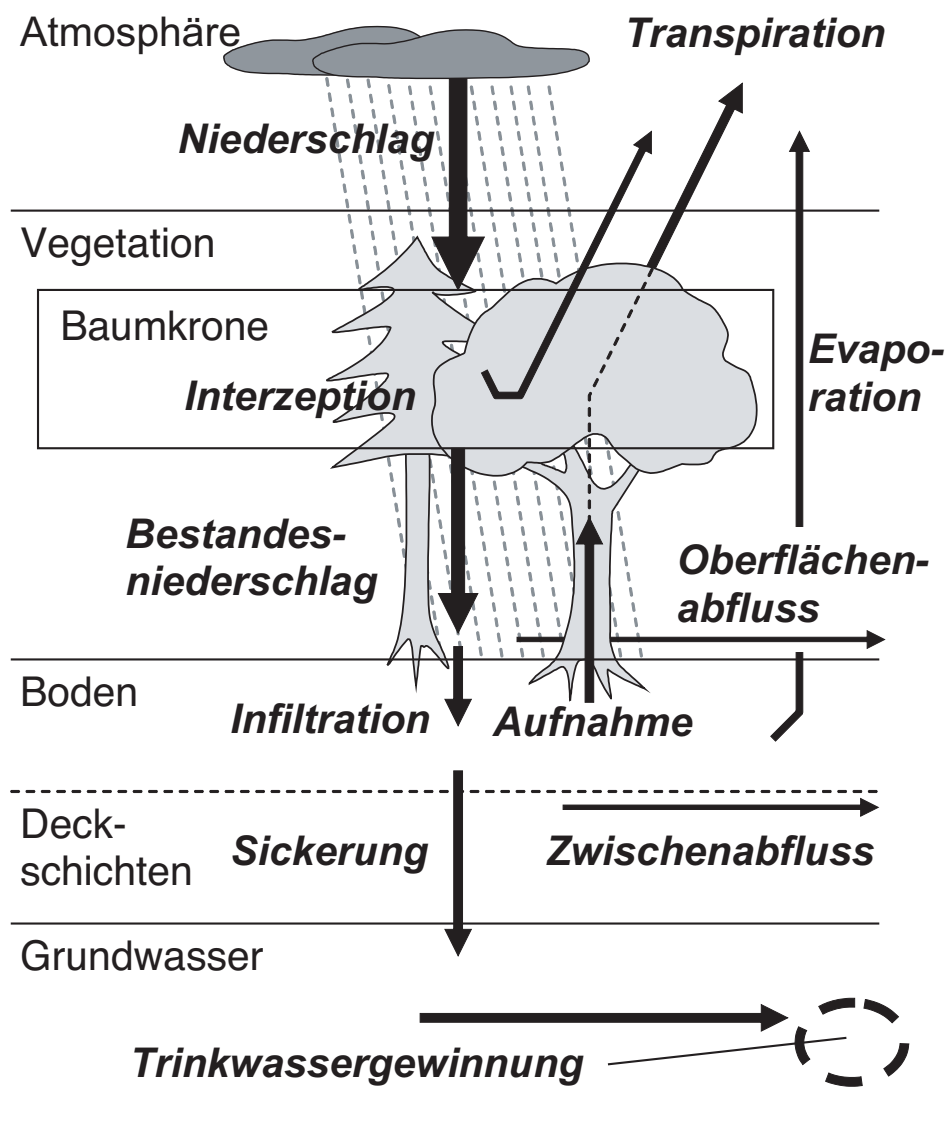


Abbildung 4: Schema Wasserflüsse.

Im Grundwasserleiter wird das Sickerwasser verschiedener Teileinzugsgebiete vermischt. Die Fließzeiten, Misch- und Umwandlungsvorgänge sind je nach Typ und Eigenschaften des Grundwasserleiters (Lockergestein, Kluft, Karst) unterschiedlich. Oberflächen- und Zwischenabfluss gelangen in der Regel in die Oberflächengewässer, wobei entlang von Gewässern an verschiedenen Stellen Ex- und Infiltration vom und ins Grundwasser stattfindet.

#### Natürliche Stoffflüsse

Abbildung 5 enthält die wichtigsten Stoffflüsse, welche die Konzentrationen dieser Inhaltsstoffe im Wasser beeinflussen:

Schnee und Regen enthalten bereits Inhaltsstoffe, die aus Aerosolen und Gasen in der Luft stammen (Nassdeposition). Die mit dieser Nassdeposition in ein Gebiet eingetragenen Stoffmengen hängen von den Aerosol- und Gaskonzentrationen in der Luft ab. Die zusätzlich mit Staubpartikeln oder Gasen in ein Gebiet eingetragenen Stoffmengen (Trockendeposition) werden zudem örtlich stark von der Beschaffenheit der Vegetation beeinflusst. Das Ablagern von Schadstoffen an den grossen Oberflächen der Blätter und Nadeln der Bäume wird oft als Auskämmwirkung bezeichnet.

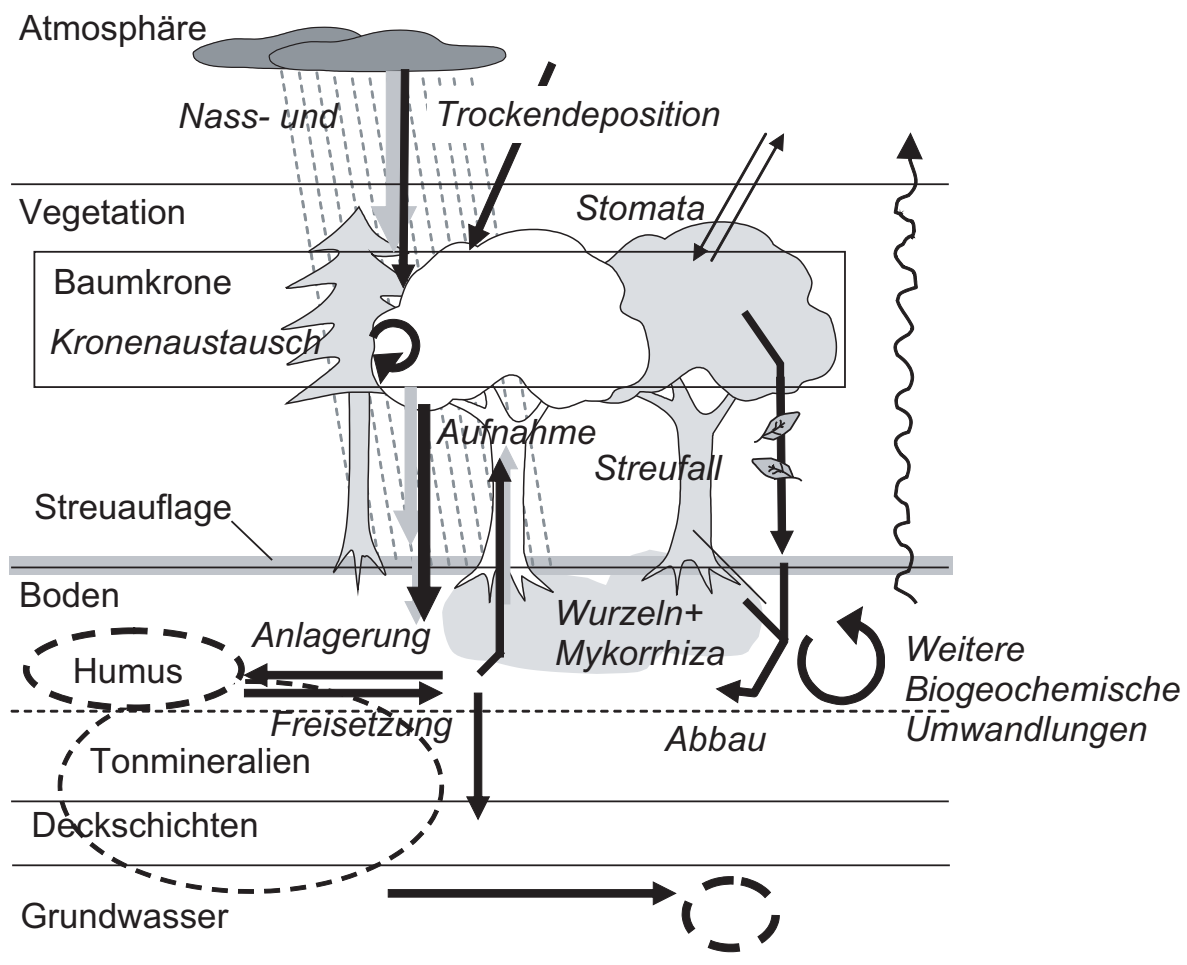


Abbildung 5: Schema Stoffflüsse.

Diese Auskämmwirkung der Baumkronen ist klar von der Reinigungswirkung des Waldbodens zu unterscheiden. Im Waldboden können folgende Prozesse zu einer Veränderung der Stoffkonzentrationen im Sickerwasser führen: Anlagerung am Humus und an Tonmineralien (Ionenaustauschplätze), Aufnahme durch die Wurzeln und Einbau in die Biomasse und durch biogeochemische Umwandlungen. Einen massgebenden Einfluss auf viele dieser Umwandlungen haben dabei der pH-Wert (Gleichgewichtsreaktionen, Ionentausch) und der Sauerstoffgehalt (Redox-Reaktionen) im Boden. Biogeochemische Umwandlungen können dazu führen, dass in der Bodenmatrix oder in der ober- oder unterirdischen Biomasse gespeicherte Stoffe in eine gut wasserlösliche Form gebracht und somit freigesetzt werden (Mobilisierung). Die Nutzungsgeschichte einer Waldfläche kann deshalb ebenfalls von Bedeutung sein.

Für verschiedene chemische Elemente (Massenerhaltung) wurden Stoffkreislaufmodelle aufgestellt, welche die jeweils massgebenden Prozesse enthalten, jedoch meist aneinander gekoppelt sind. Im Folgenden sind die wichtigsten Prozesse und kursiv zugehörige Einflussfaktoren einiger Stoffkreisläufe aufgelistet (siehe z. B. GISI *et al.* 1997; ORTLOFF und SCHLAEPFER 1996; SCHACHTSCHABEL *et al.* 1989):

#### N-Kreislauf

- Deposition von  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  aus  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NH}_3$ -Emissionen und natürlichen Quellen:
  - *Luftbelastungssituation*
  - *Auskämmwirkung der Blätter und Nadeln in den Baumkronen*
- Anlagerung von  $\text{NH}_4^+$  an Humus und Tonmineralien (Immobilisation)
  - *Anteil Tonmineralien und Humus im Boden*
  - *Stickstoffsättigung im Boden (Indiz C/N-Verhältnis)*
- Aufnahme von  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  durch Wurzeln und Einbau in Biomasse
  - *Durchwurzelungstiefe, Vegetationsbedeckungsgrad*
- Abbau von Biomasse (Mineralisation) und Freisetzung von  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NO}_3^-$ 
  - *Temperatur, Schattenwurf der Baumkronen*
- Nitrifikation von  $\text{NH}_4^+$  zu  $\text{NO}_3^-$ 
  - *$\text{O}_2$ -Gehalt, pH-Wert*
- Denitrifikation von  $\text{NO}_3^-$  zum gasförmig entweichenden  $\text{N}_2$ 
  - *$\text{O}_2$ -Gehalt, pH-Wert*

#### Säureeintrag

- Die Luftschadstoffe  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  und  $\text{NH}_3$ , welche mit der Nass- und Trockendeposition als  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  eingetragen werden, haben eine versauernde Wirkung.
- In vielen Böden wird der Säureeintrag zum Beispiel durch die Auflösung von Kalk abgepuffert.
- Bei einer Versauerung des Bodens (pH-Senkung) können Pflanzennährstoffe wie Mg, K sowie auch Al und Schwermetalle von den Kationenaustauschplätzen auf den Tonmineralien verdrängt werden und in Lösung gehen.

#### Organische Verunreinigungen

- Abbau durch Mikroorganismen (*Kontakt mit Biofilm,  $\text{O}_2$ -Gehalt, Fliesszeit*).

#### Abbaubare und nicht abbaubare chemische Substanzen

- Abbau durch Mikroorganismen (*Abbaurate, Kontakt mit Biofilm,  $\text{O}_2$  und Fliesszeit*).
- Anlagerung an organische Substanzen
- Anlagerung an Tonmineralien (Ionenaustauschplätze)

### **Nutzung und Aktivitäten**

Nutzungen können die Wasser- und Stoffflüsse im Wald beeinflussen, was sich auf die Wasserqualität auswirken kann. Bei den Einflüssen forstlicher Bewirtschaftungsmassnahmen können wir unterscheiden zwischen der

- a) angestrebten Veränderung des Ökosystems: z. B. Verjüngung,
- b) den Begleitmassnahmen und Folgeerscheinungen: z. B. Holzabtransport, Abbau von organischem Material,
- c) den Nebenwirkungen: z. B. Bodenverdichtung, Beeinträchtigung der Bodenvegetation, Eintrag von Verschmutzungen (Motorenöl etc.).

Bei den weiteren Nutzungen (Naherholung, Biotop-Gestaltungen, Wasser- und Strassenbau, Wild/Jagd, Waldweide) kann dieselbe Unterscheidung vorgenommen werden. Zudem können als Folge der Nutzung oder von Aktivitäten organische oder chemische Verunreinigungen in den Waldboden eingetragen und mit dem Sickerwasser ins Grundwasser transportiert werden.

### **4.2.2 Wertung der Übertragbarkeit**

Wie bereits erwähnt, basiert die vorliegende Literaturstudie zum Thema Wald und Trinkwasser weitestgehend auf Untersuchungen aus dem Ausland, da in der Schweiz zu den Fragen aus der Praxis bisher nur wenige Arbeiten durchgeführt wurden (z. B. EGLI *et al.* 1997). Bei jeder einzelnen Aussage stellt sich deshalb – und auch grundsätzlich – die Frage, inwieweit deren Übertragung vom Untersuchungsstandort auf andere Gebiete überhaupt möglich und sinnvoll ist. Im Folgenden sollen einige grundsätzliche Überlegungen dazu erläutert werden. Bei der Beantwortung der einzelnen Fragen wurden nur Aspekte der Aussagen berücksichtigt, welche als übertragbar betrachtet wurden.

Bei der Bewertung der Übertragbarkeit muss zwischen wissenschaftlichen Aussagen unterschiedlicher Art und Weise differenziert werden. So kann eine Aussage wie z. B. jene, dass Laubwald besser für die Wasserqualität sei als Nadelwald, sehr unterschiedlich hergeleitet und begründet sein. Sie kann z. B. rein empirisch durch den Vergleich der Wasserqualität unter Laub- bzw. Nadelwald belegt werden. Die Übertragbarkeit dieser Aussage ist dann schlecht, wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass andere nicht erkannte Unterschiede zwischen den untersuchten Standorten für die Differenz zumindest mitverantwortlich sind.

Wird die gleiche Aussage aber z. B. dadurch begründet, dass Nadelwälder immergrün sind und deshalb mehr Luftschadstoffe auskämmen und mit entsprechenden Daten belegt, kann diese Erkenntnis einfach auf andere Gebiete übertragen werden. Es ist dann z. B. auch ersichtlich, dass diese Argumentation wohl für Lärchen nicht gilt, da diese ja nicht immergrün sind.

Entsprechend werden in den nachfolgenden Erläuterungen vor allem Aussagen wiedergegeben, welche über Prozessanalysen erarbeitet wurden. Um eine Grundlage zur Beurteilung der Übertragbarkeit zu geben, werden neben den eigentlichen Aussagen ebenfalls die Prozesse erläutert, mit welchen diese Aussagen begründet werden. In vielen Fällen kann mit diesen Informationen in einem zu beurteilenden Gebiet abgeschätzt werden, ob und inwieweit eine bestimmte Aussage zutrifft oder nicht. Werden rein empirische Beobachtungen wiedergegeben, ist dies deklariert.

### 4.2.3 Frage A: Inwieweit haben Wald, Baumartenzusammensetzung und die Waldbewirtschaftung Einfluss auf die Wasserqualität?

WENGER (2002), KÜCHLI und MEYLAN (2002) und weitere Autoren schreiben dem passiven Einfluss des Waldes eine grosse Bedeutung zu. Darunter ist das blosse Vorhandensein von Wald zu verstehen, welches Wasser gefährdende Nutzungen stark einschränkt oder sie sogar ganz verhindert (WENGER 2002). In der Schweiz werden in der Waldwirtschaft im Gegensatz zur Landwirtschaft keine Dünger eingesetzt (SCHLEPPI *et al.* 2003). Der Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln ist im Wald stark eingeschränkt und nur durch Fachleute auszuführen (VFBW, SR 814.013.52), weshalb der Problemstoff Atrazin und seine Abbauprodukte im Sickerwasser aus Waldflächen nicht zu erwarten sind. Waldfremde Nutzungen (Industrie, Gewerbe, Haushalte) und die Verwendung von umweltgefährdenden Stoffen (Waldgesetz SR 912, Art. 5 und 18) sind im Wald nicht zugelassen. Unfälle, welche chemische oder biologische Verunreinigung des Grundwassers zur Folge haben, können demnach in Schweizer Wäldern praktisch ausgeschlossen werden. Dieser Zustand wird durch das in der Schweiz geltende Rodungsverbot (Waldgesetz SR 912, Artikel 5), welches in absehbarer Zukunft eine Änderung der Raumnutzung verhindert, zusätzlich gefestigt (KÜCHLI und MEYLAN 2002).

Unter aktiver Beeinflussung werden alle Prozesse verstanden, durch welche der Wald die Qualität und die Quantität des Wassers auf dem Weg von der Atmosphäre bis zum Grundwasser direkt beeinflusst (vgl. Abb. 4 und Abb. 5). Beim Niederschlag der auf das Kronendach trifft, bestimmen vor allem die Art und Intensität des Niederschlags, die Bestandesdichte, die Baumart (Blattflächenindex, Rauigkeit der Blattoberfläche etc.) und der Wind den Niederschlagsanteil, der bis zum Boden durchdringt (BENECKE und VAN DER PLOEG 1978; MITSCHERLICH 1981). Der Rest des Niederschlagswassers wird über Evapotranspirationsprozesse wieder in die Atmosphäre abgegeben. Da das so abgegebene Wasser keine gelösten Substanzen enthält, wird die Stoffkonzentration im übrig bleibenden Wasser erhöht (DISSMEYER 2000). Das auf die Bodenoberfläche gelangende Wasser fliesst entweder oberflächlich ab oder infiltriert in den Boden. Das versickernde Wasser gelangt durch die verschiedenen Boden- und Deckschichten ins Grundwasser (KELLER 1971; MITSCHERLICH 1981; ONF 1999). Dabei finden physikalische, biologische und chemische Prozesse statt, welche die Wasserbeschaffenheit verändern. Zudem entzieht die Vegetation über die Wurzeln dem Boden Wasser. Obwohl angenommen werden kann, dass das Kronendach durch Schattenwurf die Evaporation von der Bodenoberfläche vermindert, zeigen viele Studien, dass auf Grund der höheren Transpiration die Grundwasserneubildung unter Wald insgesamt geringer ist, als unter vergleichbaren Freilandflächen (z.B. KELLER 1971).

Verschiedene Studien zeigen, dass die Qualität des Sickerwassers insgesamt unter einem unbelasteten naturnahen Wald besser ist, als unter intensiv bewirtschafteten Freilandflächen (BENECKE 1993; EINSELE *et al.* 1990). Dies ist einerseits auf die geschlossenen Stoffkreisläufe im naturnahen Wald (Keine Stoffentnahmen und -zugaben durch häufiges Ernten, Düngungen oder Bodenbearbeitung) und auf eine höhere Reinigungswirkung eines Waldbodens zurückzuführen. Im naturnahen Wald bildet sich auf Grund der fehlenden Bodenbearbeitung eher ein fein strukturierter und biologisch aktiverer Boden aus. In einem fein strukturierten Boden, kann das Sickerwasser enger mit Stoffe adsorbierenden Bodenmaterialien wie Tonmineralien oder Humus in Kontakt kommen. Zudem können dem Sickerwasser auf Grund der besseren Durchwurzelung mehr Nährstoffe entzogen werden.

Dieser Reinigungsfunktion des Waldbodens wirken aber die Stoffeinträge durch die atmosphärische Deposition entgegen. Die Eintragsmenge wird von vielen Faktoren wie der Luftbelastung, dem Auskämmeffekt der Baumkronen und den Windverhältnissen bestimmt (HEINSDORF 1993).

Vielerorts werden besonders die hohen Stickstoffeinträge in die Waldökosysteme als Problem für die Trinkwasserqualität gesehen (SPANGENBERG 2001). So ist zum Beispiel in Augustendorf (Norddeutschland) von 1994 bis 2002 die  $\text{NO}_3^-$ -Konzentration in der Bodenlösung je nach Untersuchungstiefe (0 bis 250 cm) zwischen 7 und 20 mg/l angestiegen (MEESENBURG *et al.* 2003). Die Auswirkung der Stickstoffeinträge auf das Sickerwasser hängen stark von der Eintragsmenge und von der Pufferfähigkeit (N Status) des Waldbodens ab, weshalb die Wälder sehr unterschiedlich auf die Einträge reagieren (siehe z.B. europäisches Stickstoffsättigungs-Experiment NITREX: TIETEMA *et al.* 1998). Der aufstockende Bestand, die Bodenvegetation und der Humus, sowie Tonmineralien sind ergiebige Speicher für die Stickstoffeinträge. Sind diese Speicherkapazitäten erschöpft, können die Einträge kaum mehr abgepuffert werden. Ein Vergleich von über 64 europäischen Waldökosystemen<sup>2</sup> hat ergeben, dass ab Einträgen von zirka 10 bis 12 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> eine erhöhte Nitratauswaschung mit dem Sickerwasser stattfindet (GUNDERSEN 1995). In allen ENSF-Untersuchungsgebieten<sup>3</sup> mit einem N-Input von mehr als 25 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> wurde festgestellt, dass beträchtliche Anteile des Inputs (10 bis 35 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) über das Sickerwasser wieder abgegeben werden (DISE und WRIGHT 1995). Isotopenanalysen und andere Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Teil des Stickstoffs auch direkt ins Grundwasser gelangt, ohne zuvor in den Stoffwechsel der Wälder eingebaut worden zu sein (DURKA 1994; HAGEDORN *et al.* 2001; KÖLLING und NEUSTIFTER 1997). Sehr entscheidend für die Pufferung des Stickstoffs ist ebenfalls die Art des Eintrags. Ist beim Stickstoffeintrag das Ammonium dominant, kann auch bei hohen Depositionswerten bis zu 50 % des Eintrages abgepuffert werden. In Gebieten mit überwiegendem Nitrateintrag ist die Speicherkapazität schon bei mittleren Depositionswerten erschöpft (GUNDERSEN 1995). Ein Anstieg des Nitratgehaltes im Sickerwasser ist vor allem beim Zusammentreffen von folgenden Standortfaktoren zu erwarten: ein hohes Stickstoffangebot, gut durchlüftete Böden und eine mittlere bis geringe Sickerwassermenge (KREUTZER 1994).

Zwischen den Baumarten bestehen im Bezug auf die Sickerwasserzusammensetzung und -menge und somit auch auf die Grundwasserneubildung grosse Unterschiede. In den diesbezüglich gefundenen Publikationen wurden vorwiegend Bestände mit Buchen, Fichten, Kiefern und vereinzelt auch Tannen, Eichen und Erlen hinsichtlich der Nitratkonzentration im Sickerwasser untersucht (KREUTZER 1994; MEESENBURG *et al.* 2003; ROTHE *et al.* 1998). Alle diese Publikationen stellten fest, dass unter den untersuchten Laubbäumen in Bezug auf die Nitratkonzentrationen hochwertigeres Trinkwasser produziert wird als unter den Nadelbäumen. Die untersuchten Nadelbäume wiesen besonders im Kronenbereich eine grössere Oberfläche auf und waren immergrün, was zu einer höheren Auskämmung von Luftschadstoffen gegenüber den Laubbäumen und damit zu höheren Stickstoff- und Säureeinträgen führte. Zudem waren die Interzeptionsverluste in den Nadelbeständen höher, was durch die Verringerung der Wassermenge die Stoffkonzentration im Sickerwasser zusätzlich erhöhte.

Ein weiterer Vorteil der Laubbäume ist laut ROTHE *et al.* (1998) die grössere Durchwurzelungstiefe, wodurch dem Sickerwasser über eine längere Strecke Nährstoffe entzogen werden können. Dies erniedrigt besonders bei hohen Stickstoffeinträgen die Nitratkonzentration (ROTHE *et al.* 1998). Ausserdem vermag der unter den Laubbeständen stärker ausgeprägte Mineralbodenhumus mehr Stickstoff in stabiler Form zu speichern als der weniger mächtige Boden der Nadelwälder. So entsprach die Stickstoffkonzentration im Sickerwasser in 90 cm Tiefe unter einem Fichtenbestand (Lehstenbach, Bayern) der des Bestandesniederschlags, während unter Buchenwald (Steinkreuz, Bayern) über 50 % der Stickstoffdeposition im Oberboden gespeichert wurde (LANGUSCH und MATZNER 2002). Der positive Effekt dieser Stickstoffspeicherung erhöht allerdings die Gefahr von hohen Nitratausträgen nach Sturmwurf oder nach Kahlschlägen.

<sup>2</sup> ECOFEE (Element Cycling and Output-fluxes in Forest Ecosystems in Europe)

<sup>3</sup> ENSF (Evaluation of Nitrogen and Sulphur Fluxes)

Das Baumalter kann den Stickstoffhaushalt ebenfalls in beträchtlicher Weise beeinflussen. So haben ROTHE *et al.* (1999) und EMMETT *et al.* (1993) bei Fichten einen deutlichen Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser mit steigendem Baumalter festgestellt. Aus diesen Gründen ist laut RÖMER (1993) und HEITZ (2001) für weite Bereiche Deutschlands der Umbau von reinen Nadelwäldern in möglichst standortgemässe ungleichaltrige Mischbestände für die Trinkwassergewinnung positiv zu bewerten.

Der natürlichen Begleitvegetation kommt besonders nach Kahlschlägen oder Sturmwurf eine grosse Bedeutung bei der Aufnahme von freigesetztem Stickstoff zu (EVERS 2003; MELLERT *et al.* 1998). Deshalb muss bei der Holzentnahme auf den Erhalt einer vollständigen Bodenbedeckung geachtet werden. Grössere Kahlflächen, sei es durch Windwurf oder durch Holzentnahme sind zur Vermeidung einer erhöhten Nitratauswaschung zu verhindern. Ein dementsprechend angepasstes Bewirtschaftungskonzept und die Pflege einer flächigen Vorverjüngung vor der Endnutzung wirken sich positiv auf die Sickerwasserqualität aus (VON WILPERT und ZIRLEWAGEN 2003).

Durch den Einsatz von biologisch abbaubaren Schmier- und Kettenölen und den Verzicht auf Pestizide und Konservierungstoffe bei der Holzlagerung im Einzugsgebiet von Trinkwasserfassungen können potentielle Verschmutzungsquellen ausgeschaltet werden.

Die Wirkung dieser Bewirtschaftungsmassnahmen ist begrenzt und alle Autoren der diesbezüglichen Publikationen heben hervor, dass eine Reduzierung der Emission von Luftschadstoffen von höchster Wichtigkeit ist.

Die im Rahmen der UN-ECE Übereinkunft über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen (LRTAP) durchgeführte Erfassung und Überwachung der Auswirkungen auf die Wälder (ICP-Forests) zeigt, dass die versauernden Stoffeinträge aus der Atmosphäre seit 1990 in Europa und auch in der Schweiz insgesamt bereits erheblich zurückgegangen sind (UN-ECE 2003). Allerdings übersteigen sowohl die versauernden, wie auch die Gesamtstickstoffeinträge aus der Atmosphäre an einigen Standorten der Schweiz die im Rahmen von LRTAP empirisch oder mit Modellen festgelegten kritischen Werte nach wie vor (KURZ *et al.* 1998; RIHM 1996; RIHM und KURZ 2001; THIMONIER *et al.* submitted). Bewirtschaftungsmassnahmen können die Abpufferung und Speicherung der Stoffe verbessern, die langfristigen Risiken (Auswaschung von Schwermetallen in toxischen Konzentrationen und von Nitrat), die mit diesen Einträgen verbundenen sind, jedoch nicht grundsätzlich abwenden.

Bei der Beurteilung des Waldeinflusses auf die Trinkwasserqualität ist darauf zu achten, dass das Sickerwasser weder dem Grundwasser noch dem Trinkwasser gleichgesetzt wird (SPANGENBERG In: WENGER 2002). Die Zusammensetzung des Sickerwassers kann sich auf dem Weg durch die Deckschichten bis ins Grundwasser weiter verändern. Die Länge der Sickerstrecke und die Art der Deckschichten sind dabei ausschlaggebend. Die Vermischung mit dem Grundwasser aus andern Teilen des Einzugsgebietes und die Beschaffenheit des Grundwasserleiters verändern die Wasserqualität bis zur Trinkwasserfassung nochmals (HARTMANN *et al.* 2003). So stellten ROTHE *et al.* (1999) durch den Vergleich einer Modellierung des Nitratgehaltes im Sickerwasser aus ein Meter Tiefe mit Grundwasserbohrungen im Eurasburger Forst (D) fest, dass im weiteren Verlauf der Sickerstrecke ein nennenswerter Nitratabbau stattfinden kann. Dieser ist allerdings nicht in der Lage, starke Belastungen, wie unter landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten, vollständig abzubauen. Deshalb ist auch unter bewaldeten Einzugsgebieten damit zu rechnen, dass sich übermässige N-Einträge mittel- bis langfristig negativ auf das Grundwasser auswirken (vgl. Frage E).

#### 4.2.4 Frage B: Welche Folgen haben Sturmschäden auf die Trinkwasserqualität im Wald?

In der Schweiz wurden auf den Sturmschadenflächen von «Vivan» und «Lothar» viele Untersuchungen durchgeführt. Diese bezogen sich aber vor allem auf die Regeneration des Bestandes und befassten sich nur am Rande mit der Auswirkung auf die Wasserqualität (MATTHEIS 2000; SCHÖNENBERGER *et al.* 2003).

Die Auswirkungen der Schäden dieser Stürme auf die Wasserqualität wurden in Bayern (MELLERT *et al.* 1996; 1998), Baden-Württemberg (SCHLÄR 1999) und in der Lorraine (Frankreich, siehe BENOÎT *et al.* 2002) untersucht. Bei Sickerwasseruntersuchungen auf 13 Sturmflächen haben MELLERT *et al.* (1996, 1998) bei fast allen Flächen eine markante Zunahme der Nitratkonzentration nach rund einem Jahr auf bis über 150 mg/l (Median 50 mg/l) festgestellt. Der Rückgang der erhöhten Nitratwerte nach rund fünf Jahren wies eine starke Korrelation mit dem Aufkommen der Bodenvegetation auf. KÖLLING und NEUSTIFTER (1997) führen diesen Rückgang auf die Erschöpfung des leicht abbaubaren Humus und die Nitrataufnahme der wieder aufkommenden Vegetation zurück. SCHLÄR (1999) stellte im Wasser von zwei Quellfassungen aus vom Sturm teilweise betroffenen Einzugsgebieten eine Erhöhung der Nitratkonzentrationen von 15 mg/l gegenüber dem ungestörten Zustand fest. Die Nitratkonzentration im von SCHLÄR (1999) untersuchten Quellwasser war aber mit 26 mg/l trotzdem wesentlich tiefer als die von MELLERT *et al.* (1996, 1998) gemessenen Konzentrationen im Sickerwasser von Sturmflächen. Dies weist darauf hin, dass die Konzentrationen im Sickerwasser nicht direkt auf das Quellwasser übertragen werden können, da sich dieses im Grundwasserleiter mit dem Grundwasser aus «unbeschädigten» Teilen des jeweiligen Einzugsgebietes mischt. Demzufolge sind der Anteil der Windwurffläche im Einzugsgebiet der Fassung, die Eigenschaften der Deckschichten und des Grundwasserleiters für das Ausmass der Nitraterhöhung im Grundwasser von Bedeutung.

Die erwähnten Untersuchungsgebiete in Bayern (MELLERT *et al.* 1996; 1998) und Baden-Württemberg (SCHLÄR 1999) weisen Baumarten, Bodentypen und geologische Verhältnisse mit einem ähnlichen Spektrum auf, wie es im Schweizer Mittelland zu finden ist. Die Ergebnisse sind somit mindestens auf das Schweizer Mittelland übertragbar.

Hinsichtlich des Wegfalls des stehenden Baumbestandes sind die Auswirkungen eines Kahlschlags ähnlich wie jene eines Windwurfs, insbesondere wenn letzterer geräumt wird. Tatsächlich wurden in Holzschlag-Experimenten in den USA (Hubbard Brook: DAHLGREN und DRISCOLL 1994; LIKENS und BORMANN 1999; Coweeta: QUALLS *et al.* 2000; SWANK *et al.* 2001), Frankreich (Mont-Lozère: COSANDEY 1993; DIDON-LESCOT *et al.* 1993), Schweden (STAAF und OLSSON 1994) und Deutschland vergleichbare Anstiege der Nitratkonzentration in Sickerwasser festgestellt. Etliche Untersuchungsgebiete in den südlichen und den zentralen Appalachen zeigten allerdings praktisch keine Reaktionen auf Kahlschläge (DISSMEYER 2000). Dies weist darauf hin, dass die Auswirkungen eines Sturmwurfs oder Kahlschlags wesentlich durch die Baumart, die Bodeneigenschaften und die Standortbedingungen des betroffenen Gebietes beeinflusst werden. KREUTZER (1994) hält fest, dass Laubbäume im Vergleich zu Nadelholz auf dem gleichen Standort mehr Stickstoff im Humus des Mineralbodens speichern und dass sich deshalb eine Störung des N-Kreislaufs mit der Zunahme des Laubanteils im betroffenen Wald stärker auswirkt.

SCHLÄR (1999) stellte in den beiden untersuchten Quellen im Pfarrwald-Michelbach (Baden Württemberg) eine Erhöhung der Quellschüttung nach dem Sturm «Wiebke», welcher die Hälfte der Bestockung im Einzugsgebiet zerstörte, fest. Die Erhöhung der Schüttung lässt sich hauptsächlich auf Grund der geringeren Interzeptions- und Transpirationsverluste durch den fehlenden Bestand erklären. Dies stimmt mit den Ergebnissen aus Untersuchungen auf Kahlschlagflächen überein. So erhöhte sich der Wasserertrag aus einer Kahlschlagsfläche im Hubbard Brook Experimental Forest (USA) um bis zu 23 Prozent

(HORNBECK *et al.* 1997). Dieser Effekt klang allerdings mit dem Aufkommen der Vegetation wieder ab und war sieben bis neuen Jahre nach dem Kahlschlag nicht mehr nachweisbar. Des Weiteren stellte SCHLÄR (1999) fest, dass die Freiflächen nach Niederschlägen zu grösseren Schwankungen hinsichtlich der minimalen und maximalen Quellschüttung neigen.

Eine Beeinträchtigung des Grundwassers kann beim Abtransport, der Lagerung und der Behandlung des Sturmholzes entstehen. Dies berücksichtigen die Vorschriften zur Nasslagerung von Sturmholz, wie sie beispielsweise der Kanton Bern (2000) eingeführt hat.

Wichtigste wissenschaftliche Arbeiten: (DIDON-LESCOT *et al.* 1993; MELLERT *et al.* 1998; SCHLÄR 1999; SCHÖNENBERGER *et al.* 2003; SWANK *et al.* 2001).

#### **4.2.5 Frage C: Welche Waldbewirtschaftungsart fördert die Trinkwasserqualität am besten?**

Das Wasser durchläuft auf seinem Weg von der Atmosphäre durch den Wald, den Waldboden, die Deckschicht und den Grundwasserleiter bis zur Trinkwasserfassung viele hochkomplexe Systeme (vgl. Abb. 4 und Abb. 5). Je nach Eigenschaften und Zusammenwirken beeinflussen diese die Wasserqualität auf unterschiedliche Weise. So kommt der Reinigungswirkung des Waldbodens je nach Art des Grundwasserleiters (Lockergestein, Kluft oder Karst) eine andere Bedeutung zu. Verschmutzungen in Karstgebieten können infolge der in der Regel geringeren Bodenmächtigkeit und der meist fehlenden schützenden Deckschicht, sowie der hohen Fliessgeschwindigkeiten kaum abgebaut oder zurückgehalten werden. Im Gegensatz dazu sind Lockergesteine in der Regel besser in der Lage Verschmutzungen abzubauen und zurückzuhalten. SCHLÄR (1999) und andere stellten fest, dass es auf Grund der Komplexität der involvierten Kreisläufe kaum möglich ist, die direkten Auswirkungen der Waldbewirtschaftung bis zur Trinkwasserfassung zu verfolgen. Deshalb folgern ROTHE *et al.* (1998), dass die Sickerwasserqualität als Massstab zur Beurteilung der forstlichen Bewirtschaftungsmassnahmen und deren Einfluss auf die Trinkwasserqualität genommen werden muss. Das heisst, eine grundwasserschonende Waldbewirtschaftung muss eine hohe Qualität des Sickerwassers anstreben. Sich positiv auf das Sickerwasser auswirkende Prozesse im Waldökosystem (Reinigungswirkung des Bodens und der Wurzeln) sollen deshalb gefördert und negative Einflüsse (Schadstoffimmission aus der Atmosphäre) gemindert werden. Die Forstwirtschaft kann dies durch Einwirken auf die Wasser- und Stoffkreisläufe tun (vgl. Abb. 4 und Abb. 5).

So haben die Baumartenwahl, die unterschiedlichen Holzernteverfahren, die Vorverjüngung und, sofern zugelassen, auch Dünge- oder Kalkungsmassnahmen, direkten Einfluss auf für die Wasserqualität relevante Prozesse. Ausserdem können durch den Einsatz von biologisch schnell abbaubaren Schmierstoffen bei Forstmaschinen weitere Folgeerscheinungen minimiert werden (HEIDELBAUER 2002). Zudem kann durch die Absprache des forstlichen Handelns zwischen Waldbesitzern, welche über demselben Fassungseinzugsgebiet wirtschaften, der Summeneffekt von negativen Einflüssen eingeschränkt und derjenige von positiven verstärkt werden (WENGER 2002).

Die Baumarten beeinflussen wegen ihrer unterschiedlichen ökologischen Eigenschaften die Stoffflüsse und -vorräte auf erhebliche Weise (ROTHE *et al.* 1998). In allen Publikationen werden Beständen mit Laubbäumen positivere Einflüsse auf die Sickerwasserqualität und -menge zugeschrieben als solchen mit Nadelbäumen (BAEUMLER und ZECH 1999; CALLESEN *et al.* 1999; DISSMEYER 2000; GUNDERSEN *et al.* im Druck; HEITZ 2001; KREUTZER 1994; ROTHE *et al.* 1998; SCHLÄR 1999; WENGER 2002). Abgesehen von den luftstickstoffbindenden Erlenarten und Robinien kämten Laubbäume in der Regel weniger Schadstoffe aus der Atmosphäre als Nadelbäume (BINKLEY und SOLLINS 1993; ROTHE *et al.* 1998). Der effizientere Auskämmeffekt ist auf die grössere Blattoberfläche und das ganzjährige Vorhandensein der Nadeln zurückzuführen (GUNDERSEN *et al.* im Druck). Folglich müsste der

Auskämmeffekt beispielsweise bei einem lockeren Lärchenbestand kleiner sein als bei einem Föhrenbestand. Ausserdem weisen Laubbestände auf Grund der geringeren Interzeptionsverluste höhere Versickerungsraten auf, wodurch die Konzentration von Schadstoffen im Sickerwasser verdünnt wird. Da unter Laubbäumen Mineralbodenhumusformen vorherrschen, können dort in der Regel grössere Stickstoffmengen in relativ stabilen Formen gespeichert werden als unter Koniferen (ROTHE *et al.* 1998). Durch eine Erhöhung des Laubwaldanteils in einem Bestand können deshalb die atmosphärischen Schadstoffeinträge wesentlich reduziert und die Speicherung von Stickstoff verbessert werden, was sich günstig auf die Wasserbeschaffenheit auswirkt (GUNDERSEN *et al.* im Druck).

Zwischen dem Bestandesalter und der Nitratkonzentration im Sickerwasser wurde besonders in Nadelwäldern ein starker Zusammenhang festgestellt (EMMETT *et al.* 1993; KREUTZER 1994; ROTHE *et al.* 1999; ROTHE *et al.* 1998; VON WILPERT *et al.* 2000). Während Jungbestände viel Stickstoff mit dem Aufbau des Auflagehumus und der Produktion von Nadelbiomasse akkumulieren, nimmt der Austrag von Nitrat mit dem Baumalter auf Grund des verminderten Wachstums und der grösseren Ausfilterung von Stickstoff aus der Atmosphäre zu (ROTHE *et al.* 1998). Eine Verjüngung des Bestandes kann sich deshalb besonders in Nadelwäldern (Fichten) positiv auf die Sickerwasserqualität auswirken.

Da Verjüngungsaktionen und Holzernten die natürlichen Stoffkreisläufe unterbrechen, kann es je nach Vorgehensweise zu einer zeitlich begrenzten erhöhten Auswaschung von Nährstoffen kommen.

Gerade in stickstoffgesättigten Waldgebieten sollten deshalb Kahlschläge vermieden werden. Diese führen zu mehr Sonneneinstrahlung und einem Temperaturanstieg in der organischen Auflage, was die Mineralisation und die Nitrifikation beschleunigt (GÖTTLEIN *et al.* 2003). Zusammen mit der Erhöhung der Sickerwassermenge durch die Transpirationsverminderung führt dies in den ersten Jahren nach einem Kahlschlag in den meisten Untersuchungsgebieten zu einer erhöhten Nitrat Auswaschung. Dieser Effekt kann nach Wenger (2002) bereits ab Kahlschlagflächen von 1000 m<sup>2</sup> auftreten. Mit einem Femelhieb, welcher einen weitgehend geschlossenen Bestandescharakter erhält (Entnahme einzelner Bäume oder Gruppen von ein bis drei Bäumen), können die Nitrat austräge mit dem Sickerwasser begrenzt werden (WEIS 2002). Zudem verändert sich die Bodenfauna auf einer Femelhiebfläche weniger stark als auf einer Kahlschlagsfläche (GÖTTLEIN *et al.* 2003). Die Menge der Nitrat austräge aus den verschiedenen Waldökosystemen ist unterschiedlich und hängt stark von den Standorteigenschaften und der Stickstoffsättigung ab.

Eine geschlossene Bodenbedeckung erwies sich als sehr effektiv bezüglich der Reduktion von Nitrat austrägen mit dem Sickerwasser (BARTSCH 2000; WEIS 2002). Aus diesen Gründen ist eine frühe Verjüngung und eine geschlossene Bodenbedeckung, besonders in Gebieten mit einem erhöhten Risiko zu grossflächigen Störungen, aus der Sicht des Grundwasserschutzes zu fördern.

Die Ernterückstände tragen erheblich zur organischen Stickstoffreserve des Bodens bei. Durch entfernen dieser Überreste kann der Stickstoffdeposition entgegengewirkt werden (DISSMEYER 2000; LUNDBORG 1997). Allerdings werden dem Waldökosystem mit der Ganzbaumernte-Methode auch andere wichtige Nährstoffe (Ca<sup>2+</sup>, Mg etc.) entnommen, weshalb vor der Anwendung dieses Verfahrens eine sorgfältige Abwägung erfolgen sollte. Die Grösse der bewaldeten Fläche spielt bei der atmosphärischen Deposition von Schadstoffen ebenfalls eine grosse Rolle. Die Deposition von Schadstoffen aus der Luft nimmt vom Waldrand zum Waldesinneren ab. Kleine zerstückelte Waldgebiete nehmen demnach mehr Schadstoffe auf als grosse zusammenhängende (CALLESEN *et al.* 1999; SPANGENBERG 2002).

Eine weitere Massnahme zur Reduktion der Nitrat austräge kann die Düngung des Waldes mit den limitierenden Nährstoffen, ausser dem Stickstoff, sein. Eine Kalkung des Waldes ist nach BARTSCH (2000) an Standorten, an welchen die hohe Bodenversauerung ein Pflanzenwachstum limitiert, ein probates Managementmittel. Generell ist Kalkung aber nur nach

gewissenhafter Prüfung anzuwenden, da diese zu erhöhten Stoffausträgen führen kann (ARMBRUSTER *et al.* 2000; WENGER 2002).

Viele Studien, vorwiegend aus dem amerikanischen Raum, befassen sich mit den Auswirkungen von Waldbewirtschaftungsmassnahmen auf Oberflächengewässer. Sie untersuchen vor allem die Einflüsse des forstlichen Handelns auf die Wassertemperatur, die Sedimentfracht und die chemische Zusammensetzung des Wassers. Dabei hat sich sowohl für die Wassertemperatur als auch in Bezug auf die Gewässerchemie die Beibehaltung eines Waldstreifens an den Flussufern als günstig erwiesen (ARTHUR *et al.* 1998; DISSMEYER 2000).

Alle Autoren, welche sich zu diesem Thema äussern, sind sich einig, dass vor allen Bewirtschaftungsmassnahmen die Reduktion der Schadstoffemissionen höchste Priorität hat.

Der Effekt der waldbirtschaftlichen Massnahmen hängt allerdings immer stark von den örtlichen Bedingungen, wie Bestand, Boden und Klima ab (SCHLEPPI *et al.* 2003). So können die Massnahmen, welche sich am besten auf die Wasserbeschaffenheit auswirken, je nach Standort und Höhenlage variieren. Die meisten Untersuchungen bezüglich der für das Grundwasser besten Waldbewirtschaftung wurden in Deutschland gemacht. Dabei wurden vorwiegend die Baumarten Fichte, Buche und Kiefer untersucht, wodurch die Aussagen zu Laub- beziehungsweise Nadelwäldern demnach hauptsächlich auf diesen Baumarten beruhen. Vergleiche wie sich verschiedene Mischwaldarten auf die Wasserqualität auswirken, wurden praktisch keine gefunden. Die Ausnahme bilden Untersuchungen zu Kiefer-Buchenwäldern in Norddeutschland, welche sich aber nicht auf die Schweiz übertragen lassen. Heitz hat (In: ROTHE *et al.* 1998) darauf hingewiesen, dass die Tanne wahrscheinlich bessere Eigenschaften betreffend Grundwasserqualität aufweist, als die Fichte. Da in der Schweiz die Tanne in den Nadelmischwäldern relativ häufig vorkommt, und die Standort-eigenschaften eine wesentliche Rolle spielen, sollten die Untersuchungsergebnisse deshalb mit Vorsicht und in Kenntnis dieses Sachverhaltes auf die Schweiz übernommen werden.

Einige wichtige Untersuchungsgebiete und Publikationen zum Thema der Waldbewirtschaftung sind in nachfolgender Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Publikationen zur Waldbewirtschaftung.

Thema	Baumarten/Bestand	Untersuchungsgebiet	Referenz
Bestandeszusammensetzung; Hiebsmassnahmen	Fichte	Höglwald	KREUTZER 1994
Umfassend	Fichte, Buche (Eiche, Tanne)	Eurasburger Forst	ROTHE <i>et al.</i> 1999
Umfassend	Fichte	Deutschland, Höglwald	ROTHE <i>et al.</i> 1998
Baumentnahme	Fichte 75 %, Tanne 15 %	Tegernsee (Bayern)	BAEUMLER und ZECH 1999
Bewirtschaftungsform		Fürstenfeldbruck	KÖLLING 2002
Baumartenmischung	Buche, (Bergahorn/Linde, Tanne) im Fichtenwald	Deisenhofen	HEITZ 2001
Sickerwassermenge	Kiefernwälder mit Buchenunterbau	Eberswalde	MÜLLER 2002; MÜLLER und JENSSEN 2003
Sickerwassermenge	Kiefer, Buche	Britz	MÜLLER 1996
Nitratauswaschung, Waldgrösse	Fichte, Kiefer, Buche, Nordmannstanne	Dänemark	CALLESEN <i>et al.</i> 1999
Ganzbaumernte, Ernterückstände, Literaturstudie			LUNDBORG 1997
Bodenvegetation, Nitratauswaschung	Kiefer	Brandenburg	BOLTE <i>et al.</i> 2001
N-Input-Output Beziehung	Laub- und Nadelwald	USA	FENN <i>et al.</i> 1998

Tabelle 3: Fortsetzung.

Thema	Baumarten/Bestand	Untersuchungsgebiet	Referenz
Kahlschlag, Kalkung	Buche	Solling	BARTSCH 2000
Kalkung		Schwarzwald (D)	ARMBRUSTER <i>et al.</i> 2000
Femelhieb, Kahlschlag	Fichten, (Buchenverjüngung)	Höglwald	GÖTTLEIN <i>et al.</i> 2003
Waldbewirtschaftung, Grundwasser	Fichte, Eiche, Buche	Pfarrwald-Michelbach	SCHLÄR 1999
Umfassend		weltweit	GUNDERSEN <i>et al.</i> 2004
Sturmwurf	Fichte	u. a. Tertiärhügelland	MELLERT <i>et al.</i> 1996; MELLERT <i>et al.</i> 1998
Modellierung, Sickerwassermenge	Aktuelle und natürliche Waldzusammensetzung	BZE-Standorte (Deutschland)	BOLTE und WOLFF 2003
Bestandesalter, Stickstoffkreislauf			EMMETT <i>et al.</i> 1993
Kahlschlag	Fichte	Nördliche Kalkalpen	KATZENSTEINER 2003
Umfassend		weltweit	DISSMEYER 2000
Femelhieb, Kahlschlag, Bodenvegetation	Fichte	Bayern	WEIS 2002
Bestandeszusammensetzung, Hiabmassnahmen		Bayern	WENGER 2002
Standortrelevanz			BRECHTEL 1989
Bestandesstruktur, Kahlschlag	Fichte, Buche	Zentraleuropa	VON WILPERT <i>et al.</i> 2000
Waldanteil, Nitrataustrag	Fichte	Alptal (CH)	SCHLEPPI <i>et al.</i> 2003
Nitratausträge, Borkenkäfer	Fichte	Bayerischer Wald	HUBER 2002
Waldgrösse, N-Input- Output-Beziehung			SPANGENBERG 2002
Schmierstoffe, Baumzusammensetzung			HEIDELBAUER 2002
Waldzusammensetzung, Waldbewirtschaftung			ONF 1999
Kahlschlag, Wald- Landwirtschaft	Fichte, Buche, Eiche	Lorraine	BENOÎT et FIZAINE 1999
Stickstoffbindung	Erlen	USA	BINKLEY <i>et al.</i> 1992
Waldbewirtschaftung, Sickerwassermenge und -qualität	Buche	Deutschland	HÜSER <i>et al.</i> 1996
Deposition, Abfluss	Buche, Fichte (Föhre)	Mont – Lozère (F)	DIDON-LESCOT <i>et al.</i> 1993; DIDON-LESCOT <i>et al.</i> 1998
Sickerwasserspende	Fichte	Langvasslia (N)	HENRIKSEN und KIRKHUSMO 2000
Uferpufferzone		Kentucky (USA)	ARTHUR <i>et al.</i> 1998
Kalkung	Fichte	Höglwald	KREUTZER 1995

#### 4.2.6 Frage D: Was für Verrechnungs- bzw. Abgeltungsmodelle gibt es und welche haben sich bewährt?

Im Rahmen dieser Literaturstudie wurden einige Artikel sowohl aus der Schweiz (KÜCHLI und MEYLAN 2002; SCHADER und MESSERLI 1995) als auch aus Österreich und Deutschland (HEIDELBAUER 2002; WENGER 2002) gefunden, welche sich mit den zusätzlichen Leistungen der Waldbewirtschaftung (z. B. Förderung von Sickerwasser von hoher Qualität) auseinandersetzen und die Frage nach einer entsprechenden Abgeltung aufwerfen. Die einzige bekannte Publikation, welche ein konkretes Verrechnungsmodell beinhaltet, ist ein Merkblatt des Kantonsforstamtes von Solothurn zur Entschädigung bei Grundwasserschutzzonen im Wald.

SCHADER und MESSERLI (1995) teilen der Schutzfunktion des Waldes unter anderem auch den Schutz gegen Zivilisationsgefahren wie Trink- und Grundwasserverunreinigungen zu. Je nach Ansatz führt die Ermittlung des Nutzens dieser Funktionen zu sehr hohen Beträgen, da die Leistungen des Waldes an sich und nicht der Beitrag der Forstwirtschaft beurteilt wird. Zur Frage inwieweit sich Gegenstand, Umfang und Beschränkung des Grundeigentums (ZGB, SR 210) auf diese Leistungen erstrecken, wurde keine Publikation gefunden. In der Schweiz wird im Gewässerschutzgesetz im Grundsatz festgelegt, dass die Bodenbewirtschaftung so erfolgen soll, dass die Gewässer nicht durch Auswaschung beeinträchtigt werden (Art. 27 GSchG). Ebenso soll bei Kosten für Massnahmen im Umweltbereich das Verursacherprinzip angewendet werden (Art. 2. USG; Art.3 GSchG). So werden die Kosten für die kommunale Abwasserreinigung in den meisten Gemeinden den Trinkwasserbezügern mit einem Preisaufschlag verrechnet.

Zur Bodenbewirtschaftung hat der Bundesrat für die Nutztierhaltung besondere Vorschriften verordnet (SR 814.201). In den komplexeren Agrar- und Forstbereichen drängten sich weitergehende Verordnungen bisher nicht auf. Falls die Anforderungen an das Grundwasser (siehe Tabelle 2) nicht eingehalten werden, haben die Kantone für die erforderlichen Massnahmen zu sorgen (Art. 47, GSchV). Dazu kann in Zuströmbereichen (Art. 29, GSchV) der Minderertrag auf Grund von Massnahmen zur Reduktion des Nitrat- oder Pflanzenschutzmitteleintrages abgegolten werden.

In Anlehnung dazu sieht ein Abgeltungsmodell des Kantonsforstamtes Solothurn eine freiwillige Entschädigung für eine durch Nutzungseinschränkungen in den Grundwasserschutzzonen (S1, S2, S3) erschwerte Waldbewirtschaftung vor. Es wird festgehalten, dass eine Entschädigungspflicht nur besteht sofern die geforderten Schutzmassnahmen einem Nutzungsverbot gleich kommen. Aus Gründen der Gleichbehandlung von Waldbesitzern in Grundwasserschutzzonen und solchen in Waldreservaten wurde das Modell zur Bestimmung der Entschädigungsansätze von der Richtlinie für die Abgeltung von Waldreservaten abgeleitet (SOLOTHURN 2004).

Ein zweiter Abgeltungsansatz führt nicht über Nutzungseinschränkungen sondern über konkrete durch den Wald erbrachte Leistungen zu Gunsten von Trinkwasserversorgungen (AMSTUTZ *et al.* 2003). Ein vollständiges Modell für die Verrechnung solcher Leistungen wurde in keiner Publikation gefunden. Allerdings wurde mit verschiedenen Methoden (Alternativkostenansatz, Ersatz- oder Schadenkostenmethode, contingent markets) versucht den ungefähren Wert der forstwirtschaftlichen Leistungen abzuschätzen (BISHOP 1998; OLSCHESKI *et al.* 1997; SCHADER und MESSERLI 1995; WIBE 1994; WILSON und CARPENTER 1999). Vor allem die «Nicht-Markt-Methoden» führen dabei oft zu sehr hohen Beträgen. Dies liegt daran, dass wie eingangs erwähnt die Leistungen des Waldes an sich und nicht nur der Beitrag der Waldwirtschaft bewertet werden (SCHADER und MESSERLI 1995).

Die Grundlagen für die ökonomischen Modelle zur monetären Bewertung der erbrachten Leistung durch die Forstwirtschaft beruhen alle auf klaren Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Das heisst, der forstwirtschaftlichen Leistung, wie zum Beispiel die Erhöhung des Laubbestandes in einem Einzugsgebiet, muss eine klare Wirkung – Reduzierung des Nitrataustrags

um einen bestimmten Betrag – zugeteilt werden können. Da das forstliche Handeln aber im komplexen Prozesssystem eines Waldes je nach Standort ganz andere Auswirkungen haben kann, können wohl für einzelne gut untersuchte Standorte Abschätzungen durchgeführt werden. Eine generelle Anwendung erweist sich jedoch als problematisch, weshalb gegenwärtig einzig Aufwand basierte Verfahren einfach nachvollziehbare Bestimmungen erlauben.

Die wichtigsten wissenschaftlichen Publikationen sind: BISHOP 1998; KRISTROEM 2000; OLSCHESKI *et al.* 1997; SCHADER und MESSERLI 1995; WIBE 1994; WILSON und CARPENTER 1999.

#### 4.2.7 Frage E: Was passiert auf dem Sickerweg?

Die Sickerstrecke umfasst den Weg des Wassers von der Infiltration in den Boden bis zum Erreichen des Grundwasserspiegels. Dieser Weg kann grundsätzlich in zwei Bereiche oder Kompartimente unterteilt werden, welche das Sickerwasser nacheinander durchfließt. Das erste Kompartiment besteht aus dem Boden im pedologischen Sinn: Er besteht aus der Humusaufgabe (Oberboden, A-Horizont) und dem teilweise von der Vegetation beeinflussten Mineralboden (Unterboden, B-Horizont). Die in diesem Bodenteil ablaufenden Prozesse werden im Systembescrieb in Kapitel 4.2.1 erwähnt (vgl. auch Abb. 4 und Abb. 5) und in den Fragen A bis C wieder aufgenommen. Sie variieren je nach Standorteigenschaften (Niederschlagsmenge, Vegetationsart, Bodentyp, Mikroorganismen, Temperatur, Licht, pH-Wert usw.) sehr stark (GISI *et al.* 1997; ROTHE 1997; SCHEFFER 1993).

Das zweite Kompartiment ist der nicht wassergesättigte Untergrund (Deckschicht). Er liegt zwischen dem Einflussbereich der Vegetation (1. Kompartiment) und dem Grundwasserspiegel. Ein Grossteil der Belastungen des Sickerwassers können im Oberboden und Unterboden zurückgehalten bzw. abgebaut werden. Demgegenüber finden im nicht wassergesättigten Untergrund nur noch untergeordnet Rückhalte- und Abbauprozesse statt. Im Grundwasser findet vorwiegend Vermischung statt (Meylan, pers. Mitt.).

Durch das Auflösen von basischem Gesteinsmaterial können Säureeinträge abgepuffert werden (ROTHE *et al.* 1998). Bei Anwesenheit von Ammonium und Sauerstoff findet die Nitrifikation statt ( $\text{NH}_4^+$  wird über  $\text{NO}_2^-$  in  $\text{NO}_3^-$  oxidiert, GISI *et al.* 1997) und gelöstes organisches Material (DOC) kann durch den Sauerstoff abgebaut werden (siehe z. B. RÜETSCHI und WÜLSER 1999). Die Adsorption von im Wasser gelösten Stoffen an Tonmineralien findet vor allem im Boden (erstes Kompartiment) und bei tonigen Deckschichten auch im nicht wassergesättigten Untergrund (zweiten Kompartiment) statt. Im Grundwasser erfolgt dieser Vorgang nur noch untergeordnet. Aber auch in diesem Kompartiment entscheiden die Standorteigenschaften welche Prozesse in welchem Ausmass ablaufen. So wird einerseits unter anaeroben Verhältnissen das  $\text{NO}_3^-$  in  $\text{NH}_4^+$  umgewandelt oder andererseits durch eine Veränderung des chemischen Milieus die an Tonmineralien adsorbierten Stoffe wieder freigesetzt.

Die Auswirkungen, welche Boden und der nicht wassergesättigte Untergrund auf die Sickerwasserqualität haben, hängen vor allem von deren Mächtigkeit, und der Verweildauer des Wassers ab. So entfällt zum Beispiel der nicht wassergesättigte Untergrund bei einem oberflächennahen Grundwasserspiegel ganz (SCHLEPPI *et al.* 2003). Dafür kann im nicht wassergesättigten Untergrund, der aus einem basenreichen Substrat besteht, ein im obersten Kompartiment noch deutlich sichtbarer Unterschied des Aluminiumaustrags unter unterschiedlichen Beständen wieder ausnivelliert werden (ROTHE *et al.* 1998). Zudem wird die Beeinflussung des Sickerwassers durch die beiden Kompartimente bei dessen Vermischung mit dem Grundwasser weiter abgeschwächt.

Direkte quantitative Vergleiche zwischen dem vom Wald oder der Vegetation beeinflussten Bereich und den darunter liegenden Deckschichten wurden in der Literatur nicht gefun-

den. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die meisten Publikationen einen einzelnen Stofffluss thematisieren und nicht ein Kompartiment als solches behandeln (z. B. LIKENS *et al.* 2002; LIKENS *et al.* 1998).

## 5 Schlussfolgerungen

Wald beeinflusst die Grundwasserqualität, aus dem in der Schweiz ein grosser Teil des Trinkwassers gewonnen wird, auf vielfältige Art und Weise. Grundsätzlich kann dabei zwischen einer aktiven und einer passiven Wirkung unterteilt werden.

Die passive Wirkung des Waldes auf die Wasserqualität ist unter den in der Schweiz heute geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen positiv zu beurteilen. Sie kommt dadurch zustande, dass im Wald viel weniger potentiell wassergefährdende Aktivitäten stattfinden, weil diese oft verboten oder mit strengen Auflagen verbunden sind. Deshalb ist der Eintrag von Problemstoffen wie Kohlenwasserstoffverbindungen, Treibstoffen etc. unter Wald kleiner als z. B. unter Siedlungen oder intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Die aktive Wirkung des Waldes auf die Wasserqualität resultiert aus der Veränderung von Wasser- und Stoffflüssen. Die aktive Waldwirkung auf die Wasserqualität ist in der Regel positiv. Aus Deutschland ist auch bekannt, dass sie in Gebieten mit sehr hoher Luftverschmutzung auch negativ sein kann, weil dann Bäume mehr Schadstoffe aus der Luft auskämmen als z. B. Gras. In den meisten Gebieten überwiegt allerdings die positive Wirkung auf die Wasserqualität.

Eine wichtige Rolle spielt dabei die Fähigkeit der Böden, Stoffe abzubauen bzw. aufzunehmen, welche Trinkwasser belasten. Vor allem die Fähigkeit Stoffe aufzunehmen ist nicht unbegrenzt. Deshalb sind Wälder z. B. nicht in der Lage, Stickstoffeinträge aus der Luft in jenen Mengen aufzunehmen, wie sie heute in der Schweiz beobachtet werden, ohne dass früher oder später nicht auch die Konzentrationen im Sicker- und auch im Grundwasser ansteigen werden. Naturnaher Waldbau mit biologisch möglichst aktiven Böden hat zum Ziel diesen Anstieg möglichst lange hinauszuzögern.

Ein weiterer wichtiger Faktor der positiven Wirkung des Waldes auf die Wasserqualität liegt in der Tatsache begründet, dass Nährstoffe jahrelang in einem Kreislauf gehalten werden. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wird dieser Kreislauf bei jeder Ernte ganz oder teilweise aufgebrochen und ein Teil der Nährstoffe (vor allem Stickstoff) gelangt ins Grundwasser. Auch bei der Holzernte werden Nährstoffkreisläufe aufgebrochen. Entsprechend sind schon unter kleinen Kahlschlagflächen erhöhte Stickstoffausträge zu erwarten.

Das Ausmass der aktiven Waldwirkung ist je nach Standort und Waldzustand unterschiedlich. Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass reine Buchenbestände kleinere Auskämmungen und positivere Bodeneigenschaften aufweisen als Nadelbestände. Vergleichsweise wenig ist allerdings bekannt über Mischwälder, wie sie für die Schweiz typisch sind. Generell ist die Wirkung des Waldes auf die Wasserqualität auf flachgründigen und/oder dauernd vernässten Böden gering.

Die Waldbewirtschaftung kann auf geeigneten Standorten langfristig über eine Veränderung des Waldzustandes eine positive Wirkung auf die Wasserqualität erzielen, wenn heute eine ungünstige Ausgangssituation besteht. Ungünstig sind vor allem alte Fichtenreinbestände.

Kurzfristig können bei der Holzernte negative Wirkungen auftreten. Kritisch sind hier z. B. Betriebs- und Schmiermittel von Erntemaschinen und -geräten, welche auf den Boden und von dort ins Wasser gelangen können. Im Vordergrund stehen vor allem Kahlschläge, welche den Nährstoffkreislauf aufbrechen und dadurch Stickstoffauswaschung ins Grundwasser ermöglichen. Diese kann durch Einzelbaumnutzung, Vorverjüngung und Bodenvegetation begrenzt werden.

Wie stark sich die Waldbewirtschaftung letztendlich im Grundwasser auswirkt, hängt von verschiedenen teilweise schwer fassbaren Faktoren ab. Die Auswirkungen sind umso grösser, je grösser der Eingriff ist, und umso kleiner, je stärker die Durchmischung mit Wasser ist, welches aus anderen Bereichen des Einzugsgebietes stammt. Viele der im vorliegenden Bericht berücksichtigten Arbeiten untersuchten zudem vor allem das Sickerwasser unter Wald und nicht das Grundwasser. Je nach lokalen Gegebenheiten können auf dem Sickerweg vom Boden bis in den und im Grundwasserträger noch erhebliche An- oder Abreicherungen erfolgen, die aber noch kaum im Detail bekannt sind.

Obwohl die grundsätzlichen Mechanismen bekannt sind, wie der Wald auf die Wasserqualität wirkt, und ökonomische Modelle bestehen um derartige Wirkungen zu bewerten, gestaltet sich ihre Anwendung ausserhalb von gut untersuchten Einzugsgebieten ausserordentlich schwierig, weil die steuernden Parameter im komplexen Prozesssystem eines Waldes teilweise noch nicht richtig erkannt und in den meisten Fällen aufwendig zu erheben sind. Für die Quantifizierung möglicher Abgeltungen für Leistungen der Waldwirtschaft zu Gunsten einer verbesserten Trinkwasserqualität sind deshalb bis jetzt vor allem Aufwand basierte Verfahren entworfen worden.

Zusammenfassend kann der aktuelle Kenntnisstand in der untersuchten Literatur bezüglich des Einflusses des Waldes auf die Qualität von Grundwasser wie folgt beschrieben werden: Die grundsätzlichen Prozesse und Zusammenhänge über welche der Wald und die Waldnutzung die Wasserqualität beeinflussen sind bekannt. Weil aber die steuernden Parameter im komplexen Prozesssystem nur in seltenen Fällen erhoben werden können, ist die Quantifizierung der Wirkungen bis heute nur in intensiv beobachteten Gebieten möglich.

Deshalb sind der Übertragung von Erkenntnissen von einem Standort auf einen anderen auch bei grosser naturräumlicher Ähnlichkeit Grenzen gesetzt. Aussagen, die neben der Richtung auch das Ausmass der Wirkung einer Massnahme beschreiben, sind heute kaum machbar. Erschwert wird dies durch die Tatsache, dass in der Schweiz im internationalen Vergleich kaum Untersuchungsgebiete bestehen, wo die Zusammenhänge zwischen Wald, Waldbewirtschaftung und Wasserqualität untersucht werden. Es ist deshalb in Zukunft anzustreben auch in der Schweiz Untersuchungsgebiete zum Thema Wald und Wasserqualität einzurichten, welche sich schwergewichtig der Frage der steuernden Parameter annehmen.

### **Dank**

Unser Dank gilt allen, die an diesem Bericht mitgewirkt haben. Insbesondere denjenigen, welche im Anhang 1 aufgeführt sind.

**Anhang 1: Personenliste**

---

Name	Organisation
Alois Kempf	WSL
Anna Roschewitz	WSL
Anne Thimonier	WSL
Beat Jordi	Journalist
Benjamin Meylan	BUWAL, Grundwasser
Christian K�uchli	BUWAL, Wald und Gesellschaft
Christoph Angst	WSL
Daniel Hartmann	BUWAL, Grundwasser
Daniel K�ochli	WSL
Daniel R�uetschi	GG – Uni-Basel
Frank Hagedorn	WSL
Jean Combe	WSL, Antenne Romand
J�rg Zobrist	EAWAG, NADUF
Melissa Swartz	WSL
Patrick Schleppi	WSL, NITREX
Priska Baur	WSL
Walter Rosselli	WSL, Antenne Romand

---

## Anhang 2: Untersuchungsgebiete

### EUROPA

Land/Untersuchungsgebiet	Anzahl Zitierungen
<b>Schweiz</b>	
Alptal	19
Lange Erlen	2
Möhlin	1
Andere	12
Total	<b>34</b>
<b>Deutschland</b>	
Eberswalde	5
Höglwald	8
Krodorf	3
Schwarzwald	4
Solling	11
Tegernsee	3
Andere	61
Total	<b>95</b>
<b>Niederlande</b>	
Speuld	1
Ysselsteyn	1
Andere	4
Total	<b>6</b>
<b>Spanien</b>	
Sierra de Gata	2
Andere	1
Total	<b>3</b>
<b>Norwegen</b>	
Birkenes	2
Langvasslia	1
Andere	6
Total	<b>9</b>
<b>Schweden</b>	
Gårdsjön	6
Andere	19
Total	<b>25</b>
<b>Tschechien</b>	
Total	<b>4</b>
<b>Kroatien</b>	
Total	<b>1</b>
<b>Irland</b>	
Total	<b>2</b>

### NORDAMERIKA

Land/Untersuchungsgebiet	Anzahl Zitierungen
<b>USA</b>	
Süd-Appalachen	4
Coweeta	7
Harvard Forest	6
Hubbard Brook	20
Niwot Ridge	3
Andere	89
Total	<b>129</b>

### ASIEN und AUSTRALIEN

Land/Untersuchungsgebiet	Anzahl Zitierungen
<b>Australien</b>	
Queensland	3
Andere	4
Total	<b>7</b>

Land/Untersuchungsgebiet	Anzahl Zitierungen
<b>Frankreich</b>	
Mont-Lozère	6
Monts du Beaujolais	2
Strengbach	3
Andere	8
Total	<b>19</b>
<b>Österreich</b>	
Nördliche Kalkalpen	1
Andere	11
Total	<b>12</b>
<b>Italien</b>	
Val Gerola	1
Val Masino	1
Total	<b>2</b>
<b>Great Britan</b>	
Beddgelert Forest	5
Aber	2
Plynlimon	2
Andere	17
Total	<b>26</b>
<b>Dänemark</b>	
Klosterhede	4
Andere	6
Total	<b>10</b>
<b>Finnland</b>	
Ahvenisto esker	2
Kruunuoja	2
Andere	12
Total	<b>16</b>
<b>Estland</b>	
Total	<b>1</b>
<b>Belgien</b>	
Total	<b>4</b>
<b>Slowakei</b>	
Total	<b>1</b>
<b>Europa</b>	
Total	<b>27</b>

Land/Untersuchungsgebiet	Anzahl Zitierungen
<b>Kanada</b>	
Total	<b>18</b>
<b>Nordamerika</b>	
Total	<b>10</b>

Land/Untersuchungsgebiet	Anzahl Zitierungen
<b>Japan</b>	
Total	<b>3</b>
<b>Neuseeland</b>	
Total	<b>4</b>

### Anhang 3: Literaturliste

- 2000: Eau, Terre & Nature 37, Spécial: 104.
- 2002: Sustainable forestry to protect water quality and aquatic biodiversity, Sustainable forestry to protect water quality and aquatic biodiversity. Orby, Sweden, 13–15 March 2001, Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift. UK Forestry Commission and its applied branch Forest Enterprise Regional Forestry Board of Vastra Gotaland county, Sweden.
- ABER, J.D.; DRISCOLL, C.T., 1997: Effects of land use, climate variation, and N deposition on N cycling and C storage in northern hardwood forests. *Global Biogeochemical Cycles* 11, 4: 639–648.
- ABER, J.D.; MAGILL, A.; BOONE, R.; MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.; BOWDEN, R., 1993: Plant and soil responses to chronic nitrogen additions at the Harvard forest, Massachusetts. *Ecological Applications* 3, 1: 156–166.
- ABER, J.D.; OLLINGER, S.V.; DRISCOLL, C.T., 1997: Modeling nitrogen saturation in forest ecosystems in response to land use and atmospheric deposition. *Ecological Modelling* 101, 1: 61–78.
- ABER, J.D.; OLLINGER, S.V.; DRISCOLL, C.T.; LIKENS, G.E.; HOLMES, R.T.; FREUDER, R.J.; GOODALE, C.L., 2002: Inorganic nitrogen losses from a forested ecosystem in response to physical, chemical, biotic, and climatic perturbations. *Ecosystems* 5, 7: 648–658.
- ABILDTRUP, J.; STRANGE, N., 2000: The option value of non-contaminated forest watersheds. *Forest Policy and Economics* 1, 2: 115–125.
- ABRAHAMSEN, G.; STUANES, A.O., 1998: Retention and leaching of N in Norwegian coniferous forests. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, 2–3: 171–178.
- ABUBAKAR, M.M.; LORD, W.B., 1992: Persistent Conflicts Over Timber Production and Watershed Management – a Problem Analysis. *Water Resources Bulletin* 28, 5: 845–852.
- ADAMS, M.A.; ATTWILL, P.M., 1991: Nutrient balance in forests of northern Tasmania. 2. Alteration of nutrient availability and soil-water chemistry as a result of logging, slash-burning and fertilizer application. *Forest Ecology and Management* 44, 2–4: 115–131.
- ADAMUS, C.L.; BERGMAN, M.J., 1995: Estimating nonpoint-source pollution loads with a GIS screening model. *Water Resources Bulletin* 31, 4: 647–655.
- AFC, 2002: Arkansas Forestry Best Management Practices For Water Quality Protection, Arkansas Forestry Commission. 41 pp.
- AGSTER, G.; EINSELE, G., 1983: Ein- und Austrag gelöster Stoffe. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 5: 297–300.
- AHERNE, J.; FARRELL, E.P., 2002: Steady state critical loads of acidity for sulphur and nitrogen: a multi-receptor, multi-criterion approach. *The Science of The Total Environment* 288, 3: 183–197.
- AHTIAINEN, M., 1992: The effects of forest clear-cutting and scarification on the water quality of small brooks. *Hydrobiologia* 243–244, 0: 465–473.
- AHTIAINEN, M.; HUTTUNEN, P., 1999: Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research* 4, 2: 101–114.
- ALEWELL, C.; ARMBRUSTER, M.; BITTERSÖHL, J.; EVANS, C.D.; MEESENBERG, H.; MORITZ, K.; PRECHTEL, A., 2001: Are there signs of acidification reversal in freshwaters of the low mountain ranges in Germany? *Hydrology and Earth System Sciences* 5, 3: 367–378.
- ALEWELL, C.; BREDEMEIER, M.; MATZNER, E.; BLANK, K., 1997: Soil solution response to experimentally reduced acid deposition in a forest ecosystem. *Journal of Environmental Quality* 26: 658–665.
- ALEWELL, C.; MITCHELL, M.J.; LIKENS, G.E.; KROUSE, H.R., 1999: Sources of stream sulfate at the Hubbard Brook Experimental Forest: long-term analyses using stable isotopes. *Biogeochem.* 44, 3: 281–299.
- ALFTER, P., 1998: Recherche sur les biens et services non-bois de la forêt suisse: Quantification et essai de valorisation dans le cadre d'un projet de l'OFEP. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 149: 87–104.
- ALFTER, P., 1999: Der Wald besteht nicht nur aus Holz: Die "Non-wood"-Güter und Dienstleistungen des Waldes. *Wald und Holz* 15: 26–27.
- AMSTUTZ, U.; BINDER, M.; GRESCH, P.; HEINIMANN, H.R.; HOSTETTLER, M.; INDERBITZIN, W.; RIEDER, P.; SCHOPP, G., 2003: 8 Thesen für eine zukunftsfähige Waldwirtschaft. Solothurn, Waldwirtschaft Schweiz. 16 pp.
- ANDERSEN, H.E.; KRONVANG, B.; LARSEN, S.E., 1999: Agricultural practices and diffuse nitrogen pollution Denmark: Empirical leaching and catchment models. *Water Science and Technology* 39, 12: 257–264.
- ANDERSON, H.; MILLER, J., 1992: The influence of peatland afforestation and water quality, Land use change: The causes and consequences.
- ANDERSSON, L.; LEPISTÖ, A., 1998: Links between runoff generation, climate and nitrate-N leaching from forested catchments. *Water, Air and Soil Pollution* 105, 1–2: 227–237.
- ANDERSSON, P.; BERGGREN, D.; NILSSON, I., 2002: Indices for nitrogen status and nitrate leaching from Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Sweden. *Forest Ecology and Management* 157, 1–3: 39–53.
- ANDERSSON, S.; NILSSON, I.; SAETRE, P., 2000: Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in mor humus as affected by temperature and pH. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 1: 1–10.
- ANDERSSON, S.; NILSSON, I.; VALEUR, I., 1999: Influence of dolomitic lime on DOC and DON leaching in a forest soil. *Biogeochem.* 47, 3: 297–317.
- ANTON, K., 1999: Afforestation of agricultural lands as a means of conserving drinking water in the water conservation zone of Holdorf. *Forst und Holz* 54, 13: 404–408.
- ARAH, J.R.M.; THORNLEY, J.H.M.; POULTON, P.R.; RICHTER, D.D., 1997: Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the ITE (Edinburgh) Forest and Hurley Pasture ecosystem models. *Geoderma* 81, 1–2: 61–74.

- ARMBRUSTER, M.; KOHLER, H.; FEGER, K.H., 2000: Chemical composition of first-order forest streams in the upper Black Forest – Variability related to runoff dynamics and soil liming. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 119, 5: 249–262.
- ARNET, H., 2003: Vor lauter Bäumen den Wald sehen. *Tages Anzeiger*, Region; Seite 23: 1.
- AROCENA, J.M., 2000: Cations in solution from forest soils subjected to forest floor removal and compaction treatments. *Forest Ecology and Management* 133, 1–2: 71–80.
- ARP, P.A.; OJA, T., 1997: A forest soil vegetation atmosphere model (ForSVA). 1. Concepts. *Ecological Modelling* 95, 2–3: 211–224.
- ARTHUR, M.A.; COLTHARP, G.B.; BROWN, D.L., 1998: Effects of best management practices on forest streamwater quality in eastern Kentucky. *Journal of the American Water Resources Association* 34, 3: 481–495.
- ÅSTRÖM, M.; AALTONEN, E.K.; KOIVUSAARI, J., 2002: Impact of forest ditching on nutrient loadings of a small stream – a paired catchment study in Kronoby, W. Finland. *The Science of The Total Environment* 297, 1–3: 127–140.
- ATTENBERGER, E.; MORITZ, K.; WEBER, H., 2002: Groundwater resources in Bavarian forest areas – Quality monitoring and protection approach. *Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau*, 3: 85–89.
- AUBERTIN, G.M.; PATRIC, J.H., 1974: Water Quality after clearcutting a Small Watershed in West Virginia. *Journal of Environmental Quality* 3, 3: 243–49.
- AUSSENAC, G., 1996: Forêts et eaux: relations entre écosystème forestiers et ressources en eau. *INRA Mensuel les Dossiers* 12: 12;18–23.
- BAEUMLER, R.; ZECH, W., 1998: Impact of forest interventions on the water regime and water quality of mountain forest ecosystems in the Bavarian alps. *Ecologie (Brunoy)* 29, 1–2: 271–276.
- BAEUMLER, R.; ZECH, W., 1999: Effects of forest thinning on the streamwater chemistry of two forest watersheds in the Bavarian Alps. *Forest Ecology and Management* 116, 1–3: 119–128.
- BAILEY, S.W.; BUSO, D.C.; LIKENS, G.E., 2003: Implications of sodium mass balance for interpreting the calcium cycle of a forested ecosystem. *Ecology* 84, 2: 471–484.
- BALÄZS, A., 1989: Räumliche und zeitliche Variation der Niederschlagsinhaltsstoffe im Freiland und unter Fichtenbeständen in Hessen, DVWK Mitteilungen. DVWK Mitteilungen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Bonn, pp. 53–64.
- BALÄZS, A., 1989: Säurebilanz eines Fichtenbestandes im hessischen Forstamt Wizenhausen, DVWK Mitteilungen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Bonn, pp. 67–82.
- BALÄZS, A.; BRECHTEL, H.M., 1989: Mangan-, Aluminium- und Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter Fichtenaltbeständen der Messstationen des WDI-Untersuchungsprogrammes des Landes Hessen, DVWK Mitteilungen. DVWK Mitteilungen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Bonn, pp. 83–92.
- BALÄZS, A.; BRECHTEL, H.M.; ELROD, J., 1989: Beurteilung der Pufferkapazität bewaldeter Einzugsgebiete in Nordhessen aufgrund der Bachqualität, DVWK Mitteilungen. DVWK Mitteilungen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Bonn, pp. 111–140.
- BALESTRINI, R.; TAGLIAFERRI, A., 2001: Atmospheric deposition and canopy exchange processes in alpine forest ecosystems (northern Italy). *Atmospheric Environment* 35, 36: 6421–6433.
- BALLARD, T.M., 2000: Impacts of forest management on northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133, 2-Jan: 37–42.
- BARG, A.K.; EDMONDS, R.L., 1999: Influence of partial cutting on site microclimate, soil nitrogen dynamics, and microbial biomass in Douglas-fir stands in western Washington. *Canadian Journal of Forest Research* 29, 6: 705–713.
- BARON, J.S.; OJIMA, D.S.; HOLLAND, E.A.; PARTON, W.J., 1994: Analysis of nitrogen saturation potential in Rocky Mountain tundra and forest: implications for aquatic systems. *Biogeochem.* 27, 1: 61–82.
- BARTSCH, N., 2000: Element release in beech (*Fagus sylvatica* L.) forest gaps. *Water, Air and Soil Pollution* 122, 1/2: 3–16.
- BASLER, E.U.P., 1990: Situation der Trinkwasserversorgung: Zwischenbericht. Bern, BUWAL. 29 pp.
- BASNYAT, P.; TEETER, L.; LOCKABY, B.G.; FLYNN, K.M., 2000: Land use characteristics and water quality: A methodology for valuing of forested buffers. *Environmental Management* 26, 2: 153–161.
- BATES, J.D.; SVEJCAR, T.J.; MILLER, R.F., 2002: Effects of juniper cutting on nitrogen mineralization. *Journal of Arid Environments* 51, 2: 221–234.
- BAUHUS, J., 1996: C and N mineralization in an acid forest soil along a gap-stand gradient. *Soil Biology & Biochemistry* 28, 7: 923–932.
- BAUMGARTNER, A., 1979: Verdunstung im Wald, Wald und Wasser – Entwicklung und Stand. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVKW). Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVKW), Bonn, pp. 39.
- BAYKAL, B.B.; TANIK, A.; GONENC, E., 1999: A relatively less polluted drinking water reservoir of metropolitan Istanbul near the black sea coast. *Water Science and Technology* 39, 8: 147–153.
- BAZZURRO, F.; MENICHINI, P.; PETESSE, M.L.; RUSSI, A.; UFFREDUZZI, T., 1999: A map of surface water quality prepared for land resource planning in central Italy. *Genio Rurale* 62, 10: 46–53.
- BEIER, C., 1998: Comparison of N and C dynamics in two Norway spruce stands using a process oriented simulation model. *Environmental Pollution* 102, S1: 395–401.
- BEIER, C.; ECKERSTEN, H., 1998: Modelling the effects of nitrogen addition on soil nitrogen status and nitrogen uptake in a Norway spruce stand in Denmark. *Environmental Pollution* 102 Suppl.: 409–414.
- BEIERKUHNEIN, C.; DURKA, W., 1993: Beurteilung von Stoffausträgen immissionsbelasteter Waldökosysteme Nordostbayerns durch Quellwasseranalysen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 112: 225–239.

- BELT, G.H.; O'LAUGHLIN, J., 1994: Buffer strip design for protecting water quality and fish habitat. *Western Journal of Applied Forestry* 9, 2: 41–45.
- BENDE, U., 1997: Regional hydrochemical modelling by delineation of chemical hydrological response units (CHRUs) within a GIS: An approach of observing man-made impacts in the Broel River catchment (Germany). *Mathematics and Computers in Simulation* 43, 3–6: 305–312.
- BENECKE, P., 1984: Der Wasserumsatz eines Buchen- und Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. Schriftenreihe aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 77. Frankfurt am Main, J. D. Sauerländer's Verlag. 158 pp.
- BENECKE, P., 1989: Wald und Grundwasser. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 160, 2–3: 21–27.
- BENECKE, P., 1989: Die Bedeutung des Waldes für die Trinkwassergewinnung im Harz – Gefahren für die Qualität. *AFZ. Der Wald* 44, 18–20: 462–467.
- BENECKE, P., 1993: Zur Aufforstung von Wassereinzugsgebieten, Wald in Wasserschutzgebieten. Ergebnisse aus einem Fachgespräch am 04. Juni 1992. Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover, pp. 48–58.
- BENECKE, P.; LIEBSCHER, H.J.; MEYER, E., 1980: Forstlich-hydrologische Untersuchungen im Kaufunger Wald. Schriftenreihe aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 63. Frankfurt am Main, J. D. Sauerländer's Verlag. 333 pp.
- BENECKE, P.; VAN DER PLOEG, R.R., 1978: Wald und Wasser I. Komponenten des Wasserhaushalts von Waldökosystemen. *Forstarchiv* 1, 49: 1–7.
- BENFIELD, E.F.; WEBSTER, J.R.; TANK, J.L.; HUTCHENS, J.J., 2001: Long-term patterns in leaf breakdown in streams in response to watershed logging. *International Review of Hydrobiology* 86, 4–5: 467–474.
- BENOÎT, M.; FIZAINE, B., 1999: Qualité des eaux en bassins forestiers d'alimentation. *Revue Forestiere Francaise* 51, 2: 162–172.
- BENOÎT, M.; FIZAINE, G.; BERNARD, P.-Y., 2002: Qualité nitrique des eaux en bassins forestiers d'alimentation: fonctionnement stable et effets "post-tempête 26/12/1999". In: J. Combe und W. Rosselli, *L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable*. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL. Lausanne, 26.11.2002. Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, pp. 29–36.
- BERDEN, M.; NILSSON, I., 1996: Influence of added ammonium sulphate on the leaching of aluminium, nitrate and sulphate – A laboratory experiment. *Water, Air and Soil Pollution* 87, 1–4: 1–22.
- BERDEN, M.; NILSSON, I.; NYMAN, P., 1997: Ion leaching before and after clear-cutting in a Norway spruce stand – Effects of long-term application of ammonium nitrate and superphosphate. *Water, Air and Soil Pollution* 93, 1–4: 1–26.
- BERGKVIST, B., 1987: Leaching of metals from forest soil as influenced by tree species and management. *Forest Ecology and Management* 22, 1–2: 29–56.
- BFS, 2002: Umwelt Schweiz 2002 – Statistiken und Analysen. Neuchâtel, Bundesamt für Statistik, Espace de l'Europe. 321 pp.
- BINKLEY, D.; BROWN, T.C., 1993: Forest practices as nonpoint sources of pollution in North- America. *Water Resources Bulletin* 29, 5: 729–740.
- BINKLEY, D.; BURNHAM, H.; ALLEN, H.L., 1999: Water quality impacts of forest fertilization with nitrogen and phosphorus. *Forest Ecology and Management* 121, 3: 191–213.
- BINKLEY, D.; SOLLINS, P., 1993: Factors Determining Differences in Soil-Ph in Adjacent Conifer and Alder Conifer Stands (Vol 54, Pg 1427, 1990). *Soil Science Society of America Journal* 57, 3: 838–838.
- BINKLEY, D.; SOLLINS, P.; BELL, R.; SACHS, D.; MYROLD, D., 1992: Biogeochemistry of Adjacent Conifer and Alder-Conifer Stands. *Ecology* 73, 6: 2022–2033.
- BIRON, P., 1994: Le cycle de l'eau en forêt de moyenne montagne: flux de sève et bilans hydriques stationnels (Bassin versant du Strengbach à Aubure Hautes-Vosges). Strasbourg, Université Louis Pasteur.
- BISCHOFF, A., 1986: «Wasserbau im Kanton Graubünden». *Bündnerwald* 39,4: 18–19.
- BISHOP, J.T., 1998: The economics of non-timber forest benefits: an overview. London, Gatekeeper/ International Institute for Environment and Development, Environmental Economics Programme. 17 pp.
- BITTERSÖHL, J.; KÖLLING, C.; KREBS, M.; MORITZ, K.; MÜLLER, F.-X.; BOHLEN, W.V., 1997: Grundwasserversauerung in Bayern. Informationsbericht, 1. München, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft.
- BLAHNIK, T.; DAY, J.J., 2000: The effects of varied hydraulic and nutrient loading rates on water quality and hydrologic distributions in a natural forested treatment wetland. *Wetlands* 20, 1: 48–61.
- BLF, 2003: Woche des Waldes «Wald und Wasser – zwei starke Partner». Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Forstliche Kommunikation. 9 pp.
- BLW, 1995: Internationales Symposium Grundwasserversauerung durch atmosphärische Deposition. Ursachen-Auswirkungen-Sanierungsstrategien., Grundwasserversauerung durch atmosphärische Deposition. Ursachen-Auswirkungen-Sanierungsstrategien. Bayreuth, 26.–28.10.95, Informationsberichte des Bayer. Landesamtes f. Wasserwirtschaft. Bayerisches Landesamtes für Wasserwirtschaft.
- BOCKHEIM, J.G.; CROWLEY, S.E., 2002: Ion cycling in hemlock-northern hardwood forests of the southern Lake Superior region: A preliminary study. *Journal of Environmental Quality* 31, 5: 1623–1629.
- BODEM, M.; BALÁZS, A.; BRECHTEL, H.M.; RITTER, R., 1989: Chemische Qualität des Bodensickerwassers von Waldstandorten bei Düngungsversuchen im Zusammenhang mit Bodenversauerung. Vergleich von Ergebnissen aus Hessen und Baden-Württemberg, DVWK Mitteilungen. DVWK Mitteilungen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Bonn, pp. 141–171.
- BOLTE, A.; LESSNER, C.; MÜLLER, J.; KALLWEIT, R., 2001: Zur Rolle der Bodenvegetation im Stoff- und Wasserhaushalt von Kiefernökosystemen – Level II – Untersuchungen in Brandenburg. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 35, 1: 26–29.

- BOLTE, A.; WOLFF, B., 2003: Einfluss von realer und potenzieller natürlicher Waldbedeckung auf die Tiefenversickerung – eine bundesweite Modellstudie auf BZE-Standorten. *Forst und Holz* 58, 15–16: 435–439.
- BORG, H.; STONEMAN, G.L.; WARD, C.G., 1988: The effect of logging and regeneration on groundwater, streamflow and stream salinity in the southern forest of Western Australia. *Journal of Hydrology* 99, 3–4: 253–270.
- BORJESSON, P., 2000: Economic valuation of the environmental impact of logging residue recovery and nutrient compensation. *Biomass & Bioenergy* 19, 3: 137–152.
- BRAHMER, G., 1994: Effects of Whole Catchment Liming and Mg Addition On Soil-Water and Runoff At 2 Forested Watersheds in the Black-Forest (Germany). *Forest Ecology and Management* 68, 1: 47–60.
- BRAUN, M.; ROLLI, D.K.; PRASUHN, V., 1997: Gewässerschutz: Verminderung des Nährstoffeintrages in Gewässer durch Massnahmen in der Landwirtschaft. Schriftenreihe Umwelt, 293. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). 100 pp.
- BRECHTEL, H.M., 1985: Waldsterben und Gebietswasserhaushalt. *Informationen zur Raumentwicklung* 10: 941–950.
- BRECHTEL, H.M., 1989: Stoffeinträge in Waldökosystemen im Freiland und in Waldbeständen, DVWK Mitteilungen. DVWK Mitteilungen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Bonn, pp. 16–52.
- BREDA, N.; ROMAN-AMAT, B., 2001: Impact de la conduite des peuplements forestiers sur les ressources en eau, Colloque foret et eaux. Nancy, 26–28 September 2001. Société Hydrotechnique de France.
- BREDEMEIER, M.; BLANCK, K.; DOHRENBUSCH, A.; LAMERSDORF, N.; MEYER, A.C.; MURACH, D.; PARTH, A.; XU, Y.J., 1998: The Solling roof project – site characteristics, experiments and results. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 281–293.
- BREDEMEIER, M.; BLANCK, K.; LAMERSDORF, N.; WIEDEY, G.A., 1995: Response of soil water chemistry to experimental 'clean rain' in the NITREX roof experiment at Solling, Germany. *Forest Ecology and Management* 71, 1–2: 31–44.
- BREDEMEIER, M.; BLANCK, K.; XU, Y.J.; TIETEMA, A.; BOXMAN, A.W.; EMMETT, B.; MOLDAN, F.; GUNDERSEN, P.; SCHLEPPI, P.; WRIGHT, R.F., 1998: Input-output budgets at the NITREX sites. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 57–64.
- BREDESEN, E.L.; BOS, D.G.; LAIRD, K.R.; CUMMING, B.F., 2002: A cladoceran-based paleolimnological assessment of the impact of forest harvesting on four lakes from the central interior of British Columbia, Canada. *Journal of Paleolimnology* 28, 4: 389–402.
- BRIGGS, R.D.; HORNBECK, J.W.; SMITH, C.T.; LEMIN, R.C.; MCCORMACK, M.L., 2000: Long-term effects of forest management on nutrient cycling in spruce-fir forests. *Forest Ecology and Management* 138, 1–3: 285–299.
- BRINGMARK, L.K.H., 1995: Leaching of nitrogen from small forest catchments having different deposition and different stores of nitrogen. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 3: 1167–1172.
- BROOKS, P.D.; WILLIAMS, M.W.; SCHMIDT, S.K., 1998: Inorganic nitrogen and microbial biomass dynamics before and during spring snowmelt. *Biogeochemistry* 43: 1–15.
- BROWN, G.W., 1980: Forestry and water quality. Corvallis Oregon, Oregon State University Book Stores Inc. 124 pp.
- BROWN, T., 1999: Notes on the Economic Value of Water from National Forests, unpublished report. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO.
- BRUGGER, D., 1999: Typologie écologique des zones de captage d'eau potable du canton de Vaud: une première approche., Séminaire interdisciplinaire. Lausanne. WSL, SIRS, SESA, DGR, EPFL, pp. 14.
- BUBB, K.A.; CROTON, J.T., 2002: Effects on catchment water balance from the management of Pinus plantations on the coastal lowlands of south-east Queensland, Australia. *Hydrological Processes* 16, 1: 105–117.
- BUCHTER, B.; LEUENBERGER, J., 1995: «In Lysimetern gemessene Tiefensickerung unter Waldböden.» *SFZ* 146: 265–275.
- BÜCKING, W., 1974: Die Beeinflussung von chemischen Wassereigenschaften durch forstliche Düngungsmassnahmen. *AFZ. Der Wald* 49: 1077–1079.
- BÜCKING, W.; EVERS, F.H.; KREBS, A., 1983: Bioelementgehalte des Niederschlags-, Sicker- und Bodenwasser in Abhängigkeit von Baumart und Standort. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 5: 294–297.
- BÜHLMANN, B., 2003: Wasser ist kein privates Geschäft. *Tages Anzeiger*: 8.
- BUNDT, M.; JÄGGI, M.; BLASER, P.; SIEGWOLF, R.; HAGEDORN, F., 2001: Carbon and nitrogen dynamics in preferential flow paths and matrix of a forest soil. *Soil Science Society of America Journal* 65, 5: 1529–1538.
- BURCH, H., 1994: Ein Rückblick auf die hydrologische Forschung der WSL im Alptal, *Hydrologie kleiner Einzugsgebiete. Gedenkschrift Hans M. Keller. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz. Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft*, pp. 18–32.
- BURCH, H.; FORSTER, F.; SCHLEPPI, P., 1996: Zum Einfluss des Waldes auf die Hydrologie der Flysch-Einzugsgebiete des Alptals. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 147, 12: 925–938.
- BURCH, H.; FORSTER, F.; SCHLEPPI, P.; STADLER, D., 1996: Einfluss des Waldes auf Hochwasser aus kleinen voralpinen Einzugsgebieten- Influence of forests on floods from small prealpine catchments, *Interpraevent 1996 (Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren und Lawinen). Garmisch-Partenkirchen*, 24.–28. 6. 1996, pp. 159–169.
- BURCH, H.; WALDNER, P.A.; FRITSCHI, B., 1996: Variation of pH and concentration of nutrients and minerals during rain-events. In: D. Viville und I. Littlewood, *Ecological Processes in Small Basins. 6<sup>th</sup> Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB). Strassbourg*, Sept. 24–26, 1996. *International Hydrological Programme, UNESCO, Paris*, pp. 59–64.

- BURCH, W.H.; JONES, R.H.; MOU, P.; MITCHELL, R.J., 1997: Root system development of single and mixed plant functional type communities following harvest in a pine-hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research* 27, 11: 1753–1764.
- BURLET, E., 1986: Fahrbahnentwässerung und Wasserableitung im forstlichen Strassenbau. *Bündnerwald* 39, 7: 24–33.
- BURSCHEL, P., 1994: Holzproduktion als ökologische Rechtfertigung des Forstberufs. *AFZ. Der Wald* 12: 622–631.
- BUTTY, I., 2002: Zones de protection des eaux souterraines: la responsabilité de la Confédération et des cantons. In: J. Combe und W. Rosselli, *L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable*. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL. Lausanne, 26.11.2002. Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, pp. 21–24.
- BUWAL, 1990: Situation der Trinkwasserversorgung (Zwischenbericht). *Gewässerschutz*. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). 29 pp.
- BUWAL, 1993: Situation der Trinkwasserversorgung. *Schriftenreihe Umwelt*, 212. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). 128 pp.
- BUWAL, 2000: NADUF Messresultate 1977–1998. *Schriftenreihe Umwelt*, 319. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG). 241 pp.
- BUWAL, 2000: NABO Nationales Boden-Beobachtungsnetz; Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren. *Schriftenreihe Umwelt*, 320. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). 129 pp.
- BUWAL, 2002: *Umwelt Schweiz 2002 – Politik und Perspektiven*. Bern, BUWAL. 354 pp.
- BUWAL, 2002: Luft: NABEL Luftbelastung 2001. *Schriftenreihe Umwelt*, 343. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- BUWAL; BWG, 2004: NAQUA – Grundwasserqualität in der Schweiz 2002–2003, BUWAL/BWG.
- CALLESEN, I.; RAULUND-RASMUSSEN, K.; GUNDERSEN, P.; STRYHN, H., 1999: Nitrate concentrations in soil solutions below Danish forests. *Forest Ecology and Management* 114, 1: 71–82.
- CARBONNE, P., 1997: Bassins versants du Mont-Lozère, quinze ans de recherche et d'expérimentation, Parc National des Cévennes.
- CARIGNAN, R.; D'ARCY, P.; LAMONTAGNE, S., 2000: Comparative impacts of fire and forest harvesting on water quality in Boreal Shield lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57: 105–117.
- CARIGNAN, R.; STEEDMAN, R.J., 2000: Impacts of major watershed perturbations on aquatic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57: 1–4.
- CARLING, P.A.; IRVINE, B.J.; HILL, A.; WOOD, M., 2001: Reducing sediment inputs to Scottish streams: a review of the efficacy of soil conservation practices in upland forestry. *The Science of The Total Environment* 265, 1–3: 209–227.
- CARNOL, M.; INESON, P.; ANDERSON, J.M.; BEESE, F.; BERG, M.P.; BOLGER, T.; COÛTEAUX, M.M.; CUDLIN, P.; DOLAN, S.; RAUBUCH, M.; VERHOEF, H.A., 1997: The effects of ammonium sulphate deposition and root sinks on soil solution chemistry in coniferous forest soils. *Biogeochemistry* 38, 3: 255–280.
- CARNOL, M.I.P., 1999: Environmental factors controlling NO<sub>3</sub>- leaching, N<sub>2</sub>O emissions and numbers of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> oxidisers in a coniferous forest soil. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 7: 979–990.
- CARUSO, B.S., 2001: Risk-based targeting of diffuse contaminant sources at variable spatial scales in a New Zealand high country catchment. *Journal of Environmental Management* 63, 3: 249–268.
- CASTRO, M.S.; MORGAN, R.P., 2000: Input-output budgets of major ions for a forested watershed in western Maryland. *Water, Air and Soil Pollution*, pp. 121–137.
- CEMAGREF, 2000: *La forêt, un outil de gestion des eaux?* Collection Ecosystèmes forestiers, 1, CEMAGREF éditions. 120 pp.
- CHAFIN, D.T., 1994: Effects of land use on water quality of the Fountain Creek alluvial aquifer, East-Central Colorado, Paper 2381-D, United States Geological Survey Water-Supply. 99 pp.
- CHANTIGNY, M.H., 2003: Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma* 113, 3–4: 357–380.
- CHILDERS, D.L.; GOSSELINK, J.G., 1990: Assessment of Cumulative Impacts to Water Quality in a Forested Wetland Landscape. *Journal of Environmental Quality* 19, 3: 455–464.
- COLE, D.W.; GESSEL, S.P., 1965: Movement of elements through a forest soil as influenced by tree removal and fertilizer additions, 2. North America Forest Soils Conference: Forest-Soil Relationships in North America. Oregon State University, 1963, pp. 95–104.
- COLLIER, K.J.; BOWMAN, E.J., 2003: Role of wood in pumice-bed streams – I: Impacts of post-harvest management on water quality, habitat and benthic invertebrates. *Forest Ecology and Management* 177, 1–3: 243–259.
- COMBE, J., 2002: Forêts à production d'eau potable. In: J. Combe und W. Rosselli, *L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable*. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL. Lausanne, 26.11.2002. Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, pp. 7–14.
- COMBE, J.; ROSSELLI, W., 2002: L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL du 26 novembre 2002 à l'EPF-Lausanne. EPF-Lausanne, WSL. 56 pp.
- COOPER, D.M.; ROBERTS, G., 1996: Nitrate leaching from a small catchment in central England. *Soil Use and Management* 12, 4: 181–189.
- CORLEY, C.J.; FRASIER, G.W.; TRLICA, M.J.; SMITH, F.M.; TAYLOR, E.M., 1999: Technical Note: Nitrogen and phosphorus in runoff from 2 montane riparian communities. *J. Range Manage.* 52, 6: 600–605.
- CORNISH, P.M., 2001: The effects of roading, harvesting and forest regeneration on streamwater turbidity levels in a moist eucalypt forest. *Forest Ecology and Management* 152, 1–3: 293–312.

- COSANDEY, C., 1992: Influence de la forêt sur le cycle de l'eau. *Hydrol. continent.* 7, 1: 13–22.
- COSANDEY, C., 1993: Conséquences Hydrologiques d'une coupe forestière: Le cas du bassin de la Latte (mont Lozère, France), L'eau, la terre et les hommes. Presses Universitaires de Nancy, Nancy, pp. 355–363.
- COSANDEY, C., 1994: Genèse des crues dans les bassins élémentaires en région de moyenne montagne granitique méditerranéenne, Crues et inondations. Nîmes. Société Hydrotechnique de France.
- COSBY, B.J.; JENKINS, A.; FERRIER, R.C.; MILLER, J.D.; WALKER, T.A.B., 1990: Modelling stream acidification in afforested catchments: Long-term reconstructions at two sites in central Scotland. *Journal of Hydrology* 120, 1–4: 143–162.
- CREED, I.F.; BAND, L.E., 1998: Exploring functional similarity in the export of nitrate-N from forested catchments: a mechanistic modeling approach. *Water Resources Research* 34, 11: 3079–3093.
- CREED, I.F.; BAND, L.E., 1998: Export of nitrogen from catchments within a temperate forest: evidence for a unifying mechanism regulated by variable source area dynamics. *Water Resources Research* 34, 11: 3105–3120.
- CREED, I.F.; BAND, L.E.; FOSTER, N.W.; MORRISON, I.K.; NICOLSON, J.A.; SEMKIN, R.S.; JEFFRIES, D.S., 1996: Regulation of nitrate-N release from temperate forests: a test of the N flushing hypothesis. *Water Resources Research* 32, 11: 3337–3354.
- CROHN, D.M.; HAITH, D.A., 1994: A Forest Site Nitrogen Dynamics Model For Land Application of Sludge. *Transactions of the ASAE* 37, 4: 1135–1144.
- CROKE, J.; HAIRINE, P.; FOGARTY, P., 1999: Runoff generation and re-distribution in logged eucalyptus forests, south-eastern Australia. *Journal of Hydrology* 216, 1–2: 56–77.
- CROWLEY, T., 2002: Forests and water quality: a land user's perspective, Forests and water. Proceedings of a COFORD Seminar, Vienna Woods Hotel, Cork, Ireland, 15 November 2000, pp. 39–48.
- CUMMINS, T.; FARRELL, E.P., 2003: Biogeochemical impacts of clearfelling and reforestation on blanket-peatland streams: II. major ions and dissolved organic carbon. *Forest Ecology and Management* 180, 1–3: 557–570.
- CURRIE, W.S.; ABER, J.D.; DRISCOLL, C.T., 1999: Leaching of nutrient cations from the forest floor: effects of nitrogen saturation in two long-term manipulations. *Canadian Journal of Forest Research* 29, 5: 609–620.
- CURRIE, W.S.; ABER, J.D.; MCDOWELL, W.H.; BOONE, R.D.; MAGILL, A.H., 1996: Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests. *Biogeochem.* 35, 3: 471–505.
- CURRIE, W.S.; GALLOWAY, J.N.; SHUGART, H.H., 1996: Watershed base-cation cycle dynamics modeled over forest regrowth in a Central Appalachian ecosystem. *Water, Air and Soil Pollution* 89, 1–2: 1–22.
- DAHLGREN, R.A.; DRISCOLL, C.T., 1994: The effects of whole-tree clear-cutting on soil processes at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire, USA. *Plant and Soil* 158, 2: 239–262.
- DAI, K.H.; JOHNSON, C.E.; DRISCOLL, C.T., 2001: Organic matter chemistry and dynamics in clear-cut and unmanaged hardwood forest ecosystems. *Biogeochemistry* 54, 1: 51–83.
- DAMBRINE, E.; PARTY, J.P.; POLLIER, B.; NICOLAI, M.; PROBST, A.; ROZIN, C.; DUC, M., 1999: Acidification of spring water and lead poisoning in the Vosges massif. *Revue Forestière Française* 51, 2: 173–183.
- DAVIS, J.S.; ZOBRIST, J., 1978: The interrelationships among chemical parameters in Rivers – analysing the effect of natural and anthropogenic sources. *Prog. Wat. Tech.*, Pergamon Press 10, 5/6: 65–78.
- DE KEERSMAEKER, L.; NEIRYNCK, J.; MADDELEIN, D.; DE SCHRIJVER, A.; LUST, N., 2000: Soil water chemistry and revegetation of a limed clearcut in a nitrogen saturated forest. *Water, Air and Soil Pollution* 122, 1–2: 49–62.
- DE SCHRIJVER, A.; VAN HOYDONCK, G.; NACHTERGALE, L.; DE KEERSMAEKER, L.; MUSSCHE, S.; LUST, N., 2000: Comparison of nitrate leaching under Silver birch (*Betula pendula*) and Corsican pine (*Pinus nigra ssp laricio*) in Flanders (Belgium). *Water, Air and Soil Pollution* 122, 1–2: 77–91.
- DECATANZARO, J.B.; BINKLEY, D., 1981: Effects of Artificial Conifer Foliage On Collection of Precipitation and Nutrients in Coastal British-Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 11, 2: 457–458.
- DERRIG, M.J.; CAHILL, S.K.; WHITLEY, M.G.; VILLANUEVA, G., 1999: Water quality and forest road management in the Lake Tahoe Basin, Science into policy: water in the public realm. Proceedings, Speciality Conference, Bozeman, Montana, USA, June 30 – July 2, 1999., pp. 49–54.
- DEURER, M.; GREEN, S.R.; CLOTHIER, B.E.; BOTTCHE, J.; DUINISVELD, W.H.M., 2003: Drainage networks in soils. A concept to describe bypass-flow pathways. *Journal of Hydrology* 272, 1–4: 148–162.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU, D., 1997: Erfassung der depositionsbedingten Schadstoffbelastung des Sickerwassers von Waldstandorten – Einfluss auf die Grundwasserbeschaffenheit. DVWK Merkblatt 243. DVWK Merkblatt. 63 pp.
- DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E. V., D., 1981: Behandlung des Waldes in Schutzgebieten für Trinkwassertalsperren., DVGW Regelwerk: Technische Mitteilungen Merkblatt W 105. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., (DVGW), pp. 1–12.
- DEVITO, K.J.; FITZGERALD, D.; HILL, A.R.; ARAVENA, R., 2000: Nitrate dynamics in relation to lithology and hydrologic flow path in a river riparian zone. *Journal of Environmental Quality* 29, 4: 1075–1084.
- DEVITO, K.J.; WESTBROOK, C.J.; SCHIFF, S.L., 1999: Nitrogen mineralization and nitrification in upland and peatland forest soils in two Canadian Shield catchments. *Canadian Journal of Forest Research* 29, 11: 1793–1804.
- DEWAR, R.C.; MCMURTRIE, R.E., 1996: Sustainable stemwood yield in relation to the nitrogen balance of forest plantations: A model analysis. *Tree Physiology* 16, 1–2: 173–182.
- DHONDT, K.; BOECKX, P.; VAN CLEEMPUT, O.; HOFMAN, G.; DE TROCH, F., 2002: Seasonal groundwater nitrate dynamics in a riparian buffer zone. *Agronomie* 22, 7–8: 747–753.
- DIDON-LESCOT, J.F.; GUILLET, B.; LELONG, F., 1993: Effect of the clearfelling on the water quality: Example of a spruce forest on a small catchment in France. *Acta Geologica Hispanica* 28, 2–3: 45–53.
- DIDON-LESCOT, J.F.; GUILLET, B.; LELONG, F., 1998: Nitrate in streamwater as an indicator of forest status and forest ecosystem manipulations. Example at Mont-Lozère (South-East France). *Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Ii Fascicule a- Sciences De La Terre Et Des Planetes* 327, 2: 107–113.

- DISE, N.B., MATZNER E. & FORSIUS M., 1998: Evaluation of organic horizon C:N ratio as an indicator of nitrate leaching in conifer forests across Europe. *Environmental Pollution* 102, S1: 453–456.
- DISE, N.B.; MATZNER, E.; ARMBRUSTER, M.; MACDONALD, J., 2001: Aluminum output fluxes from forest ecosystems in Europe: A regional assessment. *Journal of Environmental Quality* 30, 5: 1747–1756.
- DISE, N.B.; WRIGHT, R.F., 1995: Nitrogen leaching from European forests in relation to nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management* 71, 1–2: 153–161.
- DISSMEYER, G.E., 2000: Drinking water from forests and grasslands: a synthesis of the scientific literature, General Technical Report – Southern Research Station, USDA Forest Service.
- DIVERSE, 2002: Inventur von Biomasse- und Nährstoffvorräten in Waldbeständen. Forstliche Forschungsberichte München, 186. München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 210 pp.
- DIVERSE, 2003: Wasser – Gut ohne Grenzen. Bulletin: Magazin der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich 289: ganzes Bulletin.
- DOAKE, F.M.; HEAL, K., 2001: Assessing the impacts of broadleaved forest on stream water quality: A case study of Carrifran Wildwood. *Scottish Forestry* 55, 2: 77–82.
- DOW, C.L.; DEWALLE, D.R., 1997: Sulfur and nitrogen budgets for five forested Appalachian plateau basins. *Hydrological Processes* 11, 7: 801–816.
- DURKA, W., 1994: Isotopenchemie des Nitrat, Nitrat austrag, Wasserchemie und Vegetation von Waldquellen im Fichtelgebirge (NO-Bayern), Bayreuther Forum Ökologie, pp. 1–197.
- DURKA, W., 1999: Stickstoffhaushalt von Waldeinzugsgebieten. In: G.T. Beierkuhnlein C., Ökologie silikatischer Einzugsgebiete. Bayreuther Forum Ökologie, pp. 47–64.
- DURKA, W.; SCHULZE, E., 1995: Regulation des Nitrat austrages aus Waldeinzugsgebieten, Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, pp. 301–304.
- DURKA, W.; SCHULZE, E.; GEBAUER, G., 1995: Nachweis von atmosphärischem Nitrat im Abfluß aus Waldökosystemen mit Hilfe natürlicher Isotopenverhältnisse, Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, pp. 81–84.
- DURKA, W.; SCHULZE, E.; GEBAUER, G.; VOERKELIUS, S., 1994: Effects of forest decline on uptake and leaching of deposited nitrate determined from 15N and 18O measurements. *Nature* 372: 765–767.
- DURKA, W.; SCHULZE, E.; GEBAUER, G.; VOERKELIUS, S., 1995: Origin of nitrate in forest spring water: evidence from natural isotope ratios of NO<sub>3</sub>-d15N and NO<sub>3</sub>-d18O. *Isotopes Environm. Health Studies* 31: 386–387.
- ECKERSTEN, H., 1998: Modelling the effects of nitrogen addition on soil nitrogen status and nitrogen uptake in a Norway spruce stand in Denmark. *Environmental Pollution* 102, S1: 409–414.
- ECKERSTEN, H.; GARDENAS, A.; JANSSON, P.E., 1995: Modelling seasonal nitrogen, carbon, water and heat dynamics of the Solling spruce stand. *Ecological Modelling* 83, 1–2: 119–129.
- ECKHARDT, K.; BREUER, L.; FREDE, H.-G., 2003: Parameter uncertainty and the significance of simulated land use change effects. *Journal of Hydrology* 273, 1–4: 164–176.
- EDGAR, N.B., 1999: Land use in the Taupo catchment, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 33, 3: 375–383.
- EDWARDS, D.R.; DANIEL, T.C.; SCOTT, H.D.; MOORE, P.A.; MURDOCH, J.F.; VENDRELL, P.F., 1997: Effect of BMP implementation on storm flow quality of two northwestern Arkansas streams. *Transactions of the ASAE* 40, 5: 1311–1319.
- EDWARDS, D.R.; HUTCHENS, T.K.; RHODES, R.W.; LARSON, B.T.; DUNN, L., 2000: Quality of runoff from plots with simulated grazing. *Journal of the American Water Resources Association* 36, 5: 1063–1073.
- EDWARDS, P.J.; KOCHENDERFER, J.N.; COBLE, D.W.; ADAMS, M.B., 2002: Soil leachate responses during 10 years of induced whole-watershed acidification. *Water, Air and Soil Pollution* 140, 1–4: 99–118.
- EGLI, M.; BURRI, A.; FITZE, P., 1997: Aktuelle und vergangene Stoffflüsse im anthropogen beeinflussten Waldökosystem «Möhlin». Zürich, vdf Hochschulverlag AG ETH Zürich. 130 pp.
- EINSELE, G.; KÖHLER, W.-R.; PLUM, H.; SCHRAFT, A.; SEILER, K.-P.; UDLUFT, P., 1990: Stoffeintrag und Stoffaustrag in bewaldeten Einzugsgebieten. DVWK Schriften. Hamburg und Berlin, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK). 151 pp.
- ELLIOTT, K.J.; BORING, L.R.; SWANK, W.T., 2002: Aboveground biomass and nutrient accumulation 20 years after clear-cutting a southern Appalachian watershed. *Canadian Journal of Forest Research* 32, 4: 667–683.
- EMMETT, B.A., 1999: The impact of nitrogen on forest soils and feedbacks on tree growth. *Water, Air and Soil Pollution* 116, 1–2: 65–74.
- EMMETT, B.A.; BOXMAN, D.; BREDEMEIER, M.; GUNDERSEN, P.; KJØNAAS, O.J.; MOLAN, F.; SCHLEPPI, P.; TIETEMA, A.; WRIGHT, R.F., 1998: Predicting the effects of atmospheric nitrogen deposition in conifer stands: Evidence from the NITREX ecosystem-scale experiments. *Ecosystems* 1, 4: 352–360.
- EMMETT, B.A.; BRITAIN, S.A.; HUGHES, S.; GÖRRES, J.; KENNEDY, V.; NORRIS, D.; RAFAREL, R.; REYNOLDS, B.; STEVENS, P.A., 1995: Nitrogen additions (NaNO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) at Aber forest, Wales: I. Response of through-fall and soil water chemistry. *Forest Ecology and Management* 71, 1–2: 45–59.
- EMMETT, B.A.; COSBY, B.J.; FERRIER, R.C.; JENKINS, A.; TIETEMA, A.; WRIGHT, R.F., 1997: Modelling the ecosystem effects of nitrogen deposition: simulation of nitrogen saturation in a Sitka spruce forest, Aber, Wales, UK. *Biogeochem.* 38, 2: 129–148.
- EMMETT, B.A.; KJØNAAS, O.J.; GUNDERSEN, P.; KOOPMANS, C.; TIETEMA, A.; SLEEP, D., 1998: Natural abundance of N-15 in forests across a nitrogen deposition gradient. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 9–18.
- EMMETT, B.A.; REYNOLDS, B., 1996: Nitrogen critical loads for spruce plantations in Wales: is there too much nitrogen? *Forestry* 69, 3: 205–214.

- EMMETT, B.A.; REYNOLDS, B.; SILGRAM, M.; SPARKS, T.H.; WOODS, C., 1998: The consequences of chronic nitrogen additions on N cycling and soilwater chemistry in a Sitka spruce stand, North Wales. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 165–175.
- EMMETT, B.A.; REYNOLDS, B.; STEVENS, P.A.; NORRIS, D.; HUGHES, S.; GÖRRES, J.; LUBRECHT, I., 1993: Nitrate leaching from afforested Welsh catchments: interaction between stand age and nitrogen deposition. *Ambio* 22: 386–394.
- EMMETT, B.A.; STEVENS, P.A.; REYNOLDS, B., 1995: Factors influencing nitrogen saturation in sitka spruce stands in Wales, UK. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 3: 1629–1634.
- ENDRENY, T.A., 2002: Forest buffer strips: mapping the water quality benefits. *Journal of Forestry* 100, 1: 35–40.
- ENSIGN, S.H.; MALLIN, M.A., 2001: Stream water quality changes following timber harvest in a coastal plain swamp forest. *Water Research* 35, 14: 3381–3390.
- ERIKSSON, H.M.; BERDEN, M.; ROSEN, K.; NILSSON, I., 1996: Nutrient distribution in a Norway spruce stand after long-term application of ammonium nitrate and superphosphate. *Water, Air and Soil Pollution* 92, 3–4: 451–467.
- ETHRIDGE, B.J.; OLSON, R.K., 1992: Research and information needs related to nonpoint source pollution and wetlands in the watershed: an EPA perspective. *Ecological Engineering* 1, 1–2: 149–156.
- EUROPEAN-COMMISSION, 2000: FOREX, Impacts of forestry on extreme flows, European Commission. 4 pp.
- EVERS, F.H., 1979: Wald und Wasserqualität – Gestaltung und forstliche Behandlung von Wald in Wasserschutzgebieten, Wald und Wasser – Entwicklung und Stand. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVKW). Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVKW), Bonn, pp. 109–118.
- EVERS, J., 2003: Nitratausträge bei Erstaufforstungen und Möglichkeiten ihrer Steuerung, Boden- und Wasservorsorge. Freiburger Forstliche Forschung Berichte. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden- Württemberg (FVA), Freiburg, Freiburg, pp. 71–87.
- FABBIO, G.; MERLO, M.; TOSI, V., 2003: Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe – the Mediterranean region. *Journal of Environmental Management* 67, 1: 67–76.
- FAHEY, T.J., Hubbard Brook experimental forest, pp. 8–9; 18–19.
- FAHEY, T.J.; HILL, M.O.; STEVENS, P.A.; HORNING, M.; ROWLAND, P., 1991: Nutrient Accumulation in Vegetation Following Conventional and Whole-Tree Harvest of Sitka Spruce Plantations in North Wales. *Forestry* 64, 3: 271–288.
- FAHEY, T.J.; STEVENS, P.A.; HORNING, M.; ROWLAND, P., 1991: Decomposition and Nutrient Release From Logging Residue Following Conventional Harvest of Sitka Spruce in North Wales. *Forestry* 64, 3: 289–301.
- FEAST, N.A.; HISCOCK, K.M.; DENNIS, P.F.; ANDREWS, J.N., 1998: Nitrogen isotope hydrochemistry and denitrification within the Chalk aquifer system of north Norfolk, UK. *Journal of Hydrology* 211, 1–4: 233–252.
- FEGER, K.H.; BRAHMER, G.; ZOTTL, H.W., 1990: Element budgets of two contrasting catchments in the Black Forest (Federal Republic of Germany). *Journal of Hydrology* 116, 1–4: 85–99.
- FEGER, K.H.; KOHLER, H.; ARMBRUSTER, M., 1999: Water chemistry in a forested catchment as influenced by biogeochemical transformations in riparian soils. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 118, 6: 345–354.
- FENN, M.E.; POTH, M.A.; ABER, J.D.; BARON, J.S.; BORMANN, B.T.; JOHNSON, D.W.; LEMLY, A.D.; McNULTY, S.G.; RYAN, D.E.; STOTTEMYER, R., 1998: Nitrogen excess in North American ecosystems: Predisposing factors, ecosystem responses, and management strategies. *Ecological Applications* 8, 3: 706–733.
- FENN, M.E.; POTH, M.A.; JOHNSON, D.W., 1996: Evidence for nitrogen saturation in the San Bernardino Mountains in southern California. *Forest Ecology and Management* 82, 1–3: 211–230.
- FERNANDEZ, I.; RUSTAD, L.; DAVID, M.; NADELHOFFER, K.; MITCHELL, M., 1999: Mineral soil and solution responses to experimental N and S enrichment at the Bear Brook Watershed in Maine (BBWM). *Environmental Monitoring and Assessment* 55, 1: 165–185.
- FERREIRA, A.J.D.; COELHO, C.O.A.; SHAKESBY, R.A.; WALSH, R.P.D., 1997: Sediment and Solute Yield in Forest Ecosystems Affected by Fire and Rip-Ploughing Techniques, Central Portugal: A Plot and Catchment Analysis Approach. *Physics and Chemistry of The Earth* 22, 3–4: 309–314.
- FIELD, C.K.; SIVER, P.A.; LOTT, A.M., 1996: Estimating the effects of changing land use patterns on Connecticut Lakes. *Journal of Environmental Quality* 25, 2: 325–333.
- FISHER, D.S.; STEINER, J.L.; ENDALE, D.M.; STUEDEMANN, J.A.; SCHOMBERG, H.H.; FRANZLUEBBERS, A.J.; WILKINSON, S.R., 2000: The relationship of land use practices to surface water quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia. *Forest Ecology and Management* 128, 1/2: 39–48.
- FLÜCKIGER, W.; BRAUN, S., 1998: Nitrogen deposition in Swiss forests and its possible relevance for leaf nutrient status, parasite attacks and soil acidification. *Environmental Pollution* 102: 69–76.
- FLÜCKIGER, W.; BRAUN, S., 1999: Wie geht es unserem Wald? Untersuchungsflächen von 1984 bis 1998. *Schönenbuch, Institut für Angewandte Pflanzenbiologie (IAP)*.
- FOERSTER, P., 1975: Mineralische Stoffbelastung im Boden- und oberflächennahen Grundwasser unter Nadelwald und bei Ackernutzung in einem Sandboden Nordwestdeutschlands. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 94: 67–78.
- FOHRER, N.; HAVERKAMP, S.; ECKHARDT, K.; FREDE, H.-G., 2001: Hydrologic Response to land use changes on the catchment scale. *Physics and Chemistry of The Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 26, 7–8: 577–582.
- FOLSTER, J.; BISHOP, K.; KRAM, P.; KVARNAS, H.; WILANDER, A., 2003: Time series of long-term annual fluxes in the streamwater of nine forest catchments from the Swedish environmental monitoring program (PMK 5). *The Science of The Total Environment* 310, 1–3: 113–120.

- FOREST-MANAGEMENT-PLANNING-SERVICE, 1993: Large scale forest damage survey in Hungary. In: INNES, J.L., Assessment of increment in permanent monitoring plots established to determine the effects of air pollution on forests. Sopron, Hungary. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP, CH-8903 Birmensdorf.
- FORSTER, J., 1998: The influence of location and season on the concentrations of macroions and organic trace pollutants in roof runoff. *Water Science and Technology* 38, 10: 83–90.
- FRANSMAN, B.; B., N., 1995: Water chemistry in forested catchments after topsoil treatment with liming agents in South Sweden. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 2: 895–900.
- FRIEDLAND, A.J.; E.K., M., 1999: Major-element cycling in a high elevation Adirondack forest: patterns and changes, 1986–1996. *Ecological Applications* 9, 3: 958–967.
- FRIJNS, E.; TIETEMA, A., 2002: Nitrogen cycling following clear-cut harvest of a nitrogen limited Scots pine and a nitrogen saturated Douglas fir stand in the Netherlands, BIOGEMON – 4<sup>th</sup> International Symposium on Ecosystem Behaviour, pp. 69–69 (abstract).
- FRÖHLICH, H.-J., 1974: Wald und Wasser 74. *AFZ* 29, 49: 1065–1112.
- FÜHRER, H.W., 2002: Wald und Wasser – 30 Jahre forsthydrologische Untersuchungen im Krodorfer Forst. Tagung am 31. Oktober 2001 in Giessen – Exkursion am 30. Oktober 2001 im Hessischen Forstamt Wettengel. *Forschungsberichte HESSEN-FORST*. Hann. Münden, Hessen-Forst FIV. 117 pp.
- FUJII, S.; SOMIYA, I.; NAGARE, H.; SERIZAWA, S., 2001: Water quality characteristics of forest rivers around Lake Biwa. *Water Science and Technology* 43, 5: 183–192.
- FUKUSHIMA, T.; OZAKI, N.; KAMINISHI, H.; HARASAWA, H.; MATSUSHIGE, K., 2000: Forecasting the changes in lake water quality in response to climate changes, using past relationships between meteorological conditions and water quality. *Hydrological Processes* 14, 3: 593–604.
- GAIFFE, M., 1998: Water transfer in temperate forests on karst. *Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture de France* 84, 3: 133–147.
- GALLARDO, J.F.; MARTIN, A.; MORENO, G.; SANTA-REGINA, I., 1998: Nutrient cycling in deciduous forest ecosystems of the Sierra de Gata mountains: nutrient supplies to the soil through both litter and throughfall. *Ann. Sci. For.* 55, 7: 771–784.
- GÄMPERLE, R.; GERBER, S.; GUT, W.; JENNY, A.; KOCH, W.; STRASSER, R.; VENZIN, K.; WIRTH, A.; LABHART, W., 1998: Zehn Jahre Zürcher Nitratberatung, Fachtagung. Strickhof, Liebefeld, Schweiz. *Düngungsberatung Kanton Zürich*.
- GARTEN, C.T., 2000: Nitrogen saturation and soil N availability in a high-elevation spruce and fir forest. *Water, Air and Soil Pollution* 120: 295–313.
- GBONDO-TUGBAWA, S.S.; DRISCOLL, C.T.; MITCHELL, M.J.; ABER, J.D.; LIKENS, G.E., 2002: A model to simulate the response of a northern hardwood forest ecosystem to changes in S deposition. *Ecological Applications* 12, 1: 8–23.
- GBUREK, W.J.; FOLMAR, G.J., 1999: Flow and chemical contributions to streamflow in an upland watershed: a base-flow survey. *Journal of Hydrology* 217, 1–2: 1–18.
- GEBAUER, G.; HAHN, G.; RODENKIRCHEN, H.; ZULEGER, M., 1998: Effects of acid irrigation and liming on nitrate reduction and nitrate content of *Picea abies* (L.) Karst. and *Oxalis acetosella* L. *Plant and Soil* 199, 1: 59–70.
- GENSIOR, A.; KÖLLING, C.; MELLERT, K.H., 2003: Die Nitratinventur in Bayern Methodik und Ergebnisse, Boden- und Wasservorsorge. *Freiburger Forstliche Forschung Berichte*. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Freiburg, Freiburg, pp. 101–113.
- GERMANN, P.; GREMINGER, P., 1981: Wassersickerung in den größten Hohlräumen des Bodens. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft* 30: 169–180.
- GILLESPIE, A.R.; MILLER, B.K.; JOHNSON, K.D., 1995: Effects of ground cover on tree survival and growth in filter strips of the Cornbelt Region of the midwestern US. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 53, 3: 263–270.
- GILLIAM, F.S., 2002: Effects of harvesting on herbaceous layer diversity of a central Appalachian hardwood forest in West Virginia, USA. *Forest Ecology and Management* 155, 1–3: 33–43.
- GILLIAM, F.S.; RICHTER, D.D., 1991: Transport of Metal-Cations Through a Nutrient-Poor Forest Ecosystem. *Water, Air and Soil Pollution* 57–8: 279–287.
- GISI, U.; SCHENKER, R.; SCHULIN, R.; STADELMANN, F.X.; STICHER, H., 1997: *Bodenökologie*. Stuttgart, New York, Thieme Verlag. 350 pp.
- GLÜCK, P.P.; MAINI, D.J.; PATOSAARI, P.; LEINER, S.; BARBIER, J.-M.; PETTENELLA, P.D., 1999: Wald: Wie nachhaltig ist die Schweizer Forstpolitik? *Schriftenreihe Umwelt*, 313. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). 61 pp.
- GOODALE, C.L.; ABER, J.D.; MCDOWELL, W.H., 2000: The long-term effects of disturbance on organic and inorganic nitrogen export in the White Mountains, New Hampshire. *Ecosystems* 3, 5: 433–450.
- GOODALE, C.L.; LAJTHA, K.; NADELHOFFER, K.J.; BOYER, E.W.; JAWORSKI, N.A., 2002: Forest nitrogen sinks in large eastern US watersheds: estimates from forest inventory and an ecosystem model. *Biogeochemistry* 57, 1: 239–266.
- GÖTTLEIN, A.; BAUMGARTEN, M.; HUBER, C.; WEIS, W.; PAPEN, H.; BUTTERBACH-BAHL, K.; GASCHER, R., 2003: Femel- und Kahlhieb im Vergleich, Ökologie der Mischwaldbegründung in einem stickstoffbelasteten Fichtenbestand. *LWF aktuell, Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis* 41, 11: 6–8.
- GOVE, N.E.; EDWARDS, R.T.; CONQUEST, L.L., 2001: Effects of scale on land use and water quality relationships: a longitudinal basin-wide perspective. *Journal of the American Water Resources Association* 37, 6: 1721–1734.
- GRAYSON, R.B.; HAYDON, S.R.; JAYASURIYA, M.D.A.; FINLAYSON, B.L., 1993: Water quality in mountain ash forests – separating the impacts of roads from those of logging operations. *Journal of Hydrology* 150, 2–4: 459–480.

- GREMINGER, P., 1984: "Physikalisch-ökologische Standortsuntersuchung über den Wasserhaushalt im offenen Sickersystem Boden unter Vegetation am Hang." *Mitteilungen Eidg. Anstalt forstl. Versuchsw.* 60: 149–301.
- GREMINGER, P., 1988: Düngung: Eine Perspektive für den Schweizer Wald?, Sanasilva-Tagung, ETH-Zentrum, Zürich. Programmkoordination Sanasilva, EAFV, Birmensdorf, pp. 113.
- GREMINGER, P.; RICHARD, F.; AL., E., 1979: Untersuchungen zur Wasserbewegung in einem mit Vegetation bedeckten Hangboden; Projekt Hangsickerung. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft* 29: 133–147.
- GRESSEL, N.; MCCOLL, J.G.; PRESTON, C.M.; NEWMAN, R.H.; POWERS, R.F., 1996: Linkages between phosphorus transformations and carbon decomposition in a forest soil. *Biogeochemistry* 33, 2: 97–123.
- GRIFFIOEN, J., 2001: Potassium adsorption ratios as an indicator for the fate of agricultural potassium in groundwater. *Journal of Hydrology* 254, 1–4: 244–254.
- GROSSMANN, J.; KLOSS, R., 1994: Variability of water quality in a spruce stand. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 157, 1: 47–51.
- GROWNS, I.O.; DAVIS, J.A., 1991: Comparison of the Macroinvertebrate Communities in Streams in Logged and Undisturbed Catchments 8 Years After Harvesting. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 42, 6: 689–706.
- GUNDERSEN, P., 1995: Nitrogen deposition and leaching in European forests – Preliminary results from a data compilation. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 3: 1179–1184.
- GUNDERSEN, P., 1998: Effects of enhanced nitrogen deposition in a spruce forest at Klosterhede, Denmark, examined by moderate NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> addition. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 251–268.
- GUNDERSEN, P.; BOXMAN, A.W.; LAMERSDORF, N.; MOLDAN, F.; ANDERSEN, B.R., 1998: Experimental manipulation of forest ecosystems: lessons from large roof experiments. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 339–352.
- GUNDERSEN, P.; CALLESEN, I.; DE VRIES, W., 1998: Nitrate leaching in forest ecosystems is related to forest floor C/N ratios. *Environmental Pollution* 102 Suppl.: 403–407.
- GUNDERSEN, P.; EMMETT, B.A.; KJØNAAS, O.J.; KOOPMANS, C.J.; TIETEMA, A., 1998: Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests: a synthesis of NITREX data. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 37–55.
- GUNDERSEN, P.; RASMUSSEN, L., 1995: Nitrogen mobility in a nitrogen limited forest at Klosterhede, Denmark, examined by NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> addition. *Forest Ecology and Management* 71, 1–2: 75–88.
- GUNDERSEN, P.; SCHMIDT, I.K.; RAULUND-RASMUSSEN, K., im Druck: Leaching of nitrogen from temperate forests – effects of air pollution and forest management, *Forests and Water*. IFURO. Danish Forest and Landscape Research Institute, Hoersholm.
- HAAS, G.; BERG, M.; KÖPKE, U., 1999: Wiese oder Forst statt Ackerbau in Wasserschutzgebieten? Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft, 8. Gumpensteiner Lysimetertagung.
- HACKL, E.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, J.; KANDELER, E., 2000: Nitrogen dynamics in different types of pasture in the Austrian Alps. *Biology and Fertility of Soils* 32, 4: 321–327.
- HACKL, J.; HECKL, F., 2000: Biologische Fließgewässergüte. *Österreichische Forstzeitung: Die Zeitschrift für Wald, Forstwirtschaft und Landschaft, Forsttechnik, Wildbach- und Lawinenverbauung, Jagdwirtschaft* 7: 40.
- HAGEDORN, F.; BLASER, P.; SIEGWOLF, R., 2002: Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and increased N deposition effects on dissolved organic carbon-clues from delta C-13 signature. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 3: 355–366.
- HAGEDORN, F.; BUCHER, J.B.; SCHLEPPI, P., 2001: Contrasting dynamics of dissolved inorganic and organic nitrogen in soil and surface waters of forested catchments with Gleysols. *Geoderma* 100, 1–2: 173–192.
- HAGEDORN, F.; SCHLEPPI, P.; BUCHER, J.; FLÜHLER, H., 2001: Retention and leaching of elevated N deposition in a forest ecosystem with Gleysols. *Water, Air and Soil Pollution* 129: 119–142.
- HAGEDORN, F.; SCHLEPPI, P.; WALDNER, P.; FLÜHLER, H., 2000: Export of dissolved organic carbon and nitrogen from Gleysol dominated catchment – the significance of water flow paths. *Biogeochemistry* 50: 137–161.
- HALLETT, R.A.; BOWDEN, W.B.; SMITH, C.T., 1999: Nitrogen dynamics in forest soils after municipal sludge additions. *Water, Air and Soil Pollution* 112, 3–4: 259–278.
- HANSEN, K.; BEIER, C.; GUNDERSEN, P.; RASMUSSEN, L., 1995: Experimental manipulations of water and nutrient input to a Norway spruce plantation at Klosterhede, Denmark. 3. Effects on throughfall, soil water chemistry and decomposition. *Plant and Soil* 169: 623–632.
- HARMON, M.E.; SEXTON, J., 1995: Water balance of conifer logs in early stages of decomposition. *Plant and Soil* 172, 1: 141–152.
- HARR, R.D., 1983: Potential for Augmenting Water Yield Through Forest Practices in Western Washington and Western Oregon. *Water Resources Bulletin* 19, 3: 383–394.
- HARRIMAN, R.; CURTIS, C.; EDWARDS, A.C., 1998: An empirical approach for assessing the relationship between nitrogen deposition and nitrate leaching from upland catchments in the United Kingdom using runoff chemistry. *Water, Air and Soil Pollution* 105, 1–2: 193–203.
- HARRIMAN, R.; WATT, A.W.; CHRISTIE, A.E.G.; MOORE, D.W.; MCCARTNEY, A.G.; TAYLOR, E.M., 2003: Quantifying the effects of forestry practices on the recovery of upland streams and lochs from acidification. *The Science of The Total Environment* 310, 1–3: 101–111.
- HART, S.C.; BINKLEY, D.; PERRY, D.A., 1997: Influence of red alder on soil nitrogen transformations in two conifer forests of contrasting productivity. *Soil Biology & Biochemistry* 29, 7: 1111–1123.
- HARTMANN, D.; MAURALT, R.; AFFOLTER, S.; GREBER, E., 2003: *Grundwasser*. Bern, BUWAL. 31 pp.
- HATFIELD, J.L.; JAYNES, D.B.; BURKAR, T.M.R.; CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; PRUEGER, J.H.; SMITH, M.A., 1999: Water quality in Walnut Creek watershed: Setting and farming practices. *Journal of Environmental Quality* 28, 1: 11–24.
- HAVEL, M.; PETERS, N.E.; CERNY, J., 1999: Longitudinal patterns of stream chemistry in a catchment with forest dieback, Czech Republic. *Environmental Pollution* 104, 1: 157–167.

- HAYCOCK, N.E.; PINAY, G.; WALKER, C., 1993: Nitrogen retention in river corridors: European perspective. *Ambio* 22: 340–346.
- HEDIN, L.O.; ARMESTO, J.J.; JOHNSON, A.H., 1995: Patterns of nutrient loss from unpolluted, old-growth temperate forests: evaluation of biogeochemical theory. *Ecology* 76, 2: 493–509.
- HEIDELBAUER, M., 2002: Wasserschutzwald zielgerecht bewirtschaften und entschädigen. *Österreichische Forstzeitung: Die Zeitschrift für Wald, Forstwirtschaft und Landschaft, Forsttechnik, Wildbach- und Lawinenverbauung, Jagdwirtschaft* 113, 5: 12–13.
- HEILMAN, P.; NORBY, R.J., 1998: Nutrient cycling and fertility management in temperate short rotation forest systems. *Biomass & Bioenergy* 14, 4: 361–370.
- HEINSDORF, D., 1993: Zur Problematik Nitrataustrag unter Wald- und Grünlandstandorten, Wald in Wasserschutzgebieten. Ergebnisse aus einem Fachgespräch am 04. Juni 1992. Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover, pp. 40–48.
- HEINZ, I., 1984: Trinkwasserversorgung bei steigenden Umweltbelastungen. Verfahrenstechnische und finanzielle Konsequenzen für Trinkwassergewinnung und -aufbereitung. *Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis*, 19. 92 pp.
- HEITZ, R., 1999: Umbau von Fichtenreinbeständen in naturnahe Mischwälder – Auswirkungen auf bodenchemischen Zustand und Bioelementhaushalt. 307 pp.
- HEITZ, R., 2001: «Tonnenschwere» Öko-Fakten. *LWF aktuell, Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis* 30, 10: 2 Seiten.
- HELVETAS, Grundwasser. Zürich, Helvetas. 4 pp.
- HELVETAS, Quellen und Quellschutz. Zürich, Helvetas. 2 pp.
- HENRIKSEN, A.; HESSEN, D.O., 1997: Whole catchment studies on nitrogen cycling: Nitrogen from mountains to fjords. *Ambio* 26, 5: 254–257.
- HENRIKSEN, A.; KIRKHUSMO, L.A., 2000: Effects of clear-cutting of forest on the chemistry of a shallow groundwater aquifer in southern Norway. *Hydrology and Earth System Sciences* 4, 2: 323–331.
- HERRMANN, M.; SHARPE, W.E.; DEWALLE, D.R.; SWISTOCK, B.R., 2001: Nitrogen export from a watershed subjected to partial salvage logging. *The Scientific World* 1, S2: 440–448.
- HINTON, M.J.; SCHIFF, S.L.; ENGLISH, M.C., 1997: The significance of storms for the concentration and export of dissolved organic carbon from two Precambrian Shield catchments. *Biogeochem.* 36: 67–88.
- HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R.; SMITH, R.A., 1982: Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18, 1: 107–121.
- HÖGBERG, P.; JOHANNISSON, C.; HÖGBERG, M.; HÖGBOM, L.; NÄSHOLM, T.; HÄLLGREN, J.E., 1995: Measurements of abundances of N-15 and C-13 as tools in retrospective studies of N balances and water stress in forests: a discussion of preliminary results. *Plant and Soil* 169: 125–133.
- HOKKA, H.; PENTTILA, T., 1995: Effect of thinning on groundwater table depth in drained peatlands in northern Finland. *Suo* 46, 1: 9–19.
- HÖLL, K., 1974: Beschaffenheit von Sickerwasser und Hangwasser aus Nadel- und Laubbeständen. *AFZ. Der Wald* 49: 1081–1083.
- HOLMES, W.E.; ZAK, D.R., 1999: Soil microbial control of nitrogen loss following clearcut harvest in northern hardwood ecosystems. *Ecological Applications* 9, 1: 202–215.
- HOMANN, P.S.; COLE, D.W.; VANMIEGROET, H.; COMPTON, J.E., 1994: Relationships Between Cation and Nitrate Concentrations in Soil Solutions From Mature and Harvested Red Alder Stands. *Canadian Journal of Forest Research* 24, 8: 1646–1652.
- HOOD, S.M.; ZEDAKER, S.M.; AUST, W.M.; SMITH, D.W., 2002: Universal soil loss equation (USLE)-predicted soil loss for harvesting regimes in Appalachian hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry* 19, 2: 53–58.
- HORNBECK, J.W., 1992: Comparative impacts of forest harvest and acid precipitation on soil and streamwater acidity. *Environmental Pollution* 77, 2–3: 151–155.
- HORNBECK, J.W.; BAILEY, S.W.; BUSO, D.C.; SHANLEY, J.B., 1997: Streamwater chemistry and nutrient budgets for forested watersheds in New England: Variability and management implications. *Forest Ecology and Management* 93, 1–2: 73–89.
- HORNBECK, J.W.; FEDERER, C.A.; PIERCE, R.S., 1987: Effects of whole-tree clearcutting on streamflow can be adequately estimated by simulation?. *Forest Hydrology and Watershed Management*. Vancouver. International Association of Hydrological Sciences Publication, pp. 565–573.
- HORNBECK, J.W.; KROPELIN, W., 1982: Nutrient Removal and Leaching From a Whole-Tree Harvest of Northern Hardwoods. *Journal of Environmental Quality* 11, 2: 309–316.
- HORNBECK, J.W.; MARTIN, C.W.; EAGAR, C., 1997: Summary of water yield experiments at Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. *Canadian Journal of Forest Research* 27, 12: 2043–2052.
- HORNBECK, J.W.; SWANK, W.T., 1992: Watershed Ecosystem Analysis As a Basis For Multiple-Use Management of Eastern Forests. *Ecological Applications* 2, 3: 238–247.
- HOULE, D.; OUMET, R.; PAQUIN, R.; LAFLAMME, J.G., 1999: Interactions of atmospheric deposition with a mixed hardwood and a coniferous forest canopy at the Lake Clair Watershed (Duchesnay, Quebec). *Canadian Journal of Forest Research* 29, 12: 1944–1957.
- HOYDONCK, G.V.; CABUS, P.; SCHRUIVER, A.D.; VERHOEST, N.; LUST, N.; TROCH, F.D., 2000: Modelling the impact of vegetation (heather, deciduous forest, coniferous forest) of infiltration areas on water quality in catchments, Forest ecosystem restoration: ecological and economical impacts of restoration processes in secondary coniferous forests. *Proceedings of the International Conference, Vienna, Austria, 10–12 April, 2000*, pp. 277–280.
- HUBBARD, R.K.; LOWRANCE, R., 1997: Assessment of forest management effects on nitrate removal by riparian buffer systems. *Transactions of the ASAE* 40, 2: 383–391.

- HUBBARD, R.K.; LOWRANCE, R.R., 1994: Riparian Forest Buffer System Research At the Coastal-Plain Experiment Station, Tifton, Ga. *Water, Air and Soil Pollution* 77, 3–4: 409–432.
- HUBER, C., 2002: Nitratausträge nach Borkenkäferbefall. *LWF aktuell, Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis* 34, 11: 30–33.
- HUBER, C., 2003: Nitratbelastung des Sickerwassers nach Borkenkäferbefall in den Bergfichtenwäldern des Nationalparks Bayerischer Wald, Boden- und Wasservorsorge. *Freiburger Forstliche Forschung Berichte. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.*
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden- Württemberg (FVA), Freiburg, Freiburg, pp. 89–99.
- HUDSON, R.O.; GOLDING, D.L., 1998: Snowpack chemistry during snow accumulation and melt in mature subalpine forest and regenerating clear-cut in the southern interior of BC. *Nordic Hydrology* 29, 3: 221–244.
- HUMBERT, J.; G., N., 1992: Influence de la forêt sur le cycle de l'eau en domaine tempéré – Une analyse de la littérature francophone. *Strasbourg, Université Louis Pasteur.*
- HÜSER, R., 1971: The transformation of N15-fertilizers in samples of a brown podzolic soil, and their utilization by one-year-old conifers. *Plant and Soil* 35, 1: 37–50.
- HÜSER, R., 1977: Untersuchungen zur Klärschlammverwertung im Wald. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 96, 4: 238–245.
- HÜSER, R., 1979: *Wald und Wasserqualität, Wald und Wasser – Entwicklung und Stand. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVKW). Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVKW), Bonn, pp. 89–108.*
- HÜSER, R.; FÜHRER, R.; REHFUESS, K.E., 1996: Wasserchemische Auswirkungen von Hiebseingriffen im Krodofer Buchenforst. *Forst und Holz* 51: 666–672.
- ICE, G.G.; STUART, G.W.; WAIDE, J.B.; IRLAND, L.C.; ELLEFSON, P.V., 1997: 25 years of the Clean Water Act: how clean are forest practices? *Journal of Forestry* 95, 7: 9–13.
- IGAWA, M.; KASE, T.; SATAKE, K.; OKOCHI, H., 2002: Severe leaching of calcium ions from fir needles caused by acid fog. *Environmental Pollution* 119, 3: 375–382.
- IGNATOVA, N.; DAMBRINE, E., 2000: Canopy uptake of N deposition in spruce (*Picea abies* L Karst) stands. *Annals of Forest Science* 57, 2: 113–120.
- INGERSLEV, M.; MALKONEN, E.; NILSEN, P.; NOHRSTEDT, H.O.; OSKARSSON, H.; RAULUND-RASMUSSEN, K., 2001: Main findings and future challenges in forest nutritional research and management in the Nordic countries. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16, 6: 488–501.
- INSAM, H.; MERSCHAK, P., 1997: Nitrogen leaching from forest soil cores after amending organic recycling products and fertilizers. *Waste Management & Research* 15, 3: 277–291.
- ISEMAN, T.M.; ZAK, D.R.; HOLMES, W.E.; MERRILL, A.G., 1999: Revegetation and nitrate leaching from Lake States northern hardwood forests following harvest. *Soil Science Society of America Journal* 63, 5: 1424–1429.
- JACKS, G.; JOELSSON, A.; FLEISCHER, S., 1994: Nitrogen-Retention in Forest Wetlands. *Ambio* 23, 6: 358–362.
- JACOBSEN, C.; RADEMACHER, P.; MEESENBURG, H.; MEIWES, K.J., 2002: *Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten. Literaturstudie und Datensammlung. Göttingen, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt. 80 pp.*
- JANDEL, R.; ZOTRIN, R., 2000: *Wasserhaushalt und Stoffbilanz von Wäldern. Österreichische Forstzeitung: Die Zeitschrift für Wald, Forstwirtschaft und Landschaft, Forsttechnik, Wildbach- und Lawinenverbauung, Jagdwirtschaft* 7: 8–9.
- JARVIE, H.P.; WADE, A.J.; BUTTERFIELD, D.; WHITEHEAD, P.G.; TINDALL, C.I.; VIRTUE, W.A.; DRYBURGH, W.; MCGRAW, A., 2002: Modelling nitrogen dynamics and distributions in the River Tweed, Scotland: an application of the INCA model. *Hydrology and Earth System Sciences* 6, 3: 433–453.
- JAYNES, D.B.; HATFIELD, J.L.; MEEK, D.W., 1999: Water quality in Walnut Creek watershed: Herbicides and nitrate in surface waters. *Journal of Environmental Quality* 28, 1: 45–59.
- JENKINS, A.; COSBY, B.J.; FERRIER, R.C.; WALKER, T.A.B.; MILLER, J.D., 1990: Modelling stream acidification in afforested catchments: An assessment of the relative effects of acid deposition and afforestation. *Journal of Hydrology* 120, 1–4: 163–181.
- JEONG, Y.; PARK, J.H.; KIM, K.H.; YOUN, H.J.; WON, H.K., 1999: Influence of forest management on the facilitation of purifying water quality in *Abies holophylla* and *Pinus koraiensis* Watershed(II). *Journal of Korean Forestry Society* 88, 4: 498–509.
- JEWETT, K.; DAUGHARTY, D.; KRAUSE, H.H.; ARP, P.A., 1995: Watershed responses to clear-cutting: Effects on soil solutions and stream water discharge in central New Brunswick. *Canadian Journal of Soil Science* 75, 4: 475–490.
- JOENSUU, S.; AHTI, E.; VUOLLEKOSKI, M., 2001: Long-term effects of maintaining ditch networks on runoff water quality. *Suo* 52, 1: 17–28.
- JOHNSON, C.E.; JOHNSON, A.H.; HUNTINGTON, T.G.; SICCAMA, T.G., 1991: Whole-Tree Clear-Cutting Effects On Soil Horizons and Organic- Matter Pools. *Soil Science Society of America Journal* 55, 2: 497–502.
- JOHNSON, C.E.; JOHNSON, A.H.; SICCAMA, T.G., 1991: Whole-Tree Clear-Cutting Effects On Exchangeable Cations and Soil Acidity. *Soil Science Society of America Journal* 55, 2: 502–508.
- JOHNSON, C.E.; ROMANOWICZ, R.B.; SICCAMA, T.G., 1997: Conservation of exchangeable cations after clear-cutting of a northern hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research* 27, 6: 859–868.
- JOHNSON, D.W.; BINKLEY, D.; CONKLIN, P., 1995: Simulated Effects of Atmospheric Deposition, Harvesting, and Species Change On Nutrient Cycling in a Loblolly-Pine Forest. *Forest Ecology and Management* 76, 1–3: 29–45.
- JOHNSON, D.W.; HANSON, P.J.; TODD, D.E., 2002: The effects of throughfall manipulation on soil leaching in a deciduous forest. *Journal of Environmental Quality* 31, 1: 204–216.

- JOHNSON, D.W.; TODD, D.E., 1987: Nutrient Export By Leaching and Whole-Tree Harvesting in a Loblolly-Pine and Mixed Oak Forest. *Plant and Soil* 102, 1: 99–109.
- JORDAN, T.E.; CORRELL, D.L.; WELLER, D.E., 1997: Relating nutrient discharges from watersheds to land use and streamflow variability. *Water Resources Research* 33, 11: 2579–2590.
- JORDI, B., 2001: Grundwasser Qualitäts-Lebensmittel aus dem Wald. *Umwelt* 3: 36–38.
- JORDI, B., 2003a: Waldwasser ist kaum mit Fremdstoffen belastet. Internationaler Tag des Waldes 2003. BWG, BUWAL, DEZA. 4 pp.
- JORDI, B., 2003b: Waldwirtschaft und Wasserwerke haben gleiche Umweltinteressen. Internationaler Tag des Waldes 2003. BWG, BUWAL, DEZA. 4 pp.
- JORDI, B., 2003: Laubwälder liefern das beste Trinkwasser. Internationaler Tag des Waldes 2003. BWG, BUWAL, DEZA. 4 pp.
- JUHNA, T.; KLAVINS, M.; EGLITE, L., 2003: Sorption of humic substances on aquifer material at artificial recharge of groundwater. *Chemosphere* 51, 9: 861–868.
- JUNTUNEN, M.L.; HAMMAR, T.; RIKALA, R., 2002: Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers. *Journal of Environmental Quality* 31, 6: 1868–1874.
- JURGENS, C.; FANDER, M., 1993: Soil erosion assessment by means of LANDSAT-TM and ancillary digital data in relation to water quality. *Soil Technology* 6, 3: 215–223.
- JURGENSEN, M.F.; ARNO, S.F.; HARVEY, A.E.; LARSEN, M.J.; PFISTER, R.D., 1979: Symbiotic and nonsymbiotic nitrogen fixation in northern Rocky Mountain forest ecosystems, Symbiotic nitrogen fixation in the management of temperate forests. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 2.–5. April 1979. USDA Forest Service, pp. 294–308.
- KAISER, K.; ZECH, W., 1996: Nitrate, sulfate, and biphosphate retention in acid forest soils affected by natural dissolved organic carbon. *Journal of Environmental Quality* 25, 6: 1325–1331.
- KAMARI, J.; RANKINEN, K.; FINER, L.; PIIRAINEN, S.; POSCH, M., 1998: Modelling the response of soil and runoff chemistry to forest harvesting in a low deposition area (Kangasvaara, Eastern Finland). *Hydrology and Earth System Sciences* 2, 4: 485–495.
- KANTON BERN, 2000: Vorschriften für das Erstellen und Betreiben von Nasslagerplätzen für Sturmholz. Bern, Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft, Fischerei-Inspektorat, Naturschutzinspektorat, Bodenschutzfachstelle.
- KATTELMANN, R., 1997: The road to water quality in the Sierra Nevada. *Journal of Forestry* 95, 9: 22–26.
- KATZENSTEINER, K., 2003: Effects of harvesting on nutrient leaching in a Norway spruce (*Picea abies* Karst.) ecosystem on a Lithic Leptosol in the Northern Limestone Alps. *Plant and Soil* 250, 1: 59–73.
- KEIM, R.F.; SCHOENHOLTZ, S.H., 1999: Functions and effectiveness of silvicultural streamside management zones in loessial bluff forests. *Forest Ecology and Management* 118, 1/3: 197–209.
- KELLER, H., 1974: Die Qualität des Wassers aus Waldgebieten. *AFZ. Der Wald* 49: 1074–1076.
- KELLER, H., 1990: Der Wald als Wasserspeicher: ein Ausgleichsbecken der Natur. *Schweizer Hotel-Journal* 20, 4: 36–38.
- KELLER, H.M., 1967: Water quality to characterize runoff from small watersheds, XIV. IUFRO-Kongress. München.
- KELLER, H.M., 1970: Factors Affecting Water Quality of Small Mountain Catchments. *Journal of Hydrology, New Zealand* 9, 2: 133–141.
- KELLER, H.M., 1971: Der Einfluss des Waldes auf den Kreislauf des Wassers. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen; Separatdruck* 81, 10: 14.
- KELLER, H.M., 1982: The effect of flow rate on the export rate of nutrients from small subalpine basins. In: G.J.a.G. Roberts, MAB, Project 5 Workshop on Land use impacts on aquatic systems. Budapest Hungary, October 10–14, 1982., Budapest, pp. 148–160.
- KELLER, H.M., 1984: The Export of Nutrients from Forested Lands, A Literature Review. In: G. Jolánkai und G. Roberts, MAB, Project 5 Workshop on Land use impacts on aquatic systems. Budapest, Hungary, October 10–14, 1983. Budapest, pp. 35–50.
- KELLER, H.M., 1989: Seasonal characteristics of flow regime and water quality in small mountainous basins. Proc. of IUFRO Conf. on Headwater Control, Prag, Csechoslowakia, pp. 122–129.
- KELLER, H.M., 1990: Extreme conditions of streamwater chemistry in a partly forested mountainous region. In: LANG, H.; MUSY, A., *Hydrology in Mountainous Regions I: hydrological measurement – the water cycle*. Lausanne, Augst. 27 – Sept. 1, 1990. International Association of Hydrological Sciences Publication, pp. 477–486.
- KELLER, H.M.; BURCH, H.; GUECHEVA, M., 1989: The variability of water quality in a small mountainous region. In: S. Ragone, *Regional characterization of water quality : proceedings of a symposium held during the Third Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*. Baltimore, Maryland, USA, May 1989. International Association of Hydrological Sciences Publication, pp. 305–312.
- KELLER, H.M.; FORSTER, F.; WEIBEL, P., 1986: Factors affecting stream water quality: results of a 15-year monitoring study in the Swiss prealps. *International Association of Hydrological Sciences Publication* 157: 215–225.
- KELLER, H.M.; KLÖTI, P.; FORSTER, F., 1987: Event studies and the interpretation of water quality in forested basins, Symposium on acidification and water pathways. Bolkesjo, Norwegen, May 1987, pp. 237–248.
- KELLER, T.; BEDA-PUTA, H., 1976: Der Einfluss von Klärschlamm auf den Sickerwassermechanismus eines lehmi-gen Waldbodens. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 95, 2: 97–108.
- KELLER, T.; FÜHLER, H., 1978: Die Bedeutung des Waldes als Immissionsfilter in der Industrielandschaft. *Mitteilungen Eidg. Anstalt forstl. Versuchsw.* 54, 4: 464.

- KEMPF, M., 2002: Wie wirkt sich grossflächiger Borkenkäferbefall auf Abfluss und Wasserqualität aus? LWF aktuell, Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis 34, 11: 26–29.
- KENNEL, M., 1998: Modellierung des Wasserhaushaltes von Waldökosystemen – Fallstudie forsthydrologisches Forschungsgebiet Krofdorf und Referenzzugsgebiet Grosse Ohe. Forstliche Forschungsberichte München, 168. München.
- KESSLER, F., 2003: Wald und Wasser – Lebensquelle und -grundlage. Internationaler Tag des Waldes 2003. Zürich, silviva, BWG, BUWAL, DEZA.
- KESSLER, F., 2003: Faktenblätter. Internationaler Tag des Waldes 2003. Zürich, silviva, BWG, BUWAL, DEZA.
- KIM, D.Y.; BURGER, J.A., 1997: Nitrogen transformations and soil processes in a wastewater-irrigated mature Appalachian hardwood forest. *Forest Ecology and Management* 90, 1: 1–11.
- KING, K.W.; BALOGH, J.C., 2001: Water quality impacts associated with converting farmland and forests to turfgrass. *Transactions of the ASAE* 44, 3: 569–576.
- KIRSCHNERJR., R.A.; PARKER, B.C.; FALKINHAMIII, J.O., 1999: Humic and fulvic acids stimulate the growth of *Mycobacterium avium*. *FEMS Microbiology Ecology* 30, 4: 327–332.
- KIRWALD, E., 1967: Lebens-Element Wasser und Lebens-Gemeinschaft Wald (Wasserhaushaltstechnik oder «Hydromie»). *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen (Sonderdruck)* 4: 81–90.
- KIZLINSKI, M.L.; ORWIG, D.A.; COBB, R.C.; FOSTER, D.R., 2002: Direct and indirect ecosystem consequences of an invasive pest on forests dominated by eastern hemlock. *Journal of Biogeography* 29, 10–11: 1489–1503.
- KJØNAAS, O.J.; STUANES, A.O.; HUSE, M., 1998: Effects of weekly nitrogen additions on N cycling in a coniferous forest catchment, Gårdsjön, Sweden. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 227–249.
- KJØNAAS, O.J.; WRIGHT, R.F., 1998: Nitrogen leaching from N limited forest ecosystems: the MERLIN model applied to Gårdsjön, Sweden. *Hydrology and Earth System Sciences* 2, 4: 415–429.
- KLOCKE, N.L.; TODD, R.W.; HERGERT, G.W.; WATTS, D.G.; PARKHURST, A.M., 1993: Design, installation, and performance of percolation lysimeters for water quality sampling. *Trans ASAE* 36: 429–435.
- KLOETI, P.; KELLER, H.M.; GUECHEVA, M., 1989: Effects of forest canopy on throughfall precipitation chemistry, Regional characterization of water quality : proceedings of a symposium held during the Third Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences. Baltimore, May 1989. International Association of Hydrological Sciences Publication, pp. 203–209.
- KNIGHT, D.H.; YAVITT, J.B.; JOYCE, G.D., 1991: Water and Nitrogen Outflow From Lodgepole Pine Forest After 2 Levels of Tree Mortality. *Forest Ecology and Management* 46, 3–4: 215–225.
- KNOEPP, J.D.; SWANK, W.T., 1997: Long-term effects of commercial sawlog harvest on soil cation concentrations. *Forest Ecology and Management* 93, 1–2: 1–7.
- KNUTSSON, G.; BERGSTROM, S.; DANIELSSON, L.-G.; JACKS, G.; LUNDIN, L.; MAXE, L.; SANDEN, P.; SVERDRUP, H.; WARFVINGE, P., 1995: Acidification of groundwater in forested till areas, *Ecological Bulletins*, pp. 271–300.
- KOLB, E., 1998: The nitrogen budget of a upper montane forest ecosystem in the Tegersee Alps in dependence on the seasonal weather. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 117, 3: 156–166.
- KOLB, E.; REHFUESS, K.E., 1997: Auswirkungen einer Temperaturerhöhung in einem Freilandexperiment auf den Stickstoffaustrag aus Bodensäulen mit verschiedenartiger Humusform. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160, 6: 539–547.
- KÖLLING, C., 2000: Gefahren für Wald und Wasser. Bodenversauerung und Stickstoffsättigung schaden beiden. *Unser Wald* 9: 8–9.
- KÖLLING, C., 2002: Beeinflussen Durchforstungen die Nitratkonzentration des Sickerwassers? LWF aktuell, Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis 34, 11: 25.
- KÖLLING, C.; NEUSTIFTER, H., 1997: Stickstoffeintrag in Wälder und Nitratkonzentration im Sickerwasser – Ergebnisse aus dem Messnetz der Bayerischen Waldklimastationen. *AFZ. Der Wald* 52: 1107–1110.
- KÖLLING, C.; PRIETZEL, J., 1995: Correlations of nitrate and sulfate in the soil solution of disturbed forest ecosystems. *Biochemistry* 31: 121–138.
- KOOPMANS, C.J.; TIETEMA, A.; BOXMAN, A.W., 1996: The fate of N-15 enriched throughfall in two coniferous forest stands at different nitrogen deposition levels. *Biogeochemistry* 34, 1: 19–44.
- KOOPMANS, C.J.; VANDAM, D., 1998: Modelling the impact of lowered atmospheric nitrogen deposition on a nitrogen saturated forest ecosystem. *Water, Air and Soil Pollution* 104, 1–2: 181–203.
- KORTELAINEIN, P.; SAUKKONEN, S., 1998: Leaching of nutrients, organic carbon and iron from Finnish forestry land. *Water, Air and Soil Pollution* 105, 1–2: 239–250.
- KORTELAINEIN, P.; SAUKKONEN, S.; MATTSSON, T., 1997: Leaching of nitrogen from forested catchments in Finland. *Global Biogeochemical Cycles* 11, 4: 627–638.
- KOSTADINOV, S.; VUCICEVIC, S.; MARKOVIC, S.; NIKOLIC, M., 1998: Runoff regime in small watersheds with different degrees of forest cover. *Headwaters Water Resources and Soil Conservation*: 263–271.
- KOSUTA, S.; HAMEL, C., 2000: The fate and mobility of copper from chemical root control barriers in soil and leachate. *Environmental Pollution* 110, 1: 165–170.
- KRASKE, C.R.; FERNANDEZ, I.J., 1993: Biogeochemical Responses of a Forested Watershed to Both Clear-Cut Harvesting and Paper-Mill Sludge Application. *Journal of Environmental Quality* 22, 4: 776–786.
- KREUTZER, K., 1981: Die Stoffbefrachtung des Sickerwassers in Waldbeständen. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft* 32: 273–286.
- KREUTZER, K., 1986: Untersuchungen über den Einfluss von Standort und Bestockung auf den Nitrataustrag aus Waldböden, *Berichte, XIII. Congress Int. Bodenkundl. Gesellsch.*, pp. 63–64.
- KREUTZER, K., 1989a: Änderungen im Stickstoffhaushalt der Wälder und die dadurch verursachten Auswirkungen auf die Qualität des Sickerwassers. *DVWU-Mitt.* 17: 121–132.

- KREUTZER, K., 1989b: The impact of forest management practices on the soil acidification in established forests. In: EG, Air Pollution Report 13. EG, Brüssel, pp. 75–90.
- KREUTZER, K., 1994: Folgerungen aus der Höglwaldforschung. AFZ. Der Wald 14: 769–774.
- KREUTZER, K., 1995: Effects of Forest Liming On Soil Processes. Plant and Soil 169: 447–470.
- KREUTZER, K.; DESCHU, E.; HOESL, G., 1986: Vergleichende Untersuchungen über den Einfluss von Fichte (*Picea abies* L. Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf die Sickerwasserqualität. Forstwissenschaftliches Centralblatt 105: 364–371.
- KRISTROEM, B., 2000: Valuing forests. Umeaa, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen foer Skogsekonomi. 32 pp.
- KRUPA, S.V., 2003: Effects of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: a review. Environmental Pollution 124, 2: 179–221.
- KUBIN, E., 1995: The effect of clear cutting, waste wood collecting and site preparation on the nutrient leaching to groundwater, Developments in Plant and Soil Sciences, pp. 661–670.
- KUBINIOK, J.; NEUMANN, B.; FELTES, W., Erfassung und Bewertung der Nitratkonzentrationen in ausgewählten saarländischen Quellwässern und Quellgerinnen, Universität Saarland. 3 pp.
- KÜCHLI, C.; MEYLAN, B., 2002: Wälder liefern das beste Trinkwasser. Wald und Holz 10: 52–54.
- KUKUK, V., 2001: Studien zum Bestandeseinfluss auf die Nitratbelastung des Sickerwassers südbayerischer Modellbestände. München, TU München.
- KUNKLE, S.H., 1974: Der Einfluss des Waldes und der Forstwirtschaft auf die Wasserqualität. AFZ. Der Wald 49: 1070–1074.
- KUNZ, B.; HAAGMANS, B., 2003: Der Stadtwald schützt das Trinkwasser von Winterthur. Internationaler Tag des Waldes 2003. Winterthur, BWG, BUWAL, WSL. 4 pp.
- KURTH, A.; HELLER, H., 1966: Segensreiche Rolle unserer Wälder. Ihre Bedeutung für die Trinkwasser-Qualität. HOLZ 25: 19–21.
- KURZ, D.; RIHM, B.; SVERDRUP, H.; WARFVINGE, P., 1998: Critical Loads of Acidity for Forest Soils. Regionalized PROFILE model. Environmental Series Air / Forests, 88. Berne, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL). 102 pp.
- LAL, R., 1997: Deforestation, tillage and cropping systems effects on seepage and runoff water quality from a Nigerian Alfisol. Soil and Tillage Research 41, 3–4: 261–284.
- LAMONTAGNE, S.; CARIGNAN, R.; D'ARCY, P.; PRAIRIE, Y.T.; PARE, D., 2000: Element export in runoff from eastern Canadian Boreal Shield drainage basins following forest harvesting and wildfires. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 57: 118–128.
- LAMONTAGNE, S.; SCHIFF, S.L.; ELGOOD, R.J., 2000: Recovery of 15N-labelled nitrate applied to a small upland boreal forest catchment. Canadian Journal of Forest Research 30, 7: 1165–1177.
- LANGUSCH, J.J.; MATZNER, E., 2002: N fluxes in two nitrogen saturated forested catchments in Germany: dynamics and modelling with INCA. Hydrology and Earth System Sciences 6, 3: 383–394.
- LARSSON, P.E.; WESTLING, O., 1998: Leaching of wood ash and lime products: Laboratory study. Scandinavian Journal of Forest Research: 17–22.
- LASCH, P.; LINDNER, M.; ERHARD, M.; SUCKOW, F.; WENZEL, A., 2002: Regional impact assessment on forest structure and functions under climate change – the Brandenburg case study. Forest Ecology and Management 162, 1: 73–86.
- LATHROP, R.G., 1993: Consequences of the 1988 wildfires on the water quality of Yellowstone National Park's major lakes. Bulletin of the Ecological Society of America 74, 2 SUPPL.
- LATHROP, R.G., JR., 1994: Impacts of the 1988 wildfires on the water quality of Yellowstone and Lewis Lakes, Wyoming. International Journal of Wildland Fire 4, 3: 169–175.
- LAVABRE, J.; ANDREASSIAN, V., 2000: La forêt: un outil de gestion des eaux? 120 pp.
- LAVERMAN, A.M.; ZOOMER, H.R.; VAN VERSEVELD, H.W.; VERHOEF, H.A., 2000: Temporal and spatial variation of nitrogen transformations in a coniferous forest soil. Soil Biology & Biochemistry 32, 11–12: 1661–1670.
- LAXEN, D.P.H., 1977: A specific conductance method for quality control in water analysis. Water Research 11: 91–94.
- LEAUX, 1991 (24.1.): Loi fédérale sur la protection des eaux, RS 814.20.
- LEE, H.-H., 1997: Estimations on the water purification of forest by analyzing water quality variations in forest hydrological processes. Journal of Korean Forestry Society 86, 1: 56–68.
- LEE, H.-H.; JUN, J.-H., 1996: Water quality variations of pH, electrical conductivity and dissolved oxygen in forest hydrological processes. Journal of Korean Forestry Society 85, 4: 634–646.
- LEK, S.; GUIRESSE, M.; GIRAUDEL, J.L., 1999: Predicting stream nitrogen concentration from watershed features using neural networks. Water Research 33, 16: 3469–3478.
- LEPISTO, A.; KENTTAMIES, K.; REKOLAINEN, S., 2001: Modeling combined effects of forestry, agriculture and deposition on nitrogen export in a northern river basin in Finland. Ambio 30, 6: 338–348.
- LETHMATE, J.; SCHNEIDER, K., 2001: The Teutoburger Forest as a weak buffering area: water acidification in the Osnung-sandstone ridge. Hercynia 34, 2: 161–170.
- LIEBSCHER, H.J., 1979: Wald und Abfluss, Wald und Wasser – Entwicklung und Stand. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVKW). Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVKW), Bonn.
- LIECHTY, H.O.; MROZ, G.D.; REED, D.D., 1993: Cation and anion fluxes in northern hardwood throughfall along an acidic deposition gradient. Canadian Journal of Forest Research 23: 457–467.
- LIKENS, G.E., 1996: Acid rain revisited? Science 273: Letters.
- LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H., 1999: Biogeochemistry of a forested ecosystem. Berlin, Springer. 159 pp.

- LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H.; JOHNSON, N.M.; PIERCE, R.S., 1967: Calcium magnesium potassium and sodium budgets for a small forested ecosystem. *Ecology* 48, 5: 772-&.
- LIKENS, G.E.; DRISCOLL, C.T.; BUSO, D.C.; MITCHELL, M.J.; LOVETT, G.M.; BAILEY, S.W.; SICCAMI, T.G.; REINERS, W.A.; ALEWELL, C., 2002: The biogeochemistry of sulfur at Hubbard Brook. *Biogeochemistry* 60, 3: 235–316.
- LIKENS, G.E.; DRISCOLL, C.T.; BUSO, D.C.; SICCAMI, T.G.; JOHNSON, C.E.; LOVETT, G.M.; FAHEY, T.J.; REINERS, W.A.; RYAN, D.F.; MARTIN, C.W.; BAILEY, S.W., 1998: The biogeochemistry of calcium at Hubbard Brook. *Biogeochemistry* 41, 2: 89–173.
- LIKENS, G.E.; DRISCOLL, C.T.; BUSO, D.C.; SICCAMI, T.G.; JOHNSON, C.E.; LOVETT, G.M.; RYAN, D.F.; FAHEY, T.; REINERS, W.A., 1994: The Biogeochemistry of Potassium At Hubbard Brook. *Biogeochemistry* 25, 2: 61–125.
- LINDROOS, A.J.; PAAVOLAINEN, L.; SMOLANDER, A.; DEROME, J.; HELMISAARI, H.S., 1998: Changes in nitrogen transformations in forest soil as a result of sprinkling infiltration. *Environmental Pollution* 102 Suppl.: 421–426.
- LINDROOS, A.-J.; KITUNEN, V.; DEROME, J.; HELMISAARI, H.-S., 2002: Changes in dissolved organic carbon during artificial recharge of groundwater in a forested esker in Southern Finland. *Water Research* 36, 20: 4951–4958.
- LINKERSDÖRFER, S.; BENECKE, P., 1987: Auswirkung von sauren Depositionen auf die Grundwasserqualität in bewaldeten Gebieten. Eine Literaturstudie. Materialien Umweltbundesamt, 4/87. Berlin, Deutsches Umweltbundesamt. 170 pp.
- LITTLE, I.P., 1997: The fate of nitrogen fertilisers added to red gradational soils at Batlow, New South Wales, and its implications with respect to soil acidity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28, 11–12: 863–874.
- LOCHMAN, V.; CHLEBEK, A.; JARABAC, M.; SEBKOVA, V., 2000: The impact of forest stands in the basins of Cervik and Mala Rastoka on the chemistry of surface water sources. *Journal of Forest Science* 46, 7: 305–324.
- LOCKABY, B.G.; CLAWSON, R.G.; FLYNN, K.; RUMMER, R.; MEADOWS, S.; STOKES, B.; STANTURF, J., 1997: Influence of harvesting on biogeochemical exchange in sheetflow and soil processes in a eutrophic floodplain forest. *Forest Ecology and Management* 90, 2–3: 187–194.
- LOCKABY, B.G.; JONES, R.H.; CLAWSON, R.G.; MEADOWS, J.S.; STANTURF, J.A.; THORNTON, F.C., 1997: Influences of harvesting on functions of floodplain forests associated with low-order, blackwater streams. *Forest Ecology and Management* 90, 2–3: 217–224.
- LOCKABY, B.G.; TRETTIN, C.C.; SCHOENHOLTZ, S.H., 1999: Effects of silvicultural activities on wetland biogeochemistry. *Journal of Environmental Quality* 28, 6: 1687–1698.
- LORZ, C.; HRUSKA, J.; KRAM, P., 2003: Modeling and monitoring of long-term acidification in an upland catchment of the Western Ore Mountains, SE Germany. *The Science of The Total Environment* 310, 1–3: 153–161.
- LOWRANCE, R.; ALTIER, L.S.; NEWBOLD, J.D.; SCHNABEL, R.R.; GROFFMAN, P.M.; DENVER, J.M.; CORRELL, D.L.; GILLIAM, J.W.; ROBINSON, J.L.; BRINSFIELD, R.B.; STAYER, K.W.; LUCAS, W.; TODD, A.H., 1997: Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. *Environmental Management* 21, 5: 687–712.
- LOWRANCE, R.; ALTIER, L.S.; NEWBOLD, J.D.; SCHNABEL, R.R.; GROFFMAN, P.M.; DENVER, J.M.; CORRELL, D.L.; GILLIAM, J.W.; ROBINSON, J.L.; BRINSFIELD, R.B.; STAYER, K.W.; LUCAS, W.; TODD, A.H., 1997: Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. *Biogeochem.* 38, 3: 303–335.
- LUNDBORG, A., 1997: Reducing the nitrogen load: Whole-tree harvesting – A literature review. *Ambio* 26, 6: 387–393.
- LUXMOORE, R.J.; CUNNINGHAM, M.; MANN, L.K.; TJOELKER, M.G., 1993: Urea Fertilization Effects On Nutrient-Uptake and Growth of *Platanus-Occidentalis* During Plantation Establishment. *Trees-Structure and Function* 7, 4: 250–257.
- LYDERSEN, E., 1995: Effects of cold and warm years on the water chemistry at the birkenes catchment, Norway. *Water, Air and Soil Pollution* 84, 217–232.
- LYSIMETER-ARBEITSGRUPPE, 1989: Lysimeterdaten von schweizerischen Messstationen: Bodenwassergehalt, Sickerwasser, Niederschlag und Evapotranspiration. BGS Dokument/Document SSP, 4. Zürich, Juris Druck und Verlag. 123 pp.
- MAC DONALD, J.A.; DISE, N.B.; MATZNER, E.; ARMBRUSTER, M.; GUNDERSEN, P.; FORSIUS, M., 2002: Nitrogen input together with ecosystem nitrogen enrichment predict nitrate leaching from European forests. *Global Change Biology* 8: 1028–1033.
- MAGILL, A.H.; ABER, J.D.; BERNTSON, G.M.; MCDOWELL, W.H.; NADELHOFFER, K.J.; MELILLO, J.M.; STEUDLER, P., 2000: Long-term nitrogen additions and nitrogen saturation in two temperate forests. *Ecosystems* 3, 3: 238–253.
- MAHENDRAPP, M.K.; OGDEN, E.D., 1973: Effects of fertilization of a Black Spruce stand on nitrogen contents of stemflow, throughfall, and litterfall. *Canadian Journal of Forest Research* 3, 1: 54–60.
- MAITAT, O.; BOUDOT, J.-P.; MERLET, D.; ROUILLER, J., 2000: Aluminium chemistry in two contrasted acid forest soils and headwater streams impacted by acid deposition, Vosges mountains, NE France. *Water, Air and Soil Pollution* 117, 1–4: 217–243.
- MANDER, U.; KUUSEMETS, V.; IVASK, M., 1995: Nutrient Dynamics of Riparian Ecotones – a Case-Study From the Porijogi River Catchment, Estonia. *Landscape and Urban Planning* 31, 1–3: 333–348.
- MANNINEN, P., 1998: Effects of forestry ditch cleaning and supplementary ditching on water quality. *Boreal Environment Research* 3, 1: 23–32.
- MANTAU, U.; MERTENS, B., 1997: Forstbetriebliche Umweltagenturen öffnen den Weg zur Vermarktung von Umweltleistungen des Waldes. *AFZ. Der Wald* 52, 17: 918–922.
- MANTAU, U.; MERTENS, B., 2001: Forstbetriebliche Umweltagenturen öffnen den Weg zur Vermarktung von Umweltleistungen des Waldes. *AFZ. Der Wald Supplement: suppl.* 22–26.
- MARCOS, G.M.; LANCHO, J.F.G., 2002: H+ budget in oligotrophic *Quercus pyrenaica* forests: atmospheric and management-induced soil acidification? *Plant and Soil* 243, 1: 11–22.
- MARK, T.J.; HORNBECK, J.W., 2001: Incorporating water goals into forest management decisions at a local level. *Forest Ecology and Management* 143: 87–93.

- MARNTELL, A., 2002: A short presentation of the Swedish part of the EU LIFE- project: demonstration of sustainable forestry to protect water quality and aquatic biodiversity. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 141, 7: 31–33.
- MARTIN, C.; DIDON-LESCOT, J.F., 2003: Hydrochemical behaviour of the experimental research basins of Mont-Lozere (France) and consequences of a forest harvest. *Zeitschrift für Geomorphologie* 47, 1: 117–140.
- MARTIN, C.W.; HORNBECK, J.W., 2000: Impacts of intensive harvesting on hydrology and nutrient dynamics of northern hardwood forests. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57: 19–29.
- MARTIN, T.L.; KAUSHIK, N.K.; TREVORS, J.T.; WHITELEY, H.R., 1999: Review: Denitrification in temperate climate riparian zones. *Water, Air and Soil Pollution* 111, 1–4: 171–186.
- MARTINEZ, J.; BELINE, F., 2002: Gestion de l'azote en système d'élevage développé. *Enjeux scientifiques et environnementaux: Nitrogen management from intensive livestock production: scientific and environmental issues. Nature Sciences Societes* 10, 1: 52–61.
- MATAIX-SOLERA, J.; DOERR, S.H., Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma In Press, Corrected Proof*.
- MATTHEIS, W., 2000: Die Wiederbewaldung von orkangeschädigten Waldflächen im Saarland. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 6: 209–210.
- MATZNER, E., 1985: Auswirkungen von Düngung und Kalkung auf den Elementumsatz und die Elementverteilung in zwei Waldökosystemen im Solling. *Allgemeine Forstzeitschrift* 43: 1143–1147.
- MATZNER, E.; HETSCH, W., 1981: Beitrag zum Elementaustrag mit dem Sickerwasser unter verschiedenen Ökosystemen im nordwestdeutschen Flachland. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 144, 1–10: 64–73.
- MAYER, B.; BOYER, E.W.; GOODALE, C.; JAWORSKI, N.A.; VAN BREEMEN, N.; HOWARTH, R.W.; SEITZINGER, S.; BILLEN, G.; LAJTHA, K.; NADELHOFFER, K.; VAN DAM, D.; HETLING, L.J.; NOSAL, M.; PAUSTIAN, K., 2002: Sources of nitrate in rivers draining sixteen watersheds in the northeastern U.S.: isotopic constraints. *Biogeochem.* 57–58: 171–197.
- MAYER, R., 1971: Bioelement – Transport im Niederschlagswasser und in der Bodenlösung eines Wald – Ökosystems. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 19. 119 pp.
- MCBROOM, M.; CHANG, M.; SAYOK, A.K., 2002: Forest clearcutting and site preparation on a saline soil in East Texas: impacts on water quality. *General Technical Report – Southern Research Station, USDA Forest Service, No. SRS-48: 535–542*.
- McFARLAND, A.M.S.; HAUCK, L.M., 1999: Relating agricultural land uses to in-stream stormwater quality. *Journal of Environmental Quality* 28, 3: 836–844.
- McLAUGHLIN, J.W.; LIU, G.; JURGENSEN, M.F.; GALE, M.R., 1996: Organic carbon characteristics in a spruce swamp five years after harvesting. *Soil Science Society of America Journal* 60, 4: 1228–1236.
- McNULTY, S.G.; ABER, J.D.; McLELLAN, T.M.; KATT, S.M., 1990: Nitrogen cycling in high elevation forests of the northeastern US in relation to nitrogen deposition. *Ambio* 19, 1: 38–40.
- MEESBURG, H.; HORVÁTH, B.; MEIWES, K.J., 2003: Stoffhaushalt von Waldökosystemen NW-Deutschlands unter hoher Stickstoffbelastung, Boden- und Wasservorsorge. *Freiburger Forstliche Forschung Berichte. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Freiburg, pp. 57–69*.
- MEESBURG, H.; MEIWES, K.J.; RADEMACHER, P., 1995: Long term trends in atmospheric deposition and seepage output in northwest german forest ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 611–615.
- MEGAHAN, W.F.; KING, J.G.; SEYEDBAGHERI, K.A., 1995: Hydrologic and Erosional Responses of a Granitic Watershed to Helicopter Logging and Broadcast Burning. *Forest Science* 41, 4: 777–795.
- MEIRESONNE, L.; SAMPSON, D.A.; KOWALSKI, A.S.; JANSSENS, I.A.; NADEZHINA, N.; CERMAK, J.; VAN SLYCKEN, J.; CEULEMANS, R., 2003: Water flux estimates from a Belgian Scots pine stand: a comparison of different approaches. *Journal of Hydrology* 270, 3–4: 230–252.
- MEIXNER, T.; BALES, R.C., 2003: Hydrochemical modeling of coupled C and N cycling in high-elevation catchments: Importance of snow cover. *Biogeochem.* 62, 3: 289–308.
- MELLERT, K.H., 2000: Stickstoffsättigung und Nitrataustrag in den Wasserschutzwäldern der Münchener Schotterebene, Aktueller Zustand – Entwicklungstendenzen – Bewirtschaftungskonzept., *Nicht veröffentlichter Bericht*. 137 pp.
- MELLERT, K.H.; GENSOR, A.; SPANGENBERG, A.; RÜCKER, G.; KUKUK, V.; GMACH, U.; RISS, M.; KÖLLING, C., 2002: Nitratinventur und Regionalisierung. *LWF aktuell, Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis* 34, 11: 15–20.
- MELLERT, K.H.; KÖLLING, C.; REHFUESS, K.E., 1996: Stoffauswaschung aus Fichtenwaldökosystemen Bayerns nach Sturmwurf. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 115: 363–377.
- MELLERT, K.H.; KÖLLING, C.; REHFUESS, K.E., 1998: Vegetationsentwicklung und Nitrataustrag auf 13 Sturmkahlflächen in Bayern. *Forstarchiv* 69: 3–11.
- MERKER, K., 2003: Die Klosterforsten im Wandel. *Forst und Holz* 58, 12: 352–357.
- MERKER, K., erscheint demnächst: Die Wertschöpfungskette Wasser – Neue Chancen für eine Wald-Wasser-Kooperation? *Forst und Holz*: 16.
- MEYER, V.F.; REDENTE, E.F.; BARBARICK, K.A.; BROBST, R., 2001: Biosolids applications affect runoff water quality following forest fire. *Journal of Environmental Quality* 30, 5: 1528–1532.
- MEYLAN, B., 2003: Der Wald sorgt für sauberes Trinkwasser. *GWA* 2003, 3: 191–199.
- MEYLAN, B.; JORDI, B., 2001: Besserer Schutz für das wichtigste Lebensmittel. *Umwelt* 3: 6–11.
- MILLER, E.L.; LIECHTY, H.O., 2001: Forest inventory and analysis: what it tells us about water quality in Arkansas. *General Technical Report – Southern Research Station, USDA Forest Service, No. SRS-41: 71–78*.

- MINOCHA, R.; LONG, S.; MAGILL, A.H.; ABER, J.; McDOWELL, W.H., 2000: Foliar free polyamine and inorganic ion content in relation to soil and soil solution chemistry in two fertilized forest stands at the Harvard Forest, Massachusetts. *Plant and Soil* 222, 1–2: 119–137.
- MITSCHERLICH, G., 1971: Wissenschaft und Fortschritt, aufgezeigt am Beispiel: Wald und Wasser. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 10: 237–246.
- MITSCHERLICH, G., 1981: *Waldklima und Wasserhaushalt*. 402 pp.
- MOECKLI, M., 1997: *In-Situ Atmospheric Trace Gas Monitoring by CO<sub>2</sub> Laser Photoacoustic Spectroscopy*, Diss. ETH No 12150. Zürich, ETH. 69 pp.
- MOESCHKE, H., 1998: *Abflussgeschehen im Bergwald Untersuchungen im drei bewaldeten Kleineinzugsgebieten im Fylsch der Tegernseer Berge*. Forstliche Forschungsberichte München, 169. München, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 206 pp.
- MOFFAT, A.J.; WILLIAMSON, D.R., 1991: Review of Fertilizer and Herbicide Use in Uk Tree Crop Systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 57, 1: 1–18.
- MOHN, J.; SCHÜRMAN, A.; HAGEDORN, F.; SCHLEPPI, P.; BACHOFEN, R., 2000: Increased rates of denitrification in nitrogen-treated forest soils. *Forest Ecology and Management* 137: 113–119.
- MOLDAN, F.; HULTBERG, H.; NYSTRÖM, U.; WRIGHT, R.F., 1995: Nitrogen saturation at Gårdsjön, southwest Sweden, induced by experimental addition of ammonium nitrate. *Forest Ecology and Management* 71, 1–2: 89–97.
- MOLDAN, F.; WRIGHT, R.F., 1997: Nutrient dynamics in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) stands on the Beaujolais Mounts (France). 1. Qualitative approach. *Forest Ecology and Management* 91, 2–3: 255–277.
- MOLDAN, F.; WRIGHT, R.F., 1998: Changes in runoff chemistry after five years of N addition to a forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 187–197.
- MOOG, M.; PÜTTMANN, F., 1986: Überlegungen zur Bewertung von Minderungen der Bodenschutzleistung des Waldes mit einem praktischen Beispiel. *Der Forst- und Holzwirt* 41, 6: 158–162.
- MOORE, D.; SEHGAL, D., 1999: *Forests for the future: an indigenous, integrated approach to managing temperate watershed resources in Oregon*, *Forests for the future: local strategies for forest protection, economic welfare and social justice*. pp. 167–187.
- MOSELLO, R.; BARBIERI, A.; BRIZZIO, M.C.; CALDERONI, A.; MARCHETTO, A.; PASSERA, S.; ROGORA, M.; TARTARI, G., 2001: Nitrogen budget of Lago Maggiore: the relative importance of atmospheric deposition and catchment sources. *Journal of Limnology* 60, 1: 27–40.
- MÖSSMER, E.-M., 2000: *Wald Wasser Leben*, 11. Bonn, Stiftung Wald in Not. 32 pp.
- MOTAVALLI, P.P.; DISCEKICI, H.; KUHN, J., 2000: The impact of land clearing and agricultural practices on soil organic C fractions and CO<sub>2</sub> efflux in the Northern Guam aquifer. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 79, 1: 17–27.
- MULDER, J.; NILSEN, P.; STUANES, A.O.; HUSE, M., 1997: Nitrogen pools and transformations in Norwegian forest ecosystems with different atmospheric inputs. *Ambio* 26, 5: 273–281.
- MULLER, B.; LOTTER, A.F.; STURM, M.; AMMANN, A., 1998: Influence of catchment quality and altitude on the water and sediment composition of 68 small lakes in Central Europe. *Aquat. Sci.* 60, 4: 316–337.
- MÜLLER, J., 1996: *Beziehungen zwischen Vegetationsstrukturen und Wasserhaushalt in Kiefern- und Buchenökosystemen*. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg 185: 112–128.
- MÜLLER, J., 2001: Ermittlung von Kennwerten des Wasserhaushaltes in Kiefern- und Buchenbeständen des nordostdeutschen Tieflands. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 1, 35: 14–18.
- MÜLLER, J., 2002: *Wasserhaushalt von Kiefern- und Buchen-Reinbeständen und von Kiefern- und Buchen-Mischbeständen im nordostdeutschen Tiefland, Funktionen des Waldes in Verbindung mit dem Landschaftswasserhaushalt*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. Landesforstanstalt Eberswalde, Eberswalde, pp. 66–76.
- MÜLLER, J.; ANDERS, S., 1995: Einfluss unterschiedlich strukturierter Wald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflands auf den Wasserhaushalt. *Forschungsreport Ernährung, Landwirtschaft, Forsten (Germany)* 11: 3–7.
- MÜLLER, J.; JENSSEN, M., 2003: Hier ist Wasser besonders wertvoll. *Unser Wald* 4: 10–11.
- MURDOCH, P.S.; BARON, J.S.; MILLER, T.L., 2000: Potential effects of climate change on surface-water quality in North America. *Journal of the American Water Resources Association* 36, 2: 347–366.
- MUSY, A., 2002: *Eau – Forêt: le couple parfait!* In: J. Combe und W. Rosselli, *L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable*. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL. Lausanne, 26.11.2002. Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, pp. 15–20.
- NADELHOFFER, K.J.; ABER, J.D., 1984: Seasonal patterns of ammonium and nitrate uptake in nine temperate forest ecosystems. *Plant and Soil* 80: 321–335.
- NAGAFUCHI, O.; KAKIMOTO, H.; EBISE, S.; UKITA, M., 2002: Effects of forests on mountain stream water quality. *Japanese Journal of Limnology* 63, 1: 11–19.
- NAGUMO, T.; HATANO, R., 2000: Impact of nitrogen cycling associated with production and consumption of food on nitrogen pollution of stream water. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46, 2: 325–342.
- NÄSHOLM, T.; NORDIN, A.; EDFAST, A.B.; HÖGBERG, P., 1997: Identification of coniferous forests with incipient nitrogen saturation through analysis of arginine and nitrogen-15 abundance of trees. *Journal of Environmental Quality* 26, 1: 302–309.

- NEAL, C.; AVILA, A.; RODA, F., 1995: Modeling the long-term impacts of atmospheric-pollution deposition and repeated forestry cycles on stream water chemistry for a holm oak forest in northeastern Spain. *Journal of Hydrology* 168, 1–4: 51–71.
- NEAL, C.; FISHER, R.; SMITH, C.J.; HILL, S.; NEAL, M.; CONWAY, T.; RYLAND, G.P.; JEFFREY, H.A., 1992: The effects of tree harvesting on stream water quality at an acidic and acid-sensitive spruce forested area – Plynlimon, Mid-Wales. *Journal of Hydrology* 135, 1–4: 305–319.
- NEAL, C.; REYNOLDS, B.; NEAL, M.; HUGHES, S.; WICKHAM, H.; HILL, L.; ROWLAND, P.; PUGH, B., 2003: Soluble reactive phosphorus levels in rainfall, cloud water, throughfall, stemflow, soil waters, stream waters and groundwaters for the Upper River Severn area, Plynlimon, mid Wales. *The Science of The Total Environment* In Press, Corrected Proof.
- NEAL, C.; REYNOLDS, B.; NEAL, M.; WICKHAM, H.; HILL, L.; PUGH, B., 2003: The impact of conifer harvesting on stream water quality: a case study in Mid-Wales. *Water, Air and Soil Pollution. Focus* 3, 1: 119–138.
- NEAL, C.; REYNOLDS, B.; SMITH, C.J.; HILL, S.; NEAL, M.; CONWAY, T.; RYLAND, G.P.; JEFFREY, H.; ROBSON, A.J.; FISHER, R., 1992: The impact of conifer harvesting on stream water pH, alkalinity and aluminum concentrations for the British Uplands – an example for an acidic and acid sensitive catchment in Mid Wales. *The Science of The Total Environment* 126, 1–2: 75–87.
- NEAL, C.; REYNOLDS, B.; WILKINSON, J.; HILL, T.; NEAL, M.; HILL, S.; HARROW, M., 1998: The impacts of conifer harvesting on runoff water quality: a regional survey for Wales. *Hydrology and Earth System Sciences* 2, 2–3: 323–344.
- NEAL, C.; SMITH, C.J.; HILL, S., 1992: *Forestry impact on upland water quality*. Oxon, Institute of Hydrology Crowmarsh Gifford Wallingford.
- NEARY, D.G.; MICHAEL, J.L., 1995: The role of herbicides in protecting long-term sustainability and water quality in forest ecosystems, *FRI Bulletin*, No. 192; Popular Summaries from Second International Conference on Forest Vegetation Management. pp. 161–163.
- NEARY, D.G.; MICHAEL, J.L., 1996: Herbicides. Protecting long-term sustainability and water quality in forest ecosystems. *New Zealand Journal of Forestry Science* 26, 1–2: 241–264.
- NEWTON, R.M.; BURNS, D.A.; BLETTE, V.L.; DRISCOLL, C.T., 1996: Effect of whole catchment liming on the episodic acidification of two Adirondack streams. *Biogeochemistry* 32, 3: 299–322.
- NIELSEN, K.H., 1994: Environmental aspects of using waste-waters and sludges in energy forest cultivation. *Biomass & Bioenergy* 6, 1–2: 123–132.
- NISBET, T.R.; WELCH, D.; DOUGHTY, R., 2002: The role of forest management in controlling diffuse pollution from the afforestation and clearfelling of two public water supply catchments in Argyll, West Scotland. *Forest Ecology and Management* 158, 1–3: 141–154.
- NISSINEN, A.; HARI, P., 1998: Effects of nitrogen deposition on tree growth and soil nutrients in boreal Scots pine stands. *Environmental Pollution* 102 Suppl.: 61–68.
- NOHRSTEDT, H.O.; RING, E.; KLEMEDTSSON, L.; NILSSON, A., 1994: Nitrogen Losses and Soil-Water Acidity After Clear-Felling of Fertilized Experimental Plots in a *Pinus-Sylvestris* Stand. *Forest Ecology and Management* 66, 1–3: 69–86.
- NOHRSTEDT, H.-Ö.; SIKSTRÖM, U.; RING, E.; NÄSHOLM, T.; HÖGBERG, P.; PERSSON, T., 1996: Nitrate in soil water in three Norway spruce stands in southwest Sweden as related to N-deposition and soil, stand, and foliage properties. *Canadian Journal of Forest Research* 26, 5: 836–848.
- NORMAND, I., 2002: Evaluation du surcoût occasionné par la mise en oeuvre de mesures forestières particulières pour la protection de l'eau dans deux bassins versants des Vosges lorraines. Nancy, Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts. 159 pp.
- NOVAK, J.M.; HUNT, P.G.; STONE, K.C.; WATTS, D.W.; JOHNSON, M.H., 2002: Riparian zone impact on phosphorus movement to a Coastal Plain black water stream. *Journal of Soil and Water Conservation* 57, 3: 127–133.
- NOVOTNY, V., 1999: Diffuse pollution from agriculture – a worldwide outlook. *Water Science and Technology* 39, 3: 1–13.
- NUGENT, C.; KANALI, C.; OWENDE, P.M.O.; NIEUWENHUIS, M.; WARD, S., 2003: Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. *Forest Ecology and Management* 180, 1–3: 85–98.
- ÖBERG, G.; GRON, C., 1998: Sources of organic halogens in spruce forest soil. *Environmental Science and Technology* 32, 11: 1573–1579.
- ODAL, 1995 (1.3.): Ordonnance sur les denrées alimentaires, RS 817.02.
- OEAUX, 1998 (28.10.): Ordonnance sur la protection des eaux, RS 814.201.
- OFEFP, 2002: *Projet SIG 'Zones de protection des eaux en forêt'*. Berne, Division protection des eaux et pêche.
- OHYG, 1995 (26.6.): Ordonnance sur les exigences en matière d'hygiène et de microbiologie relative aux denrées alimentaires, aux objets usuels, aux locaux, aux installations et au personnel, RS 817.51.
- O'LOUGHLIN, C., 1994: The forest and water quality relationship. *New Zealand Forestry* 39, 3: 26–30.
- OLSCHIEWSKI, R.; BERGEN, V.; BRABÄNDER, H.D., 1997: *Nutzen-Kosten-Analyse des Wasserschutzes durch eine Aufforstung*. Frankfurt am Main, J.D. Sauerländer's Verlag. 166 pp.
- ONF, 1999: *Bulletin technique L'eau et la forêt*, 37, Office National des Forêts – Département des Recherches Techniques. 240 pp.
- ORLANDER, G.; WESTLING, O.; CARLSSON, M., 2002: Sustainable forestry and water quality – case study Asa. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 141, 7: 113–122.
- ORTLOFF, W.; SCHLAEPFER, R., 1996: Stickstoff und Waldschäden: Eine Literaturübersicht. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 167, 9/10: 184–201.

- OSBORNE, L.L.; KOVACIC, D.A., 1993: Riparian Vegetated Buffer Strips in Water-Quality Restoration and Stream Management. *Freshwater Biology* 29, 2: 243–258.
- OSEC, 1995 (26.6.): Ordonnance sur les substance étrangères et les composants dans les denrées alimentaires, RS 817.021.23.
- OWENS, L.B.; EDWARDS, W.M.; VAN KEUREN, R.W., 1999: Nitrate leaching from grassed lysimeters treated with ammonium nitrate or slow-release nitrogen fertilizer. *Journal of Environmental Quality* 28, 6: 1810–1816.
- PAAVOLAINEN, L.; FOX, M.; SMOLANDER, A., 2000: Nitrification and denitrification in forest soil subjected to sprinkling infiltration. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 5: 669–678.
- PAILLASSA, E., 2002: Poplar and environmental issues. Part 2: Poplar, water and rivers. *Forêt-Entreprise*, No. 143: 37–41.
- PARCHOMCHUK, P.; NEILSEN, G.H.; HOGUE, E.J., 1993: Effects of drip fertigation of NH<sub>4</sub>-N and P on soil pH and cation leaching. *Canadian Journal of Soil Science* 73: 157–164.
- PARDINI, G.; GISPERT, M.; DUNJO, G., 2003: Runoff erosion and nutrient depletion in five Mediterranean soils of NE Spain under different land use. *The Science of The Total Environment* 309, 1–3: 213–224.
- PARDO, L.H.; DRISCOLL, C.T.; LIKENS, G.E., 1995: Patterns of nitrate loss from a chronosequence of clear-cut watersheds, 5<sup>th</sup> International Conference on Acidic Deposition: Science and Policy. Goteborg, 26–30 June, pp. 1659–1664.
- PARFITT, R.L.; SALT, G.J.; HILL, L.F., 2002: Clear-cutting reduces nitrate leaching in a pine plantation of high natural N status. *Forest Ecology and Management* 170, 1–3: 43–53.
- PARKER, J.L.; FERNANDEZ, I.J.; RUSTAD, L.E.; NORTON, S.A., 2002: Soil organic matter fractions in experimental forested watersheds. *Water, Air and Soil Pollution* 138, 1–4: 101–121.
- PARRIAUX, A., 2002: Du hêtre à la source: l'être ou le néant? In: COMBE, J.; ROSSELLI, W., *L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable*. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL. Lausanne, 26.11.2002. Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, pp. 49–52.
- PATOINE, A.; PINEL-ALLOUL, B.; PREPAS, E.E., 2002: Influence of catchment deforestation by logging and natural forest fires on crustacean community size structure in lakes of the Eastern Boreal Canadian forest. *Journal of Plankton Research* 24, 6: 601–616.
- PEKAROVA, P.; J., P., 1996: The impact of land use on stream water quality in Slovakia. *Journal of Hydrology* 180, 1–4: 333–350.
- PENNOCK, D.J.; KESSEL, C.V., 1997: Clear-cut forest harvest impact on soil quality indicators in the mixedwood forest of Saskatchewan, Canada. *Geoderma* 75: 13–32.
- PERAKIS, S.S.; HEDIN, L.O., 2002: Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds. *Nature* 415: 416–419.
- PERRY, C.D.; VELLIDIS, G.; LOWRANCE, R.; THOMAS, D.L., 1999: Watershed-scale water quality impacts of riparian forest management. *J. Water Resour. Plan. Man.* 125, 3: 117–125.
- PERSSON, T.; WIRÉN, A., 1995: Nitrogen mineralization and potential nitrification at different depths in acids forest soils. *Plant and Soil* 168–169: 55–65.
- PETERJOHN, W.T.; FOSTER, C.J.; CHRIST, M.J.; ADAMS, M.B., 1999: Patterns of nitrogen availability within a forested watershed exhibiting symptoms of nitrogen saturation. *Forest Ecology and Management* 119, 1–3: 247–257.
- PETERS, N.E., 1994: Variations in stream water quality in a forested Piedmont catchment, Georgia, USA: Relevance of sampling frequency and design. *IAHS Publication*, pp. 399–408.
- PETERS, N.E., 1994: Water-quality variations in a forested Piedmont catchment, Georgia, USA. *Journal of Hydrology* 156, 1–4: 73–90.
- PETERS, N.E.; CERNY, J.; HAVEL, M.; KREJCI, R., 1999: Temporal trends of bulk precipitation and stream water chemistry (1977–1997) in a small forested area, Krusne hory, northern Bohemia, Czech Republic. *Hydrological Processes* 13, 17: 2721–2741.
- PFARR, U., 2002: A chance for riparian forest along the river Rhine in Germany: high water protection and silviculture. *AFZ. Der Wald* 57, 15: 797–800.
- PFIRRMANN, T.; BARNES, J.D.; STEINER, K.; SCHRAMMEL, P.; BUSCH, U.; KUCHENHOFF, H.; PAYER, H.D., 1996: Effects of elevated CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and K deficiency on Norway spruce (*Picea abies*): nutrient supply, content and leaching. *New Phytol.* 134, 2: 267–278.
- PFLUG, W., 1982: *Wasserschutzwald, Gewässerschutzwald, Uferschutzwald – eine Einführung in die Jahrestagung 1980 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. in Mosbach/Baden, Ingenieurbiologie. Uferschutzwald an Fliessgewässern. Gesellschaft für Ingenieurbiologie*, pp. 9–16.
- PIIRAINEN, S.; FINÉR, L.; MANNERKOSKI, H.; STARR, M., 2002: Effects of forest clear-cutting on the carbon and nitrogen fluxes through podzolic soil horizons. *Plant and Soil* 239: 301–311.
- PIIRAINEN, S.; FINER, L.; STARR, M., 1998: Canopy and soil retention of nitrogen deposition in a mixed boreal forest in eastern Finland. *Water, Air and Soil Pollution* 105, 1–2: 165–174.
- PIIRAINEN, S.; FINÉR, L.; STARR, M., 2002: Deposition and leaching of sulphate and base cations in a mixed boreal forest in eastern finland. *Water, Air and Soil Pollution* 131: 185–204.
- PINEL-ALLOUL, B.; PREPAS, E.; PLANAS, D.; STEEDMAN, R.; CHARETTE, T., 2002: Watershed impacts of logging and wildfire: Case studies in Canada. *Lake and Reservoir Management* 18, 4: 307–318.
- POIANI, K.A.; BEDFORD, B.L.; MERRILL, M.D., 1996: A GIS-based index for relating landscape characteristics to potential nitrogen leaching to wetlands. *Landscape Ecology* 11, 4: 237–255.
- POTHIER, D.; PREVOST, M.; AUGER, I., 2003: Using the shelterwood method to mitigate water table rise after forest harvesting. *Forest Ecology and Management* 179, 1–3: 573–583.

- PRASUHN, V.; BRAUN, M., 1994: Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Schriftenreihe der FAC, 17. Bern-Liebefeld, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene. 113 pp.
- PREPAS, E.E.; PINEL-ALLOUL, B.; PLANAS, D.; MITHOT, G.; PAQUET, S.; REEDYK, S., 2001: Forest harvest impacts on water quality and aquatic biota on the Boreal Plain: introduction to the TROLS lake program. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58, 2: 421–436.
- PRESCOTT, C.E.; HOPE, G.; BLEVINS, L.L., 2003: Effect of gap size on litter decomposition and soil nitrate concentrations in a high-elevation spruce-fir forest. *Can. J. For. Res.* 33: 2210–2220.
- PRESCOTT, C.E.; TAYLOR, B.R.; PARSONS, W.F.J.; DURALL, D.M.; PARKINSON, D., 1993: Nutrient Release From Decomposing Litter in Rocky-Mountain Coniferous Forests – Influence of Nutrient Availability. *Canadian Journal of Forest Research* 23, 8: 1576–1586.
- PREVOST, M.; PLAMONDON, A.P.; BELLEAU, P., 1999: Effects of drainage of a forested peatland on water quality and quantity. *Journal of Hydrology* 214, 1–4: 130–143.
- PROBST, A.; DAMBRINE, E.; VIVILLE, D.; FRITZ, B., 1990: Influence of acid atmospheric inputs on surface water chemistry and mineral fluxes in a declining spruce stand within a small granitic catchment (Vosges massif, France). *Journal of Hydrology* 116: 101–124.
- PROBST, A.; FRITZ, B.; AMBROISE, B.; VIVILLE, D., 1987: Forest influence on the surface water chemistry of granitic basins receiving acid precipitation in the Vosges massif, France. *Forest Hydrology and Watershed Management*.
- PROBST, A.; VIVILLE, D.; FRITZ, B.; AMBROISE, B.; DAMBRINE, E., 1992: Hydrochemical budgets of a small forested granitic catchment exposed to acid deposition: The Strengbach catchment case study (vosges massif, France). *Water, Air and Soil Pollution* 62: 337–347.
- PU, G.X.; SAFFIGNA, P.G.; XU, Z.H., 2001: Denitrification, leaching and immobilisation of N-15-labelled nitrate in winter under windrowed harvesting residues in hoop pine plantations of 1–3 years old in subtropical Australia. *Forest Ecology and Management* 152, 1–3: 183–194.
- PU, G.X.; XU, Z.H.; SAFFIGNA, P.G., 2002: Fate of N-15-labelled nitrate in a wet summer under different residue management regimes in young hoop pine plantations. *Forest Ecology and Management* 170, 1–3: 285–298.
- QUALLS, R.G.; HAINES, B.L.; SWANK, W.T.; TYLER, S.W., 2000: Soluble organic and inorganic nutrient fluxes in clearcut and mature deciduous forests. *Soil Science Society of America Journal* 64, 3: 1068–1077.
- QUALLS, R.G.; HAINES, B.L.; SWANK, W.T.; TYLER, S.W., 2002: Retention of soluble organic nutrients by a forested ecosystem. *Biogeochemistry* 61, 2: 135–171.
- RAB, M.A., 1994: Changes in Physical-Properties of a Soil Associated With Logging of Eucalyptus-Regnans Forest in Southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 70, 1–3: 215–229.
- RAB, M.A., 1996: Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the Eucalyptus regnans forest of southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 84, 1–3: 159–176.
- RAI, S.C.; SHARMA, E., 1998: Comparative assessment of runoff characteristics under different land use patterns within a Himalayan watershed. *Hydrological Processes* 12, 13–14: 2235–2248.
- RANDHIR, T.O.; O'CONNOR, R.; PENNER, P.R.; GOODWIN, D.W., 2001: A watershed-based land prioritization model for water supply protection. *Forest Ecology and Management* 143, 1–3: 47–56.
- RANGER, J.; ALLIE, S.; GELHAYE, D.; POLLIER, B.; TURPAULT, M.P.; GRANIER, A., 2002: Nutrient budgets for a rotation of a Douglas-fir plantation in the Beaujolais (France) based on a chronosequence study. *Forest Ecology and Management* 171, 1–2: 3–16.
- RASK, M.; NYBERG, K.; MARKKANEN, S.-L.; OJALA, A., 1998: Forestry in catchments: Effects on water quality, plankton, zoobenthos and fish in small lakes. *Boreal Environment Research* 3, 1: 75–86.
- RASMUSSEN, L., 1998: Effects of afforestation and deforestation on the deposition, cycling and leaching of elements. *Agriculture Ecosystems And Environment* 67, 2–3: 153–159.
- REFSGAARD, J.C.; THORSEN, M.; JENSEN, J.B.; KLEESCHULTE, S.; HANSEN, S., 1999: Large scale modelling of groundwater contamination from nitrate leaching. *Journal of Hydrology* 221, 3–4: 117–140.
- RENNENBERG, H.; GESSLER, A., 1999: Consequences of N deposition to forest ecosystems – Recent results and future research needs. *Water, Air and Soil Pollution* 116, 1–2: 47–64.
- RENNENBERG, H.; KREUTZER, K.; PAPEN, H.; WEBER, P., 1998: Consequences of high loads of nitrogen for spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forests. *New Phytol.* 139, 1: 71–86.
- REYNOLDS, B.; EDWARDS, A., 1995: Factors Influencing Dissolved Nitrogen Concentrations and Loadings in Upland Streams of the UK. *Agricultural Water Management* 27, 3–4: 181–202.
- REYNOLDS, B.; STEVENS, P.A.; HUGHES, S.; PARKINSON, J.A.; WEATHERLEY, N.S., 1995: Stream Chemistry Impacts of Conifer Harvesting in Welsh Catchments. *Water, Air and Soil Pollution* 79, 1–4: 147–170.
- REYNOLDS, B.; WILSON, E.J.; EMMETT, B.A., 1998: Evaluating critical loads of nutrient nitrogen and acidity for terrestrial systems using ecosystem-scale experiments (NITREX). *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 81–94.
- REYNOLDS-VARGAS, JENNY, S.; RICHTER, J.; DANIEL, D., 1995: Nitrate in groundwaters of the Central Valley, Costa Rica. *Environment International* 21, 1: 71–79.
- RICE, K.C.; BRICKER, O.P., 1995: Seasonal cycles of dissolved constituents in streamwater in two forested catchments in the mid-Atlantic region of the eastern USA. *Journal of Hydrology* 170: 137–158.
- RIHM, B., 1996: Critical loads of nitrogen and their exceedances – Eutrophying atmospheric deposition. *Environmental Series – Air*, 275. Bern, Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL). 74 pp.
- RIHM, B.; KURZ, D., 2001: Deposition and critical loads of nitrogen in Switzerland. *Water, Air, and Soil Pollution* 130, 1–4: 1223–1228.

- RIKALA, R.; REPO, T., 1997: The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. *New Forests* 14, 1: 19–31.
- RILEY, N.G.; ZHAO, F.J.; MCGRATH, S.P., 2002: Leaching losses of sulphur from different forms of sulphur fertilizers: a field lysimeter study. *Soil Use and Management* 18, 2: 120–126.
- RING, E., 2002: Effects on water chemistry of some silvicultural operations – a Swedish perspective. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 141, 7: 141–146.
- RING, E.; BERGHOLM, J.; OLSSON, B.A.; JANSSON, G., 2003: Urea fertilizations of a Norway spruce stand: effects on nitrogen in soil water and field-layer vegetation after final felling. *Canadian Journal of Forest Research* 33, 2: 375–384.
- RING, E.; HÖGBOM, L.; NOHRSTEDT, H.-Ö. 2001: Effects of brash removal after clear felling on soil and soil-solution chemistry and field-layer biomass in an experimental nitrogen gradient. *The Scientific World* 1, S2: 457–466.
- RITTER, E.; VERSTERDAL, L., 2002: Nitrate in soil solution after gap establishment in a semi-natural and managed deciduous forests, BIOGEMON – 4<sup>th</sup> International Symposium on Ecosystem Behaviour, pp. 200–200 (abstract).
- ROBERTSON, D.M.; ROERISH, E.D., 1999: Influence of various water quality sampling strategies on load estimates for small streams. *Water Resources Research* 35, 12: 3747–3759.
- ROBERTSON, S.M.C.; HORNUNG, M.; KENNEDY, V.H., 2000: Water chemistry of throughfall and soil water under four tree species at Gisburn, northwest England, before and after felling. *Forest Ecology and Management* 129, 1–3: 101–117.
- ROMAN-AMAT, B., 2002: Faut-il faire évoluer la gestion des forêts pour garantir les ressources d'eau potable? In: J. Combe und W. Rosselli, L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL. Lausanne, 26.11.2002. Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, pp. 43–48.
- ROMANOWICZ, R.B.; DRISCOLL, C.T.; FAHEY, T.J.; JOHNSON, C.E.; LIKENS, G.E.; SICCAMI, T.G., 1996: Changes in the biogeochemistry of potassium following a whole- tree harvest. *Soil Science Society of America Journal* 60, 6: 1664–1674.
- RÖMER, v.F., 1993: Wasserschutz, Naherholung und Naturschutz im Stadtwald Augsburg. *AFZ. Der Wald* 26: 1344–1346.
- ROSSELLI, W., 2002: Au fil de l'eau: Quelques réflexions en guise d'introduction. In: COMBE, J.; ROSSELLI, W., L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL. Lausanne, 26.11.2002. Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, pp. 5–6.
- ROTHER, A., 1994: Auswirkungen auf Bodenchemie und Wasserqualität – Saurer Beregnung und Kalkung (Högelwaldprojekt). *AFZ. Der Wald* 14: 754–758.
- ROTHER, A., 1997: Einfluss des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleistung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Standort Höglwald. *Forstliche Forschungsberichte*, 163, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 174 pp.
- ROTHER, A.; BINKLEY, D., in review: Nutritional interactions in mixed species forests – A synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*.
- ROTHER, A.; BRANDT, S.; HURLER, R., 1999: Waldbewirtschaftung und Nitratbelastung des Grundwassers. Am Beispiel des Eurasburger Forstes. *AFZ. Der Wald* 54, 10: 531–533.
- ROTHER, A.; HUBER, C.; KREUTZER, K.; WEIS, W., 2002: Deposition and soil leaching in stands of Norway spruce and European Beech: Results from the Högwald research in comparison with other European case studies. *Plant and Soil* 240, 1: 33–45.
- ROTHER, A.; KÖLLING, C.; MORITZ, K., 1998: Waldbewirtschaftung und Grundwasserschutz – Der aktuelle Kenntnisstand. *AFZ. Der Wald* 53, 6: 291–295.
- ROTHSTEIN, D.E., 2000: Spring ephemeral herbs and nitrogen cycling in a northern hardwood forest: an experimental test of the vernal dam hypothesis. *Oecologia* 124, 3: 446–453.
- ROUSE, J.D.; BISHOP, C.A.; STRUGER, J., 1999: Nitrogen pollution: An assessment of its threat to amphibian survival. *Environ. Health Perspect.* 107, 10: 799–803.
- RÜETSCHI, D., 2003: Basler Trinkwassergewinnung in den Langen Erlen. *Biologische Reinigungsleistungen in den bewaldeten Wasserstellen*.
- RÜETSCHI, D.; SCHMID, M.; GEISSBÜHLER, U.; WÜTHRICH, C., 1999: Trinkwassergewinnung in bewaldeten und offenen Wasserstellen der Langen Erlen: Mikrobielle Aktivität und Biomasse im Boden. *Regio Basiliensis* 40, 2: 151–153.
- RÜETSCHI, D.; WÜLSER, R., 1999: Die künstliche Grundwasseranreicherung der Wasserversorgung Basel. *Annual Report 1999 of the Lake Constance-Rhine-Waterworks Association*: 71–84.
- RÜETSCHI, D.; WÜTHRICH, C.; WÜLSER, R.; NAGEL, P., 2001: Naturnahe Grundwasseranreicherung-Reinigungsmechanismen in den bewaldeten Wasserstellen der Langen Erlen (BS). *GWA* 81, 6: 393–400.
- RUSHTON, C.D., 2002: Forestry and water quality: a Washington state experience, *Forests and water. Proceedings of a COFORD Seminar, Vienna Woods Hotel, Cork, Ireland, 15 November 2000*, pp. 19–26.
- RUTIGLIANO, F.A.; ALFANI, A.; BELLINI, L.; DESANTO, A.V., 1998: Nutrient dynamics in decaying leaves of *Fagus sylvatica* L. and needles of *Abies alba* Mill. *Biology and Fertility of Soils* 27, 2: 119–126.
- SABATER, F.; BUTTURINI, A.; MARTI, E.; MUNOZ, I.; ROMANI, A.; WRAY, J.; SABATER, S., 2000: Effects of riparian vegetation removal on nutrient retention in a Mediterranean stream. *Journal of the North American Benthological Society* 19, 4: 609–620.

- SANCHEZ-PEREZ, J.M.; TREMOLIERES, M., 2003: Change in groundwater chemistry as a consequence of suppression of floods: the case of the Rhine floodplain. *Journal of Hydrology* 270, 1–2: 89–104.
- SANDVIK, G., SOGN T.A., ABRAHAMSEN G., 1995: Nutrient balance in Scots pine (*Pinus sylvestris* L) forest .2. Effects of plant growth and N-deposition on soil solution and leachate chemistry in a lysimeter experiment. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 3: 1149–1154.
- SAUER, T.J.; DANIEL, T.C.; NICHOLS, D.J.; WEST, C.P.; MOORE, P.A.; WHEELER, G.L., 2000: Runoff water quality from poultry litter-treated pasture and forest sites. *Journal of Environmental Quality* 29, 2: 515–521.
- SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H.-P.; BRÜMMER, G.; HARTGE, K.-H.; SCHWERTMANN, U.; SCHEFFER, B., 1989: *Lehrbuch der Bodenkunde*. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag. 491 pp.
- SCHADER, S.; MESSERLI, P., 1995: *Regionalwirtschaftliche und ökologische Effekte der Wald- und Holzwirtschaft*. Umwelt-Materialien, 35. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). 90 pp.
- SCHÄFFER, J., 1999: Stoffhaushalt von Waldökosystemen: neue Wege vom Punkt zur Fläche, chemische Trends. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung*, 7. Freiburg. 182 pp.
- SCHEFFER, B., 1993: N-Mineralisierung und Nitrataustrag, Wald in Wasserschutzgebieten. Ergebnisse aus einem Fachgespräch am 04. Juni 1992. Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover. pp. 28–39.
- SCHLÄR, A., 1996: Der Einfluss der Waldbewirtschaftung und der Windwurfflächen auf die Quantität und Qualität des Grundwassers im Pfarrwald Michelbach-Bilz im Landkreis Schwäbisch Hall, Diplomarbeit FH Weihenstephan, Fachbereich Forstwirtschaft. 169 pp.
- SCHLÄR, A., 1999: Waldbewirtschaftung und Windwurfflächen beeinflussen das Grundwasser. Beispiel Pfarrwald Michelbach-Bilz im Landkreis Schwäbisch Hall. *AFZ. Der Wald* 54, 1: 23–25.
- SCHLEPPI, P., 2002: Nitrate leaching from a subalpine forest ecosystem subjected to experimentally increased N deposition: patterns and mechanisms as a function of the considered space and time scales, BIOGEMON – 4<sup>th</sup> International Symposium on Ecosystem Behaviour, pp. 209–209.
- SCHLEPPI, P.; BUCHER-WALLIN, I.; SIEGWOLF, R.; SAURER, M.; MULLER, N.; BUCHER, J.B., 1999: Simulation of increased nitrogen deposition to a montane forest ecosystem: partitioning of the added 15N. *Water, Air and Soil Pollution* 116, 1–2: 129–134.
- SCHLEPPI, P.; HAGEDORN, F.; FEYEN, H.; MULLER, N.; MOHN, J.; BUCHER, J.B.; FLÜHLER, H., 2000: Nitrate leaching from a forest ecosystem with simulated increased N deposition. In: ELIAS, V.; LITTLEWOOD, I., Catchment hydrological and biogeochemical processes in changing environment, pp. 9.
- SCHLEPPI, P.; HEGG, C.; WALDNER, P., 2002: Effets de la forêt sur l'eau d'écoulement des petits bassins versants-exemple de l'Alptal (Préalpes de Suisse centrale). In: COMBE, J.; ROSSELLI, W., L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL. Lausanne, 26.11.2002. Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, pp. 39–42.
- SCHLEPPI, P.; MULLER, N.; BUCHER, J.B., 1998: Dépôts atmosphériques d'azote et charges critiques: résultats d'une expérience d'addition dans la vallée d'Alptal (SZ). *J. For. Suisse* 149, 1: 1–15.
- SCHLEPPI, P.; MULLER, N.; EDWARDS, P.J.; BUCHER, J.B., 1999: Three years of increased nitrogen deposition do not affect the vegetation of a montane forest ecosystem. *Phyton* 39, 4: 197–204.
- SCHLEPPI, P.; MULLER, N.; FEYEN, H.; PAPRITZ, A.; BUCHER, J.B.; FLÜHLER, H., 1998: Nitrogen budgets of two small experimental forested catchments at Alptal, Switzerland. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 177–185.
- SCHLEPPI, P.; WALDNER, P.; HEGG, C., 2003: Einfluss des Waldes auf Nitrat-Gehalte im Wasser. *Bündnerwald* 4: 27–30.
- SCHMASSMANN, H., 1966: Grundwasserschutzgebiete in der Raumplanung. *Wasser und Luft in der Raumplanung*: 107–131.
- SCHMIDT, L.J.; SOLOMON, R.M., 1981: The National Forest Role in Augmenting the Drop of Water. In: A.D.o.W. Resources, Arizona Water Symposium 25<sup>th</sup> Annual Proceedings.
- SCHOCK, J., 2001: Chemische und physikalische Schlüsselprozesse der Speicher-, Regler- und Reaktorfunktionen von Waldböden. In: SCHOCK, J.; WILPERT, K., Workshop: «Waldböden» und «Wald und Wasser». Freiburg, Berichte Freiburger forstliche Forschung; H. 33. Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität Freiburg und Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, pp. 208.
- SCHÖNENBERGER, W.; ANGST, C.; BRÜNDL, M.; DOBBERTIN, M.; DUELLI, P.; EGLI, S.; FREY, W.; GERBER, W.; ALBISETTI, A.D.K.; LÜSCHER, P.; SENN, J.; WERMELINGER, B.; WOHLGEMUTH, T., 2003: Vivians Erbe – Waldentwicklung nach Windwurf im Gebirge. *Merkblatt für die Praxis* 36: 1–12.
- SCHRÖDER, M.; GÜNTHER, K.-H., 1979: Wald und Grundwasser, Wald und Wasser – Entwicklung und Stand. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVKW). Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVKW), Bonn.
- SCHULTZ, R.C.; COLLETTI, J.P.; ISENHART, T.M.; SIMPKINS, W.W.; MIZE, C.W.; THOMPSON, M.L., 1995: Design and Placement of a Multispecies Riparian Buffer Strip System. *Agroforestry Systems* 29, 3: 201–226.
- SCHULZ, H.D., 1970: Chemische Vorgänge beim Übergang vom Sickerwasser zum Grundwasser. *Geologische Mitteilungen*. Aachen 10: 151–204.
- SCHULZ, H.D., 1974: Grundwasserqualität von bewaldeten und von landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. *AFZ. Der Wald* 49: 1079–1080.
- SCHUME, H.; JOST, G.; KATZENSTEINER, K., 2003: Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)-European beech (*Fagus sylvatica* (L.) stand. *Geoderma* 112, 3–4: 273–287.
- SCHWEITER, K., 2003: Waldbewirtschaftung: Grundwasser wird beeinflusst. *Wald und Holz* 7: 11.
- SCOTT, D.F.; LESCH, W., 1996: The effects of riparian clearing and clearfelling of an indigenous forest on streamflow, stormflow and water quality. *South African Forestry Journal*, 175: 1–14.

- SEDELL, J.; SHARPE, M.; APPLE, D.D.; COPENHAGEN, M.; FURNISS, M., 2000: Water & The Forest Service, United States Department of Agriculture – Forest Service Washington Office. 26 pp.
- SEELY, B.; LAJTHA, K.; SALVUCCI, G.D., 1998: Transformation and retention of nitrogen in a coastal forest ecosystem. *Biogeochem.* 42, 3: 325–343.
- SEIP, H.M.; TOLLAN, A., 1985: Acid Deposition. *Facets of Hydrology*, 2. 97 pp.
- SHEPARD, J.P., 1994: Effects of forest management on surface water quality in wetland forests. *Wetlands* 14, 1: 18–26.
- SHEPHERD, B.; HARPER, D.; MILLINGTON, A., 1999: Modelling catchment-scale nutrient transport to watercourses in the UK. *Hydrobiologia* 396: 227–237.
- SHERTZER, R.H.; HALL, D.W.; STEFFY, S.A.; KIME, R.A., 1998: Relationships between land uses and rainwater quality in a southcentral Pennsylvania watershed. *Journal of the American Water Resources Association* 34, 1: 13–26.
- SHINDO, J.; FUMOTO, T.; OURA, N.; TODA, H.; KAWASHIMA, H., 2001: Input-output budget of nitrogen and the effect of experimentally changed deposition in the forest ecosystems in central Japan. *The Scientific World* 1, S2: 472–479.
- SHIPITALO, M.J.; DICK, W.A.; EDWARDS, W.M., 2000: Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil and Tillage Research* 53, 3–4: 167–183.
- SIMMONS, J.A.; YAVITT, J.B.; FAHEY, T.J., 1996: Watershed liming effects on the forest floor N cycle. *Biogeochem.* 32, 3: 221–244.
- SMOLANDER, A.; KITUNEN, V.; MALKONEN, E., 2001: Dissolved soil organic nitrogen and carbon in a Norway spruce stand and an adjacent clear-cut. *Biology and Fertility of Soils* 33, 3: 190–196.
- SOBCZAK, W.V.; FINDLAY S. & DYE S., 2003: Relationships between DOC bioavailability and nitrate removal in an upland stream: an experimental approach. *Biogeochem.* 62, 3: 309–327.
- SOGN, T.A.; ABRAHAMSEN, G., 1998: Effects of N and S deposition on leaching from an acid forest soil and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) after 5 years of treatment. *Forest Ecology and Management* 103, 2–3: 177–190.
- SOLOTHURN, A.F.U., 2004: Entschädigung von Grundwasserschutzzonen im Wald. Merkblatt. Solothurn, Kantonsfortstamt / Amt für Umwelt.
- SOPPER, W.E., 1975: Effects of Timber Harvesting and Related Management Practices on Water Quality in Forested Watersheds. *Journal of Environmental Quality* 4, 1: 24–29.
- SPANGENBERG, A., 2001: Grundlagen für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft. *AFZ. Der Wald* 6: 315–316.
- SPANGENBERG, A., 2002: Stickstoffbelastung an Waldrändern – Untersuchungen in südbayerischen Regionen mit hoher Ammoniakemission. *Forstliche Forschungsberichte München*. München, Wissenschaftszentrum Weihestephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 188 pp.
- SPANGENBERG, A.; DEUTSCHMANN, G.; HINZ, C.; BEESE, F., 2000: Einfluß von Durchforstungsmaßnahmen auf die räumliche Verteilung des Bestandesniederschlags. In: G. Deutschmann und F. Beese, Wasserhaushalt und Stofffrachten eines *Pinus sylvestris*-Bestandes auf der Großlysimeteranlage in Colbitz. *Forschungszentrums Waldökosysteme*.
- SPANGENBERG, A.; FAISST, G.; KÖLLING, C.; MELLERT, K.H., 2002: Das Nitrataustragsrisiko in Bayerns Wäldern – Eine Schätzung «pi mal Daumen»? *LWF aktuell, Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis* 34, 11: 9–14.
- SPANGENBERG, A.; KIRCHNER, M.; KÖLLING, C.; HOFBAUER, H., 2000: Effects of extended nitrogen load along forest transects due to high ammonia emissions, *Forest Ecosystem Restoration*. Wien, 12.04.2000, pp. 386–390.
- SPANGENBERG, A.; KÖLLING, C., 2001: Sind Bayerns Wälder stickstoffgesättigt? *AFZ. Der Wald* 20: 1074–1076.
- SPANGENBERG, A.; KÖLLING, C., 2001: Waldrandpflege in Gebieten mit hohem Stickstoffgehalt der Luft. *Forstliche Praxis: Informationen und Ergebnisse aus der Forschung in Bayern: 2*.
- SPANGENBERG, A.; KÖLLING, C., 2003: Nitrogen deposition and nitrate leaching at forest edges due to high ammonia emissions in Southern Bavaria. *Water, Air and Soil Pollution* submitted.
- SPANGENBERG, A.; KÖLLING, C.; HOFBAUER, H., 2000: Auswirkungen der Stickstoffbelastung in Bayerischen Wäldern, *Forstwirtschaftliche Tagung*. Freiburg, 11.10.–15.10.
- SPANGENBERG, A.; KÖLLING, C.; HÖLZL, C.; HOFBAUER, J., 1999: Einfluß hoher N-Emission auf das Mineralisationspotential und die Nitratkonzentration des Sickerwassers in Waldböden. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft* 91, 1: 506–509.
- SPENCER, C.N.; GABEL, K.O.; HAUER, F.R., 2003: Wildfire effects on stream food webs and nutrient dynamics in Glacier National Park, USA. *Forest Ecology and Management* 178, 1–2: 141–153.
- SPIECKER, H., 2003: Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe-temperate zone. *Journal of Environmental Management* 67, 1: 55–65.
- STAAF, H.; OLSSON, B.A., 1994: Effects of Slash Removal and Stump Harvesting On Soil-Water Chemistry in a Clearcutting in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9, 4: 305–310.
- STAUFFER, W., 1993: Einfluss von Bepflanzung, Gülleanwendung und Güllegrubengröße auf die Nitratauswaschung in einem Lysimeterversuch. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* 32, 1/2: 229–234.
- STEDNICK, J.D.; FERNALD, A.G., 1999: Nitrogen dynamics in stream and soil waters. *J. Range Manage.* 52, 6: 615–620.
- STEDNICK, J.D.; KERN, T.J., 1994: Risk Assessment For Salmon From Water-Quality Changes Following Timber Harvesting. *Environmental Monitoring and Assessment* 32, 3: 227–238.
- STEEDMAN, R.J., 2000: Effects of experimental clearcut logging on water quality in three small boreal forest lake trout (*Salvelinus namaycush*) lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57: 92–96.
- STEINER, D., 1960: Die Bedeutung des Waldes am Zürichsee als Trinkwasserlieferant. *SFZ* 111: 261–263.

- STEVENS, P.A.; HARRISON, A.F.; JONES, H.E.; WILLIAMS, T.G.; HUGHES, S., 1993: Nitrate leaching from a Sitka spruce plantation and the effect of fertilisation with phosphorus and potassium. *Forest Ecology and Management* 58: 233–247.
- STEVENS, P.A.; NORRIS, D.; SPARKS, T.H.; HODGSON, A.L., 1994: Soil and Stream water interactions for different aged forest and moorland catchments in Wales. *Water, Air and Soil Pollution* 73: 297–317.
- STEVENS, P.A.; NORRIS, D.A.; WILLIAMS, T.G.; HUGHES, S.; DURRANT, D.W.H.; ANDERSON, M.A.; WEATHERLEY, N.S.; HORNING, M.; WOODS, C., 1995: Nutrient Losses After Clearfelling in Beddgelert Forest – a Comparison of the Effects of Conventional and Whole-Tree Harvest On Soil-Water Chemistry. *Forestry* 68, 2: 115–131.
- STODDARD, J.L., 1991: Trends in Catskill stream water quality – evidence for historical data. *Water Resources Research* 27, 11: 2855–2864.
- STONE, M.K.; WALLACE, J.B., 1998: Long-term recovery of a mountain stream from clearcut logging: the effects of forest succession on benthic invertebrate community structure. *Freshwater Biology* 39, 1: 151–169.
- STOTTLEMYER, R.; TROENDLE, C.A., 2001: Effect of canopy removal on snowpack quantity and quality, Fraser experimental forest, Colorado. *Journal of Hydrology* 245, 1–4: 165–176.
- STRETTON, C., 1998: Managing the threats of afforestation in reservoir catchments. *Water Science and Technology* 37, 2: 361–368.
- STUANES, A.O.; KJØNAAS, O.J., 1998: Soil solution chemistry during four years of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> addition to a forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 215–226.
- STUANES, A.O.; KJØNAAS, O.J.; VAN MIEGROET, H., 1995: Soil solution response to experimental addition of nitrogen to a forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *Forest Ecology and Management* 71, 1–2: 99–110.
- SUCH, W., 2000: Waldbau und Waldbewirtschaftung in einem Wasserschutzgebiet, dargestellt an der Wahnbachtalsperre im Rhein-Sieg-Kreis. *Unser Wald* 52, 1: 4–6.
- SUDA, M., 1993: Beschränkung der Forstwirtschaft in Schutzgebieten Bayerns. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 112: 170–178.
- SUN, G.; MCNULTY, S.G.; AMATYA, D.M.; SKAGGS, R.W.; SWIFT, J. L. W.; SHEPARD, J.P.; RIEKERK, H., 2002: A comparison of the watershed hydrology of coastal forested wetlands and the mountainous uplands in the Southern US. *Journal of Hydrology* 263, 1–4: 92–104.
- SUN, G.; RIEKERK, H.; KORNHAK, L.V., 2000: Ground-water-table rise after forest harvesting on cypress-pine flatwoods in Florida. *Wetlands* 20, 1: 101–112.
- SÜTTERING, 1993: Nitrataustrag unter Wald-, Acker- und Grünlandstandorten, Wald in Wasserschutzgebieten. Ergebnisse aus einem Fachgespräch am 04. Juni 1992. Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover.
- SWANK, W.T.; D. A. CORSELEY, J., 1988: Forest Hydrology and Ecology at Coweeta. *Ecological Studies* 66: 469.
- SWANK, W.T.; VOSE, J.M., 1994: Long-term hydrologic and stream chemistry responses of southern Appalachian catchments following conversion from mixed hardwoods to white pine, Hydrologie kleiner Einzugsgebiete. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz. Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SHLG) und WSL, Bern und Birmensdorf, pp. 164–172.
- SWANK, W.T.; VOSE, J.M.; ELLIOTT, K.J., 2001: Long-term hydrologic and water quality responses following commercial clearcutting of mixed hardwoods on a southern Appalachian catchment. *Forest Ecology and Management* 143, 1–3: 163–178.
- SWISTOCK, B.R.; EDWARDS, P.J.; WOOD, F.; DEWALLE, D.R., 1997: Comparison of methods for calculating annual solute exports from six forested appalachian watersheds, *Hydrological Processes*, pp. 655–669.
- TANIK, A.; BELER BAYKAL, B.; GONENC, I.E., 1999: The impact of agricultural pollutants in six drinking water reservoirs. *Water Science and Technology* 40, 2: 11–17.
- TAYLOR, B.R.; GOUDEY, J.S.; CARMICHAEL, N.B., 1996: Toxicity of aspen wood leachate to aquatic life: Laboratory studies. *Environmental Toxicology and Chemistry* 15, 2: 150–159.
- TAYLOR, S.E.; RUMMER, R.B.; YOO, K.H.; WELCH, R.A.; THOMPSON, J.D., 1999: What we know – and don't know – about water quality at stream crossings. *Journal of Forestry* 97, 8: 12–17.
- TERVET, D.J.; COY, J.S., 2002: An overview of forestry – water quality issues in the UK with particular reference to Southwest Scotland. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 141, 7: 45–56.
- THIMONIER, A.; SCHMITT, M.; WALDNER, P.; RIHM, B., submitted: Atmospheric deposition on Swiss Long-term Forest Ecosystem Research (LWF) plots. *Environmental Monitoring and Assessment*.
- THOMPSON, D.J.; NEWMAN, R.F.; HOPE, G.; BROERSMA, K.; QUINTON, D.A., 2000: Nitrogen cycling in silvopastoral systems in the Pacific Northwest: A review. *Can. J. Plant Sci.* 80, 1: 21–28.
- THORNTON, G.J.P.; DISE, N.B., 1998: The influence of catchment characteristics, agricultural activities and atmospheric deposition on the chemistry of small streams in the English Lake District. *The Science of The Total Environment* 216, 1–2: 63–75.
- TIETEMA, A.; BEIER, C.; DE VISSER, P.H.B.; EMMETT, B.A.; GUNDERSEN, P.; KJØNAAS, O.J.; KOOPMANS, C.J., 1997: Nitrate leaching in coniferous forest ecosystems: The European field-scale manipulation experiments NITREX (nitrogen saturation experiments) and EXMAN (experimental manipulation of forest ecosystems). *Global Biogeochemical Cycles* 11, 4: 617–626.
- TIETEMA, A.; BOXMAN, A.W.; BREDEMEIER, M.; EMMETT, B.A.; MOLDAN, F.; GUNDERSEN, P.; SCHLEPPI, P.; WRIGHT, R.F., 1998: Nitrogen saturation experiments (NITREX) in coniferous forest ecosystems in Europe: a summary of results. *Environmental Pollution* 102, Suppl. 1: 433–437.
- TIETEMA, A.; EMMETT, B.A.; COSBY, B.J., 1998: Applying MERLIN for modelling nitrate leaching in a nitrogen saturated Douglas fir forest in the Netherlands after decreased atmospheric nitrogen input. *Hydrology and Earth System Sciences* 2, 4: 431–438.
- TIETEMA, A.; EMMETT, B.A.; GUNDERSEN, P.; KJØNAAS, O.J.; KOOPMANS, C.J., 1998: The fate of 15N-labelled nitrogen deposition in coniferous ecosystems. *Forest Ecology and Management* 101, 1–3: 19–27.

- TITUS, B.D.; ROBERTS, B.A.; DEERING, K.W., 1997: Soil solution concentrations on three white birch sites in central Newfoundland following different harvesting intensities. *Biomass & Bioenergy* 13, 4–5: 313–330.
- TITUS, B.D.; ROBERTS, B.A.; DEERING, K.W., 1998: Nutrient removals with harvesting and by deep percolation from white birch (*Betula papyrifera* [Marsh.]) sites in central Newfoundland. *Canadian Journal of Soil Science* 78, 1: 127–137.
- TROENDLE, C.A.; NILLES, M.A., 1987: Effect of clearcutting on streamflow generating processes from a subalpine forest slope., *Forest Hydrology and Watershed Management*. Vancouver, August 1987. International Association of Hydrological Sciences Publication, pp. 545–552.
- TROENDLE, C.A.; NILLES, M.A., 1987: The effect of clearcutting on chemical exports in lateral flow from differing soil depths on a subalpine forested slope., *Forest Hydrology and Watershed Management*. Vancouver. International Association of Hydrological Sciences Publication, pp. 423–431.
- TURK, S.; GULPEN, M.; FINK, S., 1993: Uptake, Transport, and Storage of Calcium and Magnesium in Spruce (*Picea-Abies* [L] Karst) and Pine (*Pinus-Sylvestris* L) As Affected By Variable Nutrition and Pollutant Stress. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 112, 3: 191–208.
- TWERY, M.J.; HORNBECK, J.W., 2001: Incorporating water goals into forest management decisions at a local level. *Forest Ecology and Management* 143, 1–3: 87–93.
- UKONMAANAHO, L.; STARR, M., 2002: Major nutrients and acidity: budgets and trends at four remote boreal stands in Finland during the 1990s. *The Science of The Total Environment* 297, 1–3: 21–41.
- ULRICH, B.; MAYER, R.; KHANNA, P.K., 1979: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 58. Frankfurt am Main, J. D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main. 137 pp.
- ULRICH, E.; KRAPPENBAUER, A.; GASCH, J.; WAGNER, H., 1990: Das forstliche Einzugsgebiet Grasriegelgraben-Trenkengraben-Mittereckgraben im Rosalingebirge. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 3: 181–198.
- ULRICH, E.; LELONG, N.; LANIER, M.; SCHNEIDER, A., 1995: Interception des pluies en forêt : facteurs déterminants. Interprétation des mesures réalisées dans le sous-réseau CATAENAT de RENECOFOR. ONF – Bulletin Technique 30: 33–44.
- ULRICH, K.E.; BURTON, T.M.; OEMKE, M.P., 1993: Effects of Whole-Tree Harvest On Epilithic Algal Communities in Headwater Streams. *Journal of Freshwater Ecology* 8, 2: 83–92.
- UMWELTFRAGEN, B.S.F.L.U., 1996: Musterverordnung für Wasserschutzgebiete.
- UN-ECE, 2003: Der Waldzustand in Europa. Kurzbericht. Übereinkunft über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (LRTAP). Internationales Kooperationsprogramm für die Erfassung und Überwachung der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder (ICP-Forests).
- URSIC, S.J., 1991: Hydrologic Effects of Clearcutting and Stripcutting Loblolly-Pine in the Coastal-Plain. *Water Resources Bulletin* 27, 6: 925–937.
- VALETT, H.M.; CRENSHAW, C.L.; WAGNER, P.F., 2002: Stream nutrient uptake, forest succession, and biogeochemical theory. *Ecology* 83, 10: 2888–2901.
- VALEUR, I.; ANDERSSON, S.; NILSSON, S.I., 2000: Calcium content of liming material and its effect on sulphur release in a coniferous forest soil. *Biogeochemistry* 50, 1: 1–20.
- VAN DAM, D., 1995: Application of the model NICCCE to the Solling spruce site. *Ecological Modelling* 83, 1–2: 131–138.
- VAN HERPE, Y.; TROCH, P.A., 2000: Spatial and temporal variations in surface water nitrate concentrations in a mixed land use catchment under humid temperate climatic conditions. *Hydrological Processes* 14, 14: 2439–2455.
- VAN MIEGROET, H.; CREED, I.F.; NICHOLAS, N.S.; TARBOTON, D.G.; WEBSTER, K.L.; SHUBZDA, J.; ROBINSON, B.; SMOOT, J.; JOHNSON, D.W.; LINDBERG, S.E.; LOVETT, G.; NODVIN, S.; MOORE, S., 2001: Is there synchronicity in nitrogen input and output fluxes at the Noland Divide watershed, a small N-saturated forested catchment in the Great Smoky Mountains national park? *The Scientific World* 1, S2: 480–492.
- VANMIEGROET, H.; HOMANN, P.S.; COLE, D.W., 1992: Soil-Nitrogen Dynamics Following Harvesting and Conversion of Red Alder and Douglas-Fir Stands. *Soil Science Society of America Journal* 56, 4: 1311–1318.
- VELLIDIS, G.; LOWRANCE, R.; HUBBARD, R.K.; GAY, P., 2000: Water quality impact of riparian ecosystems in Georgia. 2000 ASAE Annual International Meeting, Milwaukee, Wisconsin, USA, 9–12 July 2000: 1–5.
- VELTKAMP, A.C.; WYERS, G.P., 1997: The contribution of root-derived sulphur to sulphate in throughfall in a Douglas fir forest. *Atmospheric Environment* 31, 10: 1385–1391.
- VIDAR, M.; MEDOUAR, M.A., 2001: L'eau, la santé et les droits de l'homme. Genève, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO).
- VON SCHULTHESS, C.; ZIEGLER, M., 1996: Umweltgefährdende Stoffe: Stoffflussanalyse Schweiz Anleitung. Schriftenreihe Umwelt, 251. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). 65 pp.
- VON WILPERT, K.; LUKES, M., 2003: Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulfate in a spruce stand on an acidified glacial loam. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65, 2: 115–127.
- VON WILPERT, K.; ZIRLEWAGEN, D., 2003: Indikatoren der N-Sättigung und des N-Austrags an BZE-Standorten im Schwarzwald, Boden- und Wasservorsorge. *Freiburger Forstliche Forschung Berichte*. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Freiburg pp. 125–135.
- VON WILPERT, K.; ZIRLEWAGEN, D.; KOHLER, M., 2000: To what extent can silviculture enhance sustainability of forest sites under the immission regime in Central Europe? *Water, Air and Soil Pollution* 122, 1/2: 105–120.

- VRBEK, B., 1998: Lysimetric investigations of water quality in the soil of several forest communities. *Radovi – Sumarski Institut Jastrebarsko* 33, 1: 59–72.
- WAIDE, J.B.; CASKEY, W.H.; TODD, R.L.; BORING, L.R., 1988: Changes in soil nitrogen pools and transformations following forest clearcutting. *Forest hydrology and ecology at Coweeta*, 66. Athens, Georgia, Springer-Verlag. 221–232 pp.
- WALDNER, P.; SCHNEEBELI, M.; WUNDERLI, H., 2000: Nährstoffaustrag aus einer schmelzenden Schneedecke im Alptal (Kanton Schwyz) am Beispiel von Nitrat. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 151, 6: 198–204.
- WALSH, R.G.; JOHNSON, D.M.; MCKEAN, J.R., 1988: Review of studies with Outdoor Recreation Economic Demand Studies with Nonmarket Benefit Estimates. Fort Collins.
- WARFVINGE, P.; FALKENGREN-GRERUP, U.; SVERDRUP, H.; ANDERSEN, B., 1993: Modelling long-term cation supply in acidified forest stands. *Environmental Pollution* 80: 209–221.
- WATMOUGH, S.A.; DILLON, P.J., 2002: The impact of acid deposition and forest harvesting on lakes and their forested catchments in south central Ontario: a critical loads approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 6, 5: 833–848.
- WEAR, D.N.; TURNER, M.G.; FLAMM, R.O.; BOLTON, S.; NAIMAN, R.J., 1996: Institutional imprints on forested landscapes: Effects on water quality. *Bulletin of the Ecological Society of America* 77, 3 SUPPL. PART 2.
- WEBER, G., 2000: Wald als Hüter der Quellen. *Österreichische Forstzeitung: Die Zeitschrift für Wald, Forstwirtschaft und Landschaft, Forsttechnik, Wildbach- und Lawinenverbauung, Jagdwirtschaft* 7: 41–42.
- WEIHE, J., 1979: Der Regenniederschlag im Wald, Wald und Wasser – Entwicklung und Stand. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVKW). Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVKW), Bonn.
- WEIS, W., 2002: Beeinflusst der Standort den Nitrataustrag? *LWF aktuell, Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis* 34, 11: 21–24.
- WEIS, W.; HUBER, C.; GÖTTLEIN, A., 2001: Regeneration of mature Norway spruce stands: early effects of selective cutting and clear cutting on seepage water quality and soil fertility. *The Scientific World* 1, S2, tsw. 2001. 327: 493–499.
- WENGER, W., 2002: Bedeutung des Waldes für die Trinkwassergewinnung. *LWF aktuell, Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis* 34, 11: 3–8.
- WERNER, A.; EULENSTEIN, F.; SCHINDLER, U.; MUELLER, L.; RYSZKOWSKI, L.; KEDZIORA, A., 1997: Groundwater recharge and land use. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* 38, 3: 106–113.
- WESSOLEK, G., 2001: Bestimmung von Wasserhaushaltskomponenten in Waldökosystemen. *Probleme und Erfahrungen. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 1, 35: 2–4.
- WHITE, C.C.; CRESSER, M.S., 1998: Effects of enhanced N deposition as (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and HNO<sub>3</sub> on base cation leaching from podzol microcosms. *Environmental Pollution* 102 Suppl.: 463–469.
- WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M., 1993: Experimental Basin Studies – an International and Historical-Perspective of Forest Impacts. *Journal of Hydrology* 145, 3–4: 217–230.
- WIBE, S., 1994: Non Wood Benefits in Forestry – Survey of Valuation Studies. Umea, Swedish University of Agricultural Sciences, Departement of Forest Economics.
- WIDMER, H.-P., 1983: Trinkwasseraufbereitung am Beispiel Basel.
- WIDMER, H.-P., 1989: Trinkwasseraufbereitung im Basler Wald. *Mitteilgn. Schweizerische Pappel-Arbeitsgemeinschaft* 40: 7–9.
- WIEZOREK, 1993: Schadstoffausträge unter Wald- und Grünlandstandorten, Wald in Wasserschutzgebieten. Ergebnisse aus einem Fachgespräch am 04. Juni 1992. Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover, pp. 4–7.
- WILLIAMS, B.L.; SILCOCK, D.J., 2000: Impact of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> on microbial biomass C and N and extractable DOM in raised bog peat beneath *Sphagnum capillifolium* and *S-recurvum*. *Biogeochem.* 49, 3: 259–276.
- WILLIAMS, M.R.; FISHER, T.R.; MELACK, J.M., 1997: Solute dynamics in soil water and groundwater in a central Amazon catchment undergoing deforestation. *Biogeochem.* 38, 3: 303–335.
- WILLIAMS, M.W.; BROOKS P.D., MOSIER A. & TONNESSEN K.A., 1996: Mineral nitrogen transformations in and under seasonal snow in a high-elevation catchment in the Rocky Mountains, United States. *Water Resources Research* 32, 10: 3161–3171.
- WILLIAMS, M.W.; BALES, R.C.; BROWN, A.D.; MELACK, J.M., 1995: Fluxes and transformations of nitrogen in a high-elevation catchment, Sierra Nevada. *Biogeochemistry* 28: 1–31.
- WILLIAMS, M.W.; BARON, J.S.; CAINE, N.; SOMMERFELD, R.; SANFORD, R.J., 1996: Nitrogen saturation in the Rocky Mountains. *Environmental Science and Technology* 30, 2: 640–646.
- WILLIAMS, T.M., 1999: Nitrate leaching from intensive fiber production on abandoned agricultural land. *Forest Ecology and Management* 122, 1–2: 41–49.
- WILLIAMS, T.M.; HOOK, D.D.; LIPSCOMB, D.J.; ZENG, X.; ALBISTON, J.W., 1999: Effectiveness of best management practices to protect water quality in the South Carolina Piedmont. General Technical Report – Southern Research Station, USDA Forest Service, No. SRS-30: 271–276.
- WILLIAMS, T.M.; LIPSCOMB, D.J.; ENGLISH, W.R.; NICKEL, C., 2003: Mapping variable – width streamside management zones for water quality protection. *Biomass & Bioenergy* 24, 4–5: 329–336.
- WILLIARD, K.W.J.; DEWALLE, D.R.; EDWARDS, P.J.; SCHNABEL, R.R., 1997: Indicators of nitrate export from forested watersheds of the mid-Appalachians, United States of America. *Global Biogeochemical Cycles* 11, 4: 649–656.
- WILSON, E.J.; SKEFFINGTON, R.A., 1994: The effects of excess nitrogen deposition on young Norway spruce trees. Part I. The soil. *Environmental Pollution* 86, 2: 141–151.

- WILSON, M.A.; CARPENTER, S.R., 1999: Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States. *Ecological Applications* 9, 3: 772–783.
- WIMMER, F., 1983: Die Wasserschutzwäldungen, Hundert Jahre Münchner Wasserversorgung 1883–1983, pp. 75–77.
- WOLF, B.; RIEK, W.; HENNIG, P., 1998: Zustand der deutschen Waldböden. Forschungsreport Ernährung, Landwirtschaft, Forsten (Germany) 2: 9 S.
- WORRELL, R.; HAMPSON, A., 1997: The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils – A review. *Forestry* 70, 1: 61–85.
- WRIGHT, R.F., 1998: Effect of increased carbon dioxide and temperature on runoff chemistry at a forested catchment in southern Norway (CLIMEX project). *Ecosystems* 1, 2: 216–225.
- WRIGHT, R.F.; BEIER, C.; COSBY, B.J., 1998: Effects of nitrogen deposition and climate change on nitrogen runoff at Norwegian boreal forest catchments: the MERLIN model applied to Risdalsheia (RAIN and CLIMEX projects). *Hydrology and Earth System Sciences* 2, 4: 399–414.
- WSL, 1997: Säure- und Stickstoffbelastungen – ein Risiko für den Schweizer Wald? Forum für Wissen. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). 100 pp.
- WURZER, M.; WIEDENMANN, A.; BOTZENHART, K., 1995: Microbiological quality of residues from drinking water preparation. *Water Science and Technology* 31, 5–6: 75–79.
- WYNN, T.M.; MOSTAGHIMI, S.; FRAZEE, J.W.; MCCLELLAN, P.W.; SHAFFER, R.M.; AUST, W.M., 2000: Effects of forest harvesting best management practices on surface water quality in the Virginia coastal plain. *Transactions of the ASAE* 43, 4: 927–936.
- YANAI, R.D., 1991: Soil Solution Phosphorus Dynamics in a Whole-Tree-Harvested Northern Hardwood Forest. *Soil Science Society of America Journal* 55, 6: 1746–1752.
- YANAI, R.D., 1998: The effect of whole-tree harvest on phosphorus cycling in a northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management* 104, 1–3: 281–295.
- YOH, M., 2001: Soil C/N ratio as affected by climate: an ecological factor of forest NO<sub>3</sub>-leaching. *Water, Air and Soil Pollution* 130, 1–4: 661–666.
- ZAHN, M.T.; BITTERSÖHL, J.; LECHLER, H.H.; SAGER, H., 1992: Nitrateintrag in das Grundwasser unter Waldgebieten in Bayern. Informationsbericht, 6. München, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. 179 pp.
- ZESSNER, M.; KROISS, H., 1999: Retention and losses of nutrients in the hydrosphere of Austria. *Water Science and Technology* 40, 10: 59–66.
- ZHU, W.X.; EHRENFELD, J.G., 1999: Nitrogen mineralization and nitrification in suburban and undeveloped Atlantic white cedar wetlands. *Journal of Environmental Quality* 28, 2: 523–529.
- ZIEMER, R., 1987: Water Yields from Forests: An Agnostic View. In: CALLAHAM, R.Z.; VRIES, J.J.D., California Watershed Management Conference, 18.–20.11.1986.
- ZIRLEWAGEN, D.; WILPERT, K.; GEISEL, M.; SCHOCK, J., 2002: Was hat Waldbau mit Trinkwasservorsorge zu tun? Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung: 309–319.
- ZOBRIST, J., 2002: Etat de la qualité des eaux en Suisse et recherches en cours- Les prestations de la forêt. In: J. Combe und W. Rosselli, L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL. Lausanne, 26.11.2002. Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, pp. 25–28.
- ZOBRIST, J., 2002: La qualité des eaux souterraines en Suisse. *GWA* 82, 191–201.