

## NÄHRSTOFF-GEHALTE UND AUSTRÄGE VON BÄCHEN AUS EINZUGS- GEBIETEN VERSCHIEDENER LANDNUTZUNG

F. LEHNARDT, H.M. BRECHTEL & M. BONESS

### *Abstract*

From July 1972 till May 1975 weekly water samples were taken from three small streams in the northern red Sandstone area of Hesse and determinations have been made of  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , P and Cl. The land use of the watersheds is:

(1) Elsterbach totally stocked with stands of beech and Norway spruce;

(2) Rautenbach forested like Elsterbach, except in the lower part about 10% of the area in agricultural use;

(3) Gießbach about 75% of the area in agricultural use. Increases of nutrient concentrations caused by agricultural fertilization had been only found on  $\text{NO}_3$  and Cl but not on  $\text{NH}_4$  and P. The streamflow losses of nutrients had been influenced mainly by total amount, rate and variation in rate of flow. For instance in the Gießbach the yearly nitrogen loss has been found to be smaller than in the Rautenbach, although the average concentration of nitrogen was much higher.

### 1. Problemstellung

Untersuchungen über die Ursachen der Nährstoffbelastung der Gewässer werden im In- und Ausland seit Mitte der sechziger Jahre im zunehmenden Maße durchgeführt. Beispiele hierzu sind die Veröffentlichungen von Klett (1965), Arnold (1968), Sprenger (1968), Bernhardt u.a. (1969), Kolenbrander (1969), Schmid und Weigelt (1971) Vollenweider (1971), Hoffmann (1974) sowie ein Bericht des Bayerischen Landesamtes für Bodenkultur von 1976. Bei dieser Aktivität spielt die Tatsache eine Rolle, daß die ober- und die unterirdischen Gewässer verstärkt, sowohl durch die Abwässer der Industrie und Haushaltungen als auch durch Düngemittel und Pestizide der Landwirtschaft und teilweise auch der Forstwirtschaft belastet werden.

Man hat zunächst mehrfach auf deduktivem Wege versucht, die in Fließgewässern ermittelten Nährstoff-Frachten einzelnen Verursachern zuzuschreiben. Beispielsweise kamen Vollenweider u.a. (1971) in dem viel zitierten und umstrittenen OECD-Bericht zu dem Ergebnis, daß unter durchschnittlichen und repräsentativen Besiedlungsverhältnissen die Phosphatfracht zu 20 bis 40% und die Stickstofffracht zu 50 bis 70% aus den landwirtschaftlichen Nutzflächen entstammen. Sprenger (1968) berichtet sogar von 60 bis 65% der Phosphorkonzentrationen und 85 bis 90% der Nitratkonzentrationen in oberirdischen Gewässern, die durch landwirtschaftliche Düngung in der Nähe von Vorflutern verursacht werden. Andererseits weisen aber auch viele Untersuchungen, z.B. die von Schulze-Rettmer (1969) sowie von Schmid & Weigelt (1971) darauf hin, daß vor allem bei Phosphat der überwiegende Teil der P-Fracht in den Gewässern

von Abwässern insbesondere von Waschmitteln stammt.

Induktive Untersuchungen, welche die von landwirtschaftlichen Nutzflächen stammenden Nährstoff-Frachten aus abgrenzbaren Wassereinzugsgebieten direkt anhand von Proben aus den Vorflutern bestimmen, könnten zur Aufklärung dieser Widersprüche beitragen. Örtliche Messungen dieser Art wurden jedoch bisher in viel zu geringer Zahl durchgeführt, als daß daraus befriedigende Schlußfolgerungen hinsichtlich der Frage der bundesweit durch Land- und Forstwirtschaft hervorgerufenen Gewässerbelastung abgeleitet werden könnten. Es liegen zwar umfangreiche wasserchemische Untersuchungen vor, die jedoch selten für den Abfluß eines Einzugsgebietes mit längeren Fließstrecken repräsentativ sind. Ferner wird die Interpretation der hierdurch vorliegenden Ergebnisse durch standortspezifische Unterschiede der Einzugsgebiete erschwert. Dies führt dazu, daß Schlußfolgerungen über die Problematik der Gewässereutrophierung auch weiterhin hinsichtlich Herkunft, Ursachen und Mechanismen sehr umstritten geblieben sind. Beispielsweise führten Bernhardt u.a. (1969) aufgrund von Untersuchungen über Nährstoff-Frachten im Einzugsgebiet der Wahnbach-talsperre aus, daß im Durchschnitt etwa 60% der jährlich in den Stausee verfrachteten Gesamt-Phosphormenge und der überwiegende Teil der Stickstoff-Fracht nicht aus häuslichen Abwässern und landwirtschaftlichen Betriebsflächen, sondern durch Abspülung und Auswaschung von den landwirtschaftlich genutzten Flächen stammen. Hingegen kamen Schmid & Weigelt (1971) aufgrund von Untersuchungen im Einzugsgebiet des Waginger- und Tachingersees zu der Schlußfolgerung, daß nicht die Düngungsmaßnahmen der Landwirtschaft die vorwiegenden Verunreinigungsquellen oberirdischer Gewässer sind, sondern kommunale Abwässer, die z.B. bei der gesamten Phosphorzufuhr mit über 50% beteiligt sind.

Trotz der erwähnten Widersprüche lassen die Ergebnisse der in großer Zahl durchgeführten wasserchemischen Untersuchungen heute jedoch keinen Zweifel mehr zu, daß die Bodennutzung, hierbei insbesondere bedingt durch Düngungsmaßnahmen, zu einer Erhöhung der Nährstoffgehalte in den Gewässern führen kann. Aus der Zahl der hierzu vorliegenden Veröffentlichungen seien nur die Arbeiten von Vömel (1966), Koehnlein & Weichbrodt (1971), Bücking (1974), Höll (1974), Schulz (1974), Förster (1975) und Hüser (1975) erwähnt. Vor allem beim Phosphor, das den wichtigsten Eutrophierungsfaktor darstellt, sind jedoch hinsichtlich des quantitativen Einflusses verschiedener Bodennutzungsarten die aus den Meßergebnissen abgeleiteten Folgerungen teilweise sehr widersprüchlich. Die Veröffentlichungen von Klett (1965), Bernhardt u.a. (1969), Gilchrist & Gillingham (1970), Carter (1971), Bücking (1975) sowie Voss & Preuße (1975) können hierzu als Beispiel dienen. Abgesehen von methodischen Gründen (z.B. Lysimeter-, Grundwasser-, Bachwasser-Untersuchungen) hängt dies u.a. hauptsächlich damit zusammen, daß die Untersuchungsergebnisse von Einzugsgebieten mit unterschiedlichen Standorten stammen. Der Ermittlung von standortspezifischen Basis- und Rahmenwerten der für die Wasserqualität bedeutsamen chemischen Parametern muß daher eine große Bedeutung zugemessen werden. Vorliegende Arbeit sollte hierzu für das nordhessische Bunt-sandsteingebiet einen Beitrag liefern. Weiterhin sollte darüber hinaus für dieses Gebiet eine erste Orientierung gewonnen werden, in welcher Größenordnung

sich eine landwirtschaftliche Nutzung im Vergleich zu einem ganz bewaldeten Einzugsgebiet (ohne Siedlungs- und Düngungseinfluß) auf die Nährstoffgehalte und Austräge von Bächen auswirkt.

Die Untersuchung wurde von der Projektgruppe Nordhessen der am 14. Juli 1972 in Hann. Münden gegründeten Arbeitsgemeinschaft „Landnutzung und Wasserqualität“ durchgeführt. Es haben hierbei folgende Dienststellen zusammen- gearbeitet:

- Hessisches Landesamt für Landwirtschaft in Kassel;
- Hessische Landesanstalt für Umwelt, Außenstelle Kassel;
- Wasserwirtschaftsamt Kassel;
- Hessische Forstliche Versuchsanstalt, Institut für Forsthydrologie in Hann. Münden.

### FORSCHUNGSGEBIET REINHARDSWALD

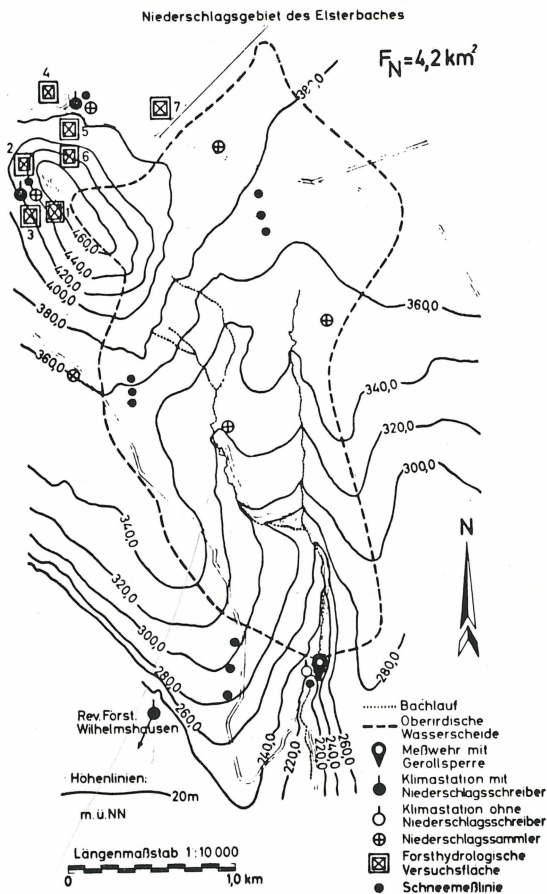


Abb. 1. Niederschlagsgebiet des Elsterbaches.

## 2. Untersuchungsgebiete

Das bewaldete Niederschlagsgebiet des Elsterbaches liegt im Südteil des Reinhardswaldes, ca. 5 km WNW von Hann. Münden (vgl. Top. Karte 1 : 25 000, Nr. 4523 Münden).

Das überwiegend landwirtschaftlich genutzte Niederschlagsgebiet des oberen Gießbaches gehört zum westlichen Randgebiet des Reinhardswaldes und ist ca. 17 km von Hann. Münden entfernt (vgl. Top. Karte 1 : 25 000, Nr. 4422 Trendelburg).

Das Gewässerkundliche Forschungsgebiet Ziegenhagen, Kille und Rudolph (1975), liegt im Bereich des Kaufunger Waldes, ca. 7 km von Hann. Münden entfernt (vgl. Top. Karte 1 : 25 000, Nr. 4624 Hedemünden).

Die genannten Gebiete sind mit den einzelnen Probeentnahmestellen in den

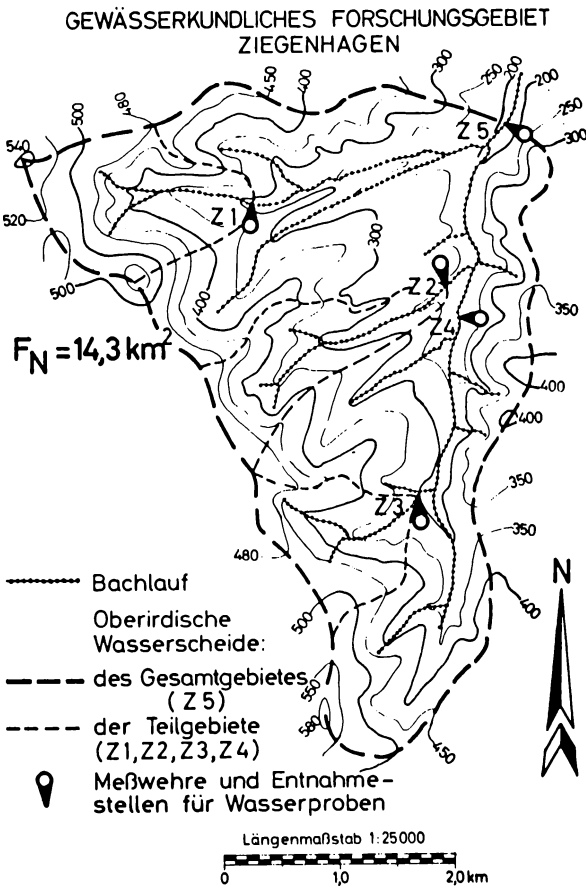


Abb. 2. Niederschlagsgebiet des Rautenbaches.

Abb. 1, 2 und 3 dargestellt. Die wichtigsten Informationen über die Standortverhältnisse sind in Tab. 1 enthalten. Hinsichtlich der Geologie sind die Gebiete des Elsterbaches und des Rautenbaches sehr ähnlich. Über Sm lagern Fließerden aus Sandsteinverwitterung mit Beimengung von Lößlehm und miozänen Lehmen. Im Rautenbach haben die Fließerden jedoch geringere Mächtigkeit als im Elsterbachgebiet. Das Gießbachgebiet unterscheidet sich dadurch, daß hier die geologischen Verhältnisse mehr ausgeglichen sind. Über Sm lagert zumeist eine mächtige Lößlehmdecke.

Die Klimadaten der Tab. 1 entstammen von nahegelegenen Stationen des Deutschen Wetterdienstes.

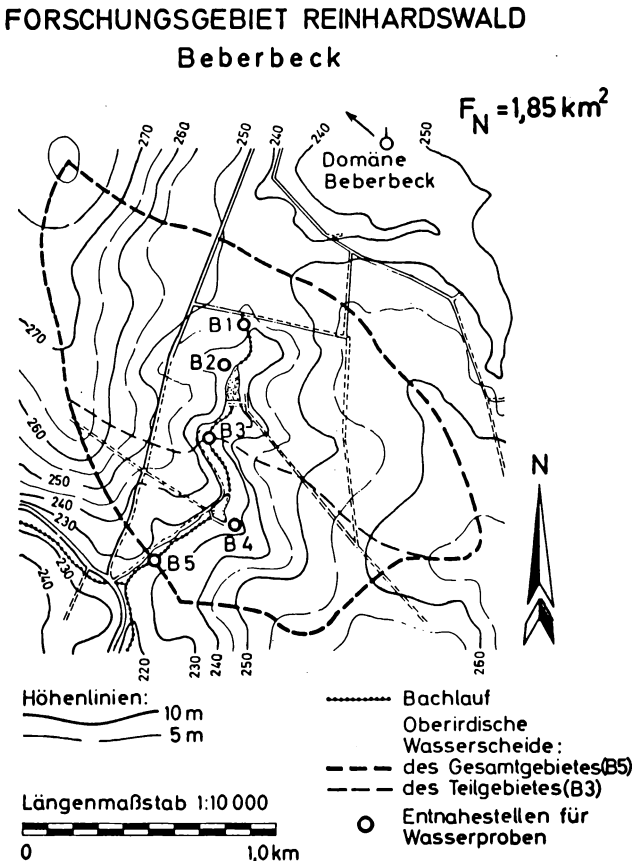


Abb. 3. Niederschlagsgebiet des oberen Gießbaches.

Table 1. Standortverhältnisse der Einzugsgebiete.

Einzugsgebiet	Größe (km <sup>2</sup> )	Morphologie	Geologie	Böden	Klima <sup>1</sup> (Jahreswerte)	Nutzung in % der Gesamtfl.
					o N C (mm)	
Elsterbach-Gebiet	4,20	Südlich exponiert, mittel bis schwach geneigt, 468 bis 220 m ü. NN (Mittel 350 m)	Fließerden aus Sandsteinverwitterung mit Lößlehmbeimengung über Sm, kleinflächig Tertiär, Basalt, Sande, Tone	mittel bis tiefgründige Braunerden, Parabraunerden (z.T. pseudovegleyt), Pseudovegleyt, Pseudogleydo- und Stagnogleye („Molkenböden“)	740	Mischwald 91% Grünland 3% Holzsn. 227 m ü. NN Fährwege, Teiche 6%
Rautenbach-Gebiet	14,30	NEN exponiert, mittel bis schwach, vereinzelt stark geneigt, 580 bis 192 m ü. NN (Mittel 366 m)	ähnlich wie im Elsterbach, nur geringere Mächtigkeit der Fließerden, neben Sm teilweise auch Su	Braunerden, Parabraunerden (z.T. pseudovegleyt), Pseudogleye	853	Mischwald 87% Ackerland 5% Grünland 5% Siedlungs-Verkehrsflächen. 3%
Gießbach-Gebiet	1,85	SWS exponiert, schwach geneigt, teilweise Plateaulage, 277 bis 226 m ü. NN (Mittel 250 m)	mächtige Lößlehmdecke über Sm	Parabraunerden Pseudogley-Parabraunerden, örtlich auch Pseudogleye	725	Mischwald 23% Ackerland 67% Grünland 8% Fährwege, Teiche 2%

<sup>1</sup> langjährige Mittelwerte

<sup>2</sup> nur Niederschlagsstation

### 3. Methoden

Die Wasserprobenahme (je 1 l) erfolgte in wöchentlichen Abständen. Im Gießbach-Gebiet ist die Probeentnahme leider während der Jahre 1973 und 1974 zeitweise unterbrochen worden.

Die Wasserproben wurden in der Landesanstalt für Umwelt – Außenstelle Kassel – hinsichtlich der  $\text{NH}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$  und Cl-Gehalte analysiert. Darüber hinaus wurden noch weitere wasserchemische Parameter bestimmt, deren Erwähnung jedoch den Rahmen des vorliegenden Kurzberichtes überschreiten würde. Die Bestimmung der erwähnten Nährstoffe erfolgte nach dem Deutschen Einheitsverfahren 1971/72.

Die bei der Probenahme festgestellten Abflüsse (l/s) stammen beim Elsterbach und Rautenbach (Abb. 1 und 2) von vorhandenen Meßwehren mit Pegelschreiber sowie beim Gießbach (Abb. 3) von Gefäßmessungen, vorgenommen an einem provisorisch eingebauten Dreiecksüberfall.

*Tabelle 2.* Niederschlagssummen und Abflußhöhen für den Zeitraum von Juli 1972 bis April 1975.

Zeitraum	Gebiet ELSTERBACH (E <sub>1</sub> )		RAUTENBACH (Z <sub>5</sub> )		GIESSBACH (B <sub>5</sub> )	
	Niederschlag (mm) <sup>1</sup>	Abfluß (mm)	Niederschlag (mm) <sup>2</sup>	Abfluß (mm)	Niederschlag (mm) <sup>3</sup>	Abfluß (mm)
Juli/Okt. 1972	–	–	283	41	292	25
Winterhalbjahr 1972/73	255	118	293	158	308	50
Sommerhalbjahr 1973	307	51	322	56	344	37
Hydrologisches Jahr 1973	562	170	615	215	652	90
Winterhalbjahr 1973/74	266	113	289	170	367	44
Sommerhalbjahr 1974	520	83	650	176	394	–
Hydrologisches Jahr 1974	786	196	939	346	761	–
Winterhalbjahr 1974/75	407	234	436	326	437	62

<sup>1</sup> Gebietsniederschlag, <sup>2</sup> Klimastation Steinberg, <sup>3</sup> Klimastation Beberbeck

## 4. Ergebnisse

Vorliegender Kurzbericht erstreckt sich nur auf die Ergebnisse der Probeentnahmestellen E<sub>1</sub> (Abb. 1), Z<sub>5</sub> (Abb. 2) und B<sub>5</sub> (Abb. 3), welche jeweils das betreffende Gesamtgebiet erfassen. Ein wesentlich erweiterter Bericht, der auch die Ergebnisse der Teilgebiete B<sub>1</sub> – B<sub>4</sub> des oberen Gießbaches und Z<sub>1</sub> – Z<sub>4</sub> des Rautenbaches enthalten wird, ist in Vorbereitung.

### 4.1. Niederschlag und Abfluß

In Tab. 2 sind die während des Untersuchungszeitraumes festgestellten Niederschlags- und Abflußhöhen dargestellt. Es ist daraus zu entnehmen, daß bezüglich

*Tabelle 3.* Mittlere Nährstoff-Konzentrationen (mg/l) von Bachwässern aus Einzugsgebieten verschiedener Landnutzung für den Zeitraum Juli 1972 bis Mai 1975.

Nährstoff	ELSTERBACH (E <sub>1</sub> )	RAUTENBACH (Z <sub>5</sub> )	GIESSBACH (B <sub>5</sub> ) <sup>1</sup>
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	0,24	0,14	0,25
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	4,20	8,70	18,20
Phosphor ges. (P)	0,06	0,08	0,05
Chlorid (Cl)	10,10	8,80	23,10

<sup>1</sup> ohne Sommerhalbjahr 1974

*Tabelle 4.* Mittlere halbjährliche Nährstoff-Konzentrationen (mg/l) von Bachwässern aus Einzugsgebieten verschiedener Landnutzung für den Zeitraum Juli 1972 bis Mai 1975.

Nährstoff	ELSTERBACH (E <sub>1</sub> )	RAUTENBACH (Z <sub>5</sub> )	GIESSBACH (B <sub>5</sub> ) <sup>1</sup>
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	0,24	0,17	0,25
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	3,30	7,40	13,10
Phosphor ges. (P)	0,06	0,07	0,04
Chlorid (Cl)	8,20	8,30	22,10

### B. Winterhalbjahre

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	0,25	0,12	0,26
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	5,10	9,60	20,90
Phosphor ges. (P)	0,05	0,08	0,06
Chlorid (Cl)	12,00	9,30	23,60

<sup>1</sup> ohne Sommerhalbjahr 1974

der Niederschlagssummen, sowohl während der erfaßten Sommer- und Winterhalbjahre die Unterschiede zwischen den drei Gebieten relativ gering waren. Dies trifft jedoch keinesfalls auch für die Abflüsse zu. Mit Halbjahressummen von 56-326 mm waren die Abflußhöhen beim Niederschlagsgebiet des Rautenbaches durchweg am größten. Im Elsterbachgebiet waren die Abflußhöhen mit 51-234 mm noch einigermaßen in ähnlicher Größenordnung, während jedoch die entsprechenden Werte beim Niederschlagsgebiet des oberen Gießbaches mit nur 37-62 mm ganz unterschiedliche hydrologische Verhältnisse kennzeichnen.

#### 4.2 Nährstoffe

In den Tab. 3 und 4 sind für die wasserchemischen Parameter  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , P und Cl die für die Bäche Elsterbach, Rautenbach und Gießbach ermittelten mittleren Nährstoffkonzentrationen einander gegenübergestellt. Tab. 3 enthält die Mittelwerte für den gesamten Untersuchungszeitraum und Tab. 4 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahren.

In Tab. 5 sind darüber hinaus auch die für den gesamten Meßzeitraum als Mittel berechneten jährlichen Nährstoffausträge (kg/ha) angeführt. Die Berechnung erfolgte auf der Basis der in Tab. 3 dargestellten mittleren Konzentrationen und der auf die jeweilige Fläche der Niederschlagsgebiete bezogenen mittleren Abflußspende.

In Abb. 4 ist für den Zeitraum von Juli 1972 bis zum Mai 1975 der chronologische Verlauf der Nährstoffkonzentrationen von den drei Bächen direkt gegenübergestellt. Um für diesen langen Meßzeitraum eine vergleichende Betrachtung zu erleichtern, wurden von den wöchentlichen Ergebnissen Monatsmittel gebildet und diese in Form von Ganglinien miteinander verbunden. Die nachfolgend unter 4.2.1 aufgeführten Minima- und Maxima-Werte beziehen sich jedoch nicht auf diese Monatsmittel, sondern auf die tatsächlich erfaßten wöchentlichen Stichproben.

##### 4.2.1 Verlauf der Nährstoffkonzentrationen

Die *Ammoniumgehalte* waren während des gesamten Untersuchungszeitraumes in allen drei Bächen im allgemeinen gering. Sie unterlagen aber erheblichen Schwankungen. Die meisten Werte lagen jedoch im Bereich von Spuren bis 0,30

*Tabelle 5.* Jährliche Nährstoff-Austräge (kg/ha) von Bächen aus Einzugsgebieten verschiedener Landnutzung als Mittel für den Zeitraum Juli 1972 bis Mai 1975.

Nährstoff	ELSTERBACH ( $E_1$ ) <sup>1</sup>	RAUTENBACH ( $Z_2$ )	GIESSBACH ( $B_3$ ) <sup>2</sup>
Ammonium ( $\text{NH}_4$ )	0,62	0,45	0,23
Nitrat ( $\text{NO}_3$ )	10,80	26,60	16,40
Phosphor ges. (P)	0,16	0,24	0,04
Chlorid (Cl)	25,40	28,60	20,40

<sup>1</sup> ohne Sommerhalbjahr 1972

<sup>2</sup> ohne Sommerhalbjahr 1974

mg  $\text{NH}_4/\text{l}$ . Nur in wenigen Fällen und dies vor allem im Elsterbach wurden weit höhere Ammoniumkonzentrationen mit Spitzenwerten bis zu 1,40 mg  $\text{NH}_4/\text{l}$  ermittelt.

Die *Nitratgehalte* unterlagen in allen drei Bächen weit geringeren Schwankungen als die Ammoniumgehalte. Wie Abb. 4 zeigt, waren die Nitratkonzentrationen im oberen Gießbach durchweg am höchsten. Es traten hier auch die größten witterungsbedingten Schwankungen auf. Beispielsweise wurde im Gießbach nach zwei Starkregen im August 1972 ein Nitratgehalt von 58 mg/l festgestellt. Zwei weitere Spitzen von 35 und 36 mg/l traten im März und April 1975 auf. Im Elsterbach und Rautenbach lagen dagegen in den meisten Fällen die Nitratgehalte unter 10 mg/l. Dies entspricht den Literaturangaben über Nitratgehalte von Bachwässern aus Waldgebieten bzw. mit Wald bestockten Einzugsgebieten, z.B. Hüser (1975) und Bücking (1975).

Bei allen drei Bächen ergeben sich für den gesamten Untersuchungszeitraum positive Regressionsbeziehungen zwischen Abfluß (l/sec.) und Nitratkonzentration (mg/l). Die Regressionskoeffizienten betragen:

Elsterbach,  $b = + 0,014$  ( $r = 0,2181^*$ );

Rautenbach,  $b = + 0,004$  ( $r = 0,2352^{**}$ );

Gießbach,  $b = + 1,165$  ( $r = 0,3610^{**}$ );

Die *Phosphorkonzentrationen* schwankten, ähnlich wie die Ammoniumgehalte, in allen drei Bächen erheblich. Als Monatsmittel betragen hier die Schwankungen von Spuren bis 0,20 mg P<sub>ges.</sub>/l, wobei etwa 60% der Phosphate in gelöster Form vorliegen. In den meisten Fällen kamen die höchsten Phosphor-

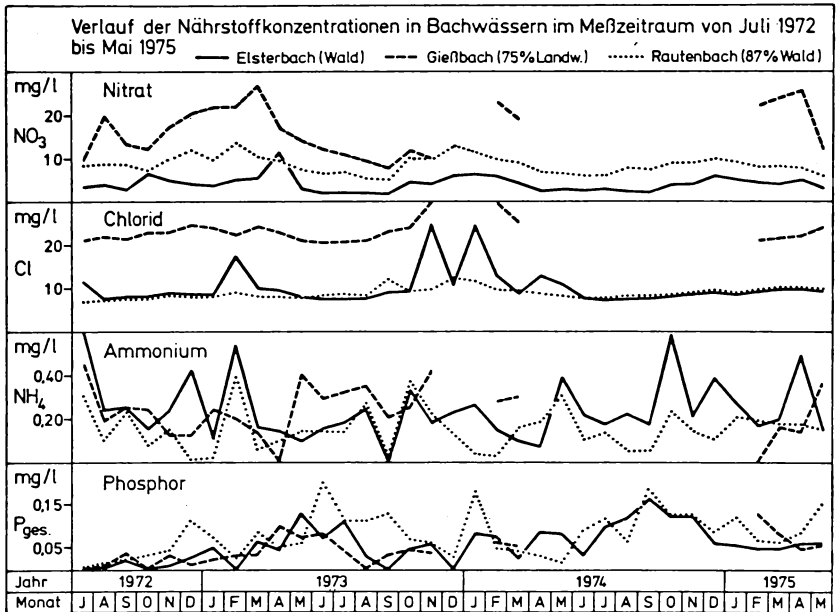


Abb. 4. Verlauf der Nährstoffkonzentrationen.

gehalte im Rautenbach vor (Abb. 4). Die dort an der Meßstelle  $Z_5$  gegenüber dem Elsterbach und Gießbach teilweise erheblich höheren Phosphorkonzentrationen (mit Spitzenwerten bis zu  $0,42 \text{ mg Pges./l}$ ) können nur durch eine unkontrollierte Einleitung von Haushaltsabwässern der Siedlung Ziegenhagen erklärt werden. Eine Beeinflussung des Bachwassers durch landwirtschaftliche Nutzflächen müßte sich sonst schon an der Probenahmestelle  $Z_4$  bemerkbar machen, wo im unteren Talbereich Weideflächen auftreten. Hier waren jedoch die Phosphorkonzentrationen ähnlich hoch wie an den Meßstellen  $Z_1$ ,  $Z_2$  und  $Z_3$ , die voll bewaldete Teilgebiete erfassen. Im Elsterbach und Gießbach lagen die Phosphorkonzentrationen zum überwiegenden Teil unter  $0,10 \text{ mg Pges./l}$ . Höhere Werte kamen in diesen Bächen vorwiegend während der Sommerhalbjahre 1973 und 1974 vor. Eine Beziehung zwischen den Phosphorgehalten und dem Abflußregime konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Die *Chloridkonzentrationen* schwankten im allgemeinen im Vergleich zu den übrigen Nährstoffen am wenigsten. Es traten zwar im Elsterbach während der Winter 1972/73 und 1973/74 bei drei Meßterminen Spitzenwerte zwischen  $50\text{-}80 \text{ mg/l}$  auf, die jedoch eindeutig auf die Anwendung von Streusalzen auf den Fahrwegen zurückzuführen sind. Auffallend ist, daß die Chloridkonzentrationen im Gießbach im Vergleich zu den übrigen Bächen durchweg am höchsten waren. Der Rautenbach und der Elsterbach unterscheiden sich diesbezüglich bis auf die genannten Spitzenwerte kaum. Die meisten Werte liegen hier unter  $10 \text{ mg/l}$ .

Eine Beziehung zwischen Abfluß ( $\text{l/sec.}$ ) und Chloridkonzentration ( $\text{mg/l}$ ) konnte im Gegensatz zu Nitrat nicht nachgewiesen werden.

#### 4.2.2 Mittlere Nährstoffkonzentrationen

Die mittleren *Ammoniumgehalte* sind im Elsterbach und Gießbach mit  $0,24$  und  $0,25 \text{ mg NH}_4/\text{l}$  fast gleich hoch, während der entsprechende Wert im Rautenbach mit  $0,14 \text{ mg NH}_4/\text{l}$ , wie Tab. 3 zeigt, deutlich niedriger liegt. Eine auf die dort durchgeführte Stickstoffdüngung (ca.  $20 \text{ kg NH}_4 - \text{N/ha}$  und Jahr) zurückzuführende Erhöhung der Ammoniumkonzentrationen im Gießbach und Rautenbach läßt sich aus diesen Befunden nicht ableiten. In den dort vorkommenden bindigen Böden ist eine stärkere Auswaschung des Düngemittelammoniums auch schon deshalb kaum denkbar, da das Ammonium ähnlich wie Kalium an den Bodenkolloiden (Tonmineralien) fixiert wird und zudem bei ausreichendem Sauerstoffgehalt (im Oberboden herrschen diese Verhältnisse vor) schon in der Bodenlösung eine relativ schnelle Umsetzung von Ammonium zu Nitrat stattfindet.

Der *Nitratgehalt* war dagegen im Gießbach mit einem Durchschnittswert für den gesamten Meßzeitraum von  $18,2 \text{ mg NO}_3/\text{l}$  deutlich von allen drei Bächen am höchsten. Im Elsterbach, der aus einem voll mit Wald bestockten Einzugsgebiet fließt, beträgt dieser Mittelwert nur  $4,2 \text{ mg NO}_3/\text{l}$ . Trotz der nicht ganz vergleichbaren Standortverhältnisse kann aus diesem Unterschied zwischen diesen beiden Gebieten auf einen Düngungseinfluß der Domäne Beberbeck (ca.  $250 \text{ kg NO}_3/\text{ha}$  und Jahr) bezüglich Erhöhung der Nitratgehalte im Gießbach geschlossen werden. Auch im Rautenbach liegt der entsprechende

Wert mit 8,7 mg NO<sub>3</sub>/l weit über dem des Elsterbaches. In dem nur auf einer Fläche von ca. 10% landwirtschaftlich genutzten Rautenbachgebiet kann die höhere Nitratkonzentration jedoch nicht ausschließlich dem Düngungseinfluß zugeschrieben werden. Bereits schon an den Meßstellen der voll bewaldeten Teilgebiete Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> und Z<sub>3</sub> sind nämlich die Konzentrationen ähnlich hoch wie an der Meßstelle Z<sub>5</sub>, die das gesamte Gebiet erfaßt.

Wie aus der Tab. 4 zu entnehmen ist, sind in allen drei Bächen im Gegensatz zu Ammonium die mittleren Nitratgehalte während der Winterhalbjahre deutlich höher als in den Sommerhalbjahren. Besonders ausgeprägt ist dies im landwirtschaftlich genutzten Gießbachgebiet der Fall.

Der *Phosphorgehalt* ist mit 0,08 mg Pges./l im Mittel für die drei erfaßten Jahre im Rautenbach am höchsten. Hingegen unterscheiden sich diesbezüglich der Gießbach (mit 0,05 mg Pges./l) vom Elsterbach (mit 0,06 mg Pges./l) nur unwesentlich. Daraus kann gefolgert werden, daß die im Gießbachgebiet vorgenommene Phosphatdüngung in Höhe von 25 bis 30 kg P/ha und Jahr nicht zu einer Erhöhung der Phosphorkonzentrationen im Bachwasser beigetragen hat. Lediglich an den Probenahmestellen B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub> (Dränrohre) traten bei einigen Meßterminen etwas höhere P-Konzentrationen auf.

Die *Chloridkonzentrationen* betragen im Mittel für den gesamten Meßzeitraum im Elsterbach 10,1 mg/l, im Rautenbach 8,8 mg/l und im Gießbach 23,1 mg/l. Diese Ergebnisse zeigen wiederum, daß im landwirtschaftlich genutzten Gießbach-Gebiet eine vor allem durch die Kali-Düngung bewirkte Konzentrations-erhöhung des leicht auswaschbaren Chlorids vorliegen muß. Wie Tab. 4 zeigt, wird ähnlich wie beim Nitrat, auch Chlorid am stärksten in den Wintermonaten ausgewaschen.

#### 4.2.3 Nährstoffausträge

Die *Ammonium-Austräge* sind mit weit unter 1 kg/ha und Jahr entsprechend den geringen Konzentrationen bei allen drei Bächen als Mittel für den gesamten Untersuchungszeitraum relativ niedrig. Wie Tab. 5 zeigt, führte der Elsterbach mit 0,62 kg/ha und Jahr am meisten Ammonium aus, während beim Gießbach der Austragswert mit 0,23 kg/ha und Jahr, bedingt durch die niedrigste Anflussspende, gegenüber den übrigen Gebieten am geringsten ausfällt.

Die *Nitratausträge* sind jedoch mit 26,6 kg/ha und Jahr im Rautenbachgebiet am höchsten, danach folgt mit 16,4 kg/ha und Jahr der Gießbach und dann erst mit 10,8 kg/ha und Jahr der Elsterbach. Obwohl im Rautenbach die durchschnittliche Nitratkonzentration mit 8,7 mg/l deutlich geringer ist als im Gießbach mit 18,2 mg/l (Tab. 3), wird aus dem Rautenbach-Gebiet infolge der dort ca. dreifach höheren Abflussspende rd. 10 kg/ha und Jahr mehr Nitrat ausgetragen.

Die *Phosphorausträge* sind ebenfalls im Rautenbach-Gebiet mit 0,24 kg/ha und Jahr am höchsten, wobei dies sowohl durch die höchste Abflussspende als auch die höchste P-Konzentration bedingt ist. Im Elsterbach beträgt der Austragswert 0,16 kg Pges./ha und Jahr. Im Gießbach wurden sogar nur 0,04 kg Pges./ha und Jahr ausgetragen. Der im Vergleich zu den beiden anderen Gebieten

vielfach niedrigere P-Austragswert beim Gießbach-Gebiet ist überwiegend die Folge der hier weitaus geringsten Abflußspende.

Die *Chloridausträge* sind beim Gießbach mit 20,4 kg/ha und Jahr, trotz höchster Konzentration, aber bedingt wiederum durch die niedrigste Abflußhöhe, am niedrigsten. Der Elsterbach führte 25,4 kg und der Rautenbach 28,6 kg Cl/ha und Jahr aus.

## 5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Untersuchungsergebnisse demonstrieren, daß die chemische Beschaffenheit der Bachwässer neben der Landnutzung im starken Maße von den standortspezifischen hydrologischen Gegebenheiten im betreffenden Einzugsgebiet abhängt. Da beide Einflußgrößen in mannigfaltiger Wechselbeziehung stehen können, ist bei einem Vergleich verschieden genutzter Einzugsgebiete eine eindeutige Zuordnung festgestellter Wasserqualitätsunterschiede kaum möglich. Trotzdem können bei vorliegender Untersuchung, unter Berücksichtigung der hierdurch bedingten Interpretationsschwierigkeiten, anhand der gefundenen Ergebnisse für die Untersuchungsgebiete nachfolgende Aussagen gemacht werden:

- Bezüglich der Ammonium- und Phosphorgehalte konnte anhand des Vergleiches vom bewaldeten Elsterbach-Gebiet mit dem intensiv landwirtschaftlich genutzten Gießbach-Gebiet keine auf Düngungsmaßnahmen zurückzuführende Erhöhung der Konzentrationen nachgewiesen werden. Die Rahmenwerte liegen bei Ammonium zwischen Spuren und 1,40 mg/l sowie bei Phosphorgesamt zwischen Spuren und 0,42 mg P/l.
- Die im Vergleich mit den übrigen Bächen im Gießbach relativ geringe Phosphorkonzentration läßt sich hauptsächlich nur durch die guten Filtereigenschaften (P-Bindung) der dortigen Böden und durch die geringe Erosionsneigung auf den erfaßten Standorten erklären.
- Bei den Nitrat- und Chlorid-Konzentrationen in den Bachwässern sind jedoch die Unterschiede zwischen dem Elsterbach- und dem Gießbach-Gebiet so groß, daß diese ausschließlich nur durch standortspezifische Einflüsse nicht zu erklären sind. Im Elsterbach liegen die Rahmenwerte für Nitrat zwischen 1 und 35 mg/l, im Gießbach jedoch zwischen 5 und 58 mg/l. Beim Chlorid ist im Elsterbach zwar die Spanne größer als im Gießbach, die mittlere Konzentration ist jedoch wesentlich niedriger.
- Im Rautenbach-Gebiet hat sich der dort im unteren Bereich vorhandene geringe Anteil der landwirtschaftlichen Nutzung nicht nachweislich durch erhöhte Nährstoffkonzentrationen im Bachwasser ausgewirkt. Die dort im Vergleich zu den beiden anderen Bächen gefundenen höchsten Nitrat-, Phosphor- und Chloridausträge sind hier vorwiegend die Folge der relativ größten Abflußhöhe. Ähnlich verhält es sich im Gießbach-Gebiet wo infolge der relativ niedrigsten Abflußhöhe die geringsten Nährstoffausträge festgestellt wurden.
- Eine Beziehung zwischen Nährstoff-Konzentration und Abfluß (l/sec.) konnte nur bei Nitrat nachgewiesen werden. Bei allen drei Bächen wurde mit steigendem Abfluß eine signifikante Erhöhung der Nitratgehalte festgestellt.

## Literatur

- Arnold, K.H. (1968): Nährstoffabtrag von landwirtschaftlich genutzten Flächen. *Fortschritte der Wasserchemie* 8.
- Bayer, Landesamt f. Bodenkultur und Pflanzenbau (1976): Bericht über Phosphatbelastung von Gewässern. *Giess. Anz.* vom 19.2.1976.
- Bernhardt, H. u.a. (1969): Untersuchungen über die Nährstoffrachten aus vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten ländlicher Besiedlung. *Münc. Beitr. zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie*, Bd. 16.
- Bücking, W. (1974): Die Beeinflussung von chemischen Wassereigenschaften durch forstliche Düngungsmaßnahmen. *Allg. Forstz. „Wald und Wasser 74“*, Nr. 49, 29 Jg.
- Bücking, W. (1975): Nährstoffgehalte in Gewässern aus standörtlich verschiedenen Waldgebieten Baden Württembergs. *Mitt. d. Vereins Forstl. Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung*, Heft 24.
- Carter, P.L. u.a. (1971): Water-Soluble  $\text{NO}_3$ -Nitrogen,  $\text{PO}_4$ -Phosphorus and total Salt Balances on a large Irrigation Trial. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35/2.
- Förster, P. (1975): Mineralische Stoffbelastung im Boden- und oberflächennahen Grundwasser unter Nadelwald und bei Ackernutzung in einem Sandboden Nordwestdeutschlands. *Forstw. Cbl.* 94.
- Gilchrist, A.N. & A.G. Gillingham, (1970): Phosphate movement in surface run-off water. *N.Z.J. Agr. Res.* 13 (2).
- Hoffmann, J. (1974): Die Wasserqualität von Vorflutern in Mittelgebirgslandschaften in Abhängigkeit von der naturräumlichen Ausstattung unter besonderer Berücksichtigung des Phosphateintrages. Diss. Giessen 1974, Fachbereich Umweltsicherung der J.L. Universität.
- Höll, K. (1974): Beschaffenheit von Sicker- und Hangwasser aus Nadel- und Laubwaldbeständen. *Allg. Forstz. „Wald und Wasser 74“*, Nr. 49, 29 Jg.
- Hüser, R. (1975): Nitratkontrolle in Bach- und Grundwässern nach Stickstoffdüngung in der Oberpfalz. *Allg. Forstz.*, Nr. 37, Jg. 30.
- Kille, K. & R. Rudolph, (1975): Abflußverhalten und Wasserhaushalt eines buchenbestandenen Buntsandsteingebietes. *Allg. Forstz. „Wald und Wasser 74“*, Nr. 49, 29 Jg.
- Klett, M. (1965): Die boden- und gesteinsbürtige Stoffracht von Oberflächengewässern. *Arb. Landw. Hochschule Hohenheim* 35.
- Koehnlein, J. & H. Weichbrodt, (1971): Die Nährstoffauswaschung aus der Ackerkrume in den Unterboden. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 134.
- Kolenbrander, G.J. (1969): Nitratcontent and Nitrogen in drainwater. *Neth. J. Agr. Sci.* 17 (4).
- Schmid, G. & H. Weigelt, (1971): Grundsatzfragen zur Eutrophierung der Seen in Oberbayern. I Waginger- und Tachingener See. *Z. Kulturtechnik u. Flurbereinigung* 12.
- Schulz, H.D. (1974): Grundwasserqualität von bewaldeten und landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. *Allg. Forstz. „Wald und Wasser 74“*, Nr. 49, 29 Jg.
- Schulze-Rettmer, R. u.a. (1969): Wäschereiabwasser. *Vom Wasser* 36.
- Sprenger, F.J. (1968): Phosphorus and Nitrogen concentrations in a lake tributary. *Vom Wasser* 34.
- Vollenweider, R. u.a. (1971): Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowig waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD-Bericht, Paris.
- Voss, W. & H.U. Preuß, (1975): Die Gewässerbelastung durch den Oberflächenaustrag gelöster und fester Substanzen. Vortrag eines wiss. Kolloquiums der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen im Okt. 1975.
- Vömel, A. (1966): Der Versuch einer Nährstoffbilanz am Beispiel verschiedener Lysimeterböden. *Erste Mitt., Z. Acker- und Pflanzenbau* 123.
- Wiechmann, H. (1971): Überlegungen zum Phosphorausstrag aus Böden. *Phosphorsäure* 29.

Anschripte der Verfasser:

Dr. F. Lehnardt und Doz. Dr. H.M. Brechtel, Hessische Forstliche Versuchsanstalt, Institut für Forsthydrologie, 3510 Hann. Münden.

Dr. H. Boness, Hessische Landesanstalt für Umwelt, Aussenstelle Kassel, 3500 Kassel