Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Göttingen 1976.

WASSERQUALITÄT UND NÄHRSTOFFAUSTRAG VON BEWALDETEN EINZUGSGEBIETEN MIT UNTERSCHIEDLICHEN STANDORTSVERHÄLTNISSEN – EIN VERGLEICH ZWEIER EINZUGSGEBIETE IN BADEN-WÜRTTEMBERG, BRD

W. BÜCKING

Abstract

Investigations on water quality and computations of nutrient losses from forested watersheds showed that surface waters from red Triassic sandstone regions though purer and less mineralized compared to Keuper waters export greater amounts of nitrate-nitrogen and phosphorus due to higher annual precipitations and runoff.

Einleitung

Der folgende Beitrag befaßt sich mit Fragen der Wasserqualität in bewaldeten Einzugsgebieten und des Nährstoffaustrags aus diesen, d.h. letzten Endes mit Fragen natürlicher Nährstoffbelastung bei naturnaher Vegetation und Nutzung. Zahlreiche, vor allem ausländische Arbeiten (Klett 1965, Vollenweider et al. 1970, Gächter & Furrer 1972, Reeder et al. 1972, Bernhardt et al. 1973, Hoffmann 1974, Dillon & Kirchner 1975 u.a.) behandelten in den letzten Jahren Fragen der Qualität von Oberflächengewässern und der Nährstoffausträge, meist im Zusammenhang mit Problemen der Gewässereutrophierung und auch meist im Vergleich verschiedener Flächennutzungsarten; dabei wurde auch häufig die Nutzungsart „Wald" bzw. „Forst" mit erfaßt (zahlr. Literaturhinweise s. Bücking 1975). Dennoch ist der Kenntnisstand bei der vorhandenen Vielfalt von geologisch-bodenkundlichen Landschaftstypen (Schlenker & Müller 1973) noch keineswegs deckend, so daß alle Fragen des Nährstofftransportes und der Gewässerbelastung zwischen Landschaftseinheiten jetzt schon beantwortet werden könnten. Auch müssen grundsätzliche methodische Fragen stärker berücksichtigt werden. Die Gewässergrundbelastung aber muß bekannt sein, um z.B. den Einfluß von Wirtschaftsmaßnahmen auf die Wasserqualität zu ermitteln (Bücking 1973, Evers & Bücking 1974). Ebenso stark ist auch das Interesse der Pflanzenernährung an der Messung von Nährstoffverlusten aus intakten Nährstoffkreisläufen, die, um das Produktionsniveau zu erhalten, gegebenenfalls mit technischen Maßnahmen ergänzt werden müssen.

Untersuchungsgebiete und -Methoden

In Baden-Württemberg sind u.a. wasserwirtschaftlich besonders wichtig die mineralarmen Wässer des Buntsandsteinschwarzwaldes, die für die Fassung oder

Speicherung als Trinkwässer in Aussicht genommen werden, andererseits im wasserarmen Neckarland die in ihrer Ergiebigkeit stark schwankenden Abflüsse aus dem Keuperbergland, deren Abflußregime durch den Bau von Rückhaltebecken ausgeglichen werden soll. Aus unserem umfangreichen Meßprogramm in diesen Landschaftseinheiten wird ein Vergleichspaar vorgestellt. In Tabelle 1 sind einige Daten zu den Einzugsgebieten zusammengefaßt. Wie aus den Angaben dieser Tabelle hervorgeht, handelt es sich bei den genannten Gebieten um geologische und klimatische Gegensätze – entsprechend auch um Gegensätze der natürlichen regionalen Waldgesellschaften und der aktuellen forstlichen Bestokkung. Im Schwarzwald herrschen heute Fichtenbestände vor, im Schurwald sind auch Laubholzbestockungen noch stärker beteiligt. Gemeinsam ist beiden Gebieten die forstliche Nutzung, wobei lediglich im Herrenbach-Einzugsgebiet zu rund 13% heute extensiv genutzte Obstwiesen in vorfluterferner Lage anzutreffen sind. Die grundlegenden hydrologischen Unterschiede (langjähriger mittlere Abflüsse MQ, langjährige mittlere Abflußspenden Mq) sind ebenfalls aus Tab. 1 ersichtlich.

Die Proben wurden während der Untersuchungszeiträume (vgl. Tab. 2) in 1- bis 4-wöchigen, im Mittel in 3wöchigen Abständen eingeholt und unmittelbar anschließend im Labor analysiert. Pro Meßgröße und Gebiet stehen zwischen rd. 30-70 Einzelmeßwerte für die Auswertung zur Verfügung (Tab. 2).

Nach Filtration (Blaubandfilter Schleicher und Schüll 589) wurde Calcium, Natrium und Kalium direkt flammenphotometrisch, Magnesium durch Atomabsorption gemessen. Die Chlorid- und Nitratbestimmung erfolgte nach den

Tabelle 1. Daten der Vergleichsgebiete.

HERRENBACH/Baiereck (Schurwald, Keuperbergland östl. Stuttgart)
552–348 m NN; 880 mm Jahresniederschläge[1], 8° Jahresmittel T.[2]
Natürliche regionale Waldgesellschaft: submontaner Buchen-Eichen-Wald[1]
Geologische Verhältnisse: Lias bis Obere Bunte Mergel (km_3), vorherrschend Stubensandstein (km_4)
F_N = 4,5 km² MQ 29 l/sec; Mq 6,4 l/sec km² (Beobachtungszeitraum 1952–1975)[3]
BÖS-ELLBACH/Baiersbronn (Nordschwarzwald)
950–640 m NN; 1842 mm Jahresniederschläge[4], 6,6° Jahresmittel T.[5]
Natürliche regionale Waldgesellschaft: montaner Buchen-Tannen-Wald mit Forche[1]
Geologische Verhältnisse: Mittlerer Buntsandstein bis Grundgebirge, vorherrschend Mittlerer Buntsandstein (sm)
F_N = 3,5 km² MQ 133 l/sec; Mq 38 l/sec km² (Beobachtungszeitraum 1948–1975)[6]

Anmerkungen zu Tab. 1:

1 aus Schlenker & Müller 1973, S. 19 bzw. Karte
2 Klimaatlas Baden-Württemberg (1953)
3 Pegel Herrenbach/Baiereck (Regierungspräsidium Stuttgart, Abt. Wasserwirtschaft).
4 Station Kniebis, 875 m NN (Wetteramt Stuttgart).
5 Station Freudenstadt, 798 m NN (Wetteramt Stuttgart).
6 Berechnet aus den Daten des Murgpegels Baiersbronn mit F_N = 67 km² (Wasserwirtschaftsamt Freudenstadt).

Tabelle 2. Chemische und Physikochemische Kennzeichnung der Bachwässer.

	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	Cl^{-} mg/l	Leitfähigkeit µS/cm	pH	P (gel) µg/l	NO_3^{-} mg/l
HERRENBACH (Keuper)									
Rahmenwerte (Herbst 1973– Sommer 1976)	39–81	7–28	2,7–5,0	0,2–2,9	1,4–20,0	258–457	7,1–8,7	Sp*–60	0,3–11,4
n**	43	39	43	43	33	41	44	43	44
Mittelwerte									
– arithmetisch	53±10	18±5	4,1±1,1	1,1±0,5	6,1±3,4	333±30	–	10±13	4,1±2,8
– gewogen (Keller 1970)	–	–	–	–	–	–	–	10	4,4
BÖS – ELLBACH (Buntsandstein)									
Rahmenwerte (Frühjahr 1972– Sommer 1976)	0,6–6,3	0,3–2,3	0,4–2,2	0,2–1,3	0,7–18,4	28,0–57,0	4,2–7,1	Sp*–44	0,5–5,4
n**	72	57	72	72	26	36	72	50	72
Mittelwerte									
– arithmetisch	3,0±1,0	1,1±0,4	0,9±0,5	0,8±0,3	3,4±4,0	36,6±10	–	10±10	2,0±1,0
– gewogen (Keller 1970)	–	–	–	–	–	–	–	10	2,1

Sp* = Spuren
n** = Anzahl der Meßwerte

Deutschen Einheitsverfahren, die Phosphatbestimmung (PO_4^{3-} - P = P_{gel}) nach Murphy & Riley 1962. Da Blaubandfiltrate analysiert wurden, entspricht das hier gemessene P_{gel} nicht der neuesten Definition der Deutschen Einheitsverfahren (7. Lieferung 1975, D 11), die durch Membranfiltration abtrennen und außerdem die Fraktionen „Gesamtes gelöstes Phosphat (nach Aufschluß)" und „Orthophosphat" unterscheiden. – Leitfähigkeitsmessungen bei 20°C im Labor; pH-Messungen im Labor (kombinierte Glaselektrode der Fa. Metrohm).

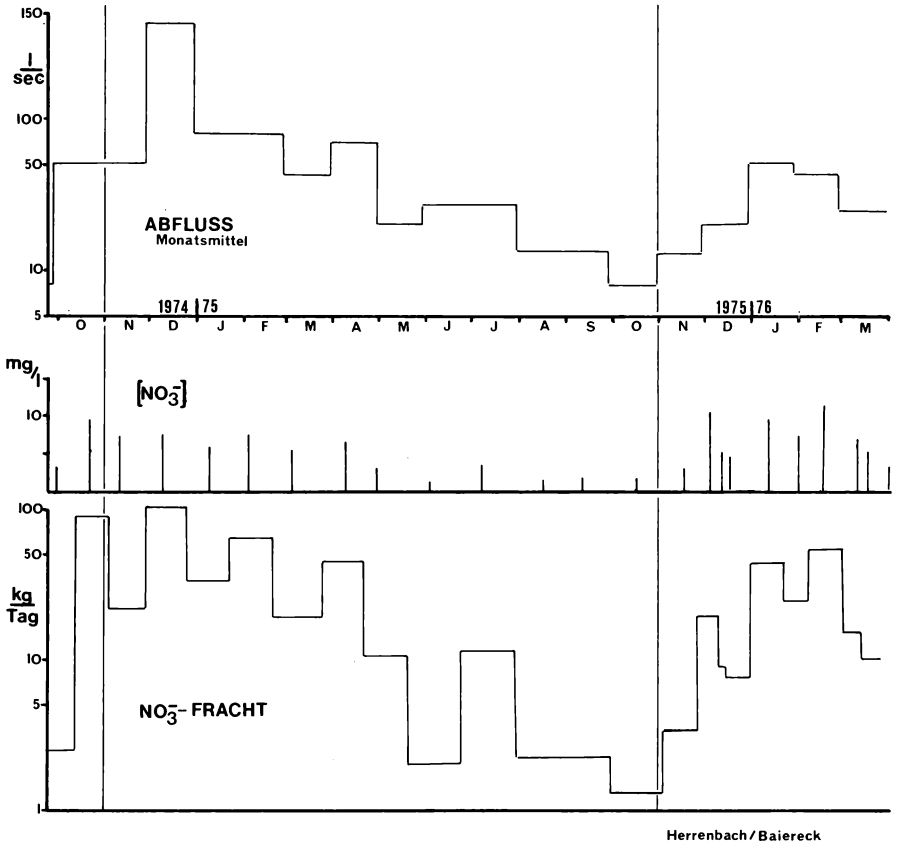

Abb. 1. Herrenbach (Baiereck): Abflüsse (Monatsmittel), Nitratkonzentrationen (NO_3^- in mg/l, Einzelmessungen) und abschnittsweise interpolierte mittlere tägliche Nitrat-Frachten (in kg/Tag NO_3^-). Ausschnitt Oktober 1974 bis März 1976 aus dem gesamten Untersuchungszeitraum.

Ergebnisse

a) Nährelementkonzentrationen

Die wesentlichen Unterschiede im Chemismus der Wässer sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Im Zusammenhang mit der Frage der Wasserbelastung interessieren vor allem die Elemente Stickstoff und Phosphor, da die übrigen wichtigen Bioelemente auch bei vorwiegendem Oberflächen- und oberflächennahem Abfluß sehr stark von den geologischen Verhältnissen der Einzugsgebiete überprägt werden (Bücking 1975). Typischerweise unterliegen die Nitratkonzentrationen in Bächen des Keuperberglandes relativ großen, saisonalen Schwankungen (Abb. 1). Dargestellt sind auf dieser Abb. oben die Monatsmittelwerte der Abflüsse, darunter die in Stichproben gemessenen Nitrat-Konzentrationen und zuunterst die Nitrat-Frachten. Letztere wurden interpoliert aus den als repräsentativ betrachteten Nitrat-Konzentrationen und den einzelnen Tagesabflußmitteln (jeweils von Mitte bis Mitte zwischen zwei Entnahmezeitpunkten) und als Fracht-Tagesmittelwerte jeder Meßperiode angegeben.

Die Nitratkonzentrationen in Bächen des Buntsandsteinschwarzwaldes (Abb. 2) sind dagegen sehr ausgeglichen. Abb. 2 setzt den Nitrat-Konzentrationsverlauf von 2 Bächen, die dem „Bös – Ellbach" vergleichbar sind, in Beziehung zur Niederschlagsentwicklung. Die Schwankungsamplitude und die Mittelwerte sind bei diesen Bächen etwas kleiner als beim Bös-Ellbach.

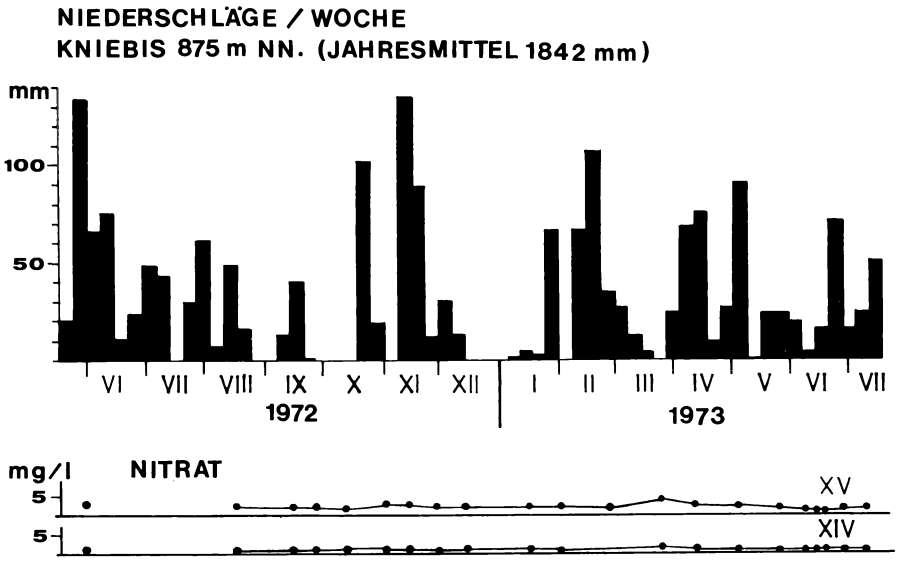

Abb. 2. Gang der Niederschläge (wochenweise) und der Nitratkonzentrationen (Einzelmessungen) in zwei Bächen des Buntsandsteinschwarzwaldes (aus Bücking 1975).

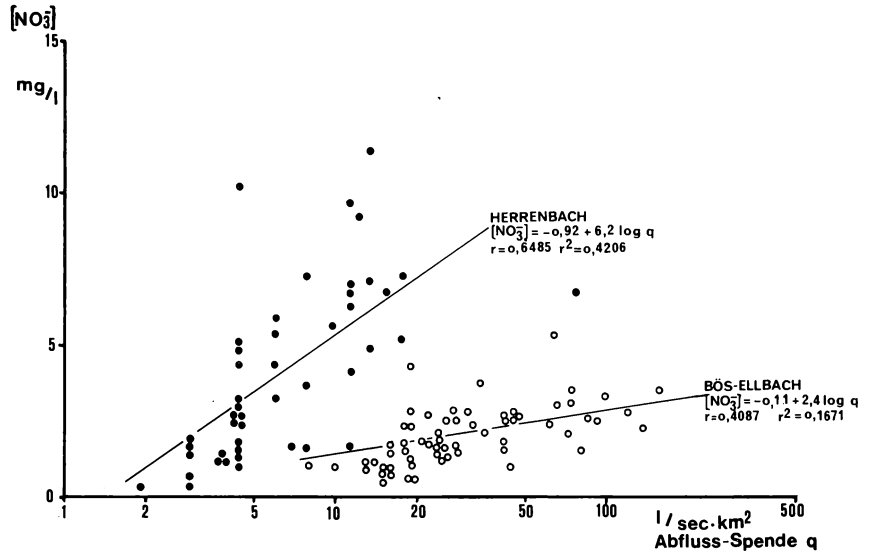

Abb. 3. Beziehungen zwischen Nitrat-Konzentrationen und Abflüssen für das Keuper-Gebiet (Herrenbach) und das Buntsandstein-Gebiet (Bös-Ellbach). Um beide Gebiete direkt vergleichen zu können, sind die Abfluß-Spenden in logarithmischer Skala auf der Abszisse angegeben. *Korrektur*: Die Gleichung des Bös-Ellbachs lautet $[No_3^-] = -0{,}11 + 1{,}4 \log q$.

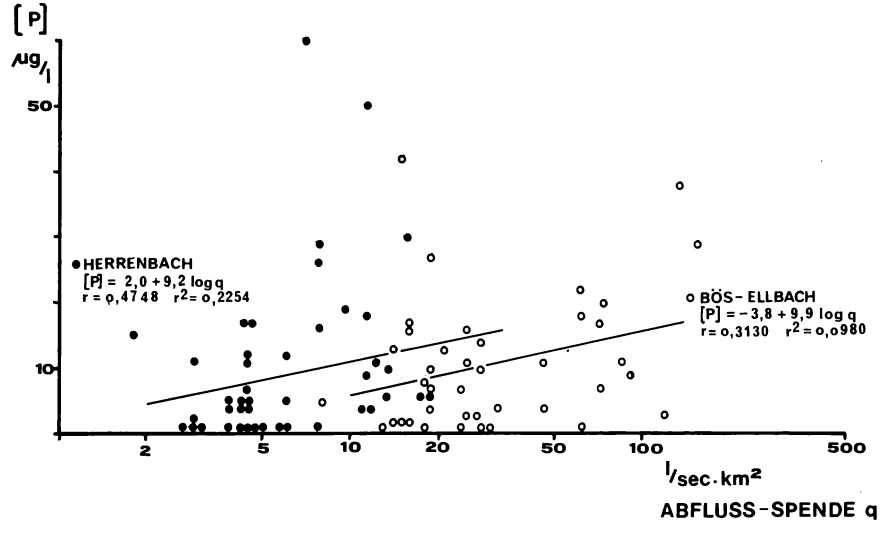

Abb. 4. Beziehungen zwischen Phosphor-Konzentrationen und Abflüssen. Vgl. Abb. 3.

Untersucht man die Beziehungen zwischen Konzentration und Abfluß genauer (Abb. 3), so ergeben sich zwar deutliche und hochsignifikante, aber dennoch nicht sehr enge Korrelationen zwischen den Nitratkonzentrationen und den Abflüssen. Hier wurden nach Keller (1970) Ausgleichsgeraden vom Typ $[NO_3^-] = a + b \log q$ berechnet. Hinzuweisen ist darauf, daß beim Bach aus dem Keuperbergland die Momentanschüttungen an der Pegelstelle eingehen, beim Schwarzwaldbach nur die Tagesmittelwerte des ein größeres Abflußgebiet messenden Murgpegels, zu dem unser Beobachtungsgebiet gehört.

Für das gelöste Phosphat ergeben sich ebenfalls positive und signifikante Korrelationen (Abb. 4), die aber noch weniger eng sind als beim Nitrat. Unterschiede zwischen den beiden Vergleichsgebieten, wie sie für das Nitrat aufgezeigt werden konnten, bestehen dabei nicht.

b) Stickstoff- und Phosphat-Frachten

Landschaftsökologisch interessieren weniger die Konzentrationen, als die Stofftransporte aus Landschaftseinheiten (Schlichting 1975). In der folgenden Tabelle (Tab. 3) sind Nährstoff-Frachtwerte modellhaft nach verschiedenen Verfahren und auf verschiedene Zeiträume bezogen berechnet worden. Am einfachsten, aber auch ungenauesten sind die aus Konzentrationsmitteln und Abfluß bzw. Abflußmitteln gewonnenen Werte. Auch das Summationsverfahren (Addition von Teilfrachten über längere Zeiträume, vgl. Abb. 1) ist im vorliegenden Fall unbefriedigend, da die Analysenfrequenz mit 2-3 wöchigem Abstand nicht dicht genug ist. Aus Abb. 1 ist jedoch zu entnehmen, daß die Haupt-Konzentrations-

Tabelle 3. Nitrat-Stickstoff – und Phosphor-Jahresfrachten.

Rechenverfahren	HERRENBACH Keuper		BÖS – ELLBACH Buntsandstein	
	NO_3 – N	P (gel)	NO_3 – N	P (gel)
	– kg/ha · Jahr –			
1. Untersuchungszeitraum	Herbst 73 – Frühj. 76		Frühj. 72 – Herbst 75	
a) Mittel Konzentration (arithmetisch) x tatsächlicher Abfluß	2,6	0,03	7,0	0,16
b) Summation (vgl. Abb. 1)	3,4	0,03	7,8	0,21
c) Gewogene Konzentrationen und Abflußmengen	3,1	0,03	6,2	0,13
2. Langjährige Mittel				
a) Mittel Konzentration x Abflußmittel (vgl. 1.a)	1,9	0,02	5,2	0,12
b) Gewogene Konzentrationen und Abflußmengen (vgl. 1.c)	1,8	0,02	–	–

unterschiede saisonbedingt sind und auch bei dieser Stichprobendichte erfaßt werden, so daß die Ergebnisse näherungsweise richtig sein dürften. Es wurde ferner (Tab. 3, 1.c und 2.b) die Jahresfracht aus gewogenen Mittelwerten für Konzentration und Abfluß berechnet. Die Bildung der gewogenen jährlichen Mittel aus Abflußmengen-Dauerkurven (Abb. 5) und korrelativen Beziehungen

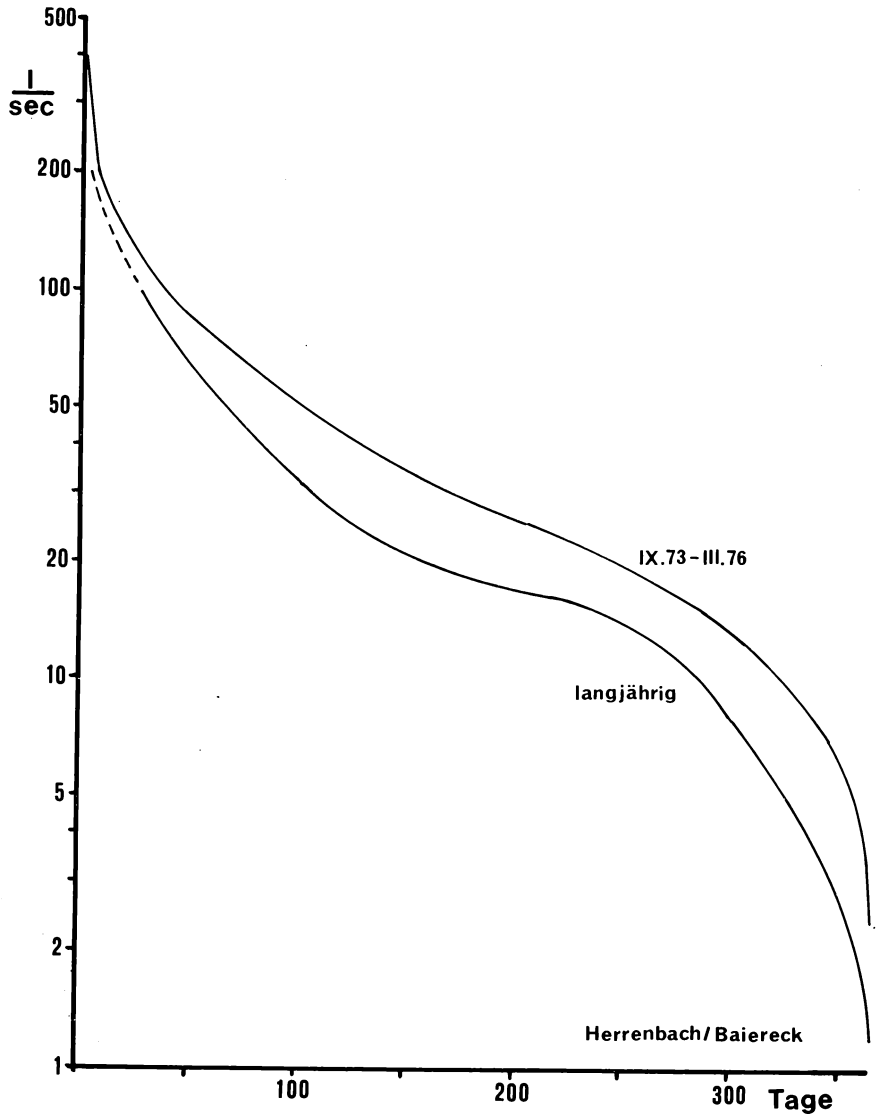

Abb. 5. Abflußmengen-Dauerkurven (Langjährige Mittel und bezogen auf Untersuchungszeitraum) des Pegels Herrenbach / Baiereck (Unterlagen: Regierungspräsidium Stuttgart, Abt. Wasserwirtschaft).

zwischen Konzentration und Abfluß entsprechend den Abb. 3 und 4 ist bei Keller (1970) erläutert.

Alle Verfahren liefern Daten der gleichen Größenordnung; da die Untersuchungszeiträume regenreicher waren und höhere Abflüsse hatten als die langjährigen Mittel, sind die auf den Untersuchungszeitraum bezogenen Werte generell höher als die langjährigen Mittel.

Diskussion

Auffällig ist der höhere Nährstoffaustrag an Nitrat-N und vor allem an P im nährstoffärmeren Buntsandstein; bei geringeren Nitrat-Konzentrationen und gleichen Phosphor-Konzentrationen wird er vor allem durch die dort wesentlich höheren Niederschläge und Abflüsse hervorgerufen. Die von Natur aus größere Nährstoffarmut der Buntsandsteinstandorte wird noch dadurch gesteigert, daß der Austrag nicht unterbunden und atmosphärische Nährstoffeinnahmen nicht wirkungsvoll gebunden werden können. Die hohen Niederschlagsmengen verdünnen die Konzentrationen in den Abflüssen zu qualitativ sehr gutem und nur gering mineralisiertem Wasser. Im regenärmeren Keuperbergland akkumuliert sich Nitrat-Stickstoff über längere Zeit im Boden – wahrscheinlich ist die Nitratbildung infolge der nährstoffreicheren Standorte auch höher, ehe er in einzelnen Wanderfronten mit neuen Niederschlägen transportiert werden kann. Die geringeren Regenmengen sichern keine ausreichende Verdünnung.

Ökologisch und ernährungsphysiologisch bedeutsam ist, daß selbst auf armen Substraten wie Böden aus Buntsandsteinverwitterung erhebliche Mengen an Phosphor und an Nitrat-Stickstoff der Vegetation laufend verlorengehen, im Gegensatz zur vorherrschenden Annahme von nur geringer N-Verfügbarkeit, N-Mineralisation und Nitrifikation auf solchen Standorten. Allerdings erreichen auch im Schwarzwald die Exportraten bei weitem nicht den nach anderen Untersuchungen zu erwartenden Niederschlags – Input von 10-20 kg/ha · Jahr N und 0,5 kg/ha · Jahr P (Hüser 1971, Ulrich 1972, Mayer 1974, Nusch 1974), so daß insgesamt also wohl mit einer Bioelement-Anreicherung im Ökosystem zu rechnen ist. Beim Nitrat muß allerdings mit Umsetzungen und Verlusten bei den Übergängen des Wassers vom Wurzelraum bis hin zum Bachwasser gerechnet werden (Schulz 1970). Untersuchungen von gesamten Einzugsgebieten unterscheiden sich ja dadurch von Sickerwasseruntersuchungen, daß die Flußwege sehr viel länger sind und daher auch Umsetzungen durch Verbrauch, Reduktion und Denitrifikation möglich sind. Ferner sei nochmals an den Modellcharakter der Berechnungen des Schwarzwald-Abflußgebietes erinnert, für das ja lediglich die hydrologischen Daten eines wesentlich größeren Gesamtabflußgebietes bekannt sind.

Die Phosphor-Exportraten liegen in dem Bereich, den Dillon & Kirchner (1975) für Einzugsgebiete mit anstehenden Sedimentgesteinen bei rein forstlicher (im Mittel 0,12 kg/ha P) oder Forst- und Grünlandnutzung (im Mittel 0,23 kg/ha P) an zahlreichen nordamerikanischen Wasserläufen ermittelt haben. Diese Daten sind allerdings Gesamt-Phosphat-Werte. Wie oben im methodischen Kapitel bereits ausgeführt wurde, dürfte die von uns verwendete Analysen-

methode von Murphy & Riley (1962) ebenfalls mehr als das gelöste Phosphat erfassen. Die relevanten analytischen Verfahrens-Unterschiede zwischen den verschiedenen Autoren lassen weitere überregionale Vergleiche als sehr schwierig erscheinen. Die Exporte an gelöstem Phosphat aus Waldgebieten sind nach den Ergebnissen anderer Autoren wesentlich geringer (s. Literaturübersicht bei Dillon & Kirchner 1975).

Zusammenfassung

Im vorstehenden Beitrag wurden zwei Beispiele (Tab. 1) aus umfangreicheren Untersuchungen an bewaldeten Einzugsgebieten vorgestellt, die die Aussage von der besonders guten Qualität von Wässern aus bewaldeten Einzugsgebieten spezifizieren und Grundlagen über natürliche Nährstoffbelastung und Nährstoffverluste erarbeiten sollen.

Die Schwarzwaldwässer sind ärmer und geringer mineralisiert (Tab. 2) und weisen geringere Nitratkonzentrationen mit kleineren Schwankungen auf als die Keuperwässer (Abb. 1 bis 3). Beim Phosphat bestehen keine deutlichen Unterschiede (Abb. 4). Wegen der hohen Abflüsse sind aber die Nitrat-N- und P-Austräge im Buntsandstein höher. In Tab. 3 sind nach verschiedenen Verfahren diese Exporte berechnet worden.

Summary

This paper reports on water quality and nutrient export in two watersheds that are both forested but quite different from a hydrological and geological point of view (Table 1: Red Triassic sandstone (Buntsandstein) watershed in the Black Forest and Keuper watershed eastern of Stuttgart; Baden-Württemberg, FRG). Mean chemical composition of waters is shown in Table 2. Variability of nitrate concentrations in relation to runoff or precipitation is demonstrated in Figures 1 and 2 and compared in Figure 3; it is low in Buntsandstein-waters and high in Keuper-waters. Dates of phosphorys concentrations are summarized in Figure 4. In Table 3 the orders of magnitude of nitrate-nitrogen and phosphorus losses are computed by means of different procedures for the two watersheds compared. Due to higher runoff, nutrient losses are greater in the red Triassic sandstone watershed.

Résumé

Cette contribution s'occupe de la qualité de l'eau et des pertes en éléments nutritifs dans deux bassins d'alimentation boisés mais très différents sur le point de vue de leurs hydrologie et géologie (Tableau 1: régions des Grès bigarrés de la Forêt Noire et du Keuper (Trias supérieur) à l'est de Stuttgart; (Baden-Würtemberg, RFA). Les moyens de la composition chimique des eaux figurent dans le tableau 2. Les variations des concentrations des nitrates en relation avec le débit ou les precipitations sont comparées dans les figures 1 à 3; elles sont peti-

tes dans les eaux originaires des Grès bigarrés et plus grandes dans les eaux du Keuper. Les dates concernant le phosphore sont résumé dans le fig. 4. Dans le tableau 3, l'ordre de grandeur des pertes en nitrates et en phosphore est calculé pour les deux bassins d'alimentation d'après des procédés différents. Les pertes en ces élements nutritifs sont plus grandes dans les Grès bigarrés de la Forêt Noire.

Literatur

Bernhardt, H., J. Clasen, & E. Nusch, (1973): Vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung der Eutrophierungsvorgänge und ihrer Ursachen an Riveris – und Wahnbachtalsperre. *Vom Wasser* 40: 245–303.

Bücking, W. (1973): Auswirkungen einer Flächen-Stickstoffdüngung auf Quellen und Oberflächengewässer im Düngungsgebiet. *Verb. Ges. Ökologie*, Gießen 1972: 85–88.

Bücking, W. (1975): Nährstoffgehalte in Gewässern aus standörtlich verschiedenen Waldgebieten Baden-Württembergs. *Mitt. Verein Forstl. Standortskde. Forstpflanzenzücht.* 25: 48–67.

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (1960-1975). 1.-7. Lieferung. Weinheim/Bergstr.

Dillon, P.J. & W.B. Kirchner, (1975): The Effects of Geology and Land Use on the Export of Phosphorus from Watersheds. *Water Research* 9: 135–148.

Evers, F.H. & W. Bücking, (1974): Programme und Ergebnisse wasseranalytischer Untersuchungen in Gewässern mit bewaldeten Einzugsgebieten. *Mitt. Arb. kreis Wald u. Wasser* 6: 13–28.

Forstliche Standortskarte Adelberg (1958): Karte 1: 10 000 mit Erläuterungen, unveröffentlicht.

Gächter, R. & O.J. Furrer, (1972): Der Beitrag der Landwirtschaft zur Eutrophierung der Gewässer in der Schweiz. I. Ergebnisse von direkten Messungen im Einzugsgebiet verschiedener Vorfluter. *Schweiz. Z. Hydrol.* 34: 41–70.

Hoffmann, J. (1974): Die Wasserqualität von Vorflutern in Mittelgebirgslandschaften in Abhängigkeit von der naturräumlichen Ausstattung unter besonderer Berücksichtigung des Phosphateintrages. Dissertation Univ. Gießen, Inst. Bodenkunde u. Bodenerhaltung. 129 S.

Hüser, R. (1971): Stickstoffeinnahmen von Waldökosystemen durch Niederschläge. *Z. Pflanzenern. Bodenkde.* 129: 42–50.

Keller, H.M. (1970): Der Chemismus kleiner Bäche in teilweise bewaldeten Einzugsgebieten in der Flyschzone eines Voralpentales. *Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen* 46: 111–155.

Klett, M. (1965): Die boden- und gesteinsbürtige Stoff-Fracht von Oberflächengewässern. *Arb. landw. Hochschule Hohenheim* 35: 135 S.

Klimaatlas von Baden-Württemberg (1953): Dt. Wetterdienst (Hrsg.) 75 Karten, 9 Diagramme, 37 S. Erl. Bad Kissingen.

Mayer, R. (1974): Beurteilung der Filterwirkung eines Buchenwald-Ökosystems auf der Grundlage von Bioelement-Bilanzen. *Mitt. Arb. kreis Wald u. Wasser* 6: 78–89.

Murphy, J. & J.P. Riley, (1962): A modified single solution method for the determination of phosphates in natural waters. *Anal. Acta* 27: 31–36.

Nusch, E. (1974): Nährstoffaustrag aus Waldboden. *DVGW-Schriftenreihe Wasser* 1: 33–37.

Reeder, S.W., B. Hitchon, & A.A. Levinson, (1972): Hydrogeochemistry of surface waters of the Mackenzie River drainage basin, Canada. I. Factors controlling inorganic composition. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 36: 825–865.

Schlenker, G. & S. Müller (1973): Erläuterungen zur Karte des Regionalen Gliederung von Baden-Württenberg. I. Teil (Wuchsgebiet Neckarland und Schwabische Alb). *Mitt. Verein Forstl. Standortskde. Forstpflanzenzüchtg.* 23: 3–66 und 1 Karte.

Schlichting, E. (1975): Bedingungen und Bedeutung landschaftsökologischer Umsatz- und Bilanzuntersuchungen. *Forstwiss. Centralblatt* 94: 273–280.

Schulz, H.D. (1970): Chemische Vorgänge beim Übergang von Sickerwasser zum Grundwasser. *Geol. Mitt.* 10: 151–204.
Ulrich, B. (1972): Die Filterfunktion von Böden. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.* 16: 123–129.
Vollenweider, R. et al. (1970): Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus in eutrophication. Bericht O.E.C.D. Committee for Research Cooperation, Paris. 201 S.
Weiger, H. & K. Kreutzer, (1975): Nitratauswaschung nach Kalkammonsalpeterdüngung in der Forstwirtschaft. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.* 22: 287–300.

Anschrift des Verfassers:

Dr. W. Bücking, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Botanik und Standortskunde, 7 Stuttgart 31 (Weilimdorf) Fasanengarten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: 6_1977

Autor(en)/Author(s): Bücking Winfried

Artikel/Article: Wasserqualität und Nährstoffaustrag von bewaldeten Einzugsgebieten mit unterschiedlichen Standortsverhältnissen 411-422