Die pflanzliche Produktionskraft des Rheins und seiner Zuflüsse vom Bodensee-Untersee bis Basel (1978/79)

Autor(en): **Schnaz, Ferdinand / Juon, Heinz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **76 (1984)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941180

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die pflanzliche Produktionskraft des Rheins und seiner Zuflüsse vom Bodensee-Untersee bis Basel (1978/79)

Ferdinand Schanz und Heinz Juon

Zusammenfassung

Zwischen Stein am Rhein und Basel wurde die Veränderung der pflanzlichen Produktionskraft des Rheins und von sieben Zuflüssen ermittelt (Thur, Töss, Glatt, Wutach, Aare, Ergolz, Birs; Bild 1). Dazu führten wir Bioteste mit Algengemischen durch. Die mittlere Nettoproduktion erhöhte sich zwischen Stein am Rhein und Basel um 83%. Im Jahresverlauf beobachteten wir maximale Produktionswerte in der Periode Dezember bis April, Minimalwerte von Frühjahr bis Herbst (Bild 3). Von den untersuchten Zuflüssen zeigten Töss und Glatt die höchsten Nettoproduktionen (Bild 2); es sind Vorfluter von stark besiedelten Regionen. Zusammen mit Thur und Wutach vermochten sie die mittlere Nettoproduktion des Rheins zwischen Nohl und Koblenz um 45% zu steigern. Die Produktionskraft des Aarewassers war bei der Mündung gegenüber dem Rheinwasser nur geringfügig höher. Wegen der starken mittleren Wasserführung vergrösserte die Aare die Nettoproduktionsfracht (= Produkt aus mittlerer Wasserführung und mittlerer Nettoproduktion) jedoch erheblich (fast eine Verdreifachung; Bild 5). Die Jahresverläufe der Nettoproduktionen der Zuflüsse zeigten Eigentümlichkeiten (Bild 4), die vor allem durch die Wasserführung verursacht waren.

Résumé: Le potentiel de la production végétale du Rhin et de ses affluents entre le lac de Constance et Bâle

Entre Stein am Rhein et Bâle nous avons déterminé l'altération du potentiel de la production végétale de l'eau du Rhin et de l'eau des sept affluents principaux (Thur, Töss, Glatt, Wutach, Aare, Ergolz, Birs; figure 1). Des essais biologiques avec du periphyton des pierres du Rhin ont montré que la moyenne de la production nette s'augmentait 83% de Stein am Rhein jusqu'à Bâle. Pendant l'année de recherche nous avons constaté la production maximale dans la période du mois de décembre jusqu'au mois d'avril; les valeurs minimales apparaissaient entre le printemps et l'automne (figure 3). Les rivières Töss et Glatt montraient des productions nettes les plus grandes (figure 2); il s'agit des cours d'eau récepteur des régions très peuplées. Réuni avec le Rhin les rivières Thur, Wutach, Töss et Glatt augmentaient la moyenne de la production nette d'une valeur de 45% entre les endroits du prélèvement de Nohl et de Koblenz. Le potentiel de développement des algues de l'eau de l'Aare était un peu plus grand que celui de l'eau du Rhin. A cause du moyen taux d'écoulement immense, l'Aare pouvait augmenter considérablement la charge de la production nette (= produit du moyen taux d'écoulement et la moyenne production nette; figure 5). Les cours de la production nette des affluents pendant l'année de recherche montraient des particularités (figure 4) causées par le taux d'écoulement.

Summary: The plant growth potential of the River Rhine and its tributaries from Lake Constance to Basle

Changes in the plant growth potential of the river Rhine and seven of its tributaries (Thur, Töss, Glatt, Wutach. Aare, Ergolz, Birs; figure 1) were followed up. Biotests using periphyton from the river Rhine showed that the mean net production increases by 83% from Stein am Rhein to Basle. During the year of investigation we observed the largest production values between December and April and the smallest values between spring and autumn (figure 3). The rivers Töss and Glatt had the largest net production of all the tributaries investigated (figure 2); their catchment areas are densely populated. Together with the Thur and Wutach, these rivers were found to be the cause of an increase in mean net production of the river Rhine by about 45% between the sampling stations of Nohl and Koblenz. The water of the river Aare had a slightly higher algal growth potential than that of the Rhine. However because of its considerable mean discharge, the river Aare increased the net production load (= product of the mean discharge and the mean net production) of the river Rhine by almost a factor of 3 (figure 5). The net production of the tributaries during the year had peculiarities (figure 4) which were caused by differences in the discharge level.

1. Einleitung

In den Jahren nach dem 2. Weltkrieg war der Rhein zwischen dem Bodensee und Basel noch in einem guten Zustand [1]. Damals konnte im Fliessverlauf lediglich eine geringe Verschlechterung der Wasserqualität festgestellt werden. In den letzten 20 Jahren änderte sich die Situation jedoch dramatisch; dies zeichnete sich schon 1963/64 bei den Untersuchungen von *Demmerle* [2] ab. Sie stellte fest, dass – verglichen mit entsprechenden Rheinuntersuchungen nach dem Krieg – die Keimzahlen und die Sauerstoffzehrung an allen Probenahmestellen zwischen Schaffhausen und Kaiserstuhl gestiegen waren. In der Periode 1963–1974 verstärkte sich der Abwassereinfluss, was zu einer Verdreifachung der Phosphatkonzentration im Rheinwasser führte [3]. Vermutlich als Folge der Zunahme

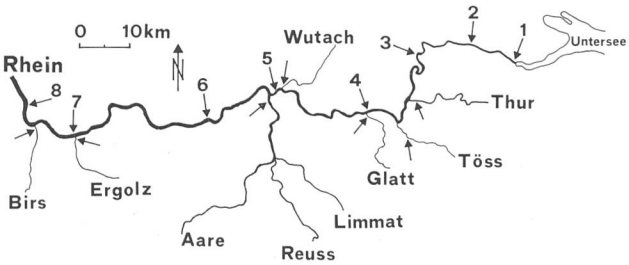


Bild 1. Probenahmestellen am Rhein (1 bis 10) und an den Zuflüssen. Pfeil: Lage der Probenahmestelle. 1 Stein am Rhein; 2 Diessenhofen; 3 Nohl; 4 Eglisau; 5 Koblenz; 6 Laufenburg; 7 Augst; 8 Basel.

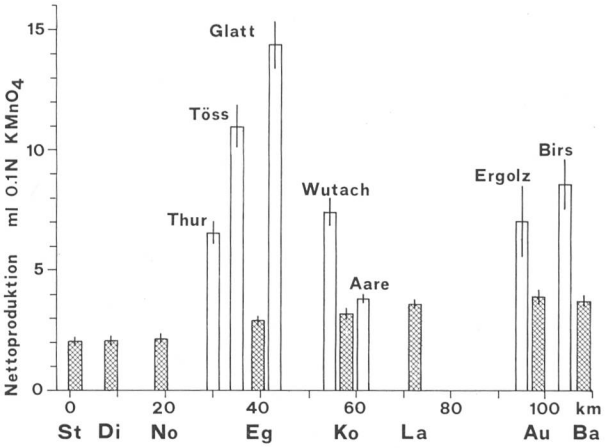


Bild 2. Nettoproduktion des Wassers von den Probenahmestellen des Rheins (schraffierte Säulen) und von Zuflüssen. St Stein am Rhein; Di Diessenhofen; No Nohl; Eg Eglisau; Ko Koblenz; La Laufenburg; Au Augst; Ba Basel.

der Eutrophierung entwickelten sich die Makrophyten sehr üppig: Zwischen 1967 und 1971 vergrösserten sich vor allem die mit dem Flutenden Hahnenfuss (Ranunculus fluitans Lam.) bewachsenen Flächen stark. Im Gebiet zwischen Stein am Rhein und Schaffhausen wucherte der Flutende Hahnenfuss, und es bildeten sich grosse zusammenhängende Felder [4]. Durch die mächtigen Pflanzenmassen ergaben sich vielfältige Schadwirkungen [5]; neben der Beeinträchtigung des Erholungswertes wurden unter anderem auch der Kraftwerksbetrieb [6], die Schifffahrt und die Fischerei empfindlich gestört. Durch die Entfernung der Markophytenteppiche entstanden sowohl den Kraftwerken als auch dem Kanton Zürich grosse Kosten [7]. Besondere Probleme erwartete man bei der Zersetzung der Hahnenfuss-Pflanzen, da *Thomas* [8] nachgewiesen hatte, dass das Gewebe toxische Substanzen enthält.

Im Zusammenhang mit den Wucherungen des Flutenden Hahnenfusses im Rhein wurden an der Hydrobiologisch-limnologischen Station der Universität Zürich vier Diplomarbeiten und zwei Dissertationen ausgeführt. Neben der vorliegenden Problematik wurden folgende Themen bearbeitet: Die Verkrautung des Hochrheins zwischen Stein am Rhein und Schaffhausen [4]; Untersuchungen zur Zytologie [9] und zur Toxizität von Ranunculus fluitans [10]; der Einfluss von Umweltfaktoren auf das Wachstum des Flutenden Hahnenfusses (Licht, Temperatur, Chemismus und Strömungsgeschwindigkeit). Ziel unserer Arbeiten war zu prüfen, ob und in welcher Weise sich die pflanzliche Produktionskraft des Rheinwassers zwischen Untersee und Basel verändert. Da die Kultivierungstechnik mit dem Flutenden Hahnenfuss noch zu wenig ausgereift war, wurde die Produktionskraft mit Hilfe von Algen-Biotesten bestimmt. Die Ergebnisse sagen etwas darüber aus, wieviel organische Biomasse sich in einer bestimmten Wassermenge unter Versuchsbedingungen entwickeln kann; daraus lassen sich Schlüsse auf die biologische Verwertbarkeit der durch chemische Bestimmungen ermittelten Nährstoffe ziehen [11]. Um die Ursachen von Qualitätsveränderungen im Fliessverlauf des Rheins zu erkennen, sind grössere Zuflüsse in die Untersuchungen miteinbezogen worden.

2. Untersuchungsprogramm

Zwischen dem Bodensee-Untersee und Basel legten wir 8 Probenahmestellen fest (Bild 1: Nr. 1 bis 8). Proben wurden ausserdem an folgenden Rheinzuflüssen erhoben: Thur, Töss, Glatt, Wutach, Aare, Ergolz und Birs. Die Untersuchungsstellen wählten wir so aus, dass sie während des ganzen Jahres zugänglich blieben und die Probe möglichst von der Flussmitte genommen werden konnte. Die Untersuchungsperiode dauerte von September 1978 bis Juni 1979 und umfasste 10 monatliche Probenahmen. Diese sind lediglich Momentaufnahmen des Zustandes der betreffenden Fliessgewässer [12, 13] und dürfen deshalb nur mit grosser Vorsicht für eine Charakterisierung verwendet werden. Da die Proben sämtlicher 18 Stellen jeweils am selben Tag genommen und identisch behandelt wurden, ist die Vergleichsmöglichkeit der verschiedenen Probenahmestellen durchaus gewährleistet, eine wichtige Voraussetzung zur Erreichung der von uns gesteckten Ziele (Abschnitt 1). Wir bestimmten folgende Parameter: Algenwachstum, Phosphat-Phosphor, Gesamt-Phosphor, Nitrat-Stickstoff, Nitrit-Stickstoff, Chlorid, Gesamt-Härte, Karbonat-Härte, $KMnO_4$-Verbrauch, pH-Wert und Temperatur.

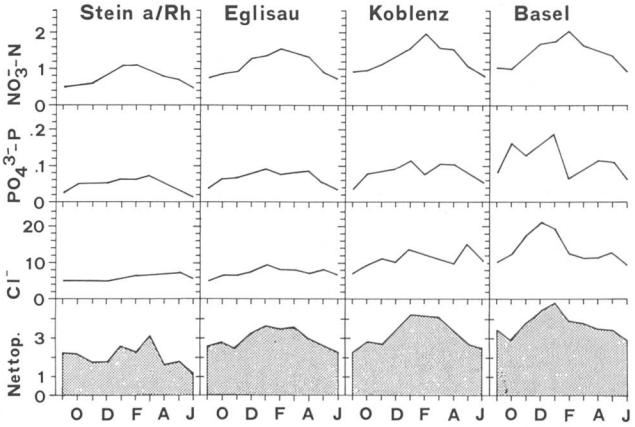


Bild 3. Jahresverlauf von Nitrat, Phosphat, Chlorid und Nettoproduktion im Rheinwasser der Stellen Stein am Rhein, Eglisau, Koblenz und Basel. NO_3^-–N, PO_4^{3-}–P, Cl^- in mg.l^{-1}; Nettoproduktion (Nettop.) in ml 0,1 N KMnO; O Oktober; D Dezember; F Februar; A April; J Juni.

3. Methodik

Die Wasserproben entnahmen wir mit einem 10-Liter-Kessel aus Kunststoff. Am Probenahmeort wurden Temperatur und pH-Wert gemessen. Wir füllten das Wasser in Hochdruck-Polyaethylen-Flaschen und transportierten es in Kühlboxen ins Labor. Für eine bestimmte Probenahmestelle wurden immer die gleichen Flaschen verwendet.

3.1. Chemische und physikalische Methoden

Aus dem Rohwasser bestimmten wir: Gesamt-Phosphor, Karbonat-Härte, Gesamt-Härte, Chlorid und $KMnO_4$-Verbrauch. Für die Analysen der Parameter Phosphat, Nitrat und Nitrit sowie für die Bioteste wurde filtriertes Wasser verwendet (vorgespülte Membranfilter, Porengrösse 0,45 µm). Genauere Angaben zu den verwendeten Methoden finden sich bei *Schanz* und *Juon* [11] und bei *Juon* [14].

3.2 Bioteste

Die Technik übernahmen wir weitgehend von *Betschart* [15].

– *Impfmaterial:* Das Impfmaterial stammte von untergetauchten Steinen vom rechten Rheinufer etwa 300 m unterhalb des Schlösschens Wörth in Neuhausen am Rheinfall; es handelte sich um ein Organismengemisch, das homogenisiert und anschliessend in gleichen Mengen zum Kulturwasser gegeben wurde. Frassverluste durch tierische Organismen verhinderten wir durch Zugabe eines Insektizids.

– *Kulturwasser:* Die mitgebrachten Wasserproben wurden im Labor sofort nach der Rückkehr filtriert und so bald wie möglich beimpft.

– *Kulturbedingungen und Bestimmung der Produktion:* Die Versuchsdauer betrug 24 Tage. Fünf parallel angesetzte Kulturen pro Untersuchungsstelle exponierten wir bei 3700 bis 4500 Lux während 12 Stunden pro Tag. Die Temperatur des Kulturwassers lag zwischen 25 und 30 °C. Bei Versuchsbeginn und bei Versuchsende bestimmten wir die Biomasse mit Hilfe von 0,1N $KMnO_4$-Lösungen. Als Nettoproduktion wird die mittlere Differenz zwischen der Biomasse bei Versuchsbeginn und -ende bezeichnet.

4. Chemische Charakterisierung der untersuchten Fliessgewässer

4.1. Rhein

Tabelle 1 zeigt die Veränderungen chemischer Parameter von Stein am Rhein bis Basel. Von Stein am Rhein bis Nohl war die mittlere Orthophosphat-Phosphor-Konzentration von 49 µg/l konstant; danach erfolgte ein deutlicher An-

stieg bis Laufenburg, verursacht durch die Zuflüsse Thur, Töss, Glatt, Wutach und Aare. Von Laufenburg bis Augst beobachteten wir einen geringen Phosphoranstieg. Die Zunahme zwischen Augst und Basel war vermutlich eine Folge der Abwässer der Stadt Basel. Die Erhöhung der Konzentration an gelösten Orthophosphaten zwischen Stein am Rhein und Basel betrug durchschnittlich 140%. Die Gehalte an Nitrat-Stickstoff, Chlorid und der $KMnO_4$-Verbrauch nahmen im Fliessverlauf ebenfalls zu. Besonders ausgeprägt war die Erhöhung beim Chlorid (+145%) und beim Nitrat (+100%). Obschon der Verlauf der Zunahme vereinzelt geringfügig von dem der Orthophosphate abwich, darf angenommen werden, dass die oben erwähnten Gründe für die Zunahme der Orthophosphate auch für die übrigen Parameter Gültigkeit hatten.

4.2 Zuflüsse

Eine Durchsicht der vom Bundesamt für Umweltschutz zur Verfügung gestellten hydrographischen Daten zeigt, dass die Abflussmengen der untersuchten Zuflüsse während der Untersuchungsperiode stark schwankten. Dies erklärt die – verglichen mit dem Rhein – grossen Standardabweichungen einzelner Parameter (Tabelle 2: hohe Konzentrationen bei Niedrigwasser als Folge des grossen Abwasseranteils; niedrige Konzentrationen für Orthophosphat und Chlorid bei Hochwasser wegen der Verdünnung, erhöhte Konzentrationen für Nitrat und $KMnO_4$-Verbrauch wegen der verstärkten Auswaschung aus dem Boden).
Der quantitativ bedeutendste Zufluss ist die Aare mit einer durchschnittlichen Wasserführung von 535 m^3/s, etwa 125% derjenigen des Rheins unmittelbar oberhalb der Einmündung (Rhein bei Koblenz: 435 m^3/s). Die Durchsicht der Tabellen 1 (Stelle Laufenburg) und 2 zeigt, dass die – verglichen mit dem Rhein – erhöhten Orthophosphat-, Nitrat- und $KMnO_4$-Werte in der Aare zu einer deutlichen Erhöhung der Parameter im Rhein führten. Neben der Aare ist die Thur ein wichtiger Zufluss (mittlere Wasserführung: 39,8 m^3/s), der zusammen mit den stark verschmutzten Töss und Glatt einen markanten Anstieg der im Rhein untersuchten Faktoren zur Folge hatte (Tabelle 1). Die Zuflüsse Ergolz und Birs konnten, obschon stark mit Abwässern belastet, die Nährstoffgehalte im Rhein nur geringfügig beeinflussen, da die Wasserführung klein ist (Tabellen 1 und 2).

5. Nettoproduktion des Rheinwassers von Stein am Rhein bis Basel

5.1 Zunahme der mittleren Nettoproduktion

Zwischen Stein am Rhein und Basel nahm die mittlere Nettoproduktion um 83% zu (Bild 2): Stein am Rhein 2,05 ml 0,1 N $KMnO_4$-Verbrauch (s=0,52); Basel 3,75 ml (s=0,65). Die stärkste Steigerung der Nettoproduktion erfuhr das Rheinwasser zwischen Nohl und Koblenz (1,00 ml). Erläuterungen zur Zunahme der Nettoproduktion enthält Abschnitt 7.

5.2 Jahresverlauf der Nettoproduktion

Die Bilder 3 und 4 zeigen neben den Nettoproduktionswerten auch die Konzentrationen von Nitrat, Phosphat und Chlorid. Bei beiden Bildern stellt man häufig fest, dass verschiedene Abschnitte der vier Kurven parallel verlaufen, ein Hinweis auf die engen Beziehungen zwischen den Parametern. Durch die Berechnung des Spearmanschen Korrelationskoeffizienten [16] konnte gezeigt werden, dass zwischen der Nettoproduktion und dem Phosphat-Gehalt (r_S=0,887; P<0,001, n=100) sowie der Nettoproduktion und dem Nitrat-Gehalt (r_S=0,847; P<0,001, n=100) ein Zusammenhang besteht.
Die Maximalwerte der meisten Kurven von Bild 3 finden sich in der Periode Dezember bis April, die Minimalwerte von Frühjahr bis Herbst. Bei Stein am Rhein wurde der Jahresverlauf der Nährstoffe und der Nettoproduktion durch die Ereignisse im Bodensee bestimmt: Vollzirkulation und hoher Nährstoffgehalt im Winter, Stagnation und niedriger Nährstoffgehalt im Epilimnion und damit auch im Abfluss während des Sommers. Von Eglisau bis Basel waren die Verhältnisse dominiert durch die Wasserführung: Im Winter bei geringer Wasserführung waren die Konzentrationen der gelösten Stoffe gross und die Nettoproduktionen erreichten Maximalwerte. Von Frühjahr bis Herbst hatte der Rhein oft wesentlich mehr Wasser als im Winter, die Konzentrationen der gelösten Nährstoffe waren klein und die Nettoproduktionen wurden minimal.

Tabelle 1. Veränderung chemischer Parameter von Stein am Rhein bis Basel (Periode September 1978 bis Juni 1979). Tabellenwerte: Mittel (Standardabweichung), n=10. Probenahmestellen, siehe Bild 1.

Probenahmestellen	Wasserführung m^3/s	PO_4^{3-}-P µg/l	NO_3^--N µg/l	Cl^- mg/l	$KMnO_4$-Verbrauch mg/l
Stein am Rhein	335(137)	49(17)	730(220)	5.7(0.7)	7.9(1.3)
Diessenhofen	342(136)	49(16)	770(250)	6.1(1.0)	7.1(0.9)
Nohl	344(135)	49(15)	800(240)	6.3(1.0)	7.5(0.9)
Eglisau	399(143)	68(19)	1120(330)	7.3(1.2)	8.6(1.4)
Koblenz	433(149)	83(26)	1290(380)	11.0(2.1)	8.9(1.4)
Laufenburg	979(380)	94(26)	1360(350)	9.4(1.6)	10.4(1.5)
Augst	1004(398)	97(30)	1580(420)	12.0(3.4)	10.5(1.3)
Basel	1020(405)	117(44)	1440(340)	14.0(4.0)	12.2(2.1)

Tabelle 2. Chemische Charakterisierung wichtiger Rhein-Zuflüsse von Stein am Rhein bis Basel (Periode September 1978 bis Juni 1979). Tabellenwerte: Mittel (Standardabweichung), n=10. Probenahmestellen, siehe Bild 1.

Zufluss	Wasserführung m^3/s	PO_4^{3-}-P µg/l	NO_3^--N µg/l	Cl^- mg/l	$KMnO_4$-Verbrauch mg/l
Thur	39.8(23.7)	174(73)	2840(720)	14.3(5.6)	10.1(2.6)
Töss	7.3(3.8)	520(270)	4490(930)	20.1(4.6)	8.8(0.7)
Glatt	9.0(4.3)	1120(380)	4720(1030)	36.9(11.4)	15.1(1.9)
Wutach	---	214(95)	3730(620)	14.2(2.0)	10.1(2.4)
Aare	535(236)	102(37)	1470(300)	7.6(1.7)	12.1(1.8)
Ergolz	2.6(2.3)	102(60)	5370(2160)	30.0(11.1)	12.6(5.9)
Birs	11.3(9.1)	234(119)	3010(950)	15.2(3.9)	10.6(2.0)

6. Nettoproduktionen der Zuflüsse

Die mittleren Nettoproduktionen der Zuflüsse und deren Standardabweichungen sind in Bild 2 enthalten. Ordnet man die Nettoproduktionen nach abnehmender Grösse, entspricht die Reihenfolge etwa denjenigen der Phosphat- und Nitratkonzentration von Tabelle 2: Glatt, Töss, Birs, Wutach, Thur, Ergolz und Aare.
Bild 4 zeigt die Jahresverläufe von Nettoproduktion, Chlorid, Phosphat und Nitrat für vier typische Zuflüsse: Thur, Glatt, Aare und Ergolz.
Thur (ähnlich verhielt sich die Töss): Die Wasserführung der Thur schwankt sehr stark. Bei grossen Niederschlagsmengen im Einzugsgebiet kann der Fluss innert kürzester Zeit um ein Mehrfaches anschwellen [17]. Der Jahresverlauf der Nettoproduktion zeigte einen klaren Zusammenhang mit den chemischen Parametern, die ihrerseits von der Wasserführung bestimmt wurden.
Glatt: Die Glatt entwässert eines der dichtestbesiedelten Einzugsgebiete der Schweiz. Schwankungen in der Wasserführung werden durch die ausgleichende Wirkung des

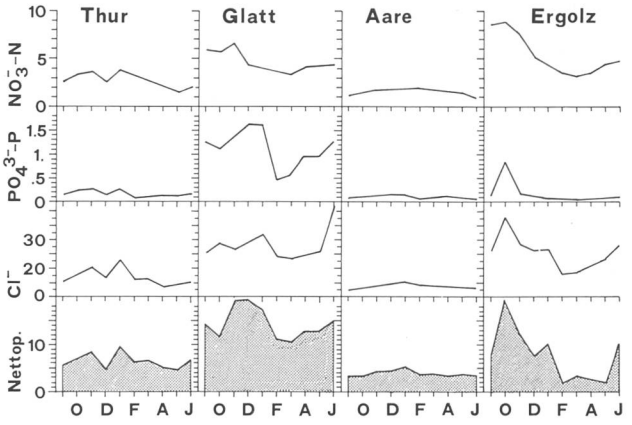


Bild 4. Jahresverlauf von Nitrat, Phosphat, Chlorid und Nettoproduktion im Wasser von Thur, Glatt, Aare und Ergolz, NO_3^- –N, PO_4^{3-} –P, Cl^- in mg · l^{-1}; Nettoproduktion (Nettop.) in ml 0,1 N $KMnO_4$; O, D, F, A, J siehe Bild 3.

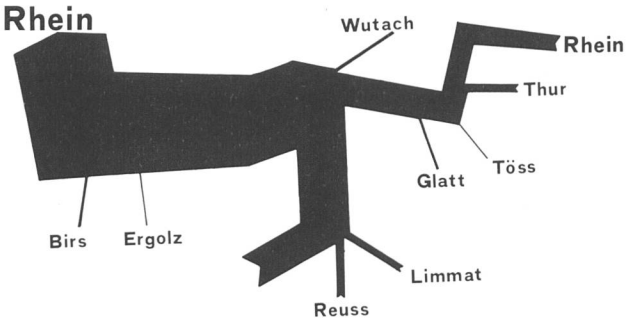


Bild 5. Nettoproduktionsfrachten des Rheins und wichtiger Zuflüsse zwischen Stein am Rhein und Basel. Nettoproduktionsfracht = mittlere Wasserführung x mittlere Nettoproduktion.

Greifen- und Pfäffikersees gedämpft. Wie aus der starken Belastung mit Düngstoffen zu erwarten war (Tabelle 2), massen wir mit den Biotesten beim Glattwasser immer die grössten Nettoproduktionen. Der Jahresverlauf der Nettoproduktion zeigte auffallende Ähnlichkeit mit der Phosphatkurve: Zwischen Nettoproduktion und gelöstem Orthophosphat liess sich ein signifikanter linearer Zusammenhang nachweisen (r=0,84; P<0,01; n=10).

Aare: Der bedeutendste Zufluss des Untersuchungsgebietes wies deutlich die geringsten Nettoproduktionswerte auf (Bild 2). Im Jahresverlauf wurden – ähnlich wie im Rhein – relativ niedrige Sommer- und hohe Winterwerte beobachtet.

Ergolz (ähnlich Birs): Die Wasserführung des kleinsten von uns untersuchten Flusses war fast ausschliesslich mit den aktuellen Niederschlägen gekoppelt; die Konzentrationen der Nährstoffe hingen deutlich von der Wasserführung ab. Statistische Untersuchungen zeigten, dass die Nettoproduktion hauptsächlich durch den Phosphatgehalt des Wassers bestimmt wurde (linearer Korrelationskoeffizient: Nettoproduktion-Phosphat; r=0,87; P<0,01; n=10).

7. Bedeutung der Zuflüsse für die Produktionskraft des Rheinwassers

Der Abfluss des Bodensee-Untersees bei Stein am Rhein brachte mit durchschnittlich 2,05 ml 0,1 N $KMnO_4$-Verbrauch die kleinste Nettoproduktion des gesamten Untersuchungsgebietes. Von Stein am Rhein bis Diessenhofen mündet die Biber, die meist sehr wenig Wasser führt, und der Abfluss der grossen Kläranlage Bibertal–Hegau. Bei Diessenhofen sind die Zuflüsse fast vollständig eingemischt [18]. Mit den Biotesten stellten wir in Diessenhofen einen mittleren Nettoproduktionswert von 2,10 ml 0,1 N $KMnO_4$ fest, eine geringe, nicht signifikante Erhöhung gegenüber Stein am Rhein.

Zwischen Diessenhofen und Nohl wird das gereinigte Abwasser der Region Schaffhausen eingeleitet. Der Rheinfall sorgt für eine gute Durchmischung und einen grossen Eintrag von Sauerstoff. Im Nohl (2,20 ml) beobachteten wir, verglichen mit Diessenhofen (2,10 ml), lediglich eine kleine, nicht signifikante Erhöhung der mittleren Nettoproduktion.

Etwa 10 km unterhalb Nohl mündet die Thur; sie führt im langjährigen Mittel etwa ein Achtel der Wassermenge des Rheins. Wegen den dreimal grösseren Nettoproduktionswerten (Bild 2) leistete die Thur einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Nettoproduktions-Fracht des Rheins (Bild 5).

Die Töss führt im Verhältnis zum Rhein wenig Wasser. Da sie mit einer Nettoproduktion von 11,0 ml sehr stark belastet war (Bild 2), stieg die Nettoproduktions-Fracht um 8%. Die Zuflüsse Thur und Töss sind die Ursache der signifikanten Erhöhung der Nettoproduktion des Rheinwassers zwischen Nohl (2,20 ml) und dem Kraftwerk Eglisau (2,95 ml; P<0,01).

Unterhalb Eglisau bis zur nächsten Probenahmestelle in Koblenz münden die Glatt, die Wutach und verschiedene kleinere Zuflüsse. Die Nettoproduktion der Glatt war fünfmal höher als diejenige des Rheins bei Eglisau (Bild 2) und bewirkte eine Zunahme der Nettoproduktions-Fracht des Rheins von etwa 10%. Die Wutach erwies sich ebenfalls als stark belastet. Bezüglich der Fracht lag der Eintrag der Wutach in der Grössenordnung der Glatt. Die Zunahme der durchschnittlichen Nettoproduktion in Koblenz (3,20 ml) gegenüber Eglisau (2,95 ml) war statistisch nicht signifikant.

Wenig unterhalb Koblenz fliesst die Aare in den Rhein. Als Folge der grösseren Nettoproduktion des Aarewassers (3,85 ml) beobachteten wir in Laufenburg (3,65 ml) gegenüber Koblenz (3,20 ml) eine signifikante Nettoproduktionszunahme (P<0,01). Die Nettoproduktions-Fracht erfuhr beinahe eine Verdreifachung (Bild 5).

Die Zuflüsse Ergolz und Birs sowie die Abwassereinleitungen zwischen Laufenburg und Basel vermochten die Nettoproduktion des Rheinwassers nur unwesentlich zu erhöhen.

Verdankungen

Die Untersuchungen wurden durch den Verband Aare-Rheinwerke und den Schweizerischen Nationalfonds (Nr. 3.075.76) unterstützt. Wir danken Prof. Dr. *E. A. Thomas* für viele wertvolle Anregungen und B. Sc., M. S., *D. M. Livingstone* für die Korrektur des englischen Textes.

Adresse der Verfasser: Dr. *Ferdinand Schanz,* Hydrobiologisch-limnologische Station der Universität, Seestrasse 187, CH-8802 Kilchberg, und Dipl. nat. *Heinz Juon,* Institut für Toxikologie, Schorenstrasse 16, CH-8603 Schwerzenbach.

Literatur

[1] *E. Kunz:* Die Verkrautung des Hoch- und Oberrheins. «Wasser, Energie, Luft» *68* (1976) 224–229.

[2] *S. Demmerle:* Über die Verschmutzung des Rheins von Schaffhausen bis Kaiserstuhl. «Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich» *111* (1966) 155–224.

[3] *E. Eichenberger:* Biologische und ernährungsphysiologische Gesichtspunkte zur Ausbreitung des Flutenden Hahnenfusses im Oberrhein. «Wasser, Energie, Luft» *68* (1976) 234–239.

[4] *M. Huber:* Die Verkrautung des Hochrheins unter besonderer Berücksichtigung von Ranunculus fluitans Lam. Diplomarbeit Universität Zürich (1976) 123 S.

[5] *E. A. Thomas:* Gewässerfeindliche Wirkungen von Phosphaten in Flüssen und Bächen. «Schweiz. Z. Hydrol.» *37,* 2 (1975) 273–288.

[6] *L. Kranich:* Die Bekämpfung des Flutenden Hahnenfusses. «Wasser, Energie, Luft» *68* (1976) 239–241.

[7] *Ch. Maag:* Der Einsatz des Mähbootes des Kantons Zürich. «Wasser, Energie, Luft» *68* (1976) 241–242.

[8] *E. A. Thomas:* Zur Kenntnis der Toxizität des Flutenden Hahnenfusses (Ranunculus fluitans Lam.). «Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich» *120,* 4 (1975) 275–281.

[9] *J. Stünzi, C. D. K. Cook* und *E. A. Thomas:* Karyologische Untersuchungen verschiedener Populationen von Ranunculus fluitans Lam. im Nordosten der Schweiz. «Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich» *124* (1979) 133–139.

[10] *H. J. Näf:* Limnologische und toxikologische Untersuchungen betreffend Wucherungen von Ranunculus fluitans. Dissertation Universität Bern (1982) 107 S.

[11] *F. Schanz* and *H. Juon:* Two different methods of evaluating nutrient limitations of periphyton bioassays, using water from the River Rhine and eight of its tributaries. «Hydrobiologia» *102* (1983) 187–195.

[12] *P. Pleisch:* Die Herkunft eutrophierender Stoffe beim Pfäffiker- und Greifensee. «Vierteljahresschr. Naturforsch. Ges. Zürich» *115,* 2 (1970) 127–229.

[13] *W. Kunz:* Belastung und Entlastung des Zürichsees hinsichtlich Phosphor- und Stickstoffverbindungen. «Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich» *122,* 3 (1977) 249–337.

[14] *H. Juon:* Experimentelle Prüfung der pflanzlichen Produktionskraft des Rheinwasses (Untersee bis Basel). Diplomarbeit Universität Zürich (1980) 133 S.

[15] *B. Betschart:* Die Verwendung von Biotesten zur Untersuchung des eutrophierenden Einflusses der Zürcher Abwässer auf die Limmat. Dissertation Universität Zürich (1979) 186 S.

[16] *L. Sachs:* Statistische Methoden. 3. Aufl. Springer Verlag (1976) 105 S.

[17] *B. Mörgeli:* Limnologische und morphologische Beziehungen zwischen Wasser und Gerinnebett im Unterlauf der Thur. «Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich» *119,* 1 (1972) 21–121.

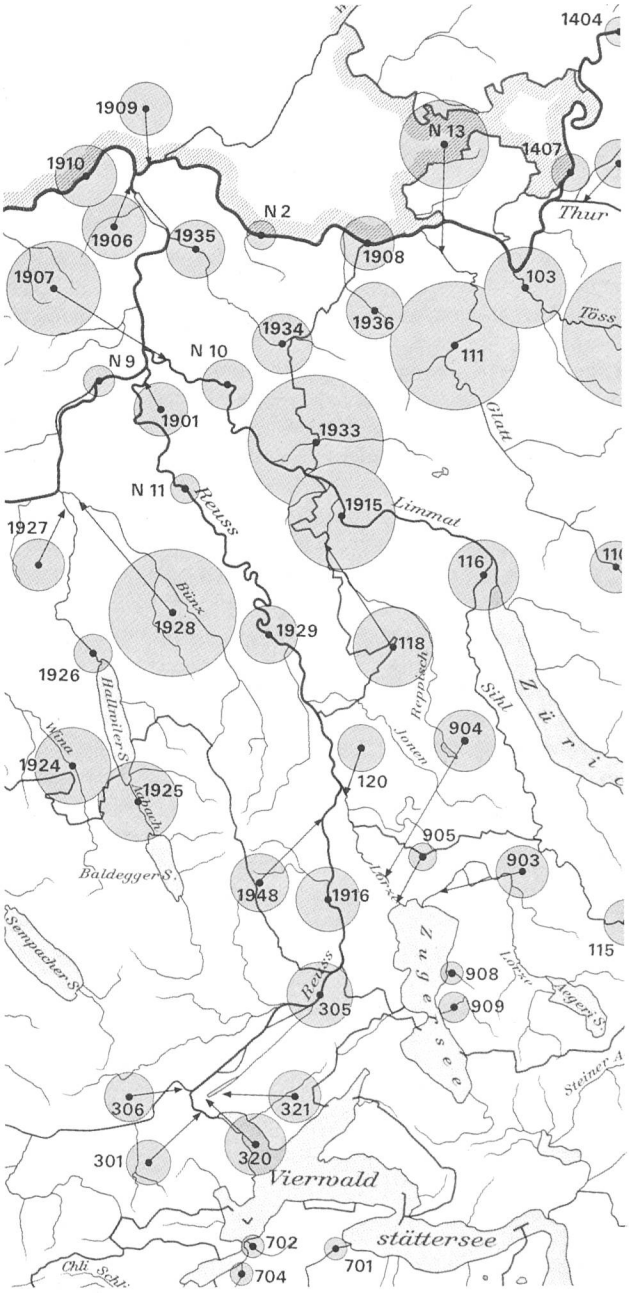
[18] *M. Jaeggi* und *U. Paris:* Ein Färbversuch zur Abklärung des Ausbreitungsvorgangs des gereinigten Abwassers der Kläranlage Bibertal-Hegau im Rhein. «Wasser, Energie, Luft» *70,* 8/9 (1979) 244–249.

Der Zustand der schweizerischen Fliessgewässer

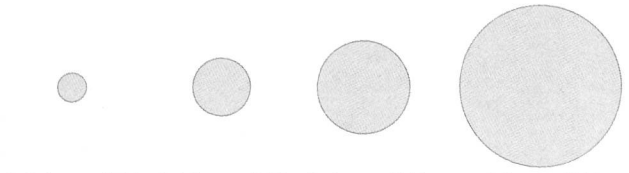
In den grossen Flüssen ist die Wasserqualität im allgemeinen befriedigend; in den kleineren Bächen und Flüssen des Mittellandes ergeben sich jedoch zum Teil starke Belastungen. Dies ist das Fazit einer kartographischen Darstellung über den «Zustand der schweizerischen Fliessgewässer», die im November 1983 vom Bundesamt für Umweltschutz (BUS) herausgegeben worden ist. Die vier veröffentlichten Karten und der dazugehörende kurze Bericht basieren auf den chemischen Untersuchungen von Wasserproben, die in den Jahren 1978 bis 1981 vorab durch kantonale Gewässerschutzfachstellen an über 450 Orten in der Schweiz erhoben worden sind. Die Zustandskarten vermitteln ein zuverlässiges Bild der Belastungsverhältnisse unserer Fliessgewässer und zeigen die Erfolge der Gewässerschutzpolitik der vergangenen Jahre.
Sie bilden ferner ein wertvolles Instrument für die künftige Gewässerschutzpolitik, indem sie die Schwerpunkte für weitere Anstrengungen in diesem Bereich darstellen.

Anstrengungen in der Vergangenheit

In der Schweiz sind in den vergangenen Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen worden, um den Zustand der Gewässer ständig zu verbessern. So kann heute der grösste Teil der Abwässer unserer Bevölkerung in mechanisch-biologischen Kläranlagen gereinigt werden. Die meisten Abwasserreinigungsanlagen im Einzugsgebiet der Seen verfügen zudem über Einrichtungen für die chemische Phosphorelimination. In der Industrie und im Gewerbe sind die für die Behandlung der schadstoffhaltigen Abwässer erforderlichen Anlagen weitgehend vorhanden.
Für diese baulichen Gewässerschutzmassnahmen wurden bis heute insgesamt mehr als 20 Milliarden Franken aufgewendet. Dass sich diese Investitionen positiv ausgewirkt haben, lässt sich bei vielen Fliessgewässern visuell feststellen. Ob der Zustand der Gewässer auch in chemischer Hinsicht den Anforderungen genügt, kann nur aufgrund analytischer Untersuchungen ermittelt werden.



Zustand der schweizerischen Fliessgewässer. Resultate der kantonalen Gewässeruntersuchungen – Mittelwerte Ammonium 1978 bis 1981.
Die in den Abwassern enthaltene Ammoniumfracht wird in den konventionellen Kläranlagen (ohne Nitrifikation) nur zum Teil abgebaut. Die in den Flüssen festgestellten Ammoniumkonzentrationen spiegeln das Verhältnis zwischen Abwasser und Flusswasser wider. Dies erklärt die starke Belastung der kleinen Flüsse und Bäche des Mittellandes mit ihren dicht besiedelten Einzugsgebieten.



0,04 mg/l N 0,15 mg/l N 0,4 mg/l N 1,2 mg/l N

Beurteilung der Mittelwerte

unbelastet	>0,04 mg/l N
schwach belastet	0,04–0,15 mg/l N
deutlich belastet	0,15–0,4 mg/l N
stark belastet	<0,4 mg/l N

Anhand der angegebenen Nummern lassen sich in einer Tabelle die Ortsbezeichnungen sowie die genauen Messresultate finden.
Ausschnitt aus der Karte 1:500000.
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 2. Februar 1984.