**Zeitschrift:** Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel

**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft Basel ; Naturforschende Gesellschaft Baselland

**Band:** 1 (1995)

**Artikel:** Chemische Untersuchungen am Rhein

**Autor:** Zimmerli, Werner

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-676660

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 18.08.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

© Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel 1 (1995)

# Chemische Untersuchungen am Rhein

von der Quelle (Tomasee) bis Basel 1989/90 und 1993/94

**Dr. Werner Zimmerli**
Diese Arbeit entstand teilweise im Rahmen des Sandoz-Rhein-Fonds

## Inhaltsverzeichnis

Abstract . . . . . 140

Zusammenfassung . . . . . 140

1 Vorwort . . . . . 140

2 Einleitung . . . . . 141
2.1 Material und Methode . . . . . 141
2.1.1 Chemisch-physikalische Messungen . . . . . 141
2.2 Rhein-Profil . . . . . 142
2.3 Biologische Bedeutung der einzelnen Parameter . . . . . 142

3 Untersuchungsergebnisse . . . . . 144
3.1 Beschreibung der einzelnen Messungen im Rhein und seinen Zuflüssen . . . . . 144
3.2 Vergleich der chemischen Untersuchungen . . . . . 147
3.3 Die Reihenfolge der Zuflüsse aufgrund der chemischen Belastung . . . . . 148
3.4 Interpretation der chemischen Daten von Rhein und Zuflüssen . . . . . 148

4 Diskussion . . . . . 149

5 Literaturverzeichnis . . . . . 151

6 Anhang . . . . . 153
6.1 Abbildungen . . . . . 153
6.2 Karten . . . . . 162
6.3 Tabellen . . . . . 163

**Abstract.** Based on 17 chemical and physical parameters, water was analysed from the years 1889/90 and 1993/94 at 56 locations from the source of the Rhine to Basel. A probe of water was taken from 19 major tributaries, immediately before, directly at, and after the tributary. The data were compared with former measurements, as far as possible.

Fortunately, during the measurement period in 1993/94 some parameters such as sulfate, nitrate, nitrite were lower compared to those in 1989/90. Chloride, BSB5 and CSB increased pronouncedly. The temperature also increased by 1°C. While the Glatt was the most polluted river in 1989/90, the Ergolz and Sissle were then the most polluted in 1993/94. The Aare and Wiese showed higher value in 1993/94 than in 1989/90. The overall load of the Rhine between the measurements periods did not change.

The actual borderline of the natural, unavoidable and the harmful chemical load could not be unequivocally defined. The Rhine water has reached the upper limit for an optimal development of fauna and flora with regard to chemical burden.

**Zusammenfassung.** Anhand von 17 chemischen und physikalischen Parametern wurde in den Jahren 1989/90 und 1993/94 an je 56 Messstellen von der Quelle des Rheins bis Basel Wasser analysiert. Von 19 grösseren Zuflüssen wurde jeweils vor der Einmündung, bei der Einmündung selbst und nach der Einmündung Wasser entnommen. Die Daten wurden mit früheren Messungen, so weit sie zur Verfügung standen, verglichen.

Erfreulich ist, dass in der Messperiode 1993/94 doch einige Parameter wie Sulfat, Nitrat oder Nitrit gegenüber 1989/90 tiefere Werte aufweisen. Chlorid, BSB5 und CSB steigen deutlich an. Die Temperatur hat sich um 1°C erhöht. Der schmutzigste Fluss von 1989/90, die Glatt, ist 1993/94 von Ergolz und Sissle übertroffen worden. Aare und Wiese weisen ebenfalls wesentlich höhere Werte auf. Die Gesamtbelastung des Rheins hat sich während der Messperiode nicht verändert.

Die eigentliche Grenze von notwendiger und schädlicher chemischer Belastung konnte nicht eindeutig erfasst werden. Das Rheinwasser hat bezüglich dieser Belastung die obere Grenze erreicht, die einer optimalen Entwicklung der Lebewesen in ihm gesetzt ist.

## 1 Vorwort

Als nach dem 1. November 1986 in zahlreichen Medien zum Teil lauthals verkündet wurde: DER RHEIN IST TOT, haben wir uns als Biologen die kritische Frage stellen müssen: «Ist der Rhein wirklich tot?»

Eine Arbeitsgruppe der Basler Botanischen Gesellschaft hat damals vor und nach dem Einfluss der ominösen Brühe in Schweizerhalle wöchentlich Steine aus dem Rheinbett entnommen und in Aquarien eingelegt. In einem Biologiezimmer des Gymnasiums Bäumlihof haben wir anschliessend während eines guten halben Jahres den Belag von den Steinen abgekratzt und mikroskopisch untersucht. Wöchentlich wurden neue Proben aus dem «verseuchten» Gebiet entnommen und mit den bereits untersuchten verglichen. Anschliessend an die Untersuchungen wurden die Steine nicht fortgeworfen, sondern im Schulzimmer belassen. Die Aquarien blieben auf dem Fensterbrett des Schulzimmers stehen, damit auch die Schüler die weitere Entwicklung miterleben durften. Im Verlaufe des Winters zeigte sich zu unserer Verwunderung, dass sich die schwarzen, «verschlammten» Steine vom Birskopf mit einem grünen Belag überzogen. Beim Bestimmen der Proben fanden wir erfreulicherweise eine grosse Zahl von verschiedenen Algenarten, die sich im totgesagten Material entwickelt hatten. Während die Medien noch von einer zehnjährigen Erholungsphase sprachen, war sich unsere Arbeitsgruppe darin einig, dass sich das Gewässer in der kommenden Vegetationsperiode erholt haben würde. Sobald Primärproduzenten vorhanden sind, lassen Konsumenten nicht lange auf sich warten.

Uns stellten sich mehrere Fragen:

- In welchem Umfange ist eine chemische Belastung des Wassers für die Algen ertragbar oder sogar nötig?

- Wie gross ist die Resistenz der Mikroorganismen?
- Wie schnell wird eine leere ökologische Nische neu besiedelt?
- Welche Zeit beansprucht eine Neubesiedlung in einem Fliessgewässer?
- Wie lange bleibt der tote Raum (hinter einem Stein) in einem schnell fliessenden Strom bestehen?
- Wieviele verschiedene Algenarten kommen im Rhein vor?
- In welchem Masse stammen die Algen im Rhein aus den Zuflüssen?
- Aus welchen Zuflüssen stammt die «chemische Belastung»?
- Wie wird ein Fliessgewässer mit einer lokalen Verunreinigung fertig?
- Wann kann man von einem «toten Gewässer» sprechen?
- Wie gross ist die «normale» Belastung des Rheins?
- Woher stammt diese Belastung?

Als die Firma Sandoz 1987 einen Fonds zugunsten des Rheins errichtete, erachtete ich es als eine grosse Chance, einigen dieser Fragen nachgehen zu können, was mich dazu bewog, ein entsprechendes Projekt einzureichen.

## 2 Einleitung

Im Rahmen des Rheinfonds-Projekts der Sandoz habe ich 1989/90 den Rhein von der Quelle (Tomasee) bis Basel chemisch und biologisch untersucht. Der biologische Teil ist in BAUHINIA publiziert worden.

In den Jahren 1993/94 habe ich mit denselben Methoden und an denselben Stellen den Rhein und seine Zuflüsse noch einmal chemisch untersucht, um allfällige Unterschiede oder Veränderungen festzustellen. Dabei wurden nur chemische Parameter untersucht, die für die Biologie von grosser Bedeutung sind.

Die chemische Zusammensetzung eines Fliessgewässers ist dauernden Veränderungen unterworfen. Die einzelnen Komponenten wirken sich auf die Lebewesen aus. Einerseits vermögen Lebewesen sich anzupassen, sie persistieren in vielen kleinen ökologischen Nischen, andererseits gehen sie an der erhöhten Konzentration eines einzelnen Parameters zugrunde, oder sie warten in einem Cystenstadium bessere Bedingungen ab.

Untersuchungen an Fliessgewässern sind und bleiben problematisch. Man kann, wie die Fachkommission für regionale Abwasserfragen von Dr. Hansjörg Schmassmann, die chemische Belastung an zwei Tagen rund um die Uhr messen oder wie die EAWAG alle vierzehn Tage eine Messung mit einem Mischwasser, das stündlich entnommen wird, durchführen.

Ich habe mich, nicht zuletzt aus zeitlichen und finanziellen Gründen, entschlossen, pro Jahreszeit eine Probe zu entnehmen, wobei ich mir bewusst bin, dass die Resultate bestenfalls Tendenzen angeben können.

### 2.1 Material und Methode

Auf der 362 km langen Strecke vom Tomasee bis Basel wurden an 56 Stellen Wasser- und Algenproben entnommen (Anhang, Karte 1).

In der Regel wurden pro Ort immer drei Stellen berücksichtigt: der Rhein vor einem grösseren Zufluss, der Zufluss und schliesslich der Rhein unterhalb des Zuflusses, und zwar an einer Stelle, an der sich das Wasser als durchmischt erachten liess. Die einzelnen Wasserproben wurden vom Ufer aus entnommen. Dabei war darauf zu achten, dass diese Stellen im Hauptwasserstrom lagen, damit nicht Hinterwasser oder stehende Wasser verfälschte Resultate lieferten.

#### 2.1.1 Chemisch-physikalische Messungen

*Temperatur*
Die Wassertemperatur wurde an Ort und Stelle mit dem tragbaren Sauerstoff- und Temperaturmessgerät OXI 921 (Aqualytic von Hoelzle und Chelius) gemessen.

*Leitfähigkeit*
Die Leitfähigkeit wurde mit dem Modul E 1/C und der Messelektrode CM 25A von WPA (England) ermittelt.

*Wasserstoffionen-Konzentration*
Der pH-Wert wurde an Ort und Stelle mit pH/Redox-Digimeter pH21 festgestellt.

*Sauerstoff*
Das Gerät für die Temperatur-Bestimmung (OXI 921) wurde auch für die $O_2$-Bestimmung verwendet. Es hat den Vorteil, dass neben der Messung in mg/l auch der Sättigungswert bei gegebener Temperatur angegeben wird. Bei jeder Wasserentnahme wurde aber auch die Winklersche Sauerstoff-Bestimmung durchgeführt.

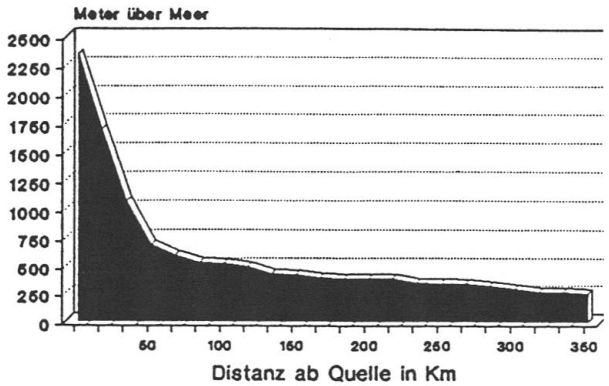
*BSB5*
Die Messung der $O_2$-Zehrung wurde doppelt vorgenommen:
- Nach der herkömmlichen Winkler-Methode: Zwei Winkler-Flaschen wurden am Entnahmeort mit Probewasser gefüllt. In der einen Probe wurde der Sauerstoff sofort fixiert, in der anderen fünf Tage später.
- Mit dem manometrischen BSB5-Gerät der Firma Hoelzle und Chelius. Bei nur wenig belastetem Wasser ist die Anwendung dieses Geräts sehr problematisch.

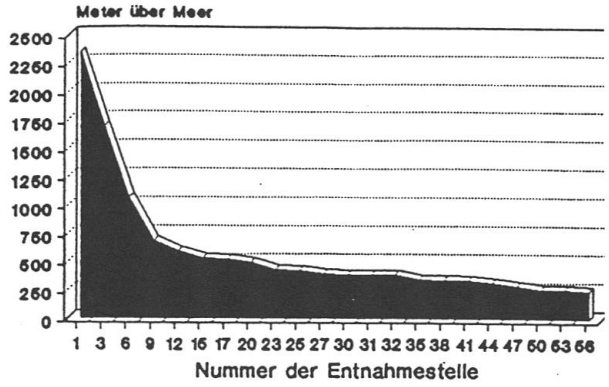
Die folgenden Parameter wurden mit dem Filter-Photometer, Modell 20, und den dazugehörigen Chemikaliensätzen der Firma Hoelzle und Chelius bestimmt:

| | |
|---|---|
| Ammonium: | Messgenauigkeit 0,1 mg/l, Nessler-Reaktion. |
| Chlorid: | Messgenauigkeit 0,2 mg/l, Eisen(III)-thiocyanat. |
| Nitrit: | Messgenauigkeit 0,005 mg/l, Naphthylamin-Sulfanilsäure. |
| Nitrat: | Messgenauigkeit 1 mg/l, Naphthylamin-Sulfanilsäure. |
| Orthophosphat: | Messgenauigkeit 0,05 mg/l, Molybdänblau-Methode. |
| Sulfat: | Messgenauigkeit 0,1 mg/l, Bariumsulfat-Methode. |
| CSB: | Messgenauigkeit 5 mg/l, Kaliumdichromat-Methode. Vor der Messung wurde, um die chemische Reaktion zu ermöglichen, der CSB-Reaktor von Hoelzle und Chelius, Modell 30, verwendet. |
| Calcium: Gesamthärte: Karbonathärte: | Messgenauigkeit 10 mg/l. Die Bestimmung erfolgte titrimetrisch mit den vorbereiteten Reagenzien von Hoelzle und Chelius. |
| Trübung: | Messgenauigkeit 1 TE/F, Trübungseinheiten/Formazin analog dem deutschen Einheitsverfahren. |

Sämtliche Apparaturen und Chemikalien stammen von Chemia, Brugg, und Auer/Bittmann, Basel. Die Apparaturen wurden mir schon in früheren Jahren von der Emilia Guggenheim-Schnurr Stiftung zur Verfügung gestellt.

## 2.2 Rheinprofil




## 2.3 Biologische Bedeutung der einzelnen Parameter

*Sauerstoff ($O_2$)* ist in einem Fliessgewässer im allgemeinen in genügender Konzentration vorhanden, um eine Biozönose aufrechtzuerhalten. Der Sauerstoffeintrag erfolgt durch die Turbulenz des Wassers (Luft-Wasser-Durchmischung) als auch durch biogene $O_2$-Produktion vor allem

der Algen. Im ±ruhigen Oberflächenwasser des Bodensees bewirkt die Aktivität der photoautotrophen Algen während der warmen Monate eine Übersättigung mit $O_2$, wobei der Sättigungswert temperaturabhängig ist.

Durch biologische Selbstreinigung (chemisch-biologische Oxidationsvorgänge) wird Sauerstoff verbraucht (Abbau von organischen Verunreinigungen durch Bakterien).

Die biologische Aktivität wird als sogenannter BSB5-Wert bestimmt. Damit wird die volumenbezogene Menge an Sauerstoff bezeichnet, die von Mikroorganismen bei 20°C innerhalb von fünf Tagen verbraucht wird, um die organische Belastung oxidativ abzubauen. Normalerweise bedeutet ein hoher BSB5-Wert eine grosse organische Belastung. Aus einem geringen BSB5-Wert hingegen lässt sich nicht a priori schliessen, dass es sich um ein sauberes Gewässer handelt, denn toxische Stoffe, die leider im Wasser ebenfalls vorhanden sein können, hemmen oder schädigen die Aktivität der Mikroorganismen erheblich.

Als *CSB (chemischer Sauerstoffbedarf)* bezeichnet man die Sauerstoffmenge, die für die vollständige Oxidation (auf chemischem Weg) von organischen Stoffen benötigt wird. Diese Menge gibt Einblick in die Summe der organischen Verunreinigungen, nicht aber in die einzelnen Parameter.

*Ammonium ($NH_4^+$)* wird beim Abbau N-haltiger organischer Substanz gebildet und stammt meistens aus menschlichen oder tierischen Exkrementen. Zur Verschmutzung können aber auch Dünger-Ausschwemmungen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen beitragen. Ammonium-Ionen sind problematisch, weil sie durch Reduktionsprozesse in Ammoniak ($NH_3$) überführt werden können, welches seinerseits für das Leben im Wasser toxisch ist.

*Nitrit ($NO_2^-$)* ist nicht nur ein starkes Fischgift, sondern spielt auch bei der Bildung krebserregender Nitrosamin-Verbindungen eine Rolle. Die Anwesenheit von Nitrit stellt einen wichtigen Hinweis auf eine Verschmutzung dar. Es entsteht sowohl bei der Oxidation von Ammonium als auch, als Zwischenprodukt, bei der Reduktion von Nitrat. (Isst man 100 g Rohschinken, so werden dem Körper 11 mg Nitrit zugeführt, Zitat nach Hüttner, S. 76.) Nitrifizierende Bakterien spielen zudem beim Abbauprozess eine grosse Rolle.

*Nitrat ($NO_3^-$)* kann, wie Nitrit, in den Flüssen aus Dünger-Ausschwemmungen oder aus Abbau- und Oxidationsvorgängen an organischen und anorganischen Stoffen herrühren. Auch hier spielen Mikroorganismen eine wesentliche Rolle. Im Körper des Menschen kann Nitrat zu Nitrit reduziert werden, es ist folglich ebenfalls als kanzerogen zu betrachten. Eine hohe Nitratkonzentration kann ein Indiz für eine Belastung mit Fäkalien sein.

*Orthophosphat ($PO_4^{3-}$)* ist eine der wichtigsten Substanzen für das Pflanzenwachstum (Algenblüte). Im Grund- wie auch im Oberflächenwasser stammt es meistens aus menschlichen Verunreinigungen. Die Überproduktion von Biomasse durch erhöhten Phosphatgehalt stört das ökologische Gleichgewicht. Absterbende Algen werden abgebaut, was eine enorme Sauerstoffzehrung zur Folge hat.

Dadurch wird auch anderen Lebewesen die Existenz verunmöglicht. Im menschlichen Organismus wie auch in Pflanzen und Tieren erfüllt Phosphat als Baustein der Skelettzellen und der Gene, ebenso beim Energietransport (Adenosintriphosphat) eine wichtige Aufgabe.

*Chlorid ($Cl^-$)* ist ein dauerhafter Verschmutzungsindikator. Es gelangt aus Salzlagerstätten ins Wasser oder geht als Verwitterungsprodukt in Lösung; im Winter werden Schnee und Eis noch immer mit Streusalz bekämpft; Geschirrwaschautomaten und Wasseraufbereitungsanlagen sind ebenfalls wichtige Quellen, weil Wasser durch Ionenaustausch mit Natriumchlorid (NaCl) enthärtet wird. Dass NaCl Alleebäume schädigt, ist seit langem bekannt. Wie stark sich eine erhöhte NaCl-Konzentration auf das Kreislaufsystem des Menschen auswirkt, ist Gegenstand einer laufenden Untersuchung.

*Sulfat ($SO_4^{2-}$)* kann, da es verhältnismässig gut löslich ist, aus Gipsschichten stammen. Es ist aber auch ein Endprodukt der im Erdinneren weit

verbreiteten Mineralisation und entsteht bei der mikrobiellen Oxidation von Sulfiden ($S^{2-}$) und der Neutralisation von Schwefelwasserstoff ($H_2S$), ebenso beim Abbau schwefelhaltiger organischer Verbindungen. Industrieabwässer aus Kläranlagen weisen oft einen hohen Sulfatgehalt auf. Das Anion wird seinerseits mikrobiell (Desulfurikation) zu Schwefelwasserstoff reduziert, der von anderen Mikroorganismen wiederum zu elementarem Schwefel und zu Sulfat oxidiert wird (Sulfurikation). Schwefel ist ebenfalls ein lebensnotwendiges Element.

*Calcium ($Ca^{2+}$)* kommt in der Natur vor allem als Calciumcarbonat ($CaCO_3$) vor. Die meisten Calciummineralien sind schwer löslich. Durch eine Reaktion mit in Regenwasser gelöstem Kohlendioxid ($CO_2$) entsteht aus dem schwerlöslichen Calciumcarbonat leichtlösliches Calciumhydrogencarbonat [($Ca(HCO_3)_2$].

Die *Karbonathärte (KH)* ist jener Anteil an Calcium- und Magnesiumionen in der Volumeneinheit, für den eine äquivalente Konzentration an Hydrogencarbonat- und Carbonationen sowie den bei deren Hydrolyse entstehenden Hydroxid-Ionen vorliegt. (Zitat nach dem Reklameblatt von Merck).

Die *Gesamthärte (GH)* gibt die gesamte Menge von Calcium- und Magnesiumionen an. Je nach geologischer Beschaffenheit des Bodens kann das Wasser sehr unterschiedliche Härten aufweisen. Weiches Wasser findet man eher in Gebieten mit Silikatböden, hartes Wasser in Kalk-, Gips- und Dolomitgebieten. Zur Erhaltung der Gesundheit ist ein mittelhartes Wasser vorzuziehen. Weiches Wasser wird als Kreislaufgefährdung angesehen. Durch die Trübung (TE/F) wird die Lichtdurchlässigkeit reduziert und dadurch die Photosyntheserate der Algen erniedrigt.

## 3 Untersuchungsergebnisse

### 3.1 Beschreibung der chemischen Messungen im Rhein und den Zuflüssen (Tabelle 1)

*Sulfat* (Abb. 1a/b, 5a/b)
In der Grafik der Sulfatmessungen 1989/90 zeigt sich an drei Stellen ein Peak, der erste im Rhein nach Reichenau/Untervaz. Für die hohen Werte dürften Medelserrhein, Glogn, Hinterrhein und Plessur bis zu einem gewissen Grade verantwortlich sein. Der Anstieg ist aber so gross, dass die Konzentrationserhöhung nicht allein von diesen Zuflüssen herrühren kann. Es ist anzunehmen, dass die Emserwerke einiges dazu beitragen. Der zweite Peak im Rhein bei Rüthi/Fussach stammt eindeutig von den beiden Zuflüssen Ill und Frutz. Der dritte Peak wird von der Sissle und der Ergolz verursacht. Die Sissle weist den weitaus höchsten Wert im gesamten Untersuchungsgebiet auf. Wir haben hier doppelt so hohe Konzentrationen wie im Glogn, fast dreimal so hohe wie in der Ergolz gemessen.

Von den Zuflüssen weist 1994 nur noch die Sissle höhere Wert als 1989 auf. Die Trendlinie zeigt, dass die Sulfatbelastung zwischen 1989 und 1994 abgenommen hat.

*Orthophosphat* (Abb. 1c/d, 5c/d)
Die Übersichtsgrafik zeigt sehr schön, dass der Phosphateintrag zu einem grossen Teil aus den Zuflüssen Frutz, Thur, Glatt, Sissle, Ergolz, Birs und Wiese stammt. Die Mittelwertkurve weist vier Peaks auf. Ein erster, geringer Anstieg ist erkennbar nach der Einmündung von Plessur und Landquart. Die zweite Hebung ist erstaunlicherweise erst nach dem Zufluss der Thur festzustellen. Zu erwarten wäre eher gewesen, dass das Wasser aus den landwirtschaftlich genutzten Gebieten im Rheintal und am Bodensee hohe Phosphatwerte aufweisen würde. Es ist anzunehmen, dass die dichte Algenpopulation im Bodensee das Phosphat unmittelbar nach der Einmündung des Rheins aufbraucht, weshalb diese Ionen nicht mehr nachzuweisen sind. Eine starke Konzentrationserhöhung stellen wir nach dem Einfluss der Glatt fest. Obwohl die Sissle den absolut höchsten Wert aufweist, vermag ihr Wasser die Phosphatkonzentration im Rhein nicht stark zu beeinflussen, weil ihre Wassermenge zu gering ist. Erst nach der Einmündung von Ergolz, Birs und Wiese lässt sich im Rheinwasser ein leichter Anstieg der Phosphatkonzentration erkennen. Die Trendgrafiken des Rheins und seiner Zuflüsse zeigen einen starken Anstieg auf. Bis 1993/94 ist die Belastung immerhin stark zurückgegangen. Einzig die Thur bringt mehr Phosphat als 1989/90 mit.

*Nitrat* (Abb. 1e/f, 5e/f)
Die Grafik zeigt, dass die Nitratbelastung des Stroms über die ganze Untersuchungsstrecke hinweg erheblich ist. Auffallend ist wiederum, dass vor allem die Zuflüsse Rheinspitz, Töss, Glatt, Birs und Ergolz diesen Konzentrationsanstieg bewirken.

Der Mittelwertgrafik ist zu entnehmen, dass von der Quelle bis zum Bodensee jeweils nach einem Zufluss vier etwa gleich hohe Peaks auftreten. Die Nitratmessungen in der Wiese und unterhalb ihrer Einmündung in den Rhein zeigen eine Verbesserung auf. Im Bodensee wird die Nitratkonzentration erheblich reduziert. Sobald Thur-, Töss- und Glattwasser dem Rhein zufliessen, steigen die Werte wieder an. Der absolut höchste Wert wurde nach dem Einfluss der Glatt gemessen. Um so erfreulicher ist es zu sehen, dass die Nitratkonzentration bis zur Vereinigung von Rhein und Aare erheblich zurückgeht und dass dieser Wert nach der Vereinigung nochmals abfällt. Zu erwähnen ist aber auch, dass der Rhein bei Basel kaum höhere Werte aufweist als im Raume Disentis.

Die Trendlinie des Rheins verläuft flacher als die der Zuflüsse. Zudem ist festzuhalten, dass die Nitratwerte bis 1993/94 deutlich zurückgegangen sind.

*Nitrit* (Abb. 1g/h, 5g/h)
Von der Quelle bis Basel lässt sich ein stetiger Anstieg der Nitritwerte beobachten. Der grosse Eintrag stammt wiederum von den Zuflüssen. In den Mittelwertdarstellungen lassen sich vier Peaks erkennen: zwei im Oberlauf und zwei im Unterlauf. Den ersten Anstieg finden wir nach Chur. Dass die Messung Felsberg höhere Werte angibt als die Messung nach Chur, dürfte wiederum auf die Emserwerke zurückzuführen sein.

Der zweite Peak ist nach dem Zufluss des Binnenkanals resp. der Ill erkennbar. Der Bodensee trägt zu einem Nitritabbau bei. Nach dem Seebecken steigen die Nitritwerte nach der Einmündung der Zuflüsse wieder an. Besonders auffallend sind die sehr hohen Werte der Glatt und der Birs, die denn auch die beiden Peaks im Unterlauf verursachen. 1993/94 weisen etliche Zuflüsse mehr Nitrit auf als in der Vergleichsperiode. Erfreulicherweise verläuft aber die Trendlinie tiefer.

*Ammonium* (Abb. 2a/b, 6a/b)
Wie aus Abb. 6a hervorgeht, ist der Ammoniumgehalt im Oberlauf etwas höher als im Unterlauf. Die Mittelwertdarstellung zeigt ein Ansteigen der Werte bereits kurz nach der Quelle. Der erste und auch höchste Peak ist nach Chur erkennbar, der zweite nach der Einmündung der Ill. Der Bodensee vermag den Ammoniumgehalt zu reduzieren. Erst nach Thur, Töss und Glatt tritt der dritte Peak auf. Die relativ hohen Werte in Ergolz und Birs bewirken zwar den vierten Peak, beeinflussen aber die Trendlinie nicht sehr stark. Diese verläuft für die Zuflüsse wie für den Rhein leicht fallend. Deutlich ist aber 1993/94 ein Ansteigen der Ammoniumbelastung bei allen Messstationen gegenüber 1989/90 festzustellen.

*Chlorid* (Abb. 2c/d, 6c/d)
Die Gesamtübersicht macht deutlich, dass die Zuflüsse den grössten Eintrag bringen: Rheinspitz, Töss und, als höchster Wert, Glatt. Dann folgt eine leichte Abnahme in Richtung Basel. Bei der Einmündung der Glatt weist der Messpunkt 39 im Vergleich zu 41 weniger Chlorid auf, woraus hervorgeht, dass der Zufluss das Rheinwasser zumindest kurzfristig verändern kann. Der Chloridgehalt nimmt aber bis zur Einmündung der Aare (Messpunkt 42) recht deutlich ab. Diese Regenerationskraft des Rheins ist auf längeren Stromabschnitten immer wieder feststellbar.

Es zeigt sich, dass der Chloridgehalt eine Art Zivilisationsindikator darstellt. Aus den grossen Ballungszentren wie beispielsweise längs der Glatt wird über die Waschmaschinen der Haushaltungen vermehrt Salz ins Abwasser abgegeben. Eine starke Belastung lässt sich deshalb im Sommer feststellen. Die meisten Messstationen zeigen 1993/94 eine deutliche Chloridzunahme. Besonders auffallend sind Plessur, Töss, Glatt, Sissle und Ergolz. Die Trendlinie verläuft 1993/94 zudem etwas steiler.

*Calcium* (Abb. 2e/f, 6e/f)
Die Mittelwertdarstellung zeigt, dass die erhöhte Fracht aus Glogn, Binnenkanal, Rheinspitz, Thur, Töss, Glatt, Ergolz und Birs stammt. Die Trendlinie des Calciums im Rheinwasser verläuft vom Tomasee nach Basel steigend, und zwar von 20 mg/l an der Quelle bis auf 80 mg/l

beim Verlassen der Schweiz. Fast alle Messwerte sind 1993/94 tiefer ausgefallen als 1989/90.

*Karbonathärte* (Abb. 2g/h, 6g/h)
Noch deutlicher als beim Calcium allein zeigt die Einzelwertdarstellung die dominierende Bedeutung der Zuflüsse Töss, Sissle, Birs, Glatt, Thur, Rheinspitz, Binnenkanal, Landquart und Glogn. Die Mittelwertdarstellung zeichnet sich durch einen treppenförmigen Aufbau aus. Die erste Stufe findet sich bei Disentis und Ilanz, die zweite beginnt bei Reichenau, die dritte im Bodensee und die vierte nach der Einmündung der Glatt. Durch die Wiese wird der Mittelwert des Rheins wieder etwas gesenkt.

Die hohen Karbonathärte-Werte sind weitgehend auf die natürliche Herkunft des Wassers zurückzuführen. Dies zeigt sich deutlich an den niederen Werten von Tomasee und Wiese, die als einzige im Silikatgebiet liegen. Die Trenddarstellung des Rheins wie auch die der Zuflüsse verläuft, der Fliessrichtung folgend, steil ansteigend. 1993/94 sind fast alle Messwerte zum Teil erheblich tiefer als 1989/90.

*Gesamthärte* (Abb. 3a/b, 7a/b)
In der Mittelwertdarstellung des Rheins lassen sich drei Peaks ausmachen: der erste nach dem Zufluss von Hinterrhein rsp. Plessur, der zweite nach Thur, Töss und Glatt, der dritte nach der Birs. Der niedere Wert der Wiese vermag den Mittelwert des Rheins nicht mehr zu beeinflussen. So verlässt das Rheinwasser die Schweiz mit einem recht hohen Gesamthärtewert. Die Trendlinie von 1993/94 verläuft tiefer und nimmt im Vergleich zu 1989/90 in Richtung Basel ab.

*$O_2$-Gehalt* (Abb. 3c/d, 7c/d)
In der Einzelwertdarstellung sticht die Sissle mit ihren 17 mg/l deutlich heraus. Der hohe Sauerstoffgehalt stammt von Algen, die das Bachbett, infolge Eutrophierung, vollständig überwuchert haben. Die Mittelwertdarstellung des Rheins zeigt für 1989/90 zwei Peaks, den ersten im Raume nach Ilanz, den zweiten im Bodensee. 1993/94 ist ein deutlicher Anstieg des Sauerstoffgehalts festzustellen. Hier sind es also nicht durchwegs die Zuflüsse, wie bei den bereits erwähnten Parametern, die den Sauerstoffgehalt positiv beeinflussen. Die $O_2$-Trendlinien des Rheins verlaufen fallend. Der erhöhte Sauerstoffgehalt ist vor allem im oberen Rheinabschnitt bis zum Bodensee festzustellen. Die Mittelwertdarstellung zeigt auch, dass immer dort, wo das Wasser durchwirbelt wird (Rüscheli), eine $O_2$-Anreicherung stattfindet. Leider ist das infolge der unseligen Flussregulierungen nur noch selten der Fall.

*$O_2$-Sättigung* (Abb. 3e/f, 7e/f)
In der Einzelwertdarstellung ragt die Sissle mit ihrem mehr als 160% Sättigungswert neben Bodensee und Vorderrhein vor Disentis heraus. Die Sissle vermag allerdings den Sauerstoffgehalt des Rheins nicht zu verbessern. Während der hohe $O_2$-Wert im Oberlauf des Rheins wohl durch physikalische Anreicherung zustande kommt, dürfte im Bodensee und in der Sissle die biologische Produktion überwiegen.

Ganz allgemein sind es nicht die Zuflüsse, die einen hohen Sättigungsgrad aufweisen, sondern der Rheinlauf selbst. Die Mittelwertdarstellung zeigt für 1989/90 zwei Peaks, den einen im Raume Ilanz, den anderen beim Bodensee. Im Oberlauf des Rheins ist 1993/94 ein deutlicher Anstieg des Sauerstoffgehalts erkennbar. Die Trendlinie des Rheinlaufs verläuft 1993/94 steiler fallend als 1989/90, diejenigen der Zuflüsse haben sich über den ganzen Untersuchungsabschnitt hinweg wenig verändert.

*BSB5* (Abb. 3g/h, 7g/h)
Hier sind es wieder die Zuflüsse, die mit hohen Zehrungswerten auffallen. In der Glatt wurde der höchste Wert gemessen, gefolgt von Bodensee und Binnenkanal.

Die Mittelwertdarstellung 1989/90 zeigt einen ersten Anstieg im Raume Reichenau, einen zweiten nach Bad Ragaz, einen dritten im Bodensee und einen vierten nach der Einmündung der Glatt. 1993/94 fällt auf, dass vor allem die Region nach dem Bodensee höhere Werte aufweist. Dass der Rhein 1889/90 nach Sisseln wieder dieselben Werte zeigt wie vor der Einmündung in den Bodensee, lässt sich mit der Regenerierungsfähigkeit auf der doch langen Strecke von Rheinsfelden bis Sisseln erklären. 1993/94 sind diese Werte bedeutend höher. Die Trendlinien des Rheins und der Zuflüsse verlaufen steigend. Im Raume Basel klaffen sie aber weit auseinan-

der, was auf eine höhere Belastung während der letzten Jahre hinweist.

*CSB* (Abb. 4a/b, 8a/b)
Bei der Einzelwertdarstellung fällt die Sissle einmal mehr negativ auf. Die Werte von 1989/90 haben sich 1993/94 verdoppelt. Auch Bodensee und Stein am Rhein schneiden schlechter ab. Im Raume Basel sind die CSB-Werte zwar immer noch gering, sie weisen aber in der zweiten Messperiode höhere Werte auf. Die Trendlinien verlaufen bei beiden Erhebungen fast parallel. 1993/94 wurde dieser Test nicht mehr an allen Stationen durchgeführt.

*Wasserstoffionen-Konzentration* (Abb. 4c/d, 8c/d)
Betrachtet man die Mittelwertdarstellung, so fällt der grosse Peak in der Mitte der Grafik auf. Die Einzelwertdarstellung zeigt, dass der pH-Wert von der Quelle bis zum Bodensee kontinuierlich ansteigt. Nur der Messpunkt Rheinspitz macht eine kleine Ausnahme. Bis Basel nimmt der pH-Wert allmählich wieder ab. Während am Oberlauf 1889/90 der pH-Wert höher ist als 1993/94, verhält es sich ab Bodensee genau umgekehrt. Die Trendlinie verläuft 1989/90 leicht, 1993/94 stark steigend. Sie beginnt mit 8,1 resp. 7,9 und endet bei etwa 8,2 resp. 8,4. Es wäre zu erwarten gewesen, dass sie unter dem Einfluss des sauren Regens und anderer Faktoren fallend sein würde. Offenbar genügen aber die sauren Einträge vom Bodensee bis Basel nicht, um die basische Trendlinie umzukehren.

*Leitfähigkeit* (Abb. 4e/f. 8e/f)
Die hohen Werte der Leitfähigkeitsmessungen sind wiederum auf die Fracht der Zuflüsse zurückzuführen. Hervorstechende Einzelwerte finden sich in Glogn, Plessur, Binnenkanal, Rheinspitz, Thur, Töss, Glatt, Sissle, Ergolz und Birs. Den absolut höchsten Wert weist die Sissle mit 600 Mikrosiemens auf. Die Mittelwertdarstellung zeigt zwei Peaks: den ersten unterhalb der Emserwerke, den zweiten nach der Glatt. Die geringen Wassermengen der Sissle und der Ergolz vermögen den Rhein nur schwach zu beeinträchtigen. Die Auswirkungen der Birs sind hingegen unverkennbar. Die Trendlinien der beiden Messperioden verlaufen in etwa gleich steigend.

*Temperatur* (Abb. 4g/h, 8g/h)
Die Einzelwertdarstellung zeigt nach anfänglich sehr niederen Werten bei der Quelle einen Anstieg im Bodensee. Es muss berücksichtigt werden, dass infolge der totalen Vereisung im Winter keine Messungen vorgenommen werden konnten und die dargestellten Mittelwerte folglich zu hoch sind. Realistischer sind die Werte ab Ilanz. Hier konnten neben vereisten Stellen Messungen vorgenommen werden. Der erste «echte» Temperaturanstieg ist beim Binnenkanal festzustellen.

Die Mittelwertdarstellung zeigt uns ab Bodensee eine mehr oder weniger gleichbleibende Temperatur. Die Trendlinie verläuft steigend von 7°C bis etwa 15°C. 1993/94 wurden durchschnittlich etwa um einen Grad höhere Werte gemessen.

## 3.2 Vergleich der chemischen Untersuchungen

Die Trendlinien von Sulfat, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Chlorid verlaufen alle steigend. Phosphat und Nitrit zeigen 1993/94 niedrigere Werte als 1989/90. Beim Phosphat sind die Werte 1993/94 im Unterlauf besser, im Oberlauf schlechter geworden. Beim Nitrat konnten 1993/94 durchwegs niedrigere Werte gemessen werden, während die Chloridkonzentration deutlich zugenommen hat. Das gilt auch für Ammonium. Während die Trendlinie 1989/90 eine abnehmende Tendenz zeigte, verläuft sie bei der zweiten Messung gleichmässig über die ganze Messstrecke hinweg.

Karbonathärte, Calcium und Gesamthärte verzeichnen eine steigende, parallel verlaufende Trendlinie. Die Werte für Calcium und die Gesamthärte sind 1993/94 tiefer, bei der Karbonathärte höher.

Bei der Leitfähigkeit verlaufen die beiden Trendlinien gleich. Von der Quelle bis nach Basel ist ein steiler Anstieg erkennbar.

Die Werte für Sauerstoffgehalt und -sättigung sind zwar 1993/94 höher, aber sie nehmen in Richtung Basel deutlich ab.

Bei CSB und BSB5 ist die Verschlechterung zwischen den beiden Messperioden unverkenn-

bar. Während die Trendlinie für den pH-Wert 1989/90 gleichmässig verläuft, steigt sie 1993/94 bis auf 8,4 an.

Die beiden Temperatur-Trendlinien verlaufen parallel. Insgesamt ist freilich eine Erhöhung um einen Grad Celsius festzustellen.

### 3.3 Die Reihenfolge der Zuflüsse aufgrund der chemischen Belastung

Anhand von acht verschiedenen biologisch wichtigen chemischen Parametern habe ich eine Wertung der untersuchten Flüsse vorgenommen. Berücksichtigt wurden: Ammonium, Phosphat, Nitrat, Nitrit, Chlorid, Sulfat, BSB5 und Leitfähigkeit. Für den Reinheitsgrad waren die absoluten Mengen in Milligramm entscheidend.

Die Belastung nimmt in dieser Reihenfolge zu:

| | 1989/90 | 1993/94 |
|---|---|---|
| 1 | Medelserrhein | Medelserrhein |
| 2 | Tamina | Tamina |
| 3 | Glogn | Hinterrhein |
| 4 | Hinterrhein | Landquart |
| 5 | Landquart | Glogn |
| 6 | Wiese | Frutz |
| 7 | Bregenzer Ach | Bregenzer Ach |
| 8 | Aare | Plessur |
| 9 | Plessur | Ill |
| 10 | Ill | Binnenkanal |
| 11 | Thur | Thur |
| 12 | Binnenkanal | Wiese |
| 13 | Frutz | Aare |
| 14 | Alter Rhein | Alter Rhein |
| 15 | Ergolz | Töss |
| 16 | Töss | Birs |
| 17 | Birs | Glatt |
| 18 | Sissle | Sissle |
| 19 | Glatt | Ergolz |

### 3.4 Interpretation der chemischen Daten von Rhein und Zuflüssen

Die Bundesverordnung über Abwassereinleitungen vom 8. Dezember 1975 erlaubt die folgenden Höchstwerte:

| | Parameter | Qualitätsziel |
|---|---|---|
| 1 | Temperatur | natürliche Verhältnisse |
| 9 | pH-Wert | natürlicher Wert darf nicht nachteilig verändert werden |
| 10 | Sauerstoff | Nicht unter 6 mg $O_2$/l |
| 30 | Ammoniak/ Ammonium | 0,5 mg N/l (N als Summe des Stickstoffs in $NH_3$ und $NH_4^+$) |
| 32 | Chloride | 100 mg Cl/l |
| 35 | Nitrate | 25 mg $NO_3^-$/l |
| 36 | Nitrite | Bei Einleitung in ein Gewässer 1 mg $NO_2^-$/l |
| 37 | Phosphor | Bei Einleitung nicht mehr als 0,8 mg P/l innerhalb von 24 Stunden |
| 38 | Sulfat | 100 mg $SO_4^{2-}$/l |
| 43 | CSB | keine Werte |
| 45 | BSB5 | 4 mg $O_2$/l |

*Vergleich der gemessenen Daten mit der Bundesverordnung*

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Temperatur: | Grenzwert eingehalten. |
| 9 | pH-Wert: | Grenzwert eingehalten. |
| 10 | Sauerstoff: | Der Sauerstoffgehalt liegt zwar bei keiner Probe unter 6 mg/l, doch ist im Alten Rhein (Rheinspitz) die Sauerstoffsättigung 1889/90 mit nur 87,25% und 1993/94 mit 80% zu gering. Dasselbe gilt 1993/94 für den Rhein bei Büchel (94%) und den Binnenkanal (92%). Landquart, Rhein nach Landquart, Rhein bei und nach Bad Ragaz, Glatt, Ergolz und Rhein nach Birsfelden sind noch knapp genügend. |
| 30 | Ammonium: | Höher als erlaubt sind 1989/90 die Werte im Vorderrhein bei Reichenau, Plessur, im Rhein bei Untervaz, Landquart, im Rhein nach Landquart, Binnenkanal, Ill, im Rhein bei Rüthi, Frutz, Rheinspitz, Glatt und Birs, 1993/94 bei den Entnahmestellen 9–29, 45, 49 und 51–53. |
| 32 | Chloride: | Grenzwert eingehalten. |
| 35 | Nitrat: | Grenzwert eingehalten (Glatt 1989/90 mit 19,2 und 1993/94 mit 19,33 mg/l, Sissle mit 16,6 und 20 mg/l). |

| | | |
|---|---|---|
| 36 | Nitrit: | Grenzwert eingehalten (Glatt 1989/90 mit 0,40 mg/l, Sissle 0,46 mg/l). |
| 37 | Phosphat: | Grenzwert eingehalten (Glatt 1989/90 mit 0,40 mg/l, Sissle mit 0,46 mg/l). |
| 38 | Sulfat: | Glogn 1989/90 101,3 mg/l, Sissle 1989/90 198,4 mg/l, 1993/94 227,5 mg/l. |
| 45 | BSB5: | Grenzwert eingehalten (Glatt 1989/90 3,17 mg/l). |

Es ist zu bedenken, dass die Zuflüsse des Rheins keine Abwassereinleitungen sind.

## 4 Diskussion

THOMAS hat 1938-1941 eine Untersuchung im Rhein von Schaffhausen bis Kaiserstuhl durchgeführt. Für einen Vergleich eignen sich bei meinen Resultaten am ehesten die Messstellen 33, 35, 36 und 38, bei Thomas die Messstelle 19 (Ellikon).

| | Thomas 1938/39 | Zimmerli 1989/90 | 1993/94 |
|---|---|---|---|
| Mittlere Temperatur | 11,2°C | 13,0°C | 14,63°C |
| Sauerstoffgehalt | 12,66 mg/l | 11,4 mg/l | 11,03 mg/l |
| Sauerstoffsättigung | 119,4% | 108,25% | 116% |
| $O_2$-Zehrung (48 Std.) | 1 mg/l | | |
| $O_2$-Zehrung (5 Tage) | | 1,83 mg/l | 2,73 mg/l |
| Nitrat | 3,24 mg/l | 11,2 mg/l | 8,33 mg/l |

Thomas stellt fest, dass der $O_2$-Gehalt oberhalb des Rheinfalls schon sehr hoch ist und – im Gegensatz zu DEMMERLE – dass er nach dem Rheinfall nicht ansteigt. Der Rhein leidet hier nie unter Sauerstoffmangel.

Bei der Sauerstoffzehrung (auch wenn nur ein BSB2 durchgeführt wurde) konnte Thomas einen Selbstreinigungseffekt feststellen, also eine Abnahme der Zehrung. Die höchsten Zehrungswerte werden im April gemessen. Der Höchstwert in Rheinau wird mit 4,7 mg/l angegeben, das Mittel liegt aber bei 1 mg/l.

Thomas schreibt: «Die Untersuchungen auf Nitrite, die ersten Umwandlungsprodukte des Ammoniaks bei der Selbstreinigung der Gewässer, verlief stets ergebnislos, mit anderen Worten, das Oxidationspotential des Rheins ist so gross, dass die Nitrite im Entstehungszustand zu Nitraten weiter oxidiert werden.» Die Ammoniakmessungen ergaben Werte unter 0,1 mg/l. Die niedrigsten Nitratwerte findet man in den Monaten August bis Dezember, weil das Phytoplankton im Sommer Nitrat aufbraucht. Meine Resultate bei den Messstellen Ellikon und Stein a/Rhein zeigen, dass das noch heute zutrifft (vgl. auch Demmerle). Der Chloridgehalt ist hingegen von 2,54 mg/l auf 7,2 mg/l (1989/90) und 7,0 mg/l (1993/94) angestiegen. Beim Nitrat stellen wir im Vergleich zu den Messungen von Thomas eine Erhöhung von 3,55 mg/l auf 11,2 mg/l (1989/90) und 8,33 mg (1993/94) fest.

MÄRKI (1965) stellt eine starke Belastung des Rheinwassers durch ungenügend gereinigte Abwässer der Gemeinden und der Industrie im Raume Ems, Chur und Landquart fest. Das wird durch meine Messungen bestätigt. Es sind vor allem die Messstellen 13 und 14, also Felsberg, Plessur und Untervaz, die im Vergleich zu den Messstellen oberhalb und unterhalb extreme Unterschiede aufzeigen.

Der hohe BSB5-Wert an Stelle 20 (Rhein nach Bad Ragaz) ist 1989/90 noch immer feststellbar, hat aber bis 1993/94 abgenommen. Auf der ganzen Strecke Tamina-Bodensee folgen Selbstreinigungsstrecken und Belastungszonen regelmässig aufeinander. Seit der Untersuchung von Märki (1965) ist das ganze Gebiet auf Schweizer Boden an Kläranlagen angeschlossen. Die Belastung konnte zwar vergleichsweise gesenkt werden, doch infolge der stark angewachsenen Einwohnerzahl ist die Wasserqualität nicht besser geworden. «Die guten Fischgründe wie vor 30 Jahren», die Märki sich wünschte, sind bisher Wunsch geblieben.

Nach Demmerle (1966) nimmt die Konzentration der Schadstoffe auf der Fliessstrecke durch Eutrophierung infolge Abwassereinleitung zu. Meine Trendlinien bestätigen diese Aussage. Es muss aber festgehalten werden, dass im gesamten Untersuchungsgebiet immer wieder eine nicht zu unterschätzende Selbstreinigung stattfindet. Es sind vor allem die Gebiete, wo das

Wasser freien Lauf hat und wo die Ufer noch mehr oder weniger natürlich gestaltet sind. Interessant ist aber auch, dass das Wasser im Dreiländereck, also dort, wo es die Schweiz verlässt, nicht die grösste Belastung aufweist.

Die schmutzigsten Stellen wurden anhand von acht Parametern bestimmt: Ammonium, Chlorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Sulfat, Leitfähigkeit, BSB5. Dabei ergibt sich mit abnehmender Verschmutzung folgende Reihenfolge für die acht am stärksten belasteten Messstellen:

1989/90
1 Nr. 41 Rhein nach Rheinsfelden
2 Nr. 50 Rhein bei Augst
3 Nr. 53 Rhein nach Birsfelden
4 Nr. 47 Rhein nach Sisseln
5 Nr. 38 Rhein nach Tössegg
6 Nr. 35 Rhein Ziegelhütte
7 Nr. 56 Rhein Dreiländereck
8 Nr. 15 Rhein Untervaz

1993/94
1 Nr. 53 Rhein nach Birsfelden
2 Nr. 50 Rhein bei Augst
3 Nr. 41 Rhein nach Rheinsfelden
4 Nr. 47 Rhein nach Sisseln
5 Nr. 56 Rhein Dreiländereck
6 Nr. 38 Rhein nach Tössegg
7 Nr. 35 Rhein Ziegelhütte
8 Nr. 44 Rhein Full

Abb. 9, Gesamtbelastung Rhein, zeigt, dass die Trendlinien von 1989/90 und 1993/94 kongruent verlaufen. Die hohen Werte der Entnahmestellen 12, 15 und 41 haben abgenommen. Dafür ist eine Zunahme zwischen den Entnahmestellen 20 bis 30 und 44 bis 56 festzustellen.

Abb. 10, Gesamtbelastung der Zuflüsse, zeigt eine Verlagerung an. Im Oberlauf ist eine deutliche Abnahme zu erkennen, im Unterlauf hingegen eine wesentlich grössere Belastung. Daraus geht hervor, dass das Wasser Basel mit derselben Belastung wie 1989/90 verlässt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich das Rheinwasser im Vergleich zu 1904 in einem katastrophalen Zustand befindet. Zu den üblichen bekannten Schadstoffen kommt eine riesige, kaum erfassbare Menge von Schwermetallen und organischen Verbindungen.

Die Sauerstoffanreicherung durch den Rheinfall, wie Demmerle sie beschreibt, kann bei der Messstelle 33 (Ellikon) nicht mehr nachgewiesen werden. Vermutlich ist der zusätzliche Sauerstoff hier bereits aufgebraucht. Es zeigt sich aber auch, dass der Rheinlauf an sich nie unter Sauerstoffmangel leidet.

JUON meint, ohne dies zu begründen, dass die chemischen Parameter nur geringfügig von der Wassermenge abhängig sind. Die Belastung mit Schadstoffen nimmt in Richtung Basel infolge der von den Zuflüssen mitgeführten Menge ganz allgemein zu. Meine Resultate (immerhin fünfzehn Jahre später), was Nitrat, Nitrit und Phosphat bei Stein a/Rhein betrifft, sind mit den seinen fast identisch. Juon sieht einen Zusammenhang zwischen der Nettoproduktion von Biomasse und der Chlorid-Zunahme, ohne diesen erklären zu können.

1979 hat Juon festgestellt, dass die Thur den Nitratgehalt des Rheinwassers um 26% zu erhöhen vermag. Meine Messungen haben ergeben, dass die Thur allein 1989/90 einen um 17% höheren Nitratanteil aufweist, dass aber die Konzentration im Rhein unterhalb der Einmündung um 21% höher ist. 1993/94 ist ein deutlicher Rückgang gefunden worden. Die Tendenz bleibt zwar erhalten, aber der erhöhte Wert ist auf eine andere Nitratquelle zurückzuführen.

Der schmutzigste Fluss ist 1989/90, wie schon zehn Jahre zuvor, noch immer die Glatt. 1989/90 weist sie eine doppelt so hohe Phosphatkonzentration wie die Töss auf. 1993/94 ist die Ergolz zum schmutzigsten Fluss geworden (die Sissle wurde von Juon nicht berücksichtigt). Beim Nitrat haben sich die Verhältnisse geändert, denn die Glatt ist in dieser Hinsicht erheblich stärker belastet.

Interessant, weil vergleichbar, ist die Arbeit von SCHMID (1983/84). Bei der Messstelle Kaiseraugst haben meine Untersuchungen für BSB5, Sauerstoffsättigung und Nitrit bessere Resultate ergeben, alle anderen Messwerte sind jetzt schlechter. Ein weiterer Vergleich ist bei der Sissle möglich. Hier ist nur BSB5 besser geworden, alle anderen Werte sind zum Teil erheblich schlechter. Nitrit sticht besonders hervor, hat doch dieser Wert bis 1989/90 von 0,058 auf 0,15 mg/l zugenommen, bis 1993/94 sogar auf 0,3 mg/l. Seit 1983 wurde keine wassertechnische

Verbesserung mehr vorgenommen, etwa eine verstärkte Klärwirkung oder eine neue Ufergestaltung, durch welche die Selbstreinigung gefördert würde. Im Gegenteil, mehr Menschen und mehr Betriebe entlassen heute ihre Abwässer in dieselben Anlagen. Der Zustand, wie er vor der Inbetriebnahme der ersten Kläranlagen bestanden hatte, wird demnächst wieder erreicht.

In Nummer 20 der Schriftenreihe des Bundesamtes für Umweltschutz wird festgehalten, dass die Wasser- und Abwasserverhältnisse in der Schweiz zwar gut, die Anteile an organischem Kohlenstoff und an Schwermetallen aber zu hoch seien. Die Messresultate für Phosphat, Ammonium und BSB5 sind mit den meinigen identisch. In den abschliessenden Bemerkungen empfiehlt das Bundesamt, der Flusslauf sollte möglichst natürlich gestaltet werden und die Schadstoffe seien zu beseitigen, bevor sie in Wasser geleitet würden.

Nach meinen Berechnungen stammen bei Hochwasserstand in Basel 2,2% des Rheinwassers aus Kläranlagen. 2,2% scheint wenig zu sein, entspricht aber immerhin 1 980 000 000 Litern geklärtem Abwasser. Bei Niedrigwasserstand sind es 4%. Ob in diesem Fall noch von einem guten Wasser-Abwasser-Verhältnis gesprochen werden kann, darf immerhin gefragt werden. Andererseits müsste man sich vorstellen, wie die Wirklichkeit aussähe, wenn keine Kläranlagen vorhanden wären und praktisch die Fäkalien von sechs Millionen Menschen im Rhein meerwärts treiben würden. Kläranlagen sind eben keine Trinkwasseraufbereitungsanlagen. Fragen darf man sich auch, was Amtsstellen des Bundes unter einem natürlichen Flusslauf verstehen. Alle Zuflüsse und weitaus der grösste Teil des Rheinbettes sind nämlich kanalisiert.

Niemand weiss, wie sich diese Substanzen auf das Leben auswirken. Man stellt bloss fest, dass plötzlich an den Mittelmeerküsten tote Delphine angeschwemmt werden. Gleichzeitig halten internationale Gremien nach ausgiebiger, aber wenig ergiebiger Diskussion fest, die Schadstoffmenge sollte bis zur Jahrtausendwende auf dem gegenwärtigen Niveau stabilisiert werden. Der Untergang ist damit vorprogrammiert. Es sind nicht einmalige Katastrophen wie die von Schweizerhalle, die unsere Gewässer töten. Wenn tote Fische mit dem weissen Bauch nach oben auf der Wasseroberfläche dahintreiben, schreit die Welt auf. Sie tut aber nichts gegen den langsamen, versteckten und schleichenden, von den Politikern aller Staaten sanktionierten Schadstoffeintrag in die Meere, gegen die dramatisch wachsenden Deponien auf dem Meeresboden, die das Leben im Wasser ganz sachte, fast unmerklich, vernichten.

Die Vertreibung aus dem Paradies lässt sich nicht mehr rückgängig machen. Wie weit aber unsere Zeit zum Schaden aller heruntergekommen ist, macht uns die Kölner Sage vom heiligen Kunibert bewusst. Als dieser Bischof, so berichtet die Legende, einmal einen Besessenen geheilt hatte, verlangte der ausgetriebene böse Geist, in den Rhein fahren zu dürfen. Kunibert aber rief aus: «Was, du unsauberer und schmutziger Gast, du willst ein solch heiliges Wasser besudeln, das der Weltschöpfer gesegnet hat von seinem Urquell bis dahin, wo es der Ozean aufnimmt?! So viele Wunder durchleuchten es ja, so viele Heilige haben es verehrungswürdig gemacht, und so viele Naturkräfte adelten es eh und je! Ziehe aus in den Abgrund des Meeres, unter die Ungeheuer der Nacht!» Von solcher Art war Bischof Kunibert. Er konnte noch nichts von unserem Zeitalter ahnen, das viele Jahrhunderte später seinem geliebten Strom so übel mitspielen sollte. Mögen sich bald genügend Jünger St. Kuniberts finden, um die heute das Wasser besudelnden und recht realen unsauberen und schmutzigen Gäste überall daran zu hindern, in den Rhein zu fahren! Dann wird der Strom auf seinem ganzen Lauf wieder ein Quell der Freude und Erholung sein können (aus Schmassmann, 1957).

## 5 Literaturverzeichnis

Bundesamt für Umweltschutz (1983): Abwasserreinigung und Gewässerzustand. Schriftenreihe Umweltschutz, Heft 20.

Bundesamt für Umweltschutz (1988): Schutz dem Rhein.

Verordnung über Abwassereinleitungen des Bundesrates (1989).

Capel, P.D. (1988): Accidental input of pesticides into the Rhine River. Environ. Sci. Technol., Vol. 22, No. 9, S. 992-996.

Demmerle, S.D. (1966): Über die Verschmutzung des Rheines von Schaffhausen bis Kaiserstuhl. Vierteljahrschrift der Naturf. Ges. Zürich, Bd. 111, Heft 2, S. 155-224.

EAWAG, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz: Provisorische Zusammenstellung der Ergebnisse chemischer Analysen 1988 und 1989.

Eidg. Departement des Innern (1982): Empfehlungen für die Untersuchung der schweizerischen Oberflächengewässer.

Eidg. Departement des Innern (1974): Richtlinien für die Untersuchung von Abwasser.

Hütter, L.H. (1988): Wasser und Wasseruntersuchung (Aarau).

Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 1986: Eidg. Dep. des Innern; Landeshydrologie und -geologie (Bern).

Internationale Kommission zum Schutze des Rheines gegen Verunreinigungen (1985, Koblenz).

Juon, H. (1980): Experimentelle Prüfung der pflanzlichen Produktionskraft des Rheinwassers (Untersee bis Basel), Diplomarbeit unter Prof. Thomas, Hydrologisch-limnologische Station Kilchberg der Universität Zürich.

Kummert, R. und W. Stumm (1989): Gewässer als Ökosysteme (Zürich).

Lehrerdokumentation Wasser (1981): Schweiz. Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene (Zürich).

Malle K.G. (1978): Wie schmutzig ist der Rhein? In Chemie in unserer Zeit, 12. Jahrgang, Nr. 4.

Märki, E (1967): Die Verunreinigung des Rheins von seinen Quellflüssen bis zum Bodensee. Separatdruck aus «Wasser und Energiewirtschaft» (Baden), Nr. 12, S. 1–43.

Niemeyer-Lüllwitz, A. und Zucchi, H. (1985): Fliessgewässerkunde (Aarau).

NZZ-Bericht: Erfolge bei der Sanierung des Rheins. Wochenendausgabe, 17./18. März 1990.

Rheinigung (1984): Eine kleine Fallstudie über die Kläranlage Basel. Informationsübersicht 1989.

Schmassmann, H. (1957): Bericht über die chemischen Untersuchungen des Rheins vom 13./14. März 1956. Sonderdruck aus «Wasser und Energiewirtschaft» (Zürich), Nr. 11.

Schmid, M. (1985): Bericht zum Zustand der aargauischen Fliessgewässer. Mitt. Aarg. Naturf. Ges., Bd. XXXII, S. 259-280.

Sigg, L. und W. Stumm (1989): Aquatische Chemie (Zürich).

Waser, E., G. Blöchliger und E.A. Thomas (1943): Untersuchungen am Rhein von Schaffhausen bis Kaiserstuhl. Schw. Z. für Hydrologie, IX, Heft 3-4.

Zimmerli, W. (1991): Die Algenflora des Rheines von der Quelle (Tomasee) bis Basel 1989-1990 (1. Teil), Bauhinia, Bd. 9/4, S. 291-324.

Zimmerli, W. (1992): Die Algenflora des Rheines (2. Teil): Die Saprobier von der Quelle (Tomasee) bis Basel 1989-1990, Bauhinia, Bd. 10, S. 165-181.

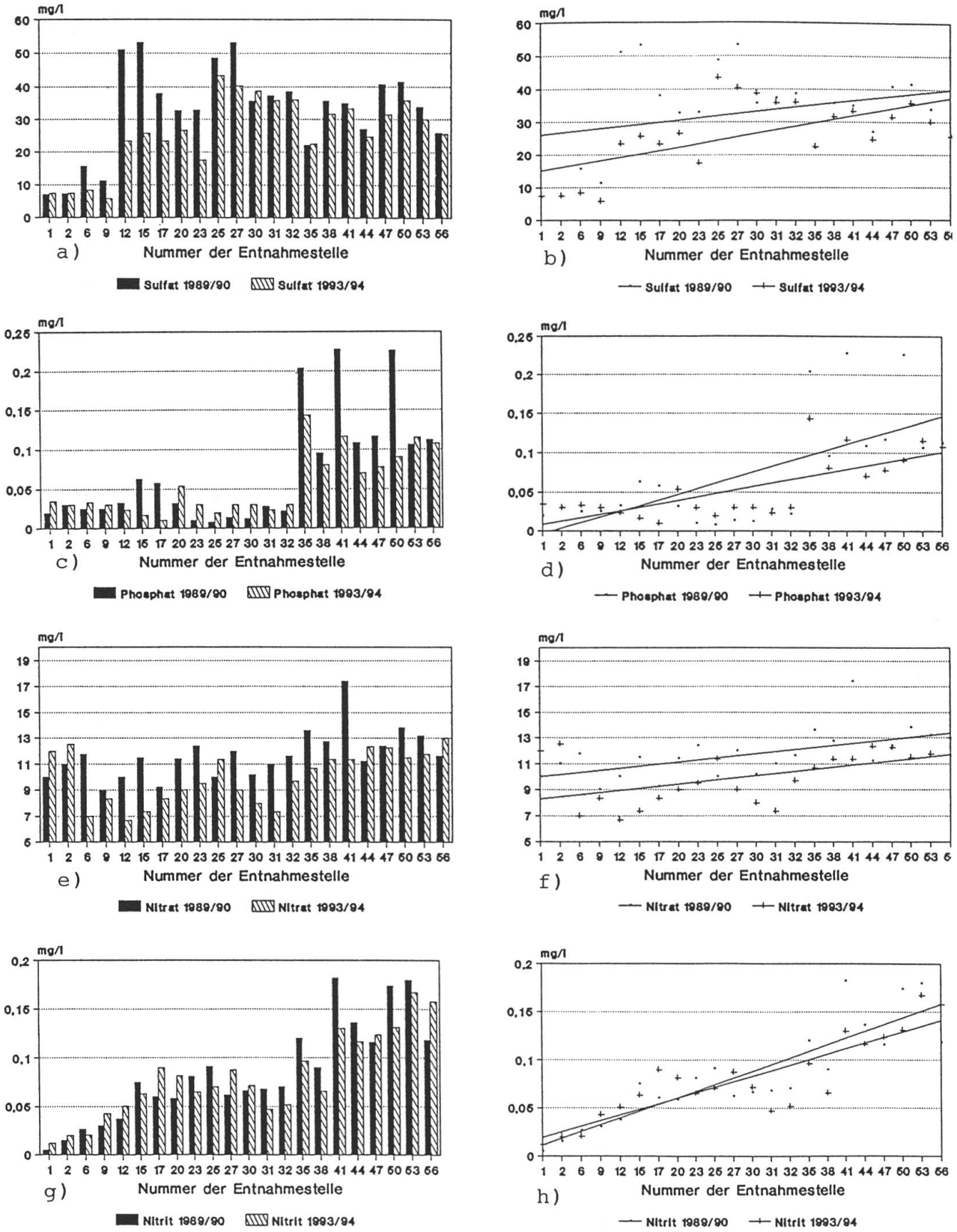

mg/l
a)
Nummer der Entnahmestelle
Sulfat 1989/90
Sulfat 1993/94
b)
Nummer der Entnahmestelle
Sulfat 1989/90
Sulfat 1993/94
c)
Nummer der Entnahmestelle
Phosphat 1989/90
Phosphat 1993/94
d)
Nummer der Entnahmestelle
Phosphat 1989/90
Phosphat 1993/94
e)
Nummer der Entnahmestelle
Nitrat 1989/90
Nitrat 1993/94
f)
Nummer der Entnahmestelle
Nitrat 1989/90
Nitrat 1993/94
g)
Nummer der Entnahmestelle
Nitrit 1989/90
Nitrit 1993/94
h)
Nummer der Entnahmestelle
Nitrit 1989/90
Nitrit 1993/94

**Abb. 1**. Rhein.

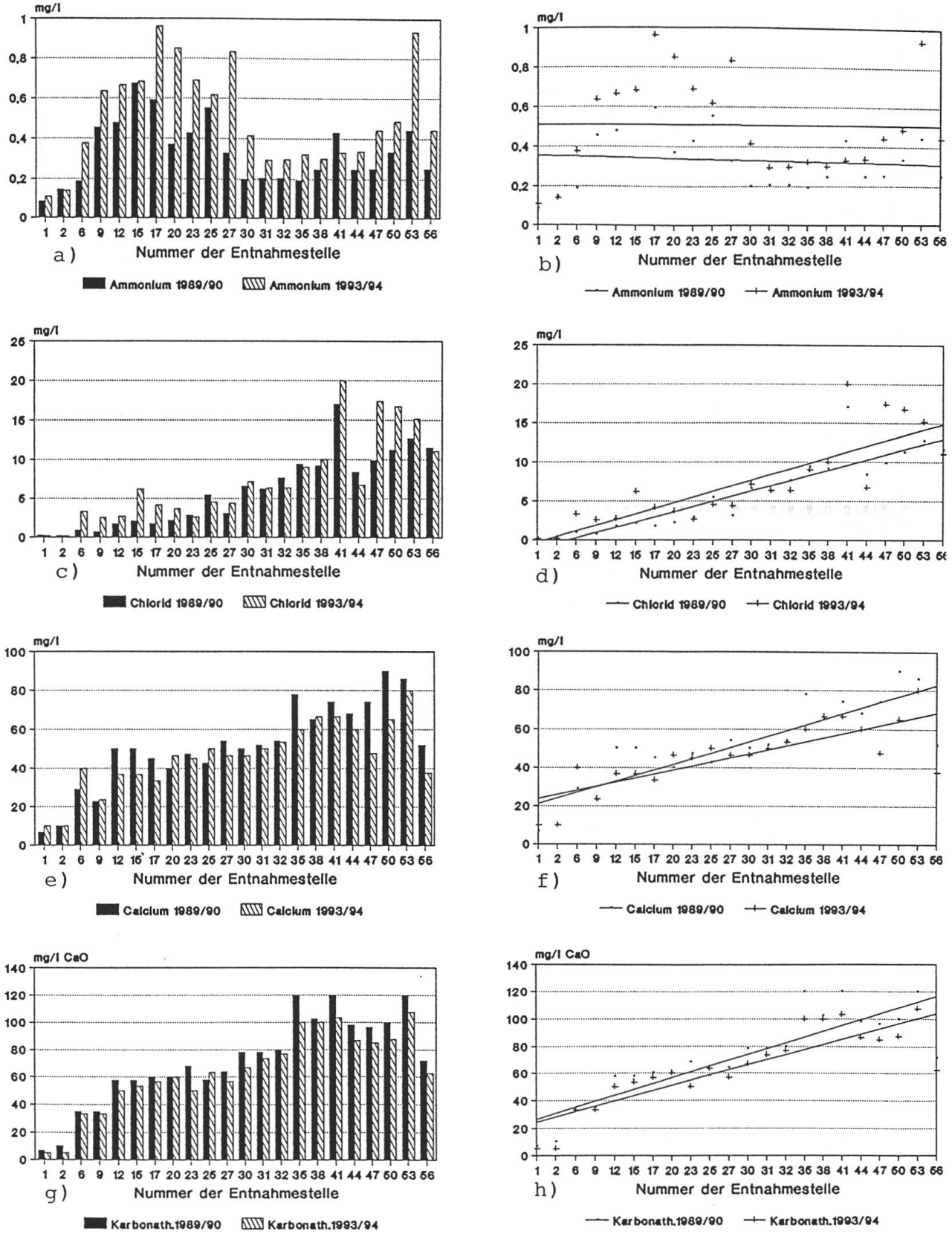

mg/l
a)
Nummer der Entnahmestelle
Ammonium 1989/90
Ammonium 1993/94
b)
Nummer der Entnahmestelle
Ammonium 1989/90
Ammonium 1993/94
c)
Nummer der Entnahmestelle
Chlorid 1989/90
Chlorid 1993/94
d)
Nummer der Entnahmestelle
Chlorid 1989/90
Chlorid 1993/94
e)
Nummer der Entnahmestelle
Calcium 1989/90
Calcium 1993/94
f)
Nummer der Entnahmestelle
Calcium 1989/90
Calcium 1993/94
mg/l CaO
g)
Nummer der Entnahmestelle
Karbonath.1989/90
Karbonath.1993/94
mg/l CaO
h)
Nummer der Entnahmestelle
Karbonath.1989/90
Karbonath.1993/94

**Abb. 2**. Rhein.

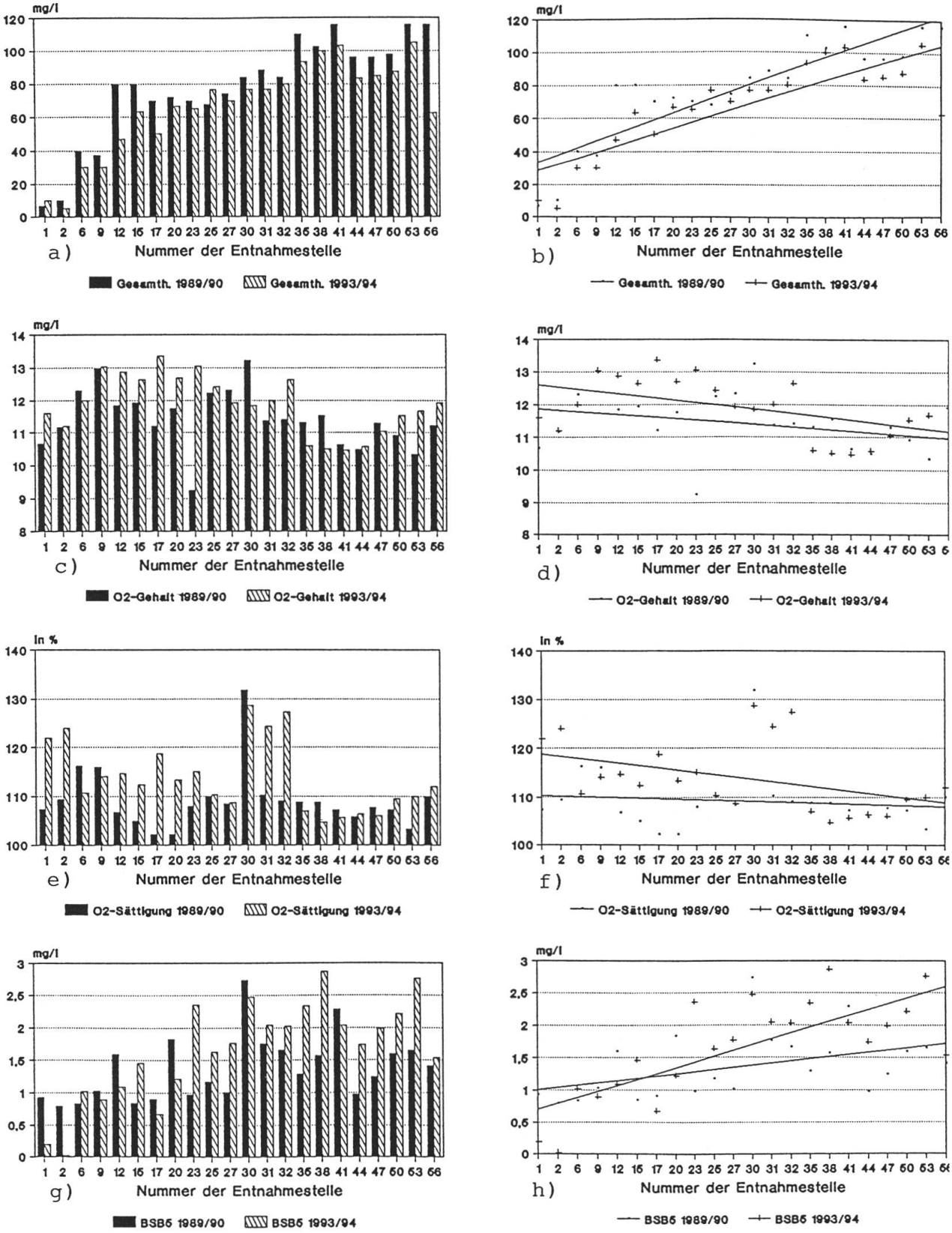

mg/l
a)
Nummer der Entnahmestelle
Gesamth. 1989/90
Gesamth. 1993/94
b)
Nummer der Entnahmestelle
Gesamth. 1989/90
Gesamth. 1993/94
c)
Nummer der Entnahmestelle
O2-Gehalt 1989/90
O2-Gehalt 1993/94
d)
Nummer der Entnahmestelle
O2-Gehalt 1989/90
O2-Gehalt 1993/94
In %
e)
Nummer der Entnahmestelle
O2-Sättigung 1989/90
O2-Sättigung 1993/94
f)
Nummer der Entnahmestelle
O2-Sättigung 1989/90
O2-Sättigung 1993/94
g)
Nummer der Entnahmestelle
BSB5 1989/90
BSB5 1993/94
h)
Nummer der Entnahmestelle
BSB5 1989/90
BSB5 1993/94

**Abb. 3**. Rhein.

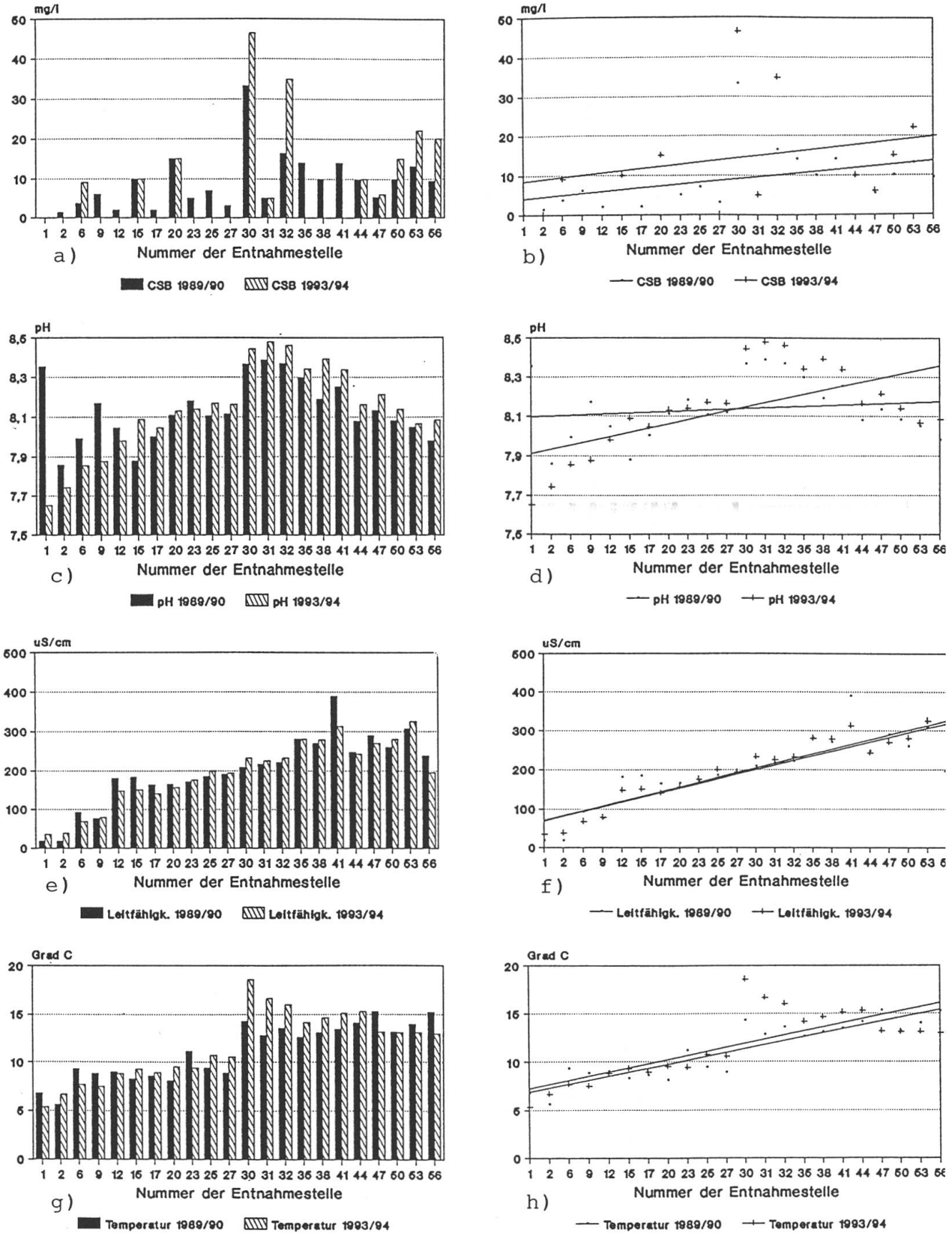

mg/l
a)
Nummer der Entnahmestelle
CSB 1989/90
CSB 1993/94
b)
CSB 1989/90
CSB 1993/94
pH
c)
pH 1989/90
pH 1993/94
d)
pH 1989/90
pH 1993/94
uS/cm
e)
Leitfähigk. 1989/90
Leitfähigk. 1993/94
f)
Leitfähigk. 1989/90
Leitfähigk. 1993/94
Grad C
g)
Temperatur 1989/90
Temperatur 1993/94
h)
Temperatur 1989/90
Temperatur 1993/94

**Abb. 4**. Rhein.

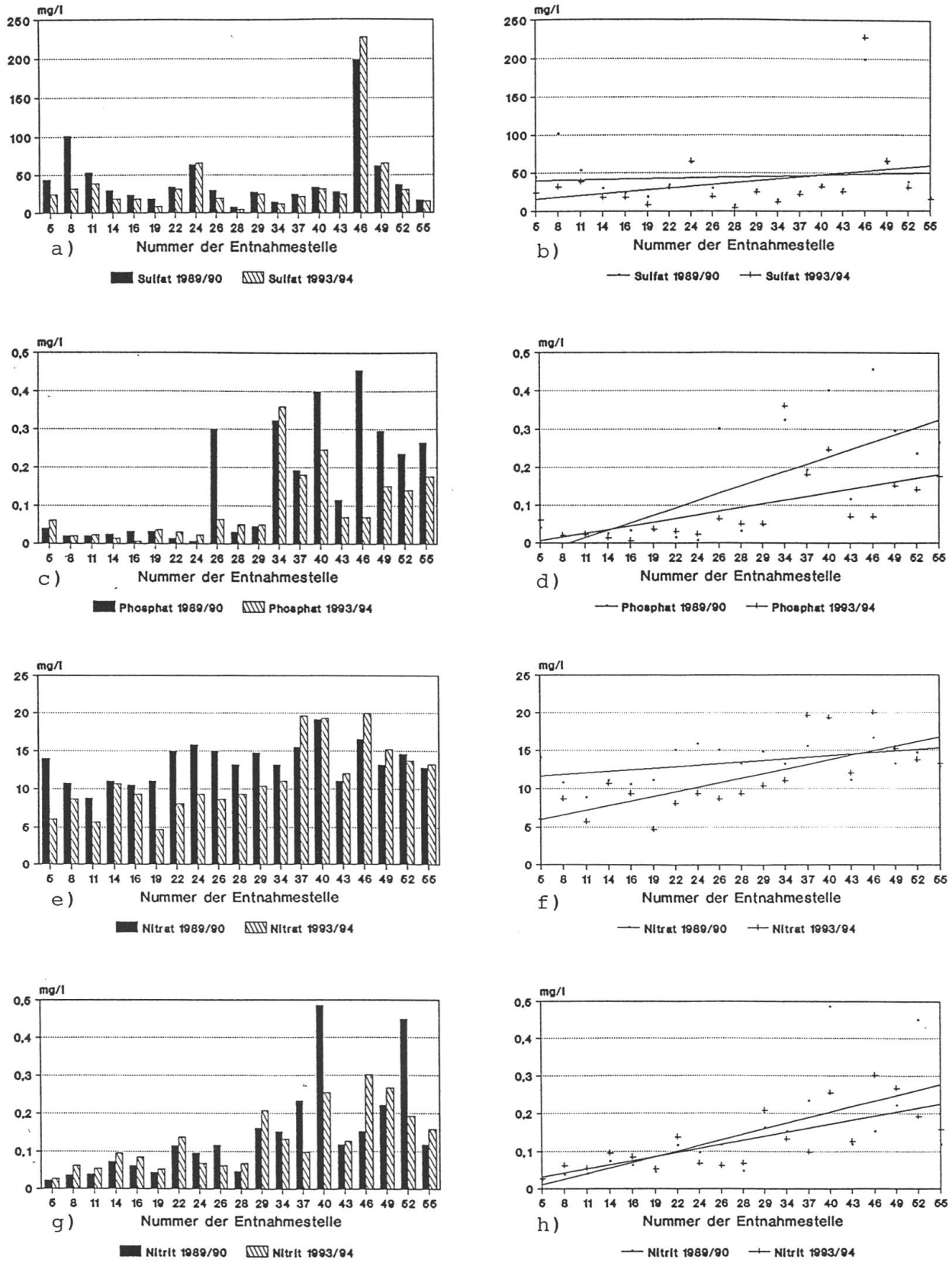



**Abb. 5**. Zuflüsse.

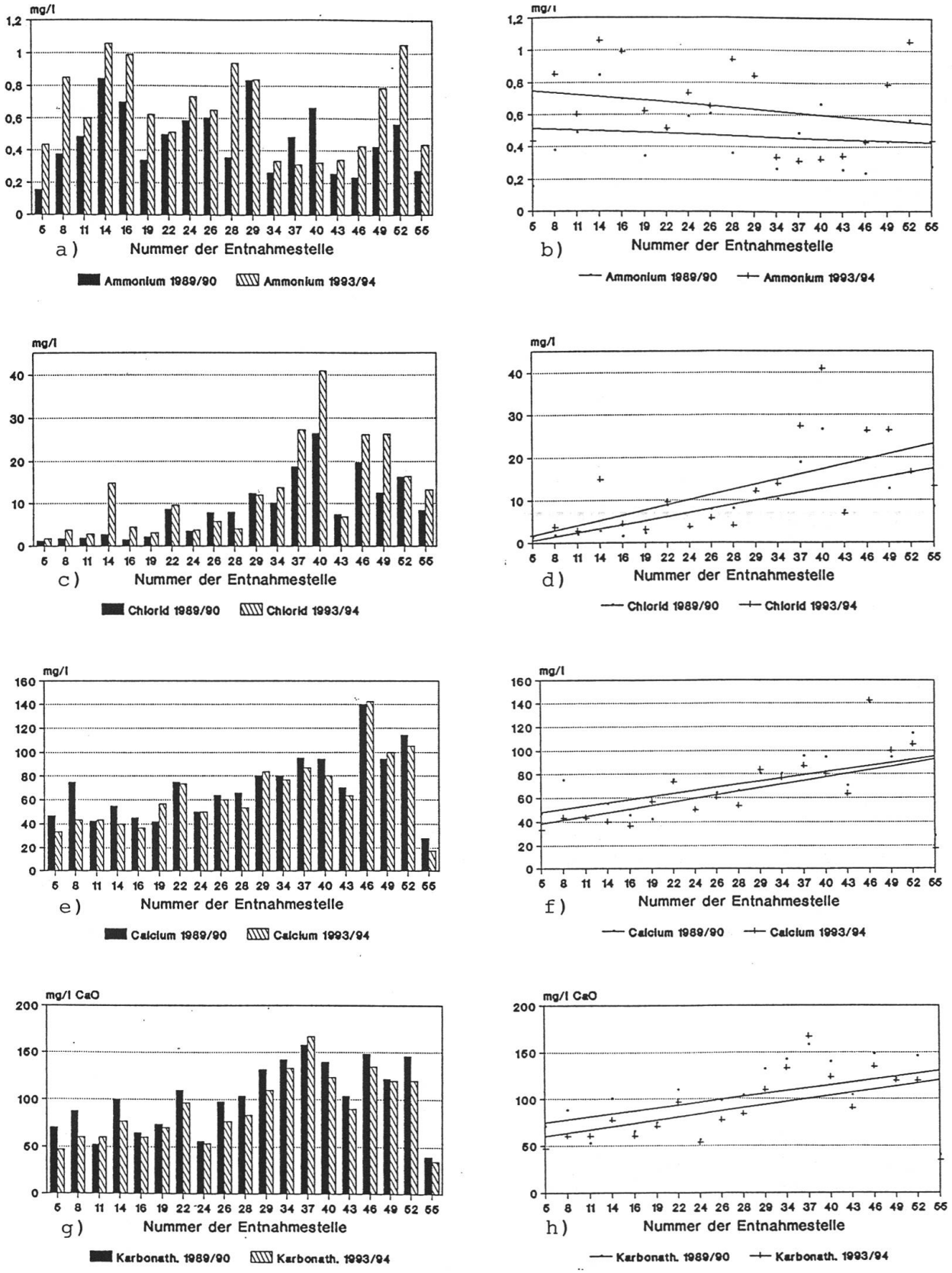



**Abb. 6**. Zuflüsse.

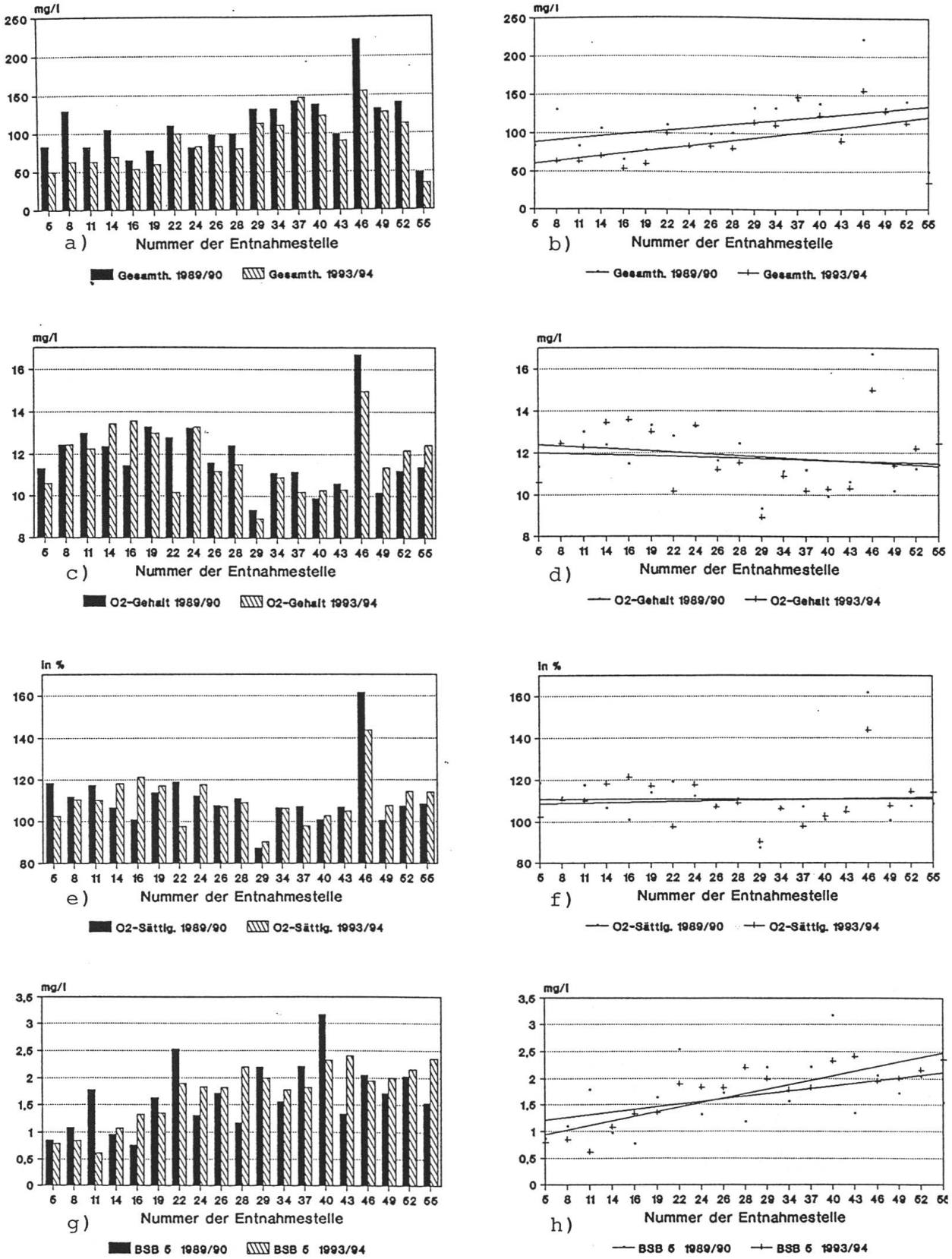



**Abb. 7**. Zuflüsse.

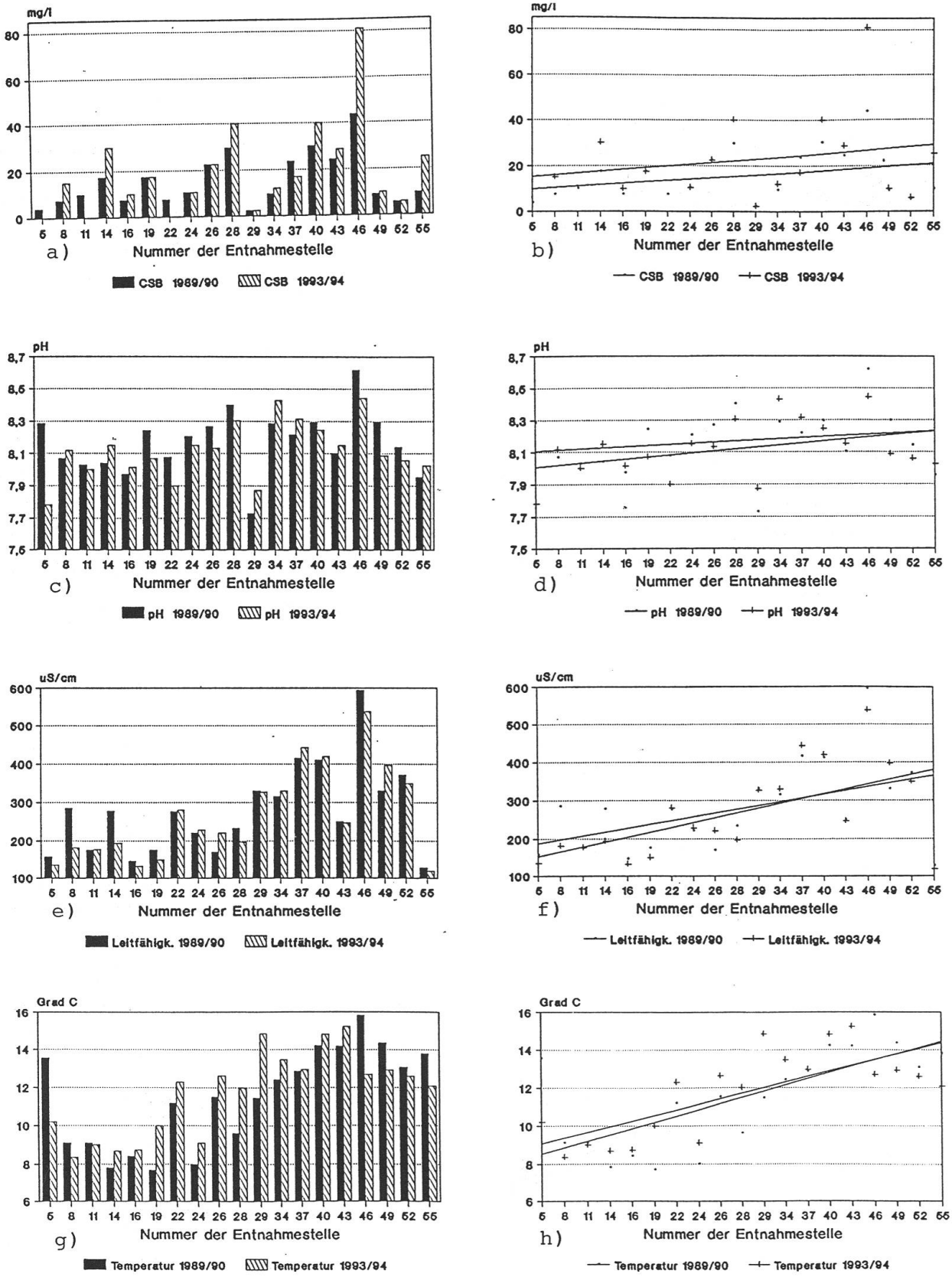



**Abb. 8**. Zuflüsse.

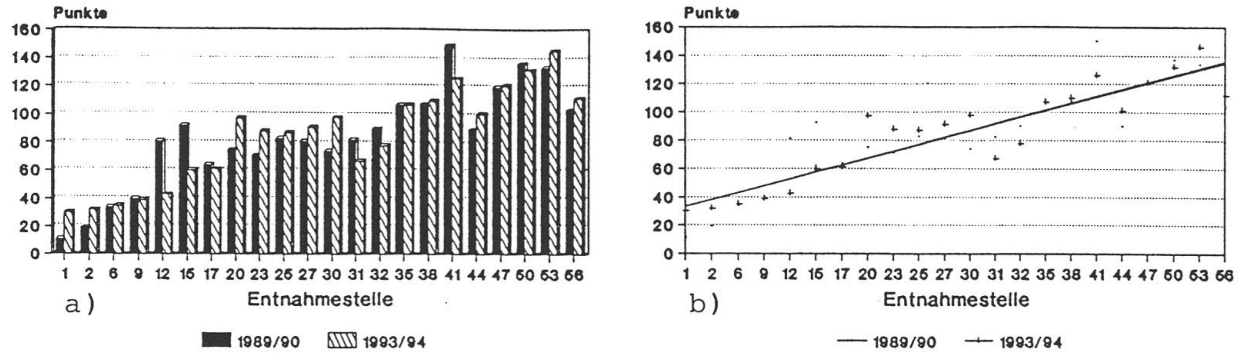



**Abb. 9**. Rhein – Gesamtbelastung.

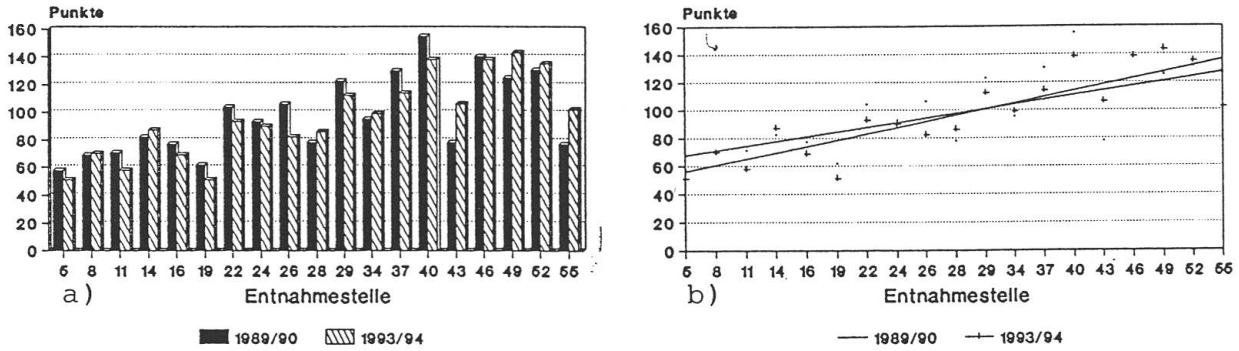
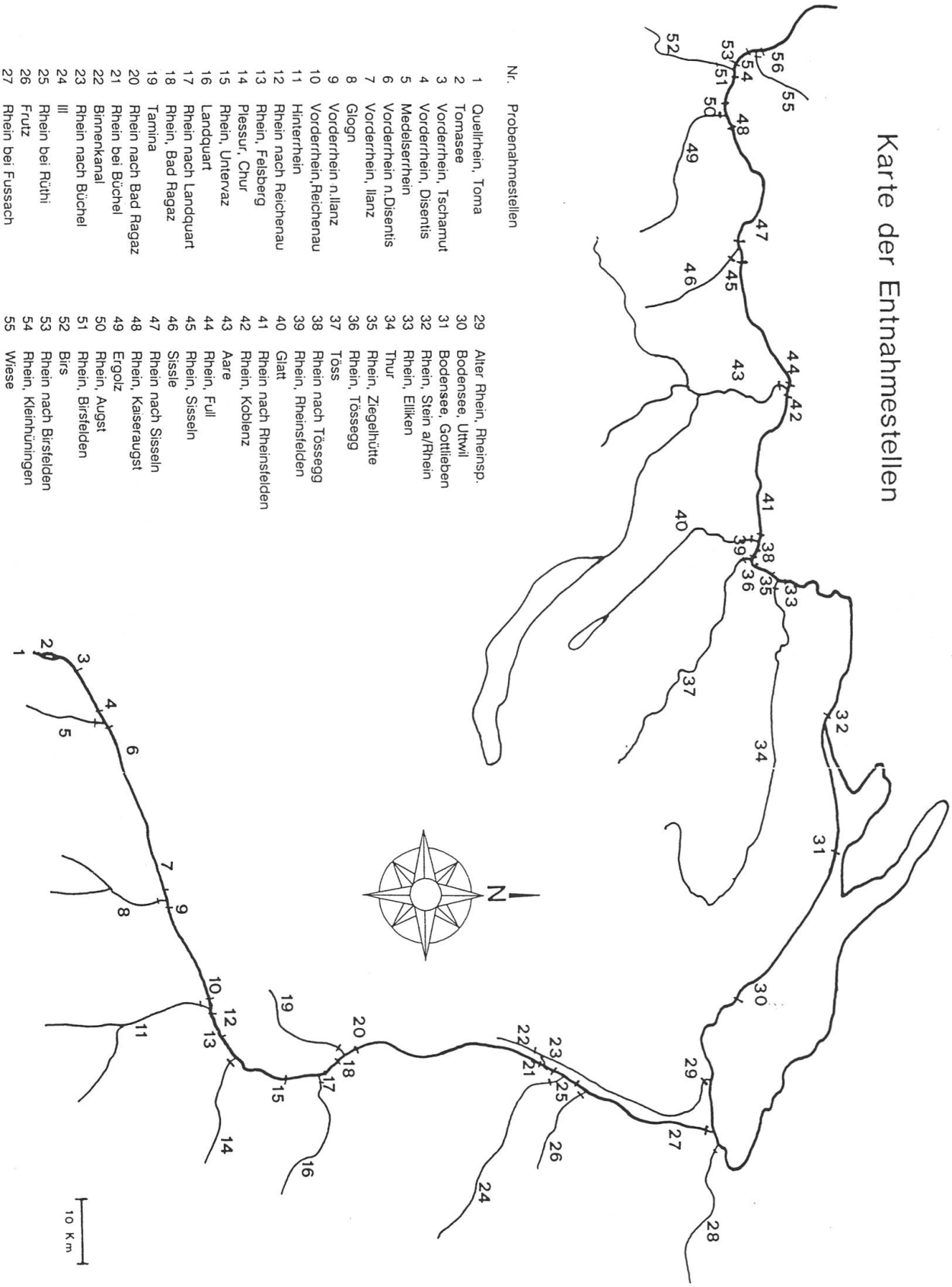



**Abb. 10**. Zuflüsse – Gesamtbelastung.




Nr. Probenahmestellen

1 Quellrhein, Toma
2 Tomasee
3 Vorderrhein, Tschamut
4 Vorderrhein, Disentis
5 Medelserrhein
6 Vorderrhein n.Disentis
7 Vorderrhein, Ilanz
8 Glogn
9 Vorderrhein n.Ilanz
10 Vorderrhein,Reichenau
11 Hinterrhein
12 Rhein nach Reichenau
13 Rhein, Felsberg
14 Plessur, Chur
15 Rhein, Untervaz
16 Landquart
17 Rhein nach Landquart
18 Rhein, Bad Ragaz
19 Tamina
20 Rhein nach Bad Ragaz
21 Rhein bei Büchel
22 Binnenkanal
23 Rhein nach Büchel
24 Ill
25 Rhein bei Rüthi
26 Frutz
27 Rhein bei Fussach
28 Bregenzer Ach
29 Alter Rhein, Rheinsp.
30 Bodensee, Uttwil
31 Bodensee, Gottlieben
32 Rhein, Stein a/Rhein
33 Rhein, Elliken
34 Thur
35 Rhein, Ziegelhütte
36 Rhein, Tössegg
37 Töss
38 Rhein nach Tössegg
39 Rhein, Rheinsfelden
40 Glatt
41 Rhein nach Rheinsfelden
42 Rhein, Koblenz
43 Aare
44 Rhein, Full
45 Rhein, Sisseln
46 Sissle
47 Rhein nach Sisseln
48 Rhein, Kaiseraugst
49 Ergolz
50 Rhein, Augst
51 Rhein, Birsfelden
52 Birs
53 Rhein nach Birsfelden
54 Rhein, Kleinhüningen
55 Wiese
56 Rhein, Dreiländereck

**Tabelle 1.** Mittelwerte von Rhein und Zuflüssen

| Nr. | 1989/90 und 1993/94 Probeentnahmestelle | Sulfat mg/l Mittel | | Phosphat mg/l Mittel | | Nitrat mg/l Mittel | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Quellrhein, Toma | 7,0 | 7,50 | 0,02 | 0,04 | 10,0 | 12,00 |
| 2 | Tomasee | 7,3 | 7,50 | 0,03 | 0,03 | 11,0 | 12,50 |
| 3 | Vorderrhein, Tschamut | 8,3 | 6,33 | 0,00 | 0,03 | 10,3 | 6,67 |
| 4 | Vorderrhein, Disentis | 11,2 | 8,33 | 0,02 | 0,04 | 12,7 | 7,00 |
| 5 | Medelserrhein | 43,3 | 24,17 | 0,04 | 0,06 | 14,0 | 6,00 |
| 6 | Vorderrhein n.Disentis | 15,5 | 8,33 | 0,03 | 0,03 | 11,8 | 7,00 |
| 7 | Vorderrhein, Ilanz | 11,4 | 5,67 | 0,04 | 0,03 | 9,5 | 7,00 |
| 8 | Glogn | 101,3 | 31,67 | 0,02 | 0,02 | 10,8 | 8,67 |
| 9 | Vorderrhein n.Ilanz | 11,1 | 5,83 | 0,03 | 0,03 | 9,0 | 8,33 |
| 10 | Vorderrhein,Reichenau | 28,8 | 22,50 | 0,04 | 0,04 | 8,3 | 7,33 |
| 11 | Hinterrhein | 52,8 | 38,33 | 0,02 | 0,02 | 8,8 | 5,67 |
| 12 | Rhein nach Reichenau | 51,0 | 23,33 | 0,03 | 0,02 | 10,0 | 6,67 |
| 13 | Rhein, Felsberg | 53,5 | 23,33 | 0,04 | 0,02 | 10,0 | 6,33 |
| 14 | Plessur, Chur | 29,4 | 18,33 | 0,03 | 0,01 | 11,0 | 10,67 |
| 15 | Rhein, Untervaz | 53,3 | 25,67 | 0,06 | 0,02 | 11,5 | 7,33 |
| 16 | Landquart . | 23,6 | 18,33 | 0,03 | 0,01 | 10,5 | 9,33 |
| 17 | Rhein nach Landquart | 38,0 | 23,33 | 0,06 | 0,01 | 9,3 | 8,33 |
| 18 | Rhein, Bad Ragaz | 36,6 | 29,17 | 0,03 | 0,03 | 11,4 | 7,00 |
| 19 | Tamina | 18,5 | 8,33 | 0,03 | 0,04 | 11,0 | 4,67 |
| 20 | Rhein nach Bad Ragaz | 32,7 | 26,67 | 0,03 | 0,05 | 11,4 | 9,00 |
| 21 | Rhein bei Büchel | 31,1 | 30,17 | 0,01 | 0,02 | 13,3 | 7,67 |
| 22 | Binnenkanal | 33,6 | 31,17 | 0,01 | 0,03 | 15,0 | 8,00 |
| 23 | Rhein nach Büchel | 33,0 | 17,50 | 0,01 | 0,35 | 12,4 | 9,50 |
| 24 | Il | 63,0 | 65,00 | 0,01 | 0,02 | 15,8 | 9,33 |
| 25 | Rhein bei Rüthi | 48,6 | 43,33 | 0,01 | 0,02 | 10,0 | 11,33 |
| 26 | Frutz | 29,4 | 18,67 | 0,30 | 0,06 | 15,0 | 8,67 |
| 27 | Rhein bei Fussach | 53,2 | 40,33 | 0,01 | 0,03 | 12,0 | 9,00 |
| 28 | Bregenzer Ach | 7,5 | 5,03 | 0,03 | 0,05 | 13,2 | 9,33 |
| 29 | Alter Rhein, Rheinspitz | 27,0 | 24,83 | 0,05 | 0,05 | 14,8 | 10,33 |
| 30 | Bodensee, Uttwil | 35,6 | 38,67 | 0,01 | 0,03 | 10,2 | 8,00 |
| 31 | Bodensee, Gottlieben | 37,2 | 35,83 | 0,03 | 0,02 | 11,0 | 7,33 |
| 32 | Rhein, Stein a/Rhein | 38,5 | 36,00 | 0,02 | 0,03 | 11,6 | 9,67 |
| 33 | Rhein, Elliken | 37,5 | 35,83 | 0,03 | 0,04 | 11,2 | 8,33 |
| 34 | Thur | 14,6 | 12,50 | 0,32 | 0,36 | 13,2 | 11,00 |
| 35 | Rhein, Ziegelhütte | 22,2 | 22,50 | 0,20 | 0,14 | 13,6 | 10,67 |
| 36 | Rhein, Tössegg | 25,0 | 32,50 | 0,16 | 0,07 | 12,0 | 8,33 |
| 37 | Töss | 24,9 | 22,00 | 0,19 | 0,18 | 15,5 | 19,67 |
| 38 | Rhein nach Tössegg | 35,6 | 31,67 | 0,10 | 0,08 | 12,8 | 11,33 |
| 39 | Rhein, Rheinsfelden | 33,0 | 37,10 | 0,07 | 0,06 | 12,0 | 9,00 |
| 40 | Glatt | 34,0 | 32,00 | 0,40 | 0,25 | 19,2 | 19,33 |
| 41 | Rhein nach Rheinsfelden | 35,0 | 33,33 | 0,23 | 0,12 | 17,4 | 11,33 |
| 42 | Rhein, Koblenz | 35,4 | 33,83 | 0,08 | 0,06 | 12,4 | 10,00 |
| 43 | Aare | 27,8 | 25,00 | 0,11 | 0,07 | 11,0 | 12,00 |
| 44 | Rhein, Full | 27,1 | 24,67 | 0,11 | 0,07 | 11,2 | 12,33 |
| 45 | Rhein, Sisseln | 29,7 | 30,63 | 0,10 | 0,07 | 11,0 | 12,75 |
| 46 | Sissle | 198,4 | 227,50 | 0,46 | 0,07 | 16,6 | 20,00 |
| 47 | Rhein nach Sisseln | 40,6 | 31,50 | 0,12 | 0,08 | 12,4 | 12,25 |
| 48 | Rhein, Kaiseraugst | 36,0 | 32,50 | 0,14 | 0,08 | 11,8 | 13,00 |
| 49 | Ergolz | 61,4 | 65,25 | 0,30 | 0,15 | 13,2 | 15,25 |
| 50 | Rhein, Augst | 41,4 | 35,88 | 0,23 | 0,09 | 13,8 | 11,50 |
| 51 | Rhein, Birsfelden | 37,3 | 29,38 | 0,08 | 0,26 | 13,2 | 12,50 |
| 52 | Birs | 37,2 | 30,00 | 0,24 | 0,14 | 14,6 | 13,75 |
| 53 | Rhein nach Birsfelden | 33,9 | 30,00 | 0,11 | 0,12 | 13,2 | 11,75 |
| 54 | Rhein, Kleinhüningen | 32,1 | 33,13 | 0,10 | 0,08 | 11,8 | 11,75 |
| 55 | Wiese | 16,4 | 15,00 | 0,26 | 0,18 | 12,8 | 13,25 |
| 56 | Rhein, Dreiländereck | 25,9 | 25,63 | 0,11 | 0,11 | 11,6 | 13,00 |

**Tabelle 1.** Mittelwerte von Rhein und Zuflüssen

| Nitrit mg/l | Mittel | Ammonium mg/l | Mittel | Chlorid mg/l | Mittel | Calcium mg/l | Mittel | Karbonath. mg/l CaO | Mittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,01 | 0,01 | 0,08 | 0,11 | 0,3 | 0,15 | 6,7 | 10,00 | 6,7 | 5,00 |
| 0,02 | 0,02 | 0,14 | 0,14 | 0,2 | 0,20 | 10,0 | 10,00 | 10,0 | 5,00 |
| 0,02 | 0,01 | 0,16 | 0,34 | 0,1 | 2,50 | 20,0 | 23,33 | 26,7 | 26,67 |
| 0,03 | 0,03 | 0,23 | 0,37 | 0,7 | 3,17 | 20,0 | 36,67 | 36,7 | 26,67 |
| 0,02 | 0,03 | 0,16 | 0,44 | 1,2 | 1,83 | 46,7 | 33,33 | 70,0 | 46,67 |
| 0,03 | 0,02 | 0,19 | 0,38 | 0,9 | 3,33 | 28,8 | 40,00 | 35,0 | 33,33 |
| 0,03 | 0,04 | 0,26 | 0,46 | 0,6 | 2,08 | 22,5 | 26,67 | 37,5 | 36,67 |
| 0,04 | 0,06 | 0,38 | 0,85 | 1,8 | 3,83 | 75,0 | 43,33 | 87,5 | 60,00 |
| 0,03 | 0,04 | 0,45 | 0,64 | 0,7 | 2,60 | 22,5 | 23,33 | 35,0 | 33,33 |
| 0,04 | 0,05 | 0,51 | 0,60 | 2,0 | 3,07 | 35,0 | 40,00 | 50,0 | 46,67 |
| 0,04 | 0,06 | 0,49 | 0,60 | 1,9 | 2,93 | 42,5 | 43,33 | 52,5 | 60,00 |
| 0,04 | 0,05 | 0,48 | 0,67 | 1,8 | 2,73 | 50,0 | 36,67 | 57,5 | 50,00 |
| 0,09 | 0,07 | 0,46 | 0,82 | 1,8 | 3,00 | 55,0 | 36,67 | 60,0 | 50,00 |
| 0,07 | 0,10 | 0,84 | 1,06 | 2,7 | 14,83 | 55,0 | 40,00 | 100,0 | 76,67 |
| 0,08 | 0,06 | 0,68 | 0,68 | 2,2 | 6,20 | 50,0 | 36,67 | 57,5 | 53,33 |
| 0,06 | 0,09 | 0,70 | 0,99 | 1,5 | 4,47 | 45,0 | 36,67 | 65,0 | 60,00 |
| 0,06 | 0,09 | 0,59 | 0,96 | 1,8 | 4,17 | 45,0 | 33,33 | 60,0 | 56,67 |
| 0,06 | 0,09 | 0,33 | 0,78 | 2,3 | 3,50 | 40,0 | 43,33 | 58,0 | 66,67 |
| 0,04 | 0,05 | 0,34 | 0,62 | 2,2 | 3,17 | 42,0 | 56,67 | 74,0 | 70,00 |
| 0,06 | 0,08 | 0,37 | 0,85 | 2,2 | 3,67 | 40,0 | 46,67 | 60,0 | 60,00 |
| 0,07 | 0,09 | 0,48 | 0,64 | 4,7 | 6,25 | 37,5 | 56,67 | 55,0 | 80,00 |
| 0,11 | 0,14 | 0,50 | 0,52 | 8,7 | 9,58 | 75,0 | 73,33 | 110,0 | 96,67 |
| 0,08 | 0,07 | 0,43 | 0j69 | 2,9 | 2,67 | 47,5 | 45,00 | 68,0 | 50,00 |
| 0,10 | 0,07 | 0,59 | 0,73 | 3,6 | 3,83. | 50,0 | 50,00 | 56,0 | 53,33 |
| 0,09 | 0,07 | 0,55 | 0,62 | 5,4 | 4,50 | 42,5 | 50,00 | 58,0 | 63,33 |
| 0,12 | 0,06 | 0,61 | 0,65 | 7,9 | 5,83 | 64,0 | 60,00 | 98,0 | 76,67 |
| 0,06 | 0,09 | 0,33 | 0,83 | 3,1 | 4,35 | 54,0 | 46,67 | 64,0 | 56,67 |
| 0,05 | 0,07 | 0,36 | 0,94 | 8,0 | 4,10 | 66,0 | 53,33 | 104,0 | 83,33 |
| 0,16 | 0,21 | 0,83 | 0,84 | 12,5 | 12,00 | 80,0 | 83,33 | 132,0 | 110,00 |
| 0,07 | 0,07 | 0,20 | 0,41 | 6,5 | 7,17 | 50,0 | 46,67 | 78,0 | 66,67 |
| 0,07 | 0,05 | 0,20 | 0,29 | 6,2 | 6,33 | 52,0 | 50,00 | 78,0 | 73,33 |
| 0,07 | 0,05 | 0,21 | 0,30 | 7,6 | 6,33 | 54,0 | 53,33 | 80,0 | 76,67 |
| 0,07 | 0,07 | 0,20 | 0,30 | 7,2 | 7,00 | 62,0 | 50,00 | 86,0 | 76,67 |
| 0,15 | 0,13 | 0,26 | 0,34 | 10,2 | 13,83 | 80,0 | 76,67 | 142,0 | 133,33 |
| 0,12 | 0,10 | 0,19 | 0,32 | 9,4 | 9,00 | 78,0 | 60,00 | 120,0 | 100,00 |
| 0,11 | 0,07 | 0,17 | 0,27 | 9,1 | 7,33 | 70,0 | 56,67 | 106,0 | 86,67 |
| 0,23 | 0,10 | 0,49 | 0,31 | 18,8 | 27,33 | 95,0 | 86,67 | 157,5 | 166,67 |
| 0,09 | 0,07 | 0,25 | 0,30 | 9,1 | 10,00 | 65,0 | 66,67 | 102,5 | 100,00 |
| 0,10 | 0,06 | 0,23 | 0,29 | 7,1 | 8,00 | 62,0 | 50,00 | 94,0 | 83,33 |
| 0,49 | 0,26 | 0,67 | 0,32 | 26,5 | 40,83 | 94,0 | 80,00 | 140,0 | 123,33 |
| 0,18 | 0,13 | 0,43 | 0,33 | 17,0 | 20,00 | 74,0 | 66,67 | 120,0 | 103,33 |
| 0,09 | 0,07 | 0,19 | 0,32 | 10,4 | 10,67 | 66,0 | 56,67 | 98,0 | 83,33 |
| 0,12 | 0113 | 0,26 | 0,34 | 7,5 | 6,92 | 70,0 | 63,33 | 104,0 | 90,00 |
| 0,14 | 0,12 | 0,25 | 0,34 | 8,3 | 6,67 | 68,0 | 60,00 | 98,0 | 86,67 |
| 0,12 | 0,11 | 0,23 | 0,68 | 8,6 | 14,38 | 70,0 | 57,50 | 92,0 | 85,00 |
| 0,15 | 0,30 | 0,24 | 0,43 | 19,7 | 26,25 | 140,0 | 142,50 | 148,0 | 135,00 |
| 0,12 | 0,12 | 0,25 | 0,44 | 9,8 | 17,38 | 74,0 | 47,75 | 96,0 | 85,00 |
| 0,15 | 0,11 | 0,24 | 0,42 | 10,3 | 16,38 | 70,0 | 62,50 | 96,0 | 82,50 |
| 0,22 | 0,27 | 0,42 | 0,79 | 12,6 | 26,38 | 94,0 | 100,00 | 122,0 | 120,00 |
| 0,17 | 0,13 | 0,33 | 0,49 | 11,2 | 16,15 | 90,0 | 65,00 | 100,0 | 87,50 |
| 0,13 | 0,13 | 0,27 | 0,61 | 11,0 | 13,13 | 64,0 | 65,00 | 96,0 | 105,00 |
| 0,45 | 0,19 | 0,56 | 1,06 | 16,3 | 16,50 | 114,0 | 105,00 | 146,0 | 120,00 |
| 0,18 | 0,17 | 0,44 | 0,94 | 12,6 | 15,13 | 86,0 | 80,00 | 120,0 | 107,50 |
| 0,28 | 0,11 | 0,27 | 0,41 | 13,0 | 14,00 | 64,0 | 52,50 | 90,0 | 87,50 |
| 0,12 | 0,16 | 0,28 | 0,44 | 8,4 | 13,23 | 28,0 | 17,50 | 40,0 | 35,00 |
| 0,12 | 0,16 | 0,25 | 0,44 | 11,5 | 11,00 | 52,0 | 37,50 | 72,0 | 62,50 |

**Tabelle 1.** Mittelwerte von Rhein und Zufluessen

| Gesamth. mg/l | Mittel | $O_2$-Gehalt mg/l | Mittel | $O_2$-Sättigung in % | Mittel | BSB 5 mg/l | Mittel | CSB mg/l | Mittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6,7 | 10,00 | 10,7 | 11,60 | 107,33 | 122,00 | 0,93 | 0,19 | 0,0 | * |
| 10,0 | 5,00 | 11,2 | 11,20 | 109,33 | 124,00 | 0,79 | 0,02 | 1,3 | 0,00 |
| 20,0 | 23,33 | 10,1 | 12,33 | 106,67 | 114,00 | 0,34 | 1,3g | 2,0 | * |
| 43,3 | 23,33 | 12,5 | 11,:97 | 124,00 | 110,33 | 1,23 | 0,62 | 3,0 | * |
| 83,3 | 50,00 | 11,3 | 10,60 | 118,33 | 102,33 | 0,85 | 0,79 | 4,0 | * |
| 40,0 | 30,00 | 12,3 | 12,00 | 116,25 | 110,67 | 0,83 | 1,02 | 3,7 | 9,00 |
| 40,0 | 33,33 | 12,4 | 12,17 | 113,75 | 108,00 | 0,93 | 0,79 | 2,0 | 0,00 |
| 130,0 | 63,33 | 12,4 | 12,43 | 111,50 | 110,33 | 1,08 | 0,84 | 7,5 | 15,00 |
| 37,5 | 30,00 | 13,0 | 13,03 | 116,00 | 114,00 | 1,03 | 0,89 | 6,0 | * |
| 62,5 | 50,00 | 13,1 | 12,60 | 115,50 | 112,-67 | 1,72 | 0,51 | 0,0 | * |
| 82,5 | 63,33 | 13,0 | 12,23 | 117,25 | 110,00 | 1,78 | 0,61 | 10,0 | * |
| 80,0 | 46,67 | 11,8 | 12,87 | 106,75 | 114,67 | 1,59 | 1,09 | 2,0 | * |
| 85,0 | 45,00 | 11,8 | 12,83 | 107,00 | 115,33 | 1,06 | 1,09 | 2,0 | * |
| 105,0 | 70,00 | 12,4 | 13,43 | 106,50 | 118,00 | 0,96 | 1,07 | 17,5 | 30,00 |
| 80,0 | 63,33 | 11,9 | 12,63 | 105,00 | 112,33 | 0,84 | 1,46 | 10,0 | 10,00 |
| 65,0 | 53,33 | 11,5 | 13,57 | 100,75 | 121,33 | 0,76 | 1,32 | 7,5 | 10,00 |
| 70,0 | 50,00 | 11,2 | 13,37 | 102,25 | 118,67 | 0,90 | 0,67 | 2,0 | * |
| 70,0 | 66,67 | 11,5 | 12,30 | 101,80 | 110,67 | 0,95 | 1,27 | 5,0 | 5,00 |
| 78,0 | 60,00 | 13,3 | 13,00 | 113,80 | 117,00 | 1,62 | 1,34 | '17,5 | 17,50 |
| 72,0 | 66,67 | 11,7 | 12,70 | 102,20 | 113,33 | 1,83 | 1,22 | 15,0 | 15,00 |
| 64,0 | 80,00 | 12,3 | 10,93 | 109,00 | 103,67 | 1,62 | 1,77. | 7,5 | * |
| 110,0 | 100,00 | 12,8 | 10,17 | 119,00 | 97,67 | 2,53 | 1,89 | 7,5 | * |
| 70,0 | 65,00 | 9,2 | 13,05 | 108,00 | 115,00 | 0,98 | 2,36 | 5,0 | * |
| 82,0 | 83,33 | 13,2 | 13,30 | 112,20 | 117,67 | 1,31 | 1,83 | 10,5 | 10,50 |
| 67,5 | 76,67 | 12,2 | 12,43 | 110,00 | 110,33 | 1,17 | 1,63 | 7,0 | * |
| 98,0 | 83,33 | 11,6 | 11,20 | 107,60 | 107,00 | 1,71 | 1,82 | 22,5 | 22,50 |
| 74,0 | 70,00 | 12,3 | 1.1,92 | 108,40 | 108,67 | 1,01 | 1,77 | 3,0 | 0,00 |
| 100,0 | 80,00 | 12,4 | 11,50 | 110,80 | 109,00 | 1,17 | 2,20 | 29,7 | 40,00 |
| 132,0 | 113,33 | 9,3 | 8,93 | 87,25 | 90,33 | 2,20 | 1,99 | 2,5 | 2,50 |
| 84,0 | 76,67 | 13,2 | 11,83 | 131,75 | 128,67 | 2,73 | 2,47 | 33, | 46,50 |
| 88,0 | 76,67 | 11,4 | 12,00 | 110,25 | 124,33 | 1,75 | 2,05 | 5,0 | 5,00 |
| 84,0 | 80,00 | 11,4 | 12,63 | lO9,00 | 127,33 | 1,66 | 2,02 | 16,3 | 35,00 |
| 94,0 | 76,67 | 11,4 | 11,03 | 108,25 | l10,00 | 1,83 | 2,73 | 22,0 | * |
| 132,0 | 110,00 | 11,1 | 10,90 | 106,50 | 106,33 | 1,56 | 1,78 | 9,5 | 12,00 |
| 110,0 | 93,33 | 11,3 | 10,60 | 108,75 | 107,00 | 1,29 | 2,34 | 14,0 | * |
| 106,0 | 86,67 | 11,6 | 10,47 | 112,75 | 105,67 | 1,93 | 2,09 | 10,0 | * |
| 142,5 | 146,67 | 11,2 | 10,20 | 107,00 | 98,00 | 2,20 | 1,82 | 23,5 | 17,00 |
| 102,5 | l00,00 | 11,5 | 10,50 | 108,75 | 104,67 | 1,57 | 2,87 | 10,0 | * |
| 96,0 | 80,00 | 11,1 | 10,37 | 104,75 | 104,00 | 1,16 | 2,21 | 4,0 | * |
| 138,0 | 123,33 | 9,9 | 10,27 | 100,75 | 102,67 | 3,17 | 2,32 | 30,0 | 40,00 |
| 116,0 | 103,33 | 10,6 | 10,47 | 107,25 | 105,67 | 2,29 | 2,03 | 14,0 | * |
| 94,0 | 83,33 | 10,8 | 10,90 | 108,50 | 107,67 | 1,22 | 1,67 | 4,5 | 4,00 |
| 98,0 | 90,00 | 10,6 | 10,30 | 106,75 | 105,00 | 1,33 | 2,40 | 24,3 | 28,50 |
| 96,0 | 83,33 | 10,5 | 10,57 | 105,75 | 106,33 | 0,97 | 1,73 | 9,8 | 10,00 |
| 92,0 | 85,00 | 11,1 | 10,90 | 107,25 | 103,75 | 1,29 | 1,97 | 12,6 | 5,00 |
| 222,0 | 155,00 | 16,7 | 14,98 | 161,50 | 143,75 | 2,05 | 1,94 | 43,5 | 81,00 |
| 96,0 | 85,00 | 11,3 | 11,05 | 107,75 | 106,00 | 1,25 | 1,99 | 5,3 | 6,00 |
| 132,0 | 82,50 | 11,0 | 11,55 | 109,75 | 108,50 | 1,44 | 2,67 | 4,0 | 10,00 |
| 132,0 | 127,50 | 10,2 | 11,38 | 100,50 | 107,50 | 1,71 | 2,00 | 9,0 | 10,00 |
| 98,0 | 87,50 | 10,9 | 11,53 | 107,25 | 109,50 | 1,60 | 2,21 | 10,0 | 15,00 |
| 98,0 | 90,00 | 10,9 | 11,78 | 106,50 | 112,25 | 1,66 | 1,80 | . 7,5 | 12,00 |
| 140,0 | 112,50 | 11,2 | 12,20 | 107,25 | 114,25 | 2,02 | 2,15 | 5,7 | 6,00 |
| 116,0 | 105,00 | 10,3 | 11,68 | 103,25 | 110,00 | 1,65 | 2,76 | 13,0 | 22,00 |
| 128,0 | 87,50 | 11,3 | 12,10 | 110,60 | 114,75 | 2,18 | 2,52 | 7,7 | * |
| 48,0 | 35,00 | 11,4 | 12,43 | 108,40 | 114,00 | 1,53 | 2,35 | 9,8 | 25,00 |
| 116,0 | 62,50 | 11,2 | 11,93 | 110,00 | 112,00 | 1,41 | 1,54 | 9,3 | 20,00 |

* = keine Messung

**Tabelle 1.** Mittelwerte von Rhein und Zuflüssen

| Temperatur Grad C | | pH | | Leitfähigkeit uS/cm | | Trübung TE/F | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittel | | Mittel | | Mittel | | Mittel | |
| 6,8 | 5,35 | 8,35 | 7,65 | 18,3 | 35,00 | 0,0 | 0,00 |
| 5,6 | 6,65 | 7,86 | 7,74 | 18,3 | 38,00 | 0,0 | 0,00 |
| 10,07 | 5,70 | 7,98 | 7,86 | 55,0 | 46,67 | 0,0 | 0,67 |
| 11,80 | 7,73 | 8,03 | 7,77 | 75,0 | 66,67 | 2,7 | 3,67 |
| 13,57 | 10,20 | 8,28 | 7,78 | 156,7 | 136,67 | 1,0 | 1,00 |
| 9,3 | 7,70 | 7,99 | 7,85 | 91,3 | 68,33 | 3,3 | 3,33 |
| 9,6 | 7,50 | 8,17 | 7,81 | 76,3 | 75,00 | 4,8 | 5,00 |
| 9,1 | 8,33 | 8,07 | 8,12 | 285,0 | 181,67 | 6,0 | 96,67 |
| 8,8 | 7,53 | 8,17 | 7,88 | 75,0 | 78,33 | 6,3 | 7,67 |
| 9,95 | 8,80 | 8,02 | 7,87 | 135,0 | 136,67 | 19,0 | 30,67 |
| 9,1 | 9,00 | 8,03 | 8,00 | 175,0 | 176,67 | 8,5 | 57,00 |
| 9,0 | 8,83 | 8,05 | 7,98 | 180,0 | 146,67 | 12,3 | 39,33 |
| 8,1 | 8,87 | 7,96 | 7,98 | 180,0 | 150,00 | 7,8 | 39,33 |
| 7,8 | 8,67 | 8,04 | 8,15 | 277,5 | 193,33 | 19,0 | 103,33 |
| 8,3 | 9,33 | 7,88 | 8,09 | 182,5 | 150,00 | 13,5 | 49,00 |
| 8,4 | 8,73 | 7,97 | 8,02 | 146,3 | 133,33 | 13,5 | 81,00 |
| 8,6 | 8,97 | 8,00 | 8,05 | 163,8 | 140,00 | 13,8 | 80,00 |
| 8,1 | 9,47 | 8,12 | 7,90 | 162,0 | 170,00 | 39,0 | 87,33 |
| 7,7 | 10,00 | 8,24 | 8,07 | 176,0 | 150,00 | 39,6 | 31,67 |
| 8,1 | 9,57 | 8,11 | 8,13 | 165,0 | 156,67 | 49,6 | 76,67 |
| 9,1 | 12,20 | 8,11 | 8,02 | 175,0 | 215,00 | 61,8 | 23,33 |
| 11,20 | 12,30 | 8,08 | 7,90 | 276,0 | 280,00 | 32,2 | 6,00 |
| 11,18 | 9,40 | 8,18 | 8,14 | 171,3 | 175,00 | 75,8 | 77,50 |
| 8,0 | 9,10 | 8,21 | 8,15 | 220,0 | 228,33 | 55,4 | 24,67 |
| 9,4 | 10,73 | 8,11 | 8,17 | 184,0 | 200,00 | 104,2 | 25,67 |
| 11,52 | 12,63 | 8,27 | 8,13 | 170,0 | 220,00 | 53,0 | 8,67 |
| 8,9 | 10,53 | 8,12 | 8,16 | 190,0 | 193,33 | 87,6 | 62,00 |
| 9,6 | 12,00 | 8,40 | 8,30 | 232,0 | 196,67 | 75,4 | 20,67 |
| 11,46 | 14,83 | 7,73 | 7,87 | 330,0 | 326,67 | 78,8 | 12,67 |
| 14,26 | 18,57 | 8,37 | 8,44 | 208,0 | 233,33 | 8,5 | 8,00 |
| 12,76 | 16,67 | 8,39 | 8,48 | 216,0 | 225,00 | 5,8 | 3,33 |
| 13,54 | 16,03 | 8,37 | 8,46 | 220,0 | 233,33 | 5,8 | 4,00 |
| 13,02 | 14,63 | 8,33 | 8,37 | 228,0 | 235,00 | 5,5 | 1,67 |
| 12,42 | 13,47 | 8,29 | 8,43 | 315,0 | 330,00 | 8,0 | 2,00 |
| 12,60 | 14,13 | 8,30 | 8,34 | 280,0 | 280,00 | 7,5 | 1,67 |
| 12,92 | 14,83 | 8,34 | 8,36 | 267,0 | 246,67 | 7,0 | 2,67 |
| 12,88 | 12,97 | 8,22 | 8,31 | 415,0 | 443,33 | 7,3 | 1,33 |
| 13,10 | 14,63 | 8,19 | 8,39 | 270,0 | 278,33 | 7,5 | 1,33 |
| 12,65 | 15,13 | 8,17 | 8,39 | 248,8 | 246,67 | 5,5 | 2,67 |
| 14,22 | 14,80 | 8,29 | 8,25 | 410,0 | 420,00 | 10,0 | 3,33 |
| 13,42 | 15,13 | 8,25 | 8,34 | 390,0 | 313,33 | 9,8 | 2,33 |
| 12,58 | 14,53 | 8,30 | 8,24 | 301,0 | 260,00 | 6,8 | 1,33 |
| 14,20 | 15,23 | 8,10 | 8,15 | 248,0 | 245,00 | 6,4 | 3,67 |
| 14,12 | 15,27 | 8,08 | 8,16 | 248,0 | 243,33 | 8,0 | 2,67 |
| 15,26 | 13,23 | 8,12 | 8,14 | 258,0 | 255,00 | 9,5 | 3,67 |
| 15,82 | 12,68 | 8,62 | 8,44 | 595,0 | 537,50 | 4,0 | 5,33 |
| 15,30 | 13,15 | 8,13 | 8,22 | 290,0 | 270,00 | 9,0 | 3,33 |
| 14,08 | 13,20 | 8,12 | 8,05 | 250,0 | 257,50 | 6,0 | 3,00 |
| 14,38 | 12,93 | 8,30 | 8,09 | 330,0 | 397,50 | 7,3 | 6,33 |
| 13,12 | 13,10 | 8,08 | 8,14 | 259,0 | 280,00 | 7,3 | 3,67 |
| 13,92 | 13,38 | 8,02 | 8,04 | 250,0 | 297,50 | 9,8 | 4,00 |
| 13,08 | 12,60 | 8,14 | 8,06 | 372,0 | 348,75 | 6,8 | 4,67 |
| 13,96 | 13,05 | 8,05 | 8,07 | 308,0 | 325,00 | 10,0 | 6,00 |
| 15,14 | 13,48 | 8,06 | 8,11 | 242,0 | 265,00 | 7,0 | 3,00 |
| 13,80 | 12,10 | 7,95 | 8,03 | 129,0 | 120,00 | 6,3 | 5,00 |
| 15,22 | 12,98 | 7,98 | 8,09 | 238,0 | 195,00 | 8,0 | 3,33 |