

# Die Algenflora des Rheines

## 2. Teil: Die Saprobier

### von der Quelle (Tomasee) bis Basel

1989–1990

*Werner Zimmerli, Sisseln*

Manuskript eingegangen am 8. Oktober 1991

#### Abstract

In the area under investigation a total of 552 different species of algae have been determined (including 181 Saprobians), of which 455 species were found in the Rhine (including 154 Saprobians).

The degree of pollution was determined on the basis of the well-known Saprobian-system. The trend line shows an increasingly smaller load from the spring to Basel (score 1.8–2). Chemical and biological evaluations run parallel.

The number of algae species increases from the source of the Rhine with increasing chemical load. For the existence of algae a certain amount of nutrition is necessary. In areas with low nutritive value the number of algae species goes parallel to the population density. The actual borderline from the natural unavoidable and the harmful chemical load could not be unequivocally defined. The chemical load of the Rhine water has reached a limit, beyond which an optimal development of fauna and flora is endangered. Autopurification of the water could still be documented in some locations.

As a conclusion, the total load of substances in the Rhine water from a hinterland with about 6 million people is too high. The highest load derives from the tributaries. The percentage of sewage water, calculated from the total Rhine-water in Basel, fluctuates between 2 and 4 percent.

#### 1. Untersuchungen der Gewässerbelastung im Rhein und den Zuflüssen mit Hilfe des Saprobien-systems

(Vorwort, Einleitung und Untersuchungsmethoden sind im 1. Teil [Bauhinia Band 9 Heft 4, 1991] nachzulesen.)

So, wie der Paläontologe für die Altersbestimmung der einst abgelagerten Schichten Leitfossilien kennt, gibt es für den Biologen Leitorganismen, die ihm den Verschmutzungsgrad des Wassers anzeigen. Saprobier sind Tiere und Pflanzen, die an einen eng begrenzten «Verschmutzungsgrad» gebunden sind.

In diesem zweiten Teil meiner Untersuchungsergebnisse wird nur der botanische Aspekt erörtert. Es sei aber darauf hingewiesen, dass an allen Stellen, wo Algen entnommen worden sind, auch eine chemische Wasseranalyse durchgeführt wurde. So erst war es mir möglich, den Aussagewert der biologischen Indikatoren mit der absoluten Belastung des Wassers zu vergleichen und die Brauchbarkeit des Saprobien-systems zu überprüfen. Das verwendete Saprobien-system stammt von MAUCH. Es bedeuten:

Tabelle 1. Alle Saprobiearten des Rheines und der Zuflüsse

Stufe	Saprobiearten nach System	Stufe	Saprobiearten nach System
1	<i>Achnanthes delicatula</i> (Kütz.) Grunow	1	<i>Gloeocystis ampla</i> Kützing
1	<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) Kirchner	1	<i>Gloeocystis major</i> Gerneck
1	<i>Diatoma hiemale</i> (Roth) Heiberg	1	<i>Gloeocystis planctonica</i> Lemmermann
1	<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow	1	<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli
1	<i>Meridion circulare</i> Agardh	1	<i>Hormidium flaccidum</i> Braun
1	<i>Navicula pelliculosa</i> (Brébisson) Hilse	1	<i>Palmella miniata</i> Leiblein
1	<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W. Smith	1	<i>Pediastrum glanduliferum</i> Bennett
1	<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg	1,5	<i>Cladophora fracta</i> Kützing
1	<i>Tetracyclus rupestris</i> (A. Br.) Grunow	1,5	<i>Haematococcus pluvialis</i> Flotow em. Wille
1,5	<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson) Grunow	1,5	<i>Hydrodictyon reticulatum</i> (L.) Lagerh.
1,5	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissima</i> Kützing	1,5	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat
1,5	<i>Ceratoneis arcus</i> (Ehrenberg) Kützing	2	<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim
1,5	<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	2	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs
1,5	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	2	<i>Cladophora spec.</i> Kützing
1,5	<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs	2	<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli
1,5	<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kützing) Rabenhorst	2	<i>Coelastrum reticulatum</i> (Dang.) Senn
1,5	<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch	2	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood
1,5	<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt	2	<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg
1,5	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	2	<i>Geminella minor</i> Heering
2	<i>Asterionella formosa</i> Hassall	2	<i>Gloeotila contorta</i> Chod.
2	<i>Cyclotella comta</i> (Ehrenberg) Kützing	2	<i>Golenkinia radiata</i> Chodat
2	<i>Cyclotella kuetzingiana</i> Thwaites	2	<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchn.) Moebius
2	<i>Cymatopleura elliptica</i> (Brébisson) W. Smith	2	<i>Kirchneriella obesa</i> (West) Schmidle
2	<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. Smith	2	<i>Micractinium pusillum</i> Fresen
2	<i>Cymbella caespitosa</i> (Kützing) Brun	2	<i>Oedogonium undulatum</i> (Brébisson) Braun
2	<i>Cymbella prostrata</i> (Berkeley) Cleve	2	<i>Oocystis elliptica</i> W. West
2	<i>Cymbella ventricosa</i> Kützing	2	<i>Oocystis marssonii</i> Lemmermann
2	<i>Diatoma elongatum</i> Agardh	2	<i>Pandorina morum</i> (Müll.) Bory
2	<i>Diatoma vulgare</i> Bory	2	<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini
2	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	2	<i>Pediastrum clathratum</i> (Schröter) Lemmermann
2	<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	2	<i>Pediastrum duplex</i> Meyen
2	<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	2	<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs
2	<i>Gomphonema acuminatum</i> (Ehrenberg)	2	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat
2	<i>Gomphonema constrictum</i> Ehrenberg	2	<i>Scenedesmus arcuatus</i> Meyen
2	<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	2	<i>Scenedesmus armatus</i> Chodat
2	<i>Gomphonema parvulum</i> Kützing	2	<i>Scenedesmus bijugatus</i> (Turpin) Kützing
2	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenhorst	2	<i>Scenedesmus denticulatus</i> Lagerheim
2	<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> Müll	2	<i>Scenedesmus obliquus</i> (Turpin) Kützing
2	<i>Melosira varians</i> Agardh	2	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turp.) Brébisson
2	<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith	2	<i>Selenastrum bibrainum</i> Reinsch
2	<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	2	<i>Stigeoclonium falklandicum</i> Kützing
2	<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kütz.) Grunow	2	<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansgirg
2	<i>Surirella linearis</i> W. Smith	2	<i>Tetraedron minimum</i> (A. Br.) Hansgirg
2	<i>Synedra acus</i> Kützing	2	<i>Ulothrix spec.</i> Kützing
2	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	2	<i>Ulothrix zonata</i> Kützing
2,5	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	2,5	<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (Turner) Lemmermann
2,5	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	2,5	<i>Enteromorpha intestinalis</i> Greville
3	<i>Navicula cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs	3	<i>Gonium sociale</i> Warming
3	<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	3	<i>Chlamydomonas westiana</i> Pascher
3	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	3	<i>Chlorella vulgaris</i> Beyerinck
3	<i>Nitzschia angustata</i> (W. Smith) Grunow	3	<i>Gonium pectorale</i> Müller
3	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	3	<i>Stigeoclonium lubricum</i> Kützing
3	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	3	<i>Stigeoclonium tenue</i> Kützing
3,5	<i>Navicula accomoda</i> Hustedt	1	<i>Dinobryon bavaricum</i> Imhof
1	<i>Chara fragilis</i> Desvoux	2	<i>Dinobryon divergens</i> Imhof
1	<i>Asterococcus superbus</i> Scherffel	2	<i>Synura uvella</i> Ehrenberg
1	<i>Binuclearia tatrana</i> Wittrock	1	<i>Closterium aciculare</i> West
1	<i>Cladophora glomerata</i> Kützing	1	<i>Closterium lunula</i> (Müller) Nitzsch
1	<i>Geminella interrupta</i> Turpin	1	<i>Cosmarium formosulum</i> Hoff.
		1	<i>Cosmarium reniforme</i> (Ralfs) Arch.

Tabelle 1. Alle Saprobierarten des Rheines und der Zuflüsse (Fortsetzung)

Stufe Saprobierarten nach System	Stufe Saprobierarten nach System
1 Cosmarium turpinii Brébisson	2 Microcystis aeruginosa Kützing
1 Mougeotia parvula Hassall	2 Microcystis flos-aquae (Wittr.) Kirchner
1 Staurastrum paradoxum Meyen	2 Microcystis incerta Lemmermann
1,5 Mougeotia viridis (Kützing) Wittrock	2 Oscillatoria agardhii Gomont
1,5 Spirogyra spec. Link	2 Oscillatoria beggiatififormis (Grunow) Gomont
1,5 Staurastrum gracile Ralfs	2 Oscillatoria sancta Kützing
1,5 Staurastrum orbiculare (Ehrenberg) Ralfs	2,5 Lyngbya hieronymusii Lemmermann
1,5 Staurastrum tetracerum (Kützing) Ralfs	2,5 Oscillatoria limosa Kützing
2 Closterium acutum (Lyngb.) Brébisson	2,5 Oscillatoria rubescens De Candolle
2 Closterium ehrenbergii Meneghini	3 Oscillatoria amoena (Kützing) Gomont
2 Closterium moniliferum (Bory) Ehrenberg	3 Oscillatoria brevis Kützing
2,5 Closterium leibleinii Kützing	3 Oscillatoria guttulata van Goor
2,5 Cosmarium botrytis Meneghini	3 Oscillatoria splendida Greville
3 Closterium acerosum (Schrank) Ehrenberg	3 Oscillatoria tenuis Agardh
2 Chroomonas nordstedtii Hansgirg	3 Phormidium autumnale (Agardh) Gomont
3 Chilomonas oblonga Pascher	3 Phormidium foveolarum (Mont.) Gomont
3 Chilomonas paramaecium Ehrenberg	3 Pseudoanabaena catenata Lauterborn
1 Phormidium inundatum Kützing	3,5 Oscillatoria chlorina Kützing
1 Phormidium papyraceum (Agardh) Gomont	1,5 Ceratium hirundinella (Müller) Schrank
1,5 Anabaena circinalis (Kützing) Hansgirg	2 Trachelomonas oblonga Lemmermann
1,5 Calothrix parietina (Nägeli) Thuret	2,5 Anisonea ovale Klebs
1,5 Gloeotrichia echinulata (J. E. Smith) Richter	3 Peranema trichophorum (Ehrenberg) Stein
1,5 Gomphosphaeria lacustris Chodat	1 Audouinella violacea Kützing
1,5 Merismopedia elegans Braun	1 Bangia atropurpurea (Roth) Agardh
1,5 Microcystis viridis (Braun) Lemmermann	1,5 Lemanea fluviatilis Agardh
2 Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs	4 Beggiatoa leptomitiformis (Meneghini) Trevisan
2 Aphanotheca clathrata W. et G. S. West	4 Thiothrix nivea (Rabenhorst) Vinogradskij
2 Lyngbya limnetica Lemmermann	1 Characiopsis acuta (Braun) Borzi
2 Lyngbya martensiana Meneghini	2 Tribonema affine West
2 Merismopedia glauca (Ehrenberg) Nägeli	2 Vaucheria sessilis (Vauch) De Candolle
2 Merismopedia punctata Meyen	

Stufe 1 = oligosaprob (Güteklasse I); Stufe 1,5 = oligosaprob/ $\beta$ -mesosaprob (Güteklasse I/II); Stufe 2 =  $\beta$ -mesosaprob (Güteklasse II); Stufe 2,5 =  $\beta$ -mesosaprob/ $\alpha$ -mesosaprob (Güteklasse II/III); Stufe 3 =  $\alpha$ -mesosaprob (Güteklasse III); Stufe 3,5 =  $\alpha$ -mesosaprob/polysaprob (Güteklasse III/IV); Stufe 4 = polysaprob (Güteklasse IV).

Von den 552 im Untersuchungsgebiet (Rhein vom Tomasee bis Basel und alle erwähnten Zuflüsse) gefundenen Algenarten sind 181 Saprobier. Im Rhein alleine sind es 455 Algenarten, und davon sind 154 Saprobier. Alle Zuflüsse zusammen weisen 347 Arten mit 163 Saprobieren auf.

### 1.1. Algenarten des Saprobien systems und ihre Güteklasse

Tabelle 1 zeigt uns die im Untersuchungsgebiet vorgefundenen Algenarten mit ihrer zugeteilten Güteklasse. Die Algen sind nach dem botanischen System aufgelistet. Zudem sind die Fundstellen aus der Tabelle ersichtlich (vgl. Karte in Bauhinia 9/4, S. 294).

### *1.2. Beschreibung der Saprobienstufen des Rheines (Messstelle unterhalb eines Zuflusses)*

Betrachten wir nun die Abb. 1e mit den Saprobienstufen der 22 Messstellen, so fällt auf, dass die Nr. 15 (Rhein nach Untervaz) den höchsten Wert aufweist. Der Durchschnitt liegt bei 2,05. Es folgt Nr. 35 (Rhein nach Thureinfluss) bei der Ziegelhütte und Nr. 38 (Rhein nach Tössegg).

Die tiefen Werte von Nr. 1 (Quellrhein) und Nr. 17 (Rhein nach Landquart) resultieren aus der Nichtberücksichtigung der Bacillariophyceen.

Die Gegend des Bodensees (Nr. 30 und 31) weist ebenfalls recht niedrige Werte auf: bis Stufe 1,8. Die andern Stellen bewegen sich im Mittel von Stufe 1,8 bis 1,9. Über die ganze Rheinstraße hinweg sind es nur drei Stellen, die einen Wert über 2 aufweisen.

### *1.3. Beurteilung der Wasserqualität des Rheines anhand der Saprobier*

Für die Beurteilung der Wasserqualität mit dem Saprobien-System können wir die Trendlinie betrachten (Abb. 1f). Sie zeigt uns von Stufe 1,84 bis 1,98 eine leichte Steigung, d. h. eine leichte Zunahme der Belastung vom Tomasee nach Basel.

### *1.4. Beurteilung der Wasserqualität des Rheines anhand der Saprobier (Messstelle oberhalb eines Zuflusses)*

Bei diesen Proben wurden die Kieselalgen nicht berücksichtigt. Hier ist die Trendlinie leicht fallend, d. h. eine Abnahme der Verschmutzung (Stufe 1,95 bis 1,90) von der Rheinquelle bis nach Basel kann festgestellt werden (Abb. 2).

### *1.5. Beschreibung der Saprobienstufen der Zuflüsse*

Von den 19 untersuchten Zuflüssen des Rheines lässt sich eine ganz ähnliche Tendenz wie bei den vorher beschriebenen 22 Stellen des Rheines (Kapitel 1.2.) erkennen (Abb. 3 und Tabelle 2).

Die Trendlinie der Saprobienstufen verläuft bei den Zuflüssen etwas steiler, d. h. sie beginnt bei ca. 1,81 und endet bei 2,05. Weniger steil verlaufen die Linien der Saprobier-Artenanzahl der Stufe 2 und 2,5. Stufe 1 nimmt hier ab, während Stufe 3 ganz schwach steigt.

Die Abb. 3e zeigt schön, wie der Mittelwert nach Entnahmestelle Nr. 26 (Frutz) und Nr. 28 (Bregenzer Ach) über 2,0 steigt, wie aber dann der Bodensee wieder reduzierend wirkt und später mit Töss und Glatt wieder eine neue Belastungswelle einbricht.

Die höchste Belastung erkennen wir in der Birs, gefolgt von Sissle und Frutz. Den geringsten Wert weist der Medelserrhein auf.

### *1.6. Beurteilung der Wasserqualität anhand der Saprobienstufen bei den Zuflüssen*

Bei allen Zuflüssen ist die Stufe 2 zahlenmässig weitaus dominierend. Die Trendlinie der gesamten Mittelwerte zeigt uns einen Anstieg von Stufe 1,8 (ab Medelserrhein) bis etwas mehr als Stufe 2 (Wiese). Wir können hier allgemein von einer Verschlechterung der Wasserqualität bis Basel sprechen. Das erste vermehrte Auftreten von Saprobien beginnt mit der Frutz.

### 1.7. Reihenfolge der Zuflüsse anhand der Saprobienstufen (zunehmende Belastung)

1	Medelserrhein	1,69	11	Thur	1,93
2	Hinterrhein	1,78	12	Aare	1,95
3	Landquart	1,85	13	Ergolz	2,00
4	Binnenkanal	1,85	14	Glatt	2,00
5	Wiese	1,85	15	Bregenzer Ach	2,01
6	Glogn	1,88	16	Töss	2,01
7	Ill	1,89	17	Frutz	2,06
8	Plessur	1,89	18	Sissle	2,07
9	Tamina	1,90	19	Birs	2,08
10	Alter Rhein	1,91			

Die Werte der Zuflüsse (sieben Zuflüsse zeigen eine Güteklasse von 2 und mehr auf) ergeben ein gleiches Resultat, wie es bei der chemischen Untersuchung herauskam; d. h. der Zufluss ist schmutziger als der Rhein selbst.

Die Differenz vom «saubersten» zum «schmutzigsten» Zufluss ist mit 0,39 Einheiten im Saprobienstufen relativ gering. Dennoch lassen sich Unterschiede erkennen.

Im grossen ganzen entspricht die obige Reihenfolge der geographischen Lage. Im Abschnitt Tomasee bis Bodensee vermag lediglich die Wiese sich einzuordnen. Nach dem Bodensee bis Basel sind es Bregenzer Ach und Frutz, die sich eher unter die «schmutzigeren» gemischt haben.

### 1.8. Vergleich der Saprobienstufen des Rheines und der Zuflüsse (Tabelle 2)

Vergleichen wir die beiden Trendlinien (Abb. 1f/3f), so fällt uns auf, dass die Linie der Zuflüsse steiler ansteigt als die des Rheines. Dies zeigt uns einmal mehr die ausgleichende Wirkung des grossen Rheinstromes.

### 1.9. Vergleich Saprobieranzahl und Algen-Total (Tabelle 2 und Abb. 4)

Beide Linien verlaufen mehr oder weniger parallel steigend (Abb. 4). Wenn wir die Saprobienstufen der 22 Stellen (Rhein unterhalb von Zuflüssen, Abb. 1c/d) einzeln beurteilen (Anzahl Algenarten pro Stufe), so fällt auf, dass Stufe 2 am steilsten ansteigt (5 Arten an der Quelle, 24 in Basel); Stufe 1,5 ist etwas flacher; Stufe 1 und 3 verlaufen fast parallel. Bei den Zuflüssen (Abb. 3) nimmt Stufe 1 Richtung Basel ab, Stufe 1,5 sowie Stufe 2 und 3 leicht zu. Stufe 2,5 steigt am stärksten, allerdings mit wenig Arten. (Man muss hier bedenken, dass die gesamte Artenzahl gegen Basel zunimmt.)

Obwohl der chemische Teil meiner Untersuchung in dieser botanischen Zeitschrift nicht besprochen wird, gestatte ich mir wenigstens auf die Resultate hinzuweisen.

### 1.10. Beurteilung der Wasserqualität anhand der Chemie und der Saprobier im Rhein und in den Zuflüssen

Anhand von 12 verschiedenen biologisch wichtigen chemischen Parametern (Leitfähigkeit, Ammonium, CSB, Chlorid, Calcium, Gesamthärte, Karbonathärte, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Sulfat, BSB5) wurden die Abbildungen 5 und 6 erstellt. Vergleichen

Abb. 1, a-f. Saprobier, Rhein

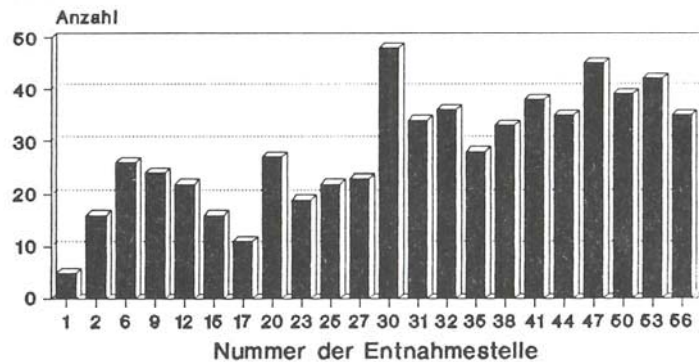


Abb. 1a

■ Saprobia

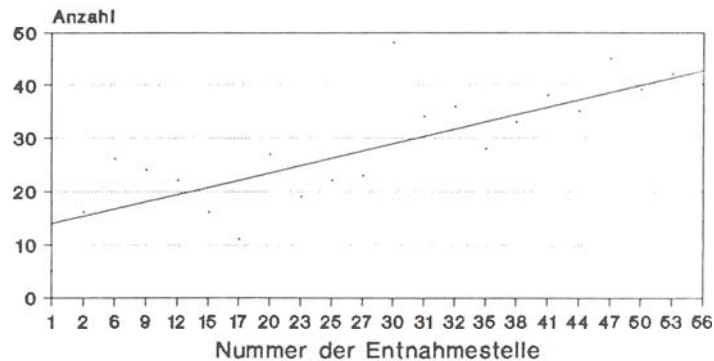


Abb. 1b

— Saprobia

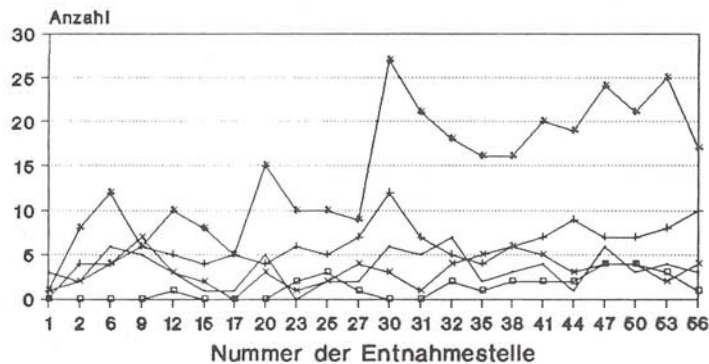


Abb. 1c

— Stufe 1 + Stufe 1,5 \* Stufe 2 □ Stufe 2,5 x Stufe 3

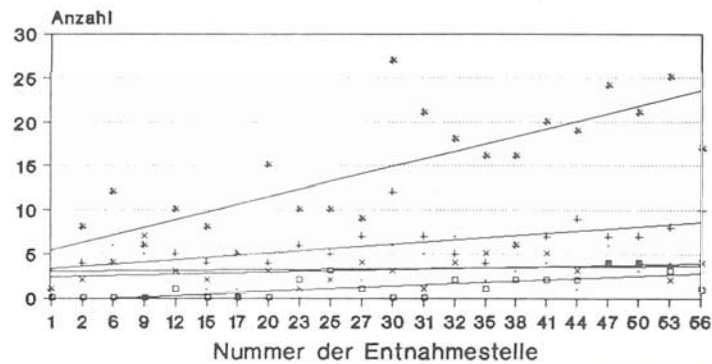


Abb. 1d

— Stufe 1 + Stufe 1,5 \* Stufe 2 □ Stufe 2,5 x Stufe 3

Abb. 2, a-b. Saprobier, Rhein (oberhalb der Zuflüsse)

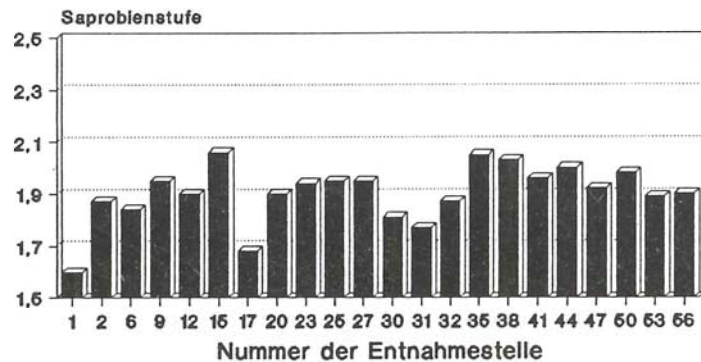


Abb. 1e

■ Saprobier

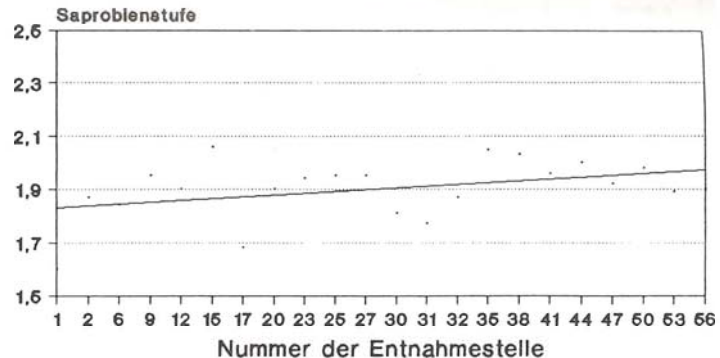


Abb. 1f

— Saprobier

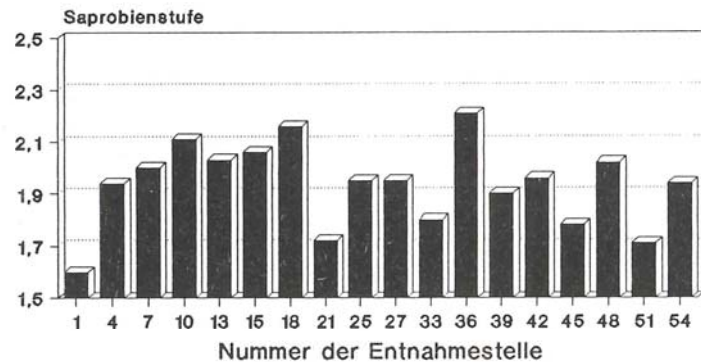


Abb. 2a

■ Saprobier

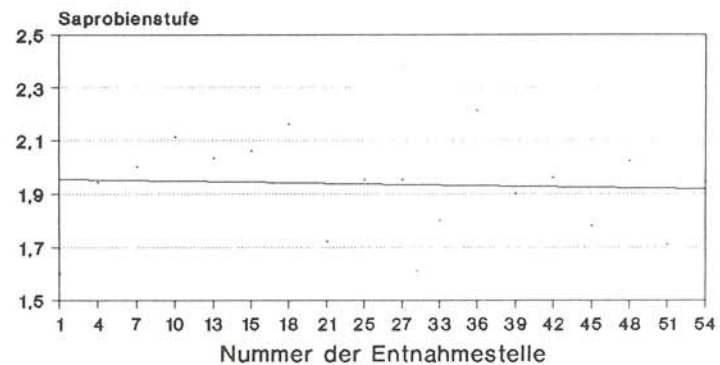


Abb. 2b

— Saprobier

Abb. 3, a-f. Saprobier, Zuflüsse

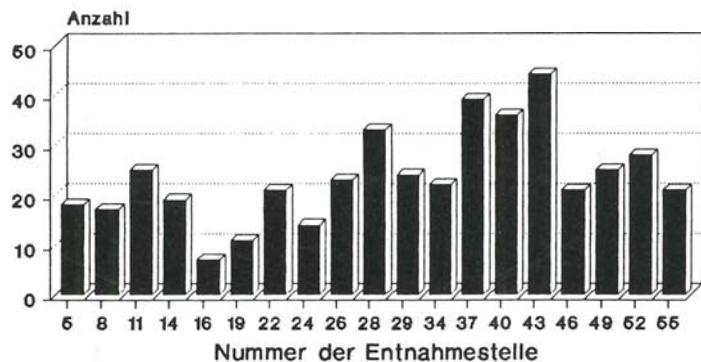


Abb. 3a

■ Saprobia

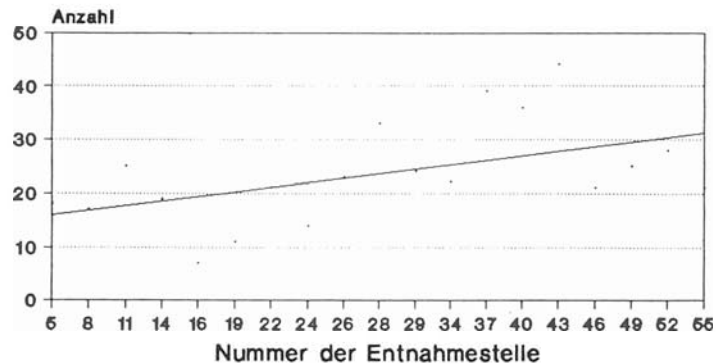


Abb. 3b

— Saprobia

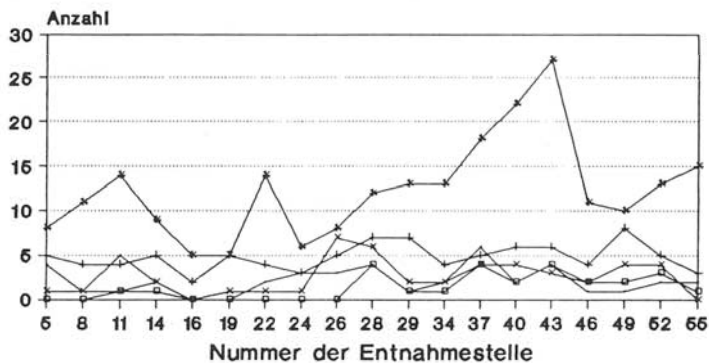


Abb. 3c

— Stufe 1 + Stufe 1,5 \* Stufe 2 □ Stufe 2,5 \* Stufe 3

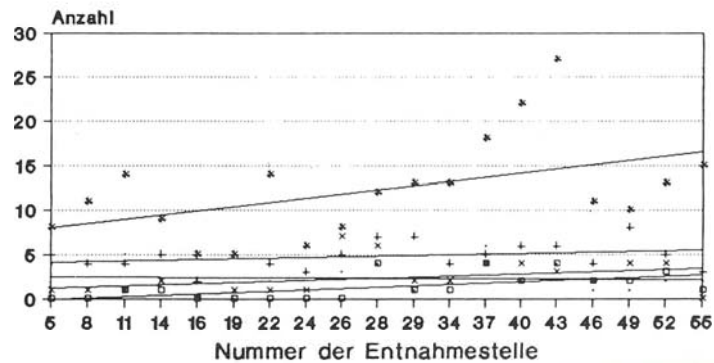


Abb. 3d

— Stufe 1 + Stufe 1,5 \* Stufe 2 □ Stufe 2,5 \* Stufe 3



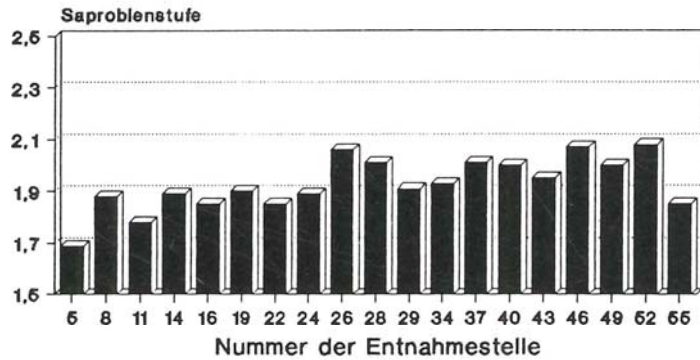


Abb. 3e

■ Saprobienstufe

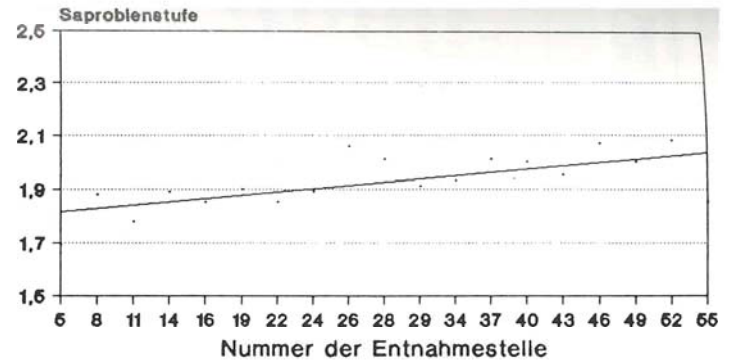


Abb. 3f

— Saprobienstufe

Abb. 4, a–b. Alle Algen/Saprobier, Rhein und Zuflüsse

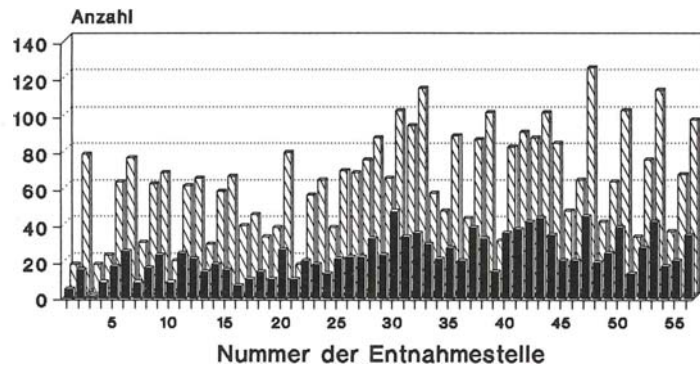


Abb. 4a

■ Saprobier    ▨ Total der Algen

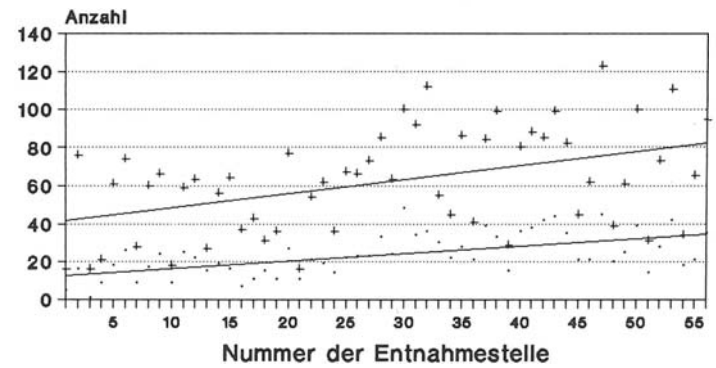


Abb. 4b

— Saprobier    + Total der Algen

Tabelle 2. Saprobienresultate Rhein und Zuflüsse

Nr.	Probeentnahmestelle	S-Stufe	Artenzahl der Saprobier	% der Saprobier	Artenzahl gesamt
1	Quellrhein, Toma	1,60	5	31,25	16
2	Tomasee	1,87	16	21,05	76
3	Vorderrhein, Tschamut	2,00	1	6,25	16
4	Vorderrhein, Disentis	1,94	9	42,86	21
5	Medelerrhein	1,69	18	29,51	61
6	Vorderrhein nach Disentis	1,84	26	35,14	74
7	Vorderrhein, Ilanz	2,00	9	32,14	28
8	Glogn	1,88	17	28,33	60
9	Vorderrhein nach Ilanz	1,95	24	36,36	66
10	Vorderrhein, Reichenau	2,11	9	50,00	18
11	Hinterrhein	1,78	25	42,37	59
12	Rhein nach Reichenau	1,90	22	34,92	63
13	Rhein, Felsberg	2,03	15	55,56	27
14	Plessur, Chur	1,89	19	33,93	56
15	Rhein, Untervaz	2,06	16	25,00	64
16	Landquart	1,85	7	18,92	37
17	Rhein nach Landquart	1,68	11	25,58	43
18	Rhein, Bad Ragaz	2,16	15	48,39	31
19	Tamina	1,90	11	30,56	36
20	Rhein nach Bad Ragaz	1,90	27	35,06	77
21	Rhein bei Büchel	1,72	11	68,75	16
22	Binnenkanal	1,85	21	38,89	54
23	Rhein nach Büchel	1,94	19	30,65	62
24	Ill	1,89	14	38,89	36
25	Rhein bei Rüthi	1,95	22	32,84	67
26	Frutz	2,06	23	34,85	66
27	Rhein bei Fussach	1,95	23	31,51	73
28	Bregenzer Ach	2,01	33	38,82	85
29	Alter Rhein, Rheinspitz	1,91	24	38,10	63
30	Bodensee, Uttwil	1,81	48	48,00	100
31	Bodensee, Gottlieben	1,77	34	36,96	92
32	Rhein, Stein am Rhein	1,87	36	32,14	112
33	Rhein, Elliken	1,80	30	54,55	55
34	Thur	1,93	22	48,89	45
35	Rhein, Ziegelhütte	2,05	28	32,56	86
36	Rhein, Tössegg	2,21	21	51,22	41
37	Töss	2,01	39	46,43	84
38	Rhein nach Tössegg	2,03	33	33,33	99
39	Rhein, Rheinsfelden	1,90	15	51,72	29
40	Glatt	2,00	36	45,00	80
41	Rhein nach Rheinsfelden	1,96	38	43,18	88
42	Rhein, Koblenz	1,96	42	49,41	85
43	Aare	1,95	44	44,44	99
44	Rhein, Full	2,00	35	42,68	82
45	Rhein, Sisseln	1,78	21	46,67	45
46	Sissle	2,07	21	33,87	62
47	Rhein nach Sisseln	1,92	45	36,58	123
48	Rhein, Kaiseraugst	2,02	20	51,28	39
49	Ergolz	2,00	25	40,98	61
50	Rhein, Augst	1,98	39	39,00	100
51	Rhein, Birsfelden	1,71	14	45,16	31
52	Birs	2,08	28	38,36	73
53	Rhein nach Birsfelden	1,89	42	46,62	111
54	Rhein, Kleinhüningen	1,94	18	52,94	34
55	Wiese	1,85	21	32,31	65
56	Rhein, Dreiländereck	1,90	35	36,84	95

wir die Trendlinien der chemischen Parameter (Abb. 5b und 6b)<sup>1</sup> mit den biologischen Resultaten (Abb. 1f und 3f), so stellen wir eine weitgehend gleich verlaufende Tendenz fest. Man kann mit beiden Methoden eine zunehmende Belastung des Wassers von der Quelle bis nach Basel erkennen.

## 2. Diskussion

Tabelle 2 im ersten Teil (Bd. 9/4, S. 308ff.) zeigt uns die Fundstellen der Saprobier. Es geht daraus hervor, dass einige der von MAUCH gewählten Algenarten sich wohl nicht sehr als Indikatoren für eine bestimmte Wassergüteklasse eignen, da sie doch über den ganzen Rheinlauf hinweg anzutreffen sind: *Diatoma hiemale*, *Nitzschia linearis*, *Achnanthes lanceolata*, *Achnanthes minutissima*, *Cocconeis pediculus*, *Cocconeis placentula*, *Diatoma vulgare*, *Gomphonema olivaceum*, *Melosira varians*, *Nitzschia dissipata*, *Scenedesmus bijugatus*, *Cosmarium formosulum*, *Merismopedia glauca*, *Pseudoanabaena catenata*. Von den 14 erwähnten Arten sind 10 Bacillariophyceae.

Es stellt sich die Frage, ob diese Arten unkritisch ins Saprobien-system eingereiht worden sind, ob sie auf ganz bestimmte Stoffe reagieren oder ob sie sich im Verlaufe der Zeit an die Umgebung bzw. an eine höhere Belastung angepasst haben.

Dennoch vermögen die vielleicht nicht sensiblen Arten das Gesamtbild nicht oder nur unwesentlich zu beeinflussen.

Nach DEMMERLE (1966) nimmt die Konzentration der Schadstoffe im Verlaufe der Fließstrecke durch Eutrophierung infolge Abwassereinleitung zu. Meine Trendlinien bestätigen diese Aussage nach wie vor. Es muss aber festgehalten werden, dass im gesamten Untersuchungsgebiet immer wieder 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 unten angeführte Zusammenstellung zeigt uns die Reihenfolge von acht Messstellen im Rhein mit abnehmender chemischer Belastung. Zum Vergleich wurde daneben die Reihenfolge, die aus der biologischen Indikationsmethode (Saprobier) resultiert, dargestellt. Es zeigt sich, dass 4 Entnahmestellen in beiden Listen vorkommen. Wenn man bedenkt, dass die Unterschiede in den chemischen Werten wie in den Saprobienstufen sehr gering sind, so liegt das durchaus im Bereich der Streuung.

chemische Untersuchung	biologische Untersuchung
1 Nr. 41 Rhein nach Rheinsfelden	Nr. 15 Rhein, Untervaz
2 Nr. 53 Rhein nach Birsfelden	Nr. 35 Rhein, Ziegelhütte
3 Nr. 50 Rhein, Augst	Nr. 38 Rhein nach Tössegg
4 Nr. 54 Rhein, Kleinhüningen	Nr. 44 Rhein, Full
5 Nr. 25 Rhein bei Rüthi	Nr. 50 Rhein, Augst
6 Nr. 30 Bodensee, Uttwil	Nr. 41 Rhein nach Rheinsfelden
7 Nr. 35 Rhein, Ziegelhütte	Nr. 25 Rhein bei Rüthi
8 Nr. 36 Rhein, Tössegg	Nr. 27 Rhein bei Fussach

<sup>1</sup> Die chemischen Untersuchungen werden separat publiziert.

Abb. 5, a-b. Rhein, Gesamtbelastung

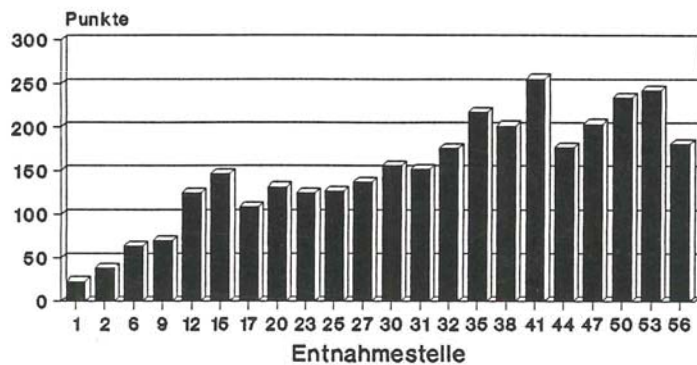


Abb. 5a

■ Gesamtbelastung

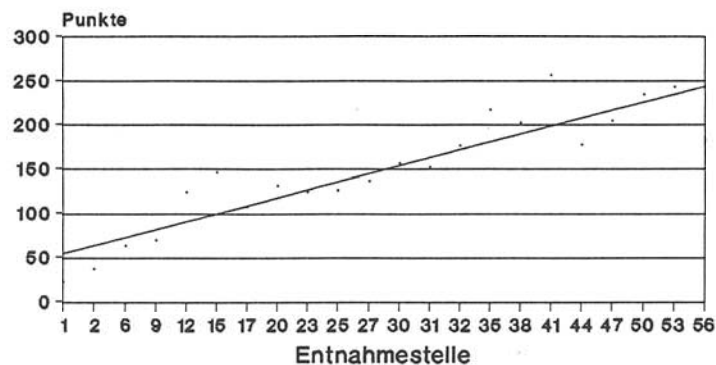


Abb. 5b

— Gesamtbelastung

Abb. 6, a-b. Zuflüsse, Gesamtbelastung

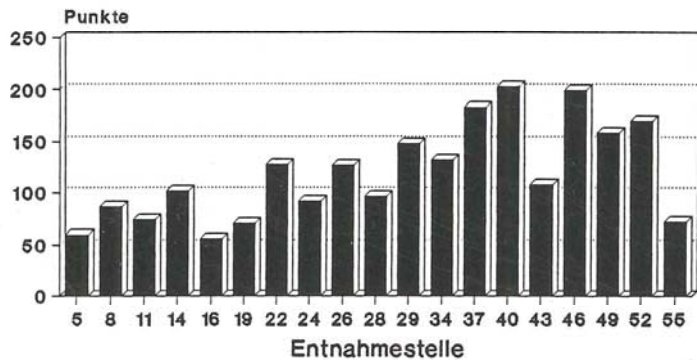


Abb. 6a

■ Gesamtbelastung

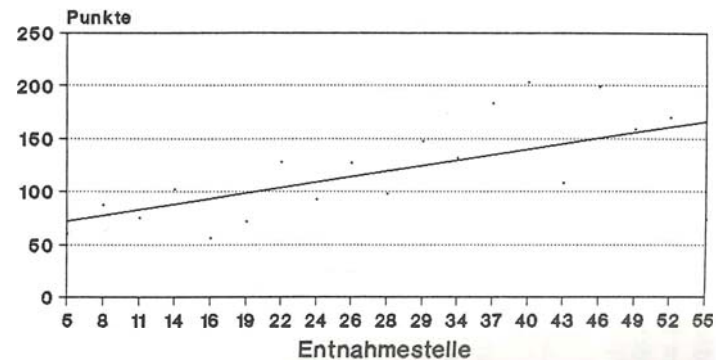


Abb. 6b

— Gesamtbelastung

In der Schriftenreihe des Bundesamts für Umweltschutz (Nummer 20) wird festgehalten, dass das Wasser- und Abwasserverhältnis in der Schweiz gut sei, dass aber der Anteil an organischem Kohlenstoff und an Schwermetallen zu gross sei. Die Resultate der Messungen von Phosphat, Ammonium und BSB5 sind mit den meinigen identisch. Am Schluss der Arbeit gibt das Bundesamt einige Empfehlungen ab: Der Flusslauf solle möglichst natürlich gestaltet sein, und man solle die Schadstoffe beseitigen, bevor sie ins Wasser geleitet würden.

Nach meinen Berechnungen stammt bei Hochwasserstand in Basel 2,2% des Rheinwassers aus Kläranlagen. Es sind zwar nur 2%, aber doch täglich 1 980 000 000 Liter geklärtes Abwasser. Bei Niedrigwasserstand sind es 4%. Ich weiss nicht, ob man da von einem guten Wasser-Abwasser-Verhältnis reden kann. Andererseits muss man bedenken, wie es aussehen würde, wenn keine Kläranlagen da wären und praktisch von 6 Millionen Menschen die Fäkalien im Rhein schwimmen würden. Kläranlagen sind eben keine Trinkwasseraufbereitungsanlagen. Man fragt sich natürlich auch, was der Bund als natürlichen Flusslauf bezeichnet. Sämtliche Zuflüsse und der allergrösste Teil des gesamten Rheinlaufes sind kanalisiert.

Nach dem Saprobiensystem nimmt die Verschmutzung auf der 362 km langen Rheinstrecke in der Schweiz um 0,3 Einheiten zu. Würde die Belastung gleichmässig zunehmen, wäre nach den 1320 km Rheinlauf in Holland die Stufe 2,7 erreicht, was soviel wie *a*-mesosaprob oder stark verschmutzt bedeutet. Wenn aber unser einst klares Rheinwasser die Nordsee erreicht, ist es sehr stark verschmutzt. Es mag für uns ein schwacher Trost sein, dass das Wasser die Schweiz relativ schwach belastet verlässt.

Niemand weiss, wie die Auswirkungen dieser Substanzen auf die Lebewelt sind. Wir stellen plötzlich fest, dass im Mittelmeer Delphine zugrunde gehen. Am selben Tag wird in internationalen Gremien diskutiert und festgehalten, dass man bis zum Jahre 2000 die Schadstoffmenge auf dem heutigen Niveau stabilisieren will. Die Staaten also bestimmen den Untergang direkt. Es ist nicht eine einmalige Katastrophe wie Schweizerhalle, die unsere Gewässer tötet. Wenn tote Fische den weissen Bauch zeigen, schreit die ganze Welt. Es ist aber der langsame, versteckte und schleichende, von den Regierungen aller Staaten sanktionierte Einfluss in die Meere und die dadurch wachsenden Deponien, die das Leben im Wasser töten.

Was der Mensch aus paradiesischen Zuständen gemacht hat, wissen wir. Wie sehr die Ehrfurcht vor dem Strome zum Schaden aller im Laufe der Jahrhunderte nachgelassen hat, lässt uns die Kölner Sage vom Heiligen Kunibert eindrücklich bewusst werden. Als Bischof Kunibert – so berichtet die Sage – einmal einen Besessenen geheilt hatte, verlangte der ausgetriebene böse Geist, in den Rhein zu fahren. Bischof Kunibert aber rief: «Was, du unsauberer und schmutziger Gast, du willst ein solch heiliges Wasser besudeln, das der Welterschöpfer 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! Zeug aus in den Abgrund des Meeres, unter die Ungeheuer der Nacht!» Von solcher Art war der Bischof Kunibert. Er ahnte noch nichts von unserem Zeitalter, 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).

### 3. Zusammenfassung

Im gesamten Untersuchungsgebiet (Rhein von der Quelle bis nach Basel inkl. der grösseren Zuflüsse) konnten 552 Algenarten festgestellt werden. Davon sind 181 Saprobier. Im Rhein allein sind es 455 Arten mit 154 Saprobieren.

Aufgrund des bekannten Saprobien-systems wurde der Verschmutzungsgrad festgestellt. Die Trendlinie lässt eine zunehmende kleine Belastung von der Quelle bis Basel erkennen (Saprobienstufe 1,8 bis 2). Die Trendlinien der chemischen und der biologischen Untersuchung verlaufen gleich.

Die Algenartenzahl nimmt von der Quelle des Rheines mit zunehmender chemischer Belastung zu. Für das Algenvorkommen ist ein gewisses «Nahrungsangebot» notwendig. Im nährstoffarmen Gebiet ist die Algenartenzahl wie die Populationsdichte gering. Die eigentliche Grenze zwischen natürlicher und schädlicher chemischer Belastung konnte nicht eindeutig erfasst werden. Das Rheinwasser hat bezüglich der chemischen Belastung die obere Grenze erreicht, die einer optimalen Entwicklung der Lebewelt gesetzt ist. Eine Selbstreinigung des Wassers konnte an einigen Stellen noch erkannt werden. Die Gesamtfracht an Inhaltsstoffen des Rheinwassers aus einem Einzugsgebiet von etwa sechs Millionen Menschen ist zu gross. Die grösste Belastung wird durch die Zuflüsse eingebracht. Der Abwasseranteil, gemessen an der gesamten Abflussmenge in Basel, schwankt zwischen zwei und vier Prozent.

### 4. Literaturverzeichnis

- 1980 BAUR, W.: Gewässergüte bestimmen und beurteilen. – Hamburg.
- 1983 Bundesamt für Umweltschutz: Abwasserreinigung und Gewässerzustand. Schriftenreihe Umweltschutz, Heft 20.
- 1988 Bundesamt für Umweltschutz: Schutz dem Rhein.
- 1989 Bundesrat, Verordnung über Abwassereinleitungen.
- 1988 CAPEL, P. D.: Accidental input of pesticides into the Rhine River. Environ. Sci. Technol., Vol. 22, No. 9, p. 992–996.
- 1966 DEMMERLE, S. D.: Über die Verschmutzung des Rheines von Schaffhausen bis Kaiserstuhl. Vierteljahrsschrift der Naturf. Ges. Zürich, Bd. 111, Heft 2, S. 155–224.
- 1990 EAWAG, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz: Provisorische Zusammenstellung der Ergebnisse chemischer Analysen 1988 und 1989.
- 1982 Eidg. Departement des Innern: Empfehlungen für die Untersuchung der schweizerischen Oberflächengewässer.
- 1974 Eidg. Departement des Innern: Richtlinien für die Untersuchung von Abwasser.
- 1988 HÜTTER, L. A.: Wasser und Wasseruntersuchung. – Aarau.
- 1986 Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz: Eidg. Dep. des Innern; Landeshydrologie und -geologie. – Bern.
- 1985 Internationale Kommission zum Schutze des Rheines gegen Verunreinigung. – Koblenz.
- 1989 JOGER, U.: Praktische Ökologie. – Aarau.
- 1980 JUON, H.: Experimentelle Prüfung der pflanzlichen Produktionskraft des Rheinwassers (Untersee bis Basel). Diplomarbeit unter Prof. Thomas. Hydrobiologisch-limnologische Station Kilchberg der Universität Zürich.
- 1908 KOLKOWITZ, R. & MARSSON, M.: Oekologie der pflanzlichen Saprobien. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. XXVIa, S. 505–519.
- 1989 KUMMERT, R. & STUMM, W.: Gewässer als Ökosysteme. – Zürich.
- 1904 LAUTERBORN, R.: Die Ergebnisse einer biologischen Probeuntersuchung des Rheins. Arb. a. d. Kaiserlichen Gesundheitsamte, Bd. XXII, S. 630–652.

- 1981 Lehrerdokumentation Wasser: Schweiz. Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene. – Zürich.  
1978 MALLE, K. G.: Wie schmutzig ist der Rhein? Chemie in unserer Zeit, 12. Jahrg., Nr. 4.  
1977 MAUCH, E.: Leitformen der Saprobität. Teil 2 und 3. – Frankfurt.  
1967 MÄRKI, E.: Die Verunreinigung des Rheins von seinen Quellflüssen bis zum Bodensee. Separatdruck aus «Wasser und Energiewirtschaft» (Baden) Nr. 12, S. 1–43.  
1990 NZZ-Bericht: Erfolge bei der Sanierung des Rheins. Wochenendausgabe 17./18. März 1990.  
1984 Rheinigung: Eine kleine Fallstudie über die Kläranlage Basel. Informationsübersicht 1989.  
1957 SCHMASSMANN, H.: Bericht über die chemischen Untersuchungen des Rheines vom 13./14. März 1956. Sonderdruck aus «Wasser und Energiewirtschaft» Nr. 11, Zürich.  
1985 SCHMID, M.: Bericht zum Zustand der aargauischen Fließgewässer. Mitt. Aarg. Naturf. Ges. Bd. XXXII, S. 259–280.  
1989 SIGG, L. & STUMM, W.: Aquatische Chemie. – Zürich.  
1991 ZIMMERLI, W.: Die Algenflora des Rheines von der Quelle (Tomasee) bis Basel 1989–1990 (1. Teil). Bauhinia Bd. 9/4, S. 291–324.

*Adresse des Autors:*

Dr. Werner Zimmerli, Bodenackerstrasse 10E, CH-4334 Sisseln.