

# Die Algenflora des Rheines 2. Teil: Die Saprovier von der Quelle (Tomasee) bis Basel

1989–1990

*Werner Zimmerli, Sisseln*

Manuskript eingegangen am 8. Oktober 1991

DOI: <https://doi.org/10.12685/bauhinia.1850>

## Abstract

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

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 Saprobiensystems

(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 Leitororganismen, die ihm den Verschmutzungsgrad des Wassers anzeigen. Saprovier 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 Saprobiensystems zu überprüfen. Das verwendete Saprobiensystem stammt von MAUCH. Es bedeuten:

Tabelle 1. Alle Saprobiertarten des Rheines und der Zuflüsse

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

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

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

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

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

### 1.1. Algenarten des Saprobiensystems und ihre Gütekasse

Tabelle 1 zeigt uns die im Untersuchungsgebiet vorgefundenen Algenarten mit ihrer zugeteilten Gütekasse. 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 Saprobiestufen des Rheines (Messstelle unterhalb eines Zuflusses)*

Betrachten wir nun die Abb. 1e mit den Saprobiestufen 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 Rheinstrecke hinweg sind es nur drei Stellen, die einen Wert über 2 aufweisen.

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

Für die Beurteilung der Wasserqualität mit dem Saprobiensystem 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 Saprobiert (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 Saprobiestufen 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 Saprobiestufen 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 Saprobiert-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 Saprobiestufen 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 Saprobiern beginnt mit der Frutz.

### 1.7. Reihenfolge der Zuflüsse anhand der Saprobiestufen (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 Güteklaasse 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 Saprobiensystem 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 einzurordnen. Nach dem Bodensee bis Basel sind es Bregenzer Ach und Frutz, die sich eher unter die «schmutzigeren» gemischt haben.

### 1.8. Vergleich der Saprobiestufen 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 Sprobieranzahl und Algen-Total (Tabelle 2 und Abb. 4)

Beide Linien verlaufen mehr oder weniger parallel steigend (Abb. 4). Wenn wir die Saprobiestufen 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 Sprobier 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. Saprobit, Rhein

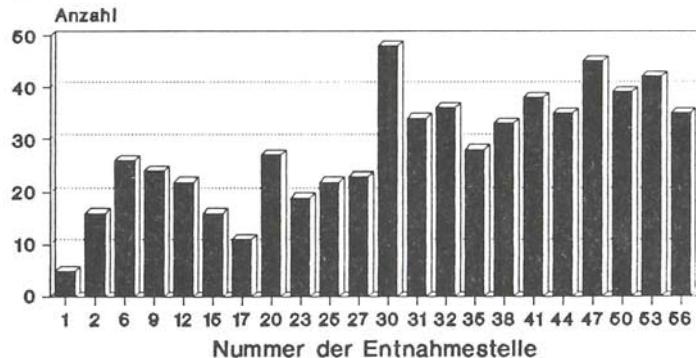


Abb. 1a

Saprobit

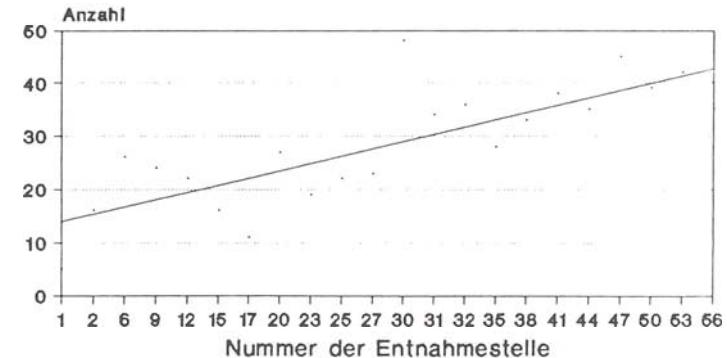


Abb. 1b

Saprobit

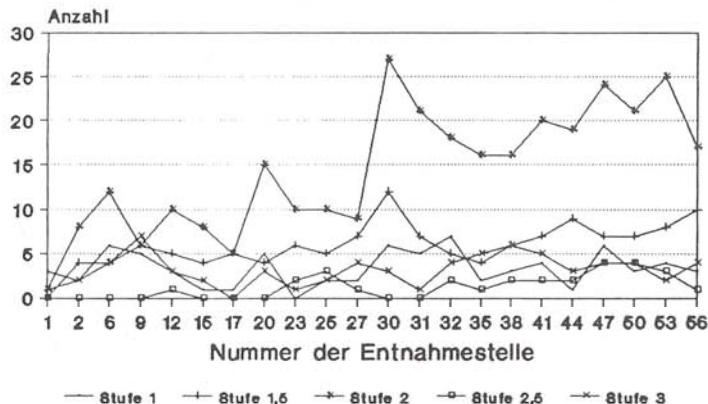


Abb. 1c

Stufe 1    Stufe 1,5    Stufe 2    Stufe 2,5    Stufe 3

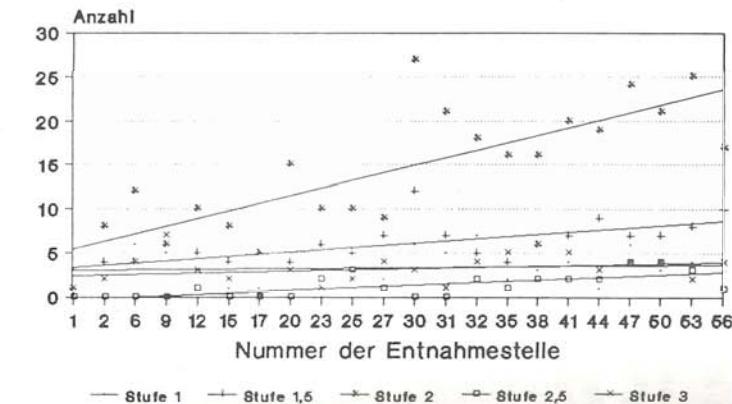


Abb. 1d

Stufe 1    Stufe 1,5    Stufe 2    Stufe 2,5    Stufe 3

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

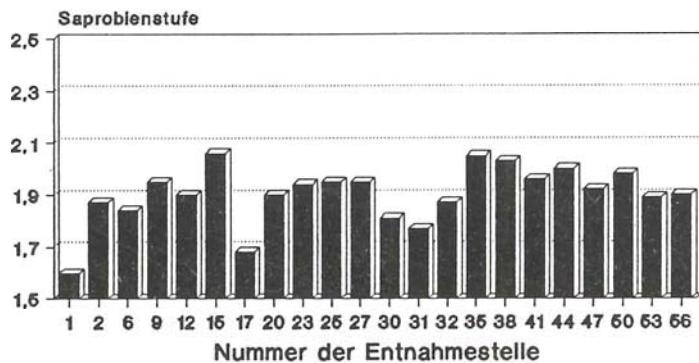


Abb. 1e

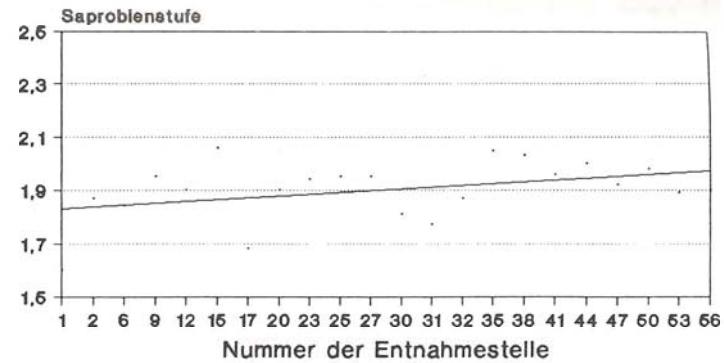
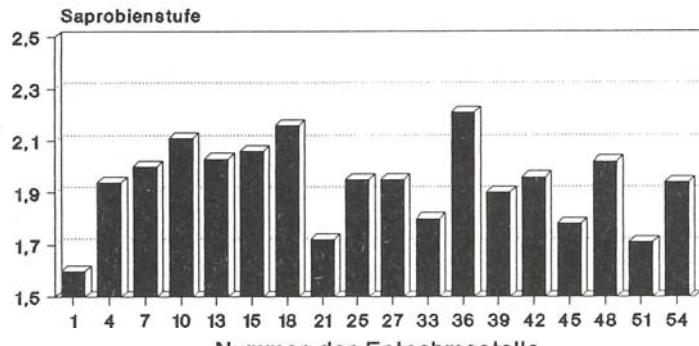


Abb. 1f



171

Abb. 2a

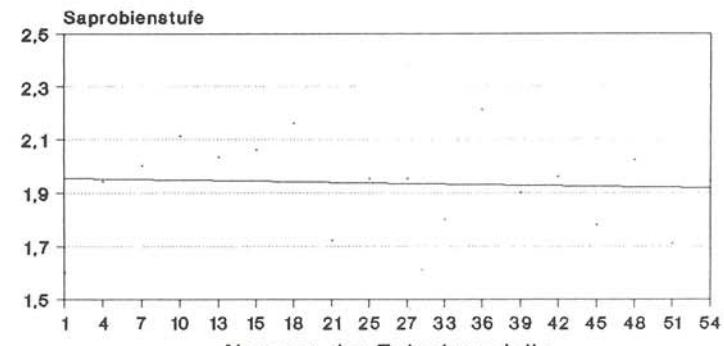


Abb. 2b

Abb. 3, a-f. Saprobier, Zuflüsse

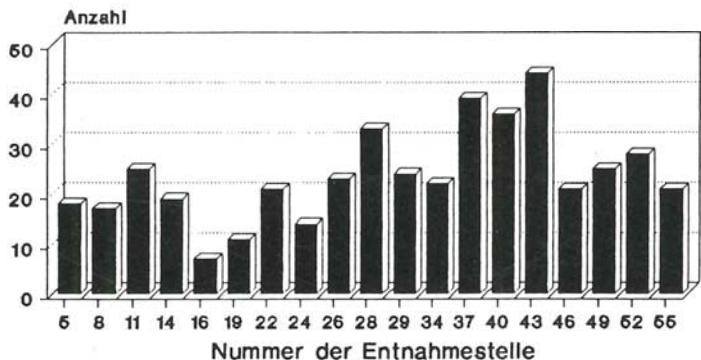


Abb. 3a

■ Saprobier

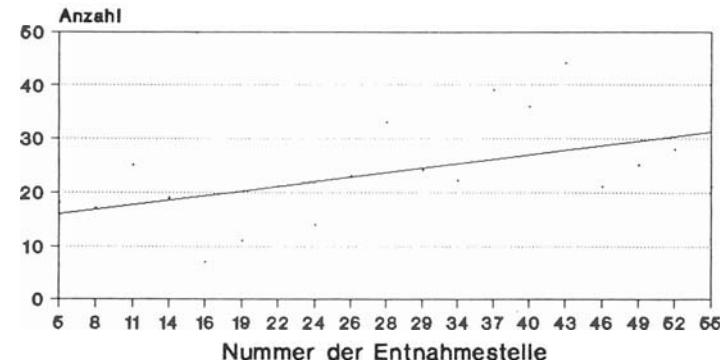


Abb. 3b

— Saprobier

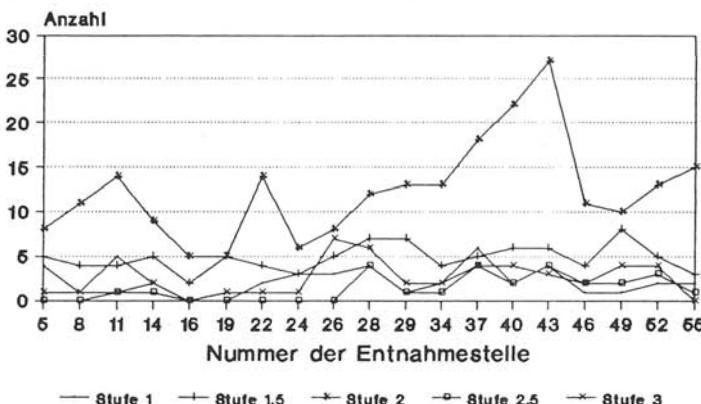


Abb. 3c

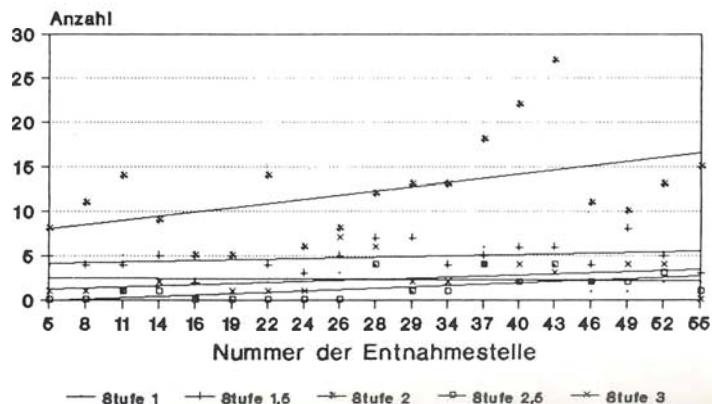


Abb. 3d

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

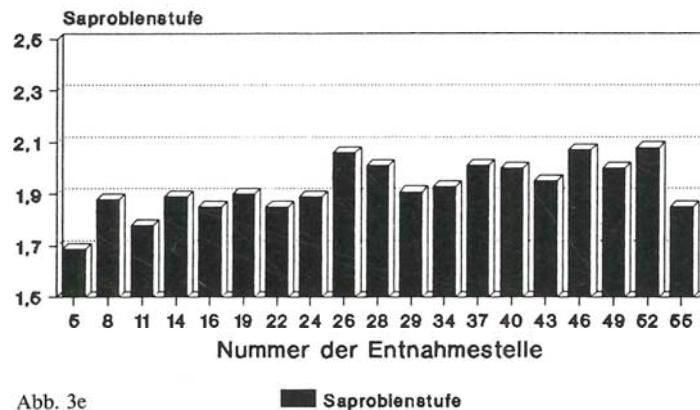


Abb. 3e

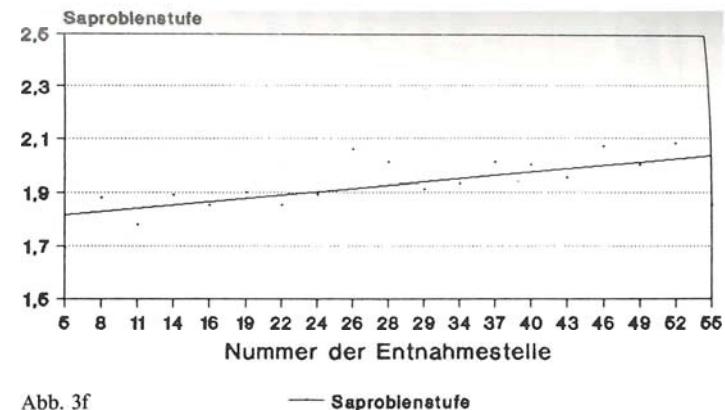
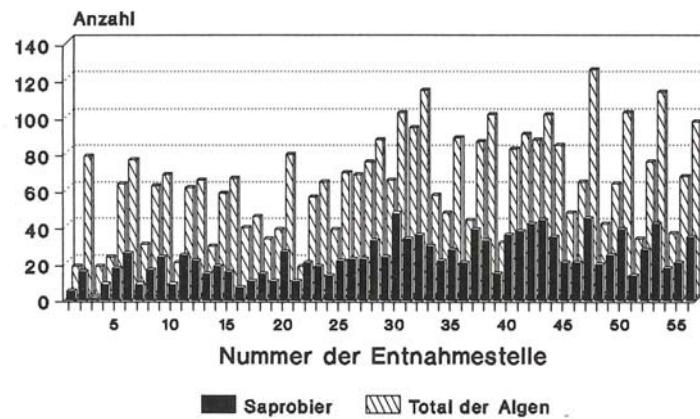


Abb. 3f



173

Abb. 4a

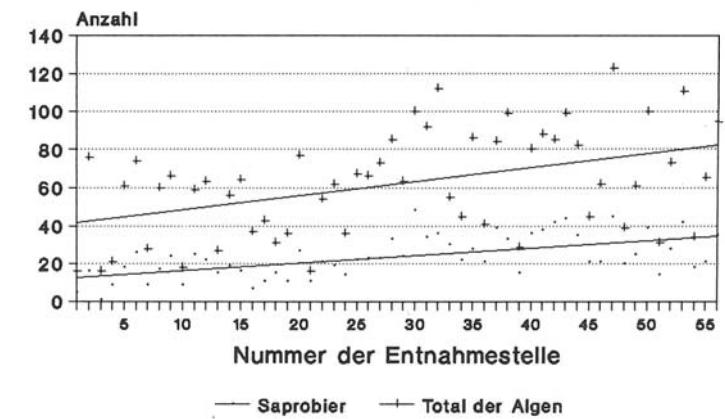


Abb. 4b

Abb. 4, a-b. Alle Algen/Saprobes, Rhein und Zuflüsse

Tabelle 2. Saprobenresultate Rhein und Zuflüsse

Nr. Probeentnahmestelle	S-Stufe	Artenzahl der Saprober	% der Saprober	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 Medelserrhain .....	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, Kleinhünigen .....	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 Saprobiere. Es geht daraus hervor, dass einige der von MAUCH gewählten Algenarten sich wohl nicht sehr als Indikatoren für eine bestimmte Wassergüteklaasse 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 Saprobiensystem 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 (Saprobiere) 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 Saprobiestufen 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, Utwil	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.

971

Abb. 5, a-b. Rhein, Gesamtbelastung

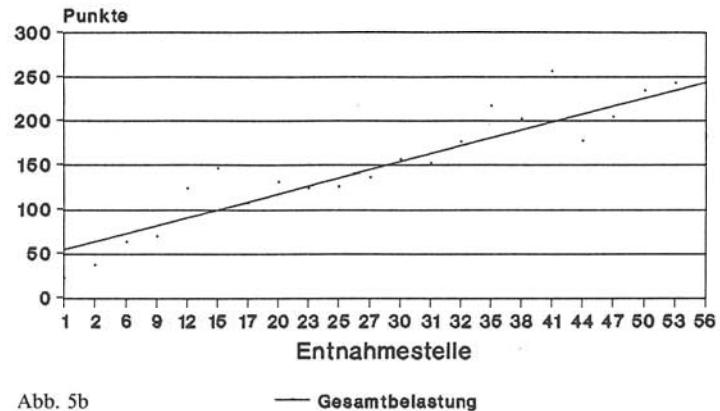
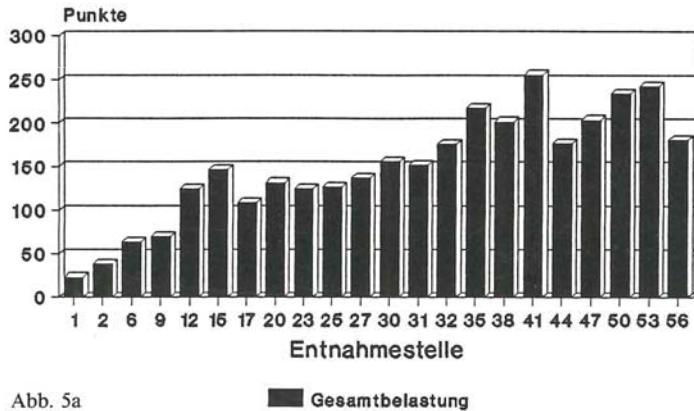
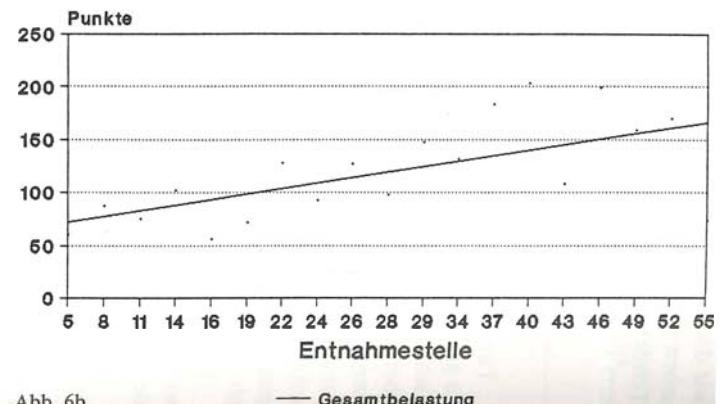
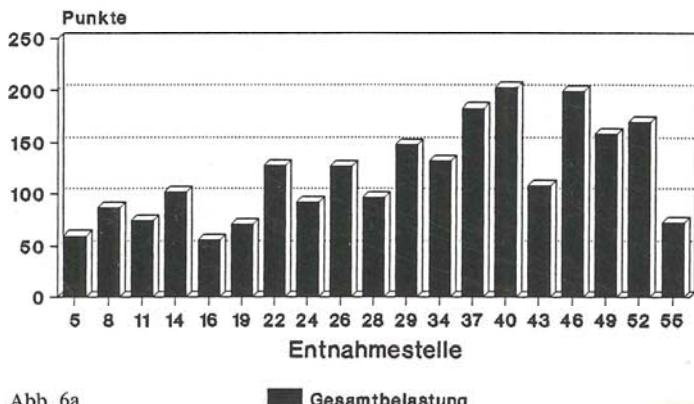


Abb. 6, a-b. Zuflüsse, Gesamtbelastung



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 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! 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 unsauberer 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 Saprobiert. Im Rhein allein sind es 455 Arten mit 154 Saprobiern.

Aufgrund des bekannten Saprobiensystems wurde der Verschmutzungsgrad festgestellt. Die Trendlinie lässt eine zunehmende kleine Belastung von der Quelle bis Basel erkennen (Saprobiestufe 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 Selbsteinigung 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 KOLKWITZ, 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.