



Die Pfälzische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften wurde am 25. Oktober 1925 in Speyer ins Leben gerufen. Ziel war es, der Pfalz, die über keine Universität verfügte, ein geistiges Forum zu verschaffen, in dem sich Wissenschaftler möglichst vieler Fachrichtungen über die „Pfalz und die unmittelbar an sie angrenzenden Landschaften“ austauschen.

Die interdisziplinäre Arbeit gehört zu ihren besonderen Anliegen in Veröffentlichungen und Vorträgen. Diese Jubiläumsschrift belegt in Beiträgen von 50 Autorinnen und Autoren die Vielfalt und Individualität der Forschungsgebiete, auch die fächerübergreifende Geschlossenheit der Gesellschaft. Querverweise der Artikel untereinander ermöglichen es, Aufsätze zu bestimmten Themen zusammensuchen. Man kann aber auch einfach schmökern und sich daran freuen, was es alles über die Pfalz zu wissen gibt.

DR. HEINZ DANNER-STIFTUNG

**KULTUR
STIFTUNG
SPEYER**

ISBN 978-3-89735-903-1



9 783897 359031



Wissenschaftsgesellschaft Pfalz

90 Jahre Pfälzische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften



Peter Diehl / Andreas Imhoff / Lenelotte Möller (Hrsg.)

Wissenschaftsgesellschaft Pfalz

90 Jahre Pfälzische Gesellschaft
zur Förderung der Wissenschaften



Veröffentlichung der Pfälzischen Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften

verlag regionalkultur

Peter Diehl

Die Entwicklung der Wasserqualität des nördlichen Oberrheins in den letzten 90 Jahren

Einleitung

Der Pfalzgraf bei Rhein, die Rheinpfalz, Rheinland-Pfalz – Geschichte und Bedeutung des größten Stromes Mitteleuropas für unsere Region spiegeln sich schon seit Jahrhunderten in politischen und geografischen Begriffen. Der Rhein verband und verbindet als Lebensader seit Jahrtausenden die Völker und Stämme der nördlichen Oberrheinebene mit ihren nahen und fernen Nachbarn. Schon immer wurde der Strom als Transportweg, Nahrungslieferant und Trinkwasserquelle, aber auch als Abwasserkanal genutzt.

Die vielfältigen Nutzungen hatten wechselnde, zeitweise gravierende Auswirkungen auf die Wasserqualität und in der Folge auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft. Insbesondere die enorme Entwicklung von Industrie, Gewerbe und Schifffahrt seit Mitte des 19. Jahrhunderts, verstärkt nach dem Ersten Weltkrieg und noch einmal enorm beschleunigt in der Zeit des „Wirtschaftswunders“ nach dem Zweiten Weltkrieg, führten zu einer dramatischen Verschlechterung der Wasserqualität des Rheins, der einmal – dank seiner Reinheit – der bedeutendste Lachsfluss Europas war. Andererseits zeichnete sich seit Mitte der Siebzigerjahre des 20. Jahrhunderts eine stete Verbesserung der Wasserqualität ab. Eine wesentliche Ursache hierfür war das gesellschaftlich sich wandelnde Umweltbewusstsein, in dessen Folge neue Gesetze und Technologien zur Abwasservermeidung und -reinigung zur Sanierung des Stroms beitrugen.

Der folgende Beitrag zeichnet anhand ausgewählter Stoffe und Stoffgruppen sowie einer zusammenfassenden Betrachtung der Lebensgemeinschaft die dramatische Entwicklung der Rheinwasserqualität nach, die in den turbulenten 90 Jahren seit Gründung der Pfälzischen Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften zu beobachten war. So weit wie möglich beziehen sich alle Angaben auf den nördlichen Oberrhein zwischen Karlsruhe und Mainz, also den historisch im Wesentlichen zur Pfalz gehörigen Abschnitt.

Entwicklung des Artenbestandes

Der Schwerpunkt des vorliegenden Beitrags soll auf der chemischen Beschaffenheit des Wassers liegen. Dennoch wäre ein Überblick über die Rheinwasserqualität nicht vollständig ohne einen zumindest zusammenfassenden Überblick über die Entwicklung der Tierartenzahlen, wobei wir uns hier auf das Makrozoobenthos, also die Kleintiere, die auf dem Gewässergrund leben, beschränken wollen. Detaillierte Untersuchungen sind u. a. in [1, 2, 3] dokumentiert. Die Abb. 1 belegt, dass im Zuge der zunehmenden Verschmutzung des Rheins die Artenzahl des Makrozoobenthos seit den Zwanzigerjahren innerhalb von einem halben Jahrhundert von mehr als 160 Arten auf nur noch 25 Arten Anfang der Siebzigerjahre zurückging. Wertet man die aktuellen Bestände in derselben Art aus wie vor 80–100 Jahren, kommt man heute wieder auf rund 150 Makrozoobenthos-Arten. Das Diagramm macht aber auch deutlich, dass sich die Artenzusammensetzung der Lebensgemeinschaft stark verändert hat. Dominierten Anfang des 20. Jahrhunderts noch die Insekten (vor allem mit ihren

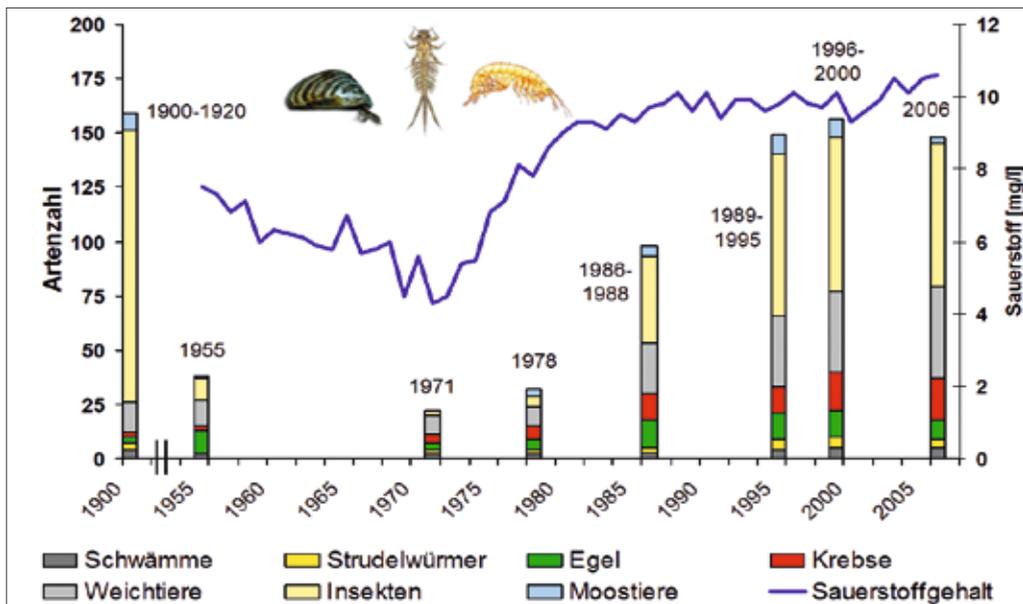


Abb. 1: Historische Entwicklung der Lebensgemeinschaft des Rheins zwischen Basel und der deutsch-niederländischen Grenze in Beziehung zum durchschnittlichen Sauerstoffgehalt des Rheins bei Kleve-Bimmen (ausgewählte Tiergruppen) (aus [4], verändert; Original aus [5]).

Larvenstadien), so machen sie heute deutlich weniger als 50 % aller Arten aus. Dafür haben sich die Artenzahlen bei Mollusken (Muscheln, Schnecken) und Crustaceen (Krebstieren) erhöht.

Die Bewertungskriterien haben sich mit Einführung der EU-Wasserrahmenrichtlinie [21] geändert. Hatte der Nördliche Oberrhein nach den Maßstäben des Saprobien-systems Ende des vergangenen Jahrhunderts weitestgehend die Gewässergüteklasse II (mäßig belastet) erreicht [11], so ist heute anhand der WRRL-Maßstäbe hinsichtlich der Qualitätskomponente Makrozoobenthos zu konstatieren, dass er nur ein „unbefriedigendes“ bis „mäßiges“ Potenzial aufweist (WESTERMANN, pers. Mitt. 25.03.2015).

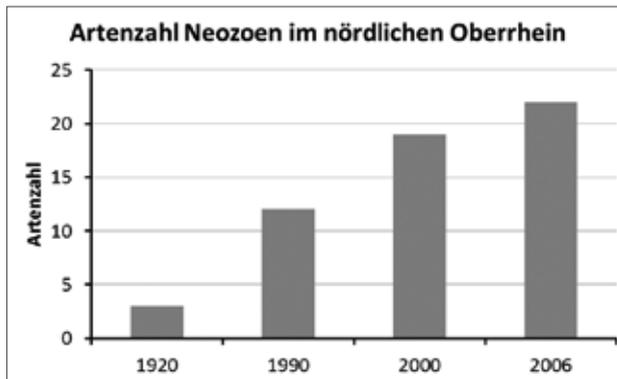


Abb. 2: Zusammenfassung der Befunde der Studien [3], [4] und [6] hinsichtlich des Vorkommens von Neozoen zwischen Karlsruhe und Mainz.

Die „neuen“ Arten sind tatsächlich in erster Linie eingewanderte oder eingeschleppte „Neozoen“, z. B. aus dem Donauraum, der Pontokaspis oder sogar aus China und Nordamerika. Details dazu finden sich in [6], [7], [8] und [9]. Der Rückgang der Insektenarten sowie das Auftreten von Neozoen wird u. a. mit der Erhöhung der Rheinwassertemperatur in Verbindung gebracht [10].

Ende des 20. Jahrhunderts waren im Durchschnitt von den Anfang des Jahrhunderts im Rhein vorkom-

menden Steinfliegen nur noch 6%, von den Eintagsfliegen lediglich 27% und von den Köcherfliegen nur noch 16% nachweisbar [11].

Die Abb. 2 fasst die Ergebnisse der Studien [3], [4] und [6] hinsichtlich der erfassten Neozoen zusammen.

Zum Schluss sei nicht verschwiegen, dass sich eine dem Makrozoobenthos vergleichbare Entwicklung im Fischartenbestand zeigt [11].

Entwicklung ausgewählter chemischer Inhaltsstoffe

Die Entwicklung der chemischen Beschaffenheit des Wassers im nördlichen Oberrhein soll an vier ausgewählten Stoffen bzw. Stoffgruppen dargestellt werden: Sauerstoff, Chlorid, AOX und organische Spurenstoffe.

Sauerstoff

Der Sauerstoffgehalt ist ein wesentlicher abiotischer Faktor, der das Vorkommen der verschiedenen Tierarten bestimmt. Daten zum Sauerstoffgehalt des nördlichen Oberrheins vor dem Zweiten Weltkrieg liegen nur spärlich vor. Anscheinend jedoch ergab „sich kein Anlass zu Bedenken“, da „der Sauerstoffgehalt [bei Mannheim oberhalb der Neckarmündung] den Sättigungswert nahezu erreicht und ihn mitunter sogar übersteigt“. Allerdings war der Einfluss der Abwässer Ludwigshafens schon deutlich an der erhöhten Sauerstoffzehrung zu erkennen [13]. Auch nach dem Zweiten Weltkrieg profitierte die Gewässerbeschaffenheit des Rheins von dem wirtschaftlichen Zusammenbruch und dem zunächst zögerlichen Wiederaufbau [11]. Das änderte sich mit dem „Wirtschaftswunder“ in den Fünfziger- und Sechzigerjahren. Die Entwicklung des Sauerstoffgehalts zur Zeit der gravierendsten Veränderungen zwischen 1970 und 2000 stellt eine auch ästhetisch ansprechende Grafik der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) dar [12, 31], aus der hier der den nördlichen Oberrhein betreffende Teil herausgeschnitten wurde (Abb. 3). Deutlich erkennbar ist der negative Einfluss des weltweit größten Standorts chemischer Industrie ab etwa Rhein-km 430, also ab Ludwigshafen. Aber ebenso deutlich wird die Verbesserung

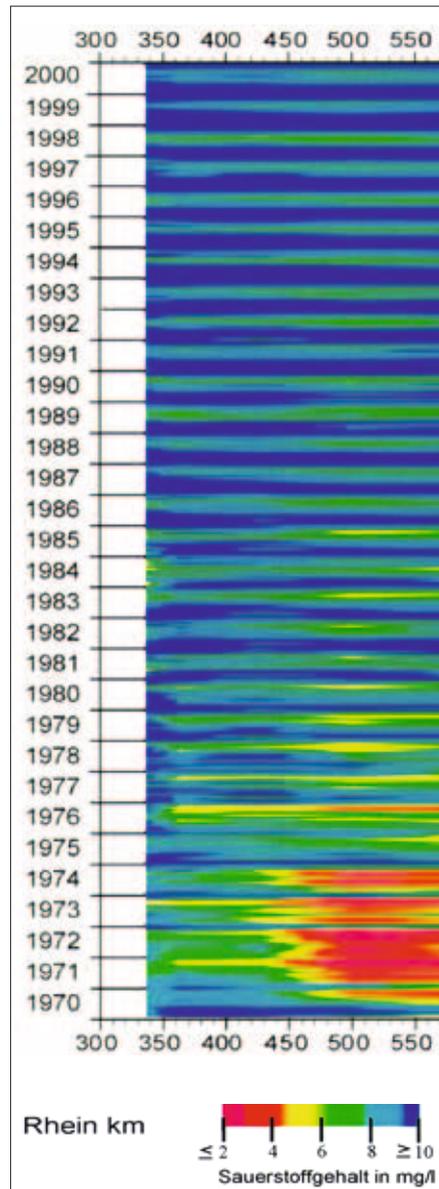


Abb. 3: Am nördlichen Oberrhein zwischen Rhein-km 330 und 520 verbesserte sich die Sauerstoffsituation zwischen 1970 und 2000 erheblich (aus [12, 31], verändert).

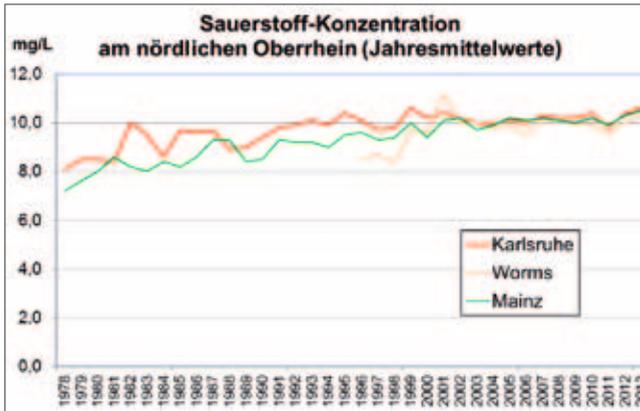


Abb. 4: Entwicklung der Sauerstoffkonzentrationen (Jahresmittelwerte) zwischen Karlsruhe und Mainz.

der Situation ab 1974. Damals ging nämlich – rechtzeitig vor dem Inkrafttreten des Abwasserabgabengesetzes – die Kläranlage des Konzerns in Betrieb. Spätestens seit Beginn der Neunzigerjahre gab es keine besorgniserregenden Beeinträchtigungen des Sauerstoffgehalts im nördlichen Oberrhein mehr.

Das Diagramm in Abb. 4 untermauert diesen Befund mit konkreten Daten aus Karlsruhe, Worms und Mainz zwischen 1978 und 2013 (Daten aus [14, 32, 33, 34]).

Chlorid

Der geogene Hintergrundwert für Chlorid in salzlagerfreien Einzugsgebieten liegt bei 10–30 mg/L [15]. Chlorid ist ein für die Lebensprozesse essenzielles Anion. Chloridkonzentrationen bis 200 mg/L wären im Rhein ökologisch unbedenklich. Allerdings erhalten 20 bis 30 Millionen Menschen direkt oder indirekt ihr Trinkwasser aus dem Rhein, davon rund 5 Millionen aus Wasserwerken, die ihr Rohwasser direkt aus dem Fluss beziehen. Die Trinkwasserverordnung (TVO) setzt einen Grenzwert für Chlorid von 250 mg/L. Die Überprüfung und Reduzierung des Chloridgehalts stand deshalb stets im Fokus der Gewässerüberwachung am Rhein.

Daten aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts [16] belegen, dass die Chloridkonzentrationen bis zum Zweiten Weltkrieg den natürlichen Hintergrundwerten entsprachen. Dann nahm der schon 1904 begonnene Kalibergbau nördlich von Mulhouse im Elsass einen großen Aufschwung. Die Folge: Durch

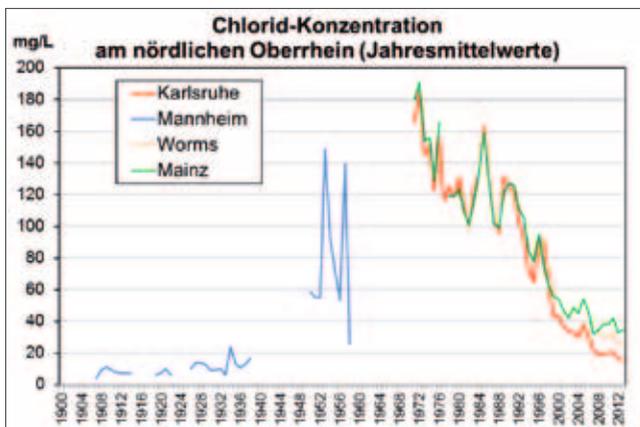


Abb. 5: Entwicklung der Chlorid-Konzentration (Jahresmittelwerte) zwischen Karlsruhe und Mainz seit Anfang des 20. Jahrhunderts (Daten aus [13, 16, 18, 19, 31, 32]).

die Einleitungen von rund 13 Millionen Tonnen Kalisalz jährlich aus den elsässischen Minen sowie die zusätzliche Belastung auch aus den Kohlerevierern an Saar und Ruhr stiegen an der deutsch-niederländischen Grenze die Chloridkonzentrationen auf über 400 mg/L und stellten ein großes Problem für die Trinkwassergewinnung und die landwirtschaftliche Bewässerung dar [18, 19, 34]. Auch am Oberrhein lagen die Jahresmittel bei fast 200 mg/L. Die Abb. 5 fasst die Veränderungen der Chloridkonzentrationen am nördlichen Oberrhein zusammen.

1976 wurde das so genannte „Salzabkommen“ unterzeichnet [35]. Diese „Vereinbarung zum Schutz des Rheins gegen Verunreinigung durch Chloride“ sah vor, die Salzfracht in drei Phasen zu verringern. Hauptsächlich sollte das Kochsalz in den tieferen Untergrund verpresst werden. Am 25. September 1991 wurde das Zusatzprotokoll zum Chlorid-Übereinkommen unterzeichnet, das festschreibt, dass die Chlorid-Konzentration an der deutsch-niederländischen Grenze 200 mg/L nicht überschreiten dürfen.

Die entscheidende Verbesserung der Situation folgte einem Unglück: Ein Brand in der Sondermülldeponie „Stocamine“ führte dazu, dass giftige Rauchgase in die Stollen der elsässischen Kalimine MDPA eindrangen. Der letzte Kalischacht stellte daraufhin seinen Betrieb ein.

Die Abb. 6 mit Messwerten aus Worms illustriert die Auswirkungen. Bis zum Brand gab es einen schon in den Fünfzigerjahren bekannten Wochenrhythmus [16, 17], der die Wochenarbeitszeiten der Mine widerspiegelt. Nach dem Brand war der Wochenrhythmus verschwunden und die Konzentrationen lagen auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Heute kann das ehemals gravierende Chloridproblem als gelöst gelten.

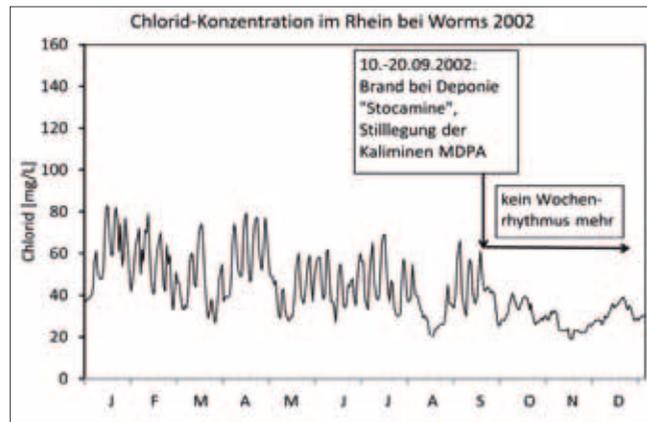


Abb. 6: Nach der Stilllegung der Kaliminen im Elsass im Herbst 2002 verringerte sich die Chloridkonzentration im Rhein bei Worms deutlich.

AOX

Der AOX (Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene; das X wird in der Chemie allgemein als Abkürzung für ein beliebiges Halogen verwendet) ist ein Gruppenparameter der chemischen Analytik, der vornehmlich zur Beurteilung von Wasser und Klärschlamm eingesetzt wird. Dabei wird die Summe der an Aktivkohle adsorbierbaren organischen Halogene bestimmt. Diese umfassen Chlor-, Brom- und Iodverbindungen, z. B. Trichlorbenzol, DDT oder Dibrommethan. Da bei den organisch gebundenen Halogenen

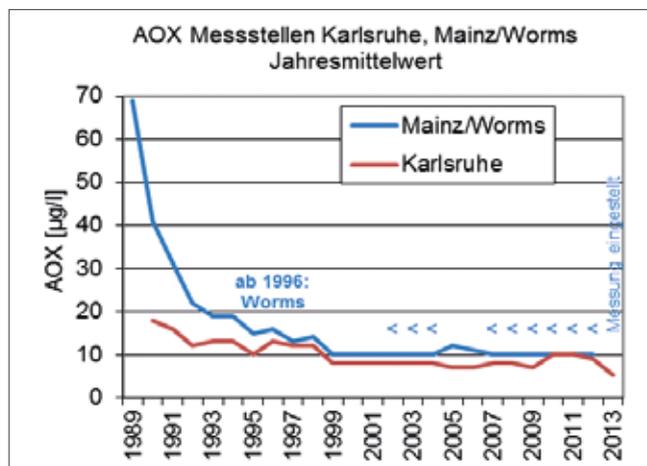


Abb. 7: Entwicklung der AOX-Konzentration im nördlichen Oberrhein 1989–2013.

die chlorhaltigen Verbindungen in der Regel deutlich überwiegen, wird als Einheit für AOX mg Cl/L verwendet [36].

Am nördlichen Oberrhein wurde der über viele Jahre hohe AOX wesentlich durch die Bleichverfahren der Zellstoffwerke in Mannheim-Waldhof bestimmt. Die Firma teilte dem Verfasser per E-Mail am 13.10.2014 mit, in welchen Schritten seit den Achtzigerjahren das Bleichverfahren umgestellt wurde:

„Die Umstellung des Bleichverfahrens von Chlor- auf Sauerstoffbleiche erfolgte in 2 Schritten:

Erster Schritt 1986: Umstellung des Bleichverfahrens von Elementarchlor auf Wasserstoffperoxid und Sauerstoff, man spricht dann von Elementarchlorfreier Bleiche (ECF-Bleiche), in der Fertigstoffbleiche wurde teilweise noch Natriumhypochlorit eingesetzt. Zweiter Schritt 1989/1990: Wegfall von Natriumhypochlorit-Bleiche, so dass man von total chlorfreier Bleiche spricht (TCF-Bleiche). Heute betreiben wir eine 2-stufige Fichtenzellstoffbleiche mit Wasserstoffperoxid/MgO und NaOH und eine einstufige Buchenzellstoffbleiche mit Wasserstoffperoxid/NaOH-Bleiche, wir erzeugen also ausschließlich TCF-Zellstoffe.“

Der mit diesen Schritten einhergehende Rückgang des AOX nördlich von Mannheim zeigt sich deutlich (Abb. 7). In Worms und Mainz wurde mit dem Jahr 2013 die relativ aufwändige AOX-Analytik aus dem Routinemessprogramm gestrichen.

Organische Spurenstoffe

Neben den für den Sauerstoffhaushalt wichtigen Kenngrößen (z. B. Ammonium, Biochemischer Sauerstoffbedarf BSB, Chemischer Sauerstoffbedarf CSB oder Gelöster Organischer Kohlenstoff DOC) rückten bei der Überwachung der Rheinwasserqualität schon früh organische Spurenstoffe in den Blickpunkt, die vor allem aus der Produktion der Chemischen Industrie stammten. DIETERICH [20] sprach von „Geruchs- und Geschmacksstoffen“, die Bestandteile des Messprogramms der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins gegen Verunreinigung (RSK, heute IKS) waren. Schon

Tab. 1: Art und Zahl der untersuchten Organischen Spurenstoffe (ausgewählte Gruppen) im Deutschen Untersuchungsprogramm Rhein ([25] bis 2005) bzw. dem international vereinbarten Rheinmessprogramm Chemie (ab 2010).

Messjahr	Leichtflüchtige	Industriechemikalien	Pflanzenschutzmittel	Arzneimittelwirkstoffe	sonstige*
1955 **	–	–	–	–	1 ¹⁾
1976	–	–	–	–	–
1980	–	–	–	–	1 ¹⁾
1985	–	2 ²⁾	2 ³⁾	–	1 ¹⁾
1990	–	1 ⁴⁾	2 ³⁾	–	–
1995	12	15	25	–	4
2000	1	16	36	–	6
2005	4	19	30	–	5
2010	9	33	47	14	43
2015	4	51	51	64	49

* z. B. Phenole, PAK, Perfluorierte Verbindungen, Komplexbildner, Duftstoffe;

** Messprogramm der Rheinschutzkommission RSK.

¹⁾ Phenol; ²⁾ HCB, PCP; ³⁾ alpha-, gamma-HCH; ⁴⁾ PCP

in den Jahren 1953 bis 1956 war Phenol Teil des Internationalen Messprogramms. Phenole lassen sich in großen Mengen u. a. in den Abwässern von Kokereien, Gasanstalten und Teerdestillations- und Holzkohleanlagen, Textilverarbeitungsanlagen, Raffinerien und der Pharmaindustrie nachweisen. In Regionen oder zu Zeiten unzureichender Abwasserreinigung können sie geradezu als Marker für die Belastung von Fließgewässern durch Industrieabwässer gelten. DIETERICH [20] referiert Konzentrationen von 1–5 µg/L bei Karlsruhe. Bis Koblenz hatte sich die Konzentration mindestens verzehnfacht (13–39 µg/L), 1980 lagen die Messwerte zwischen 6 und 47 µg/L [33]. Die aktuellen Auswertungen des Messprogramms der Rheingütestation Worms aus dem Jahr 2013 belegen, dass die Konzentrationen aller untersuchten Phenolverbindungen heute i. d. R. unterhalb von 0,01 µg/L liegen [14].

Mit der zunehmenden Belastung durch Industrieabwässer sowie der zunehmenden Beeinträchtigung des Ökosystems Rhein, aber auch der Nutzungen (Trinkwasser), wurden im Laufe der Jahre seit 1980 ständig weitere organische Spurenstoffe in das Messprogramm aufgenommen. Die Aufnahme einiger organischer Spurenstoffe als „prioritäre“ bzw. „prioritäre gefährliche“ Stoffe in den Anhang X der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie [21, 22, 23] sowie die vor allem von den Laboren der Wasserversorger vorangetriebene Verbesserung der analytischen Möglichkeiten [24] führte zu einer schrittweisen Erweiterung, aber auch Änderung der untersuchten Stoffpalette [25]. Galt das Augenmerk bis in die Neunzigerjahre des 20. Jahrhunderts vor allem den „klassischen“ Industriechemikalien (z. B. Chlorbenzole, Aniline), kamen bald Pflanzenschutzmittel hinzu (Insektizide: z. B. Endosulfan, Endrin, Dichlorvos; Herbizide: z. B. Alachlor, Atrazin, Diuron). Insbesondere am nördlichen Oberrhein wurden die Komplexbildner (EDTA, NTA) intensiv untersucht, die in der Chemischen Industrie, aber auch in Alltagsprodukten vielfach eingesetzt werden. Schließlich fanden Arzneimittelwirkstoffe, Perfluorierte Verbindungen, Benzotriazole und künstliche Süßstoffe Eingang ins Rheinmessprogramm Chemie. Die Tab. 1 dokumentiert ausschnittsweise die Fortentwicklung des Messprogramms.

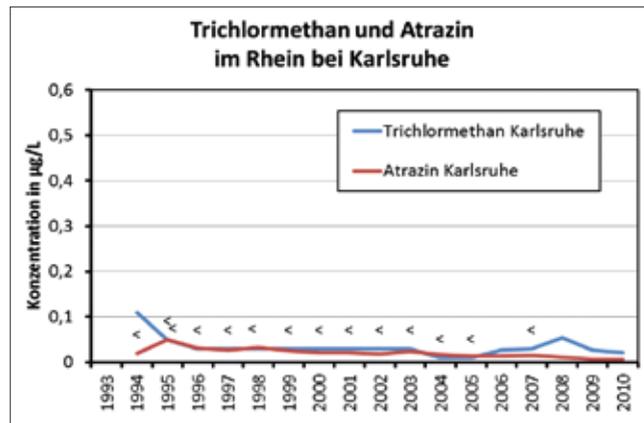
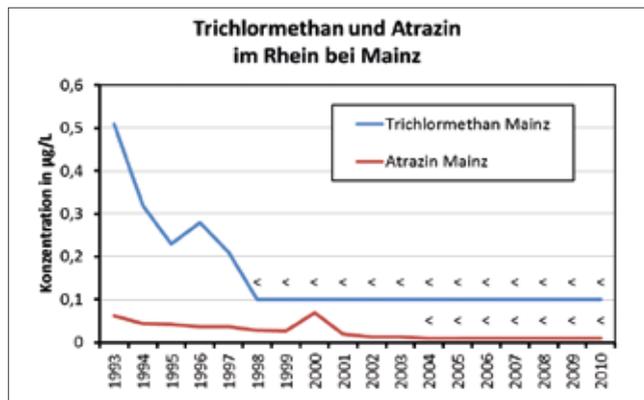


Abb. 8: Entwicklung der Trichlormethan- und der Atrazin-Konzentration im nördlichen Oberrhein 1993–2010; oben: Oberrhein bei Karlsruhe, unten: Oberrhein bei Mainz („<“ = Messwert liegt unter der Bestimmungsgrenze).



Alle Messergebnisse werden von der IKSР sowie – mit einem ergänzenden engmaschigeren Messnetz – durch die Flussgebietsgemeinschaft Rhein (FGG Rhein) im Internet publiziert [33, 34]. Exemplarisch für zwei Stoffe, nämlich Atrazin und Trichlormethan, wird die Entwicklung seit den frühen Neunzigerjahren in Abb. 8 dargestellt.

Es wird deutlich, dass der industrielle Ballungsraum Rhein-Neckar, insbesondere die Chemische Industrie, bis Ende des 20. Jahrhunderts für einen Großteil der Belastung mit Trichlormethan (Chloroform) verantwortlich war. Andererseits zeigen die Befunde, dass Atrazin auch lange nach seinem Anwendungsverbot 1991 regelmäßig im Rheinwasser zu finden war. Inzwischen scheinen die letzten Vorräte aufgebraucht zu sein.

Neue Herausforderungen

Die klassischen Gewässergüteprobleme des nördlichen Oberrheins, die in den Sechziger- und Siebzigerjahren des 20. Jahrhunderts zu einer weitgehenden Zerstörung der Lebensgemeinschaften zwischen Ludwigshafen und Mainz führten, bestehen heute nicht mehr. Sauerstoffzehrende Substanzen sind weitgehend verschwunden, viele giftige organische Spurenstoffe oder auch Schwermetalle gesetzlich soweit reguliert, dass Einleitungen in den Rhein kaum noch vorkommen – außer durch unfallbedingte Emissionen aus Industrie oder Schifffahrt. Mit zunehmendem Wohlstand, aber auch bedingt durch den demographischen Wandel rücken jedoch neue Stoffe in den Blickpunkt, sog. „Emerging Pollutants“. Dieser Begriff bezeichnet verschiedene Substanzgruppen organischer Schadstoffe. Sie werden beispielsweise in Arzneimitteln, Bioziden, Flammenschutzmitteln, Körperpflegemitteln, Pflanzenschutzmitteln oder Tensiden eingesetzt. „Emerging Pollutants“ sind nicht notwendigerweise neue Chemikalien, doch ist der Wissensstand über Ökotoxizität und potenzielle gesundheitsschädliche Auswirkungen noch gering. Da die entsprechenden Rechtsgrundlagen häufig noch fehlen, gibt es auch keine EU-weiten Umwelt-Monitoringprogramme zu deren Erfassung. Der Nachweis dieser Substanzen ist Detektivarbeit. Erst die Entwicklung neuer hochauflösender Analysensysteme in den letzten Jahren ermöglichte ihr Aufspüren in der Umwelt in entsprechend hoher Qualität. Sie sind daher Gegenstand zahlreicher Forschungsvorhaben [37]. Der Süßstoff Acesulfam, iodierter Röntgenkontrastmittel oder die Benzotriazolone (Korrosionshemmer) werden seit einigen Jahren in deutlich höheren Konzentrationen gemessen als alle anderen organischen Spurenstoffe [24, 26]. Nicht zuletzt deshalb bilden sie auch im neuen Rheinmessprogramm Chemie 2015–2020 einen Schwerpunkt der Überwachung in den kommenden Jahren.

Abkürzungsverzeichnis

AOX	an Aktivkohle adsorbierbare Organische Halogenverbindungen
ARW	Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DK	Deutsche Kommission zur Reinhaltung des Rheins
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff
DUR	Deutsches Untersuchungsprogramm Rhein
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
FGG	Flussgebietsgemeinschaft
HCH	Hexachlorcyclohexan
IKSR	Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
NTA	Nitrilotriessigsäure
PAK	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCP	Pentachlorphenol

Dank

Herrn Dr. Daniel Schwandt (Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz) danke ich für die Hinweise auf historische Quellen.

Zitierte Literatur

- 1 KINZELBACH, R. & G. FRIEDRICH (Hrsg.) (1990): *Biologie des Rheins*. – Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- 2 TITTIZER, T., F. SCHÖLL & M. SCHLEUTER (1990): Beitrag zur Struktur und Entwicklungsdynamik der Benthofauna des Rheins von Basel bis Düsseldorf in den Jahren 1986 und 1987. – In: KINZELBACH/FRIEDRICH (Hrsg.): *Biologie des Rheins*: 239–317.
- 3 TITTIZER, T., F. SCHÖLL, M. DOMMERMUTH, J. BÄTKE & M. ZIMMER (1991): Zur Bestandsentwicklung des Zoobenthos des Rheins im Verlauf der letzten neun Jahrzehnte. – *Wasser und Abwasser* 35: 25–166.
- 4 IKSR (2009): Bericht Nr. 172 „Das Makrozoobenthos des Rheins 2006/2007“. – Koblenz.
- 5 CONRATH, W., B. FAKENHAGE & R. KINZELBACH (1976): Übersicht über das Makrozoobenthon des Rheins im Jahre 1976. – *Gewässer und Abwasser* 62/63: 63–84.
- 6 KINZELBACH, R. (1983): Zur Dynamik der Zoobenthos-Biozönosen des Rheins. – *Verh. Ges. Ökologie* 10: 263–271.
- 7 IKSR (2005). Bericht Nr. 128 „Das Makrozoobenthos des Rheins 2000“. – Koblenz.
- 8 TITTIZER, T. (1997): Ausbreitung aquatischer Neozoen (Makrozoobenthos) in den Bundeswasserstraßen, erläutert am Beispiel des Main-Donau-Kanals. – *Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft* 4: 113–134.

- 9 BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL, Hrsg.) (2005): Wirbellose Neozoen im Hochrhein – Ausbreitung und ökologische Bedeutung. – Bern.
- 10 LANGE, J. (2013): Wassertemperatur im Rhein – Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft? Wirkungen auf ausgewählte Organismen, insbesondere den Lachs. – Vortrag auf dem Internationalen Lachssymposium, Brioude, 10.10.2013, http://www.naturschutztageamrhein.de/fileadmin/naturschutztage/pdf-dokumente/Waermelastvortrag_brioude_131012_k.pdf, aufgerufen am 03.11.2014.
- 11 MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (1997): Der Rhein gestern, heute, morgen 1947–1997. – Mainz.
- 12 STIEGHORST, M. (2011): Die Wassergüte des Rheins – eine Erfolgsgeschichte. – In: RAHE, J., M. STIEGHORST & U. WEBER (Hrsg.): Handbuch Rhein. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt: 112–122.
- 13 EGGER, F. (1938): Neue Erfahrungen bei der Rhein- und Neckarwasseruntersuchung oberhalb und unterhalb Mannheims. – Gesundheits-Ingenieur 61, Heft 20: 273–276.
- 14 RHEINGÜTESTATION WORMS (2015): Tätigkeitsbericht 2012/2013. – Worms.
- 15 UMWELTBUNDESAMT (2003): Leitbildorientierte physikalisch-chemische Gewässerbewertung – Referenzbedingungen und Qualitätsziele. – UBA-Texte 15/03, Berlin.
- 16 STAUFERT, I. (1959): Messungen zur Frage der Versalzung des Rheins bei Mannheim. – gwf Wasser – Abwasser 100, Heft 44: 1149–1150.
- 17 EGGER, F. (1951): Droht am Ober- und Mittelrhein eine Versalzung des Flußwassers? – gwf Wasser 91, Heft 16: 198–199.
- 18 LANDESTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE KARLSRUHE (1953–1955): Gewässerkundliches Jahrbuch. – Karlsruhe.
- 19 LANDESAMT FÜR GEWÄSSERKUNDE RHEINLAND-PFALZ (1956–1969): Gewässerkundliches Jahrbuch. – Mainz.
- 20 DIETERICH, B. H. (1959): Die Beschaffenheit des Rheinwassers – Ergebnisse internationaler Messungen. – gwf Wasser – Abwasser 100, Heft 44: 1141–1144.
- 21 EUROPÄISCHE UNION (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – Amtsblatt Nr. L 327 vom 22.12.2000: 0001–0073.
- 22 EUROPÄISCHE UNION (2001): Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG. – Amtsblatt Nr. L 331 vom 15.12.2001: 0001–0005.
- 23 EUROPÄISCHE UNION (2013): Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik. – Amtsblatt Nr. L 226 vom 12.08.2013: 0001–0017.
- 24 ARW (2014): 70. Bericht 2013. – Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke (Hrsg.), Düsseldorf, ISSN 03413-0391.
- 25 DEUTSCHE KOMMISSION ZUR REINHALTUNG DES RHEINS (1976–2007): Deutsches Messprogramm/ Untersuchungsprogramm Rhein. – Archiv der FGG Rhein, Worms.
- 26 STEPIEN, D. K., P. DIEHL, J. HELM, A. THOMS & W. PÜTTMANN (2014): Fate of 1,4-dioxane in the aquatic environment: From sewage to drinking water. – Water Research 48: 406–419.

Ergänzende Literatur

- 27 MINISTERIUM FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (1991): Rheinwasserbeschaffenheit gestern, heute, morgen. – Mainz.
- 28 DEUTSCHE KOMMISSION ZUR REINHALTUNG DES RHEINS (Hrsg.) (2001): Rheingütebericht 2000. – Düsseldorf.
- 29 UMWELTBUNDESAMT (1995): UBA-Texte 72/95: Stand der Abwassertechnik in verschiedenen Branchen. – Berlin.
- 30 KINZELBACH, R. (2015): Dynamik im Tierreich – Interdisziplinarität. – in diesem Band: 239–250.

Internet-Links

- 31 http://www.bafg.de/DE/01_Leistungen/MessUndWarn/SauerstoffRhein.pdf?__blob=publicationFile (Aufgerufen am 23.05.2014)
- 32 <http://jdkfg.lubw.baden-wuerttemberg.de/> (Aufgerufen am 13.11.2014)
- 33 <http://www.iksr.org> (Aufgerufen am 04.11.2014)
- 34 <http://www.fgg-rhein.de> (Aufgerufen am 04.11.2014)
- 35 <http://www.iksr.org/index.php?id=391&L=0&cHash=b07e55229ed33c41529c2fc66c64de1c> (Aufgerufen am 04.11.2014)
- 36 http://de.wikipedia.org/wiki/Adsorbierbare_organisch_gebundene_Halogene (Aufgerufen am 04.11.2014)
- 37 http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/schadstoff/schadstoffe_einleitung/empoll/ (Aufgerufen am 04.11.2014)

Anmerkungen der Herausgeber

Mit dem Rhein beschäftigt sich auch der Beitrag von Ragnar KINZELBACH in diesem Band. Weiteres über Neophyten und Neozoen findet der geneigte Leser ebenfalls bei Ragnar KINZELBACH, aber auch bei Otto SCHMIDT.

Faunistische Beiträge für diesen Band lieferten darüber hinaus Reinhard FLÖSSER, Hans Jürgen HAHN, Hans-Wolfgang HELB, Jürgen OTT, Claudia RAMENDA und Manfred GAHR sowie Rainer SCHIMMEL. Über die Entwicklung von Industrie und Gewerbe in der Pfalz finden sich Informationen bei Meinrad Maria GREWENIG und Klaus KREMB.