

Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in der Bundesrepublik Deutschland: Zum Nutzen historischer Diatomeenproben für die Rekonstruktion von Referenzgesellschaften in deutschen Flüssen am Beispiel des Rheins

Gabriele Hofmann

Hirtenstraße 19, 61479 Glashütten, Germany, gm.hofmann@t-online.de

EINLEITUNG

Das Ziel der im Jahr 2000 in Kraft getretenen EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist es, für die Gewässer der Europäischen Union bis 2015 eine gute ökologische Qualität herzustellen oder diese zu erhalten (Europäische Union 2000). Die Bewertung des ökologischen Zustands eines Gewässers hat dabei anhand von vier biologischen Qualitätskomponenten zu erfolgen. Zum Ersten ist dies das Makrozoobenthos, das in der biologischen Gütebewertung die etablierte Gruppe darstellt. Hinzu kommen die Fische und – in den planktondominierten Flüssen und Strömen – die Phytoplanktongemeinschaften. In einer weiteren, vierten Qualitätskomponente sind die Makrophyten und das Phytobenthos (M & P) enthalten, wobei Letzteres als wesentlichen Bestandteil die benthischen Diatomeen einschließt.

Im Rahmen von mehrjährigen Projekten wurden für die verschiedenen Qualitätskomponenten nationale Bewertungsverfahren entwickelt, für die Makrophyten und das Phytobenthos wurde die Entwicklungsphase im Jahr 2004 abgeschlossen. In den beiden Folgejahren erfolgte eine Überprüfung des Verfahrens in einem bundesweiten Praxistest, die zu Erweiterungen und Modifikationen geführt hat. (Schaumburg et al. 2006, 2007).

Nach der normativen Definition der WRRL entsprechen beim sehr guten ökologischen Zustand die taxonomische Zusammensetzung und die Abundanzen vollständig oder nahezu vollständig den Bedingungen bei Abwesenheit störender Einflüsse (Leitbild). Der gute Zustand liegt vor, wenn die Gesellschaften nur geringfügig vom Leitbild abweichen. Der mäßige Zustand ist durch eine mäßige Abweichung charakterisiert. Als weitere Bestandteile der fünfstufigen Klassifizierung treten der unbefriedigende und schlechte ökologische Zustand hinzu. Die Ausrichtung der Bewertung ist somit eine rein biozönotische, wobei gewässertypspezifisch Leitbilder zu formulieren sind und die Bewertung anhand der Abweichung der aktuellen Biozönose vom Leitbild zu erfolgen hat. In der derzeitigen Fassung des Bewertungsverfahrens M & P werden 13 diatomeen-basierte Fließgewässertypen und 10 Seentypen unterschieden. Die Bewertung erfolgt anhand der Zusammensetzung und Häufigkeiten der Taxa sowie der indizierten trophischen und saprobiellen Situation, für die typspezifische Klassengrenzen definiert sind. In Fließgewässern gehen als zusätzliche Bewertungskomponenten der Halobienindex nach Ziemann et al. (1999) als Kenngröße der Versalzung und – in den silikatischen Bächen der Mittelgebirge – die Häufigkeit von Versauerungsindikatoren ein.

Ogleich Entwicklung und Anpassung des deutschen Verfahrens mit dem Praxistest ihren vorläufigen Abschluss gefunden haben, verbleiben Defizite methodischer und inhaltlicher Art. So stellen zum Beispiel die im Diatomeentyp 10 und 13 aggregierten Ströme der deutschen Mittelgebirge und des norddeutschen Tieflandes Fließgewässer dar, deren biogeografische Eigenheit und Individualität im Rahmen der derzeitigen Bewertung nicht berücksichtigt werden. In diesen Gewässern ist insbesondere die Ermittlung der Referenzgesellschaften ein erhebliches Problem, da infolge der strukturellen Degradationen und

stofflichen Belastung der ungestörte oder wenig veränderte Zustand nicht mehr anzutreffen ist. Zur Rekonstruktion des Leitbildes der benthischen und planktischen Diatomeengemeinschaften der Ströme kann die Auswertung historischer Proben einen Beitrag leisten. Am Beispiel des Rheins wird dies durch den Vergleich von historischen Proben, die aus den Sammlungen von Christian Gottfried Ehrenberg und Friedrich Hustedt stammen und in die Jahre 1852 bis 1906 datieren, mit Erhebungen des Jahres 2004 dargestellt.

MATERIAL & METHODEN

Im Jahr 2000 wurden aus der Sammlung von C.G. Ehrenberg (1795-1876), die im Museum für Naturkunde in Berlin (BHUPM) verwahrt wird, Teile von insgesamt 25 Planktonproben des Rheins bei Köln entnommen. Die Proben stammen aus den Jahren 1852 bis 1855 und liegen in Form gefalteter Rundfilter vor, die in beschrifteten Papiertaschen aufbewahrt sind. Die Angaben umfassen das Datum der Probenahme, den Wasserstand, die Tiefe, in der geschöpft wurde, sowie teilweise Bemerkungen zur Witterung und Wassertrübung (Abb. 1). Zur Erfassung der aktuellen Planktongemeinschaften wurden von März bis August 2004 durch das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen acht Planktonproben des Rheins im 45 Kilometer südlich von Köln gelegenen Abschnitt bei Bad Honnef entnommen.

Die untersuchten Benthosproben entstammen den Sammlungen von C.G. Ehrenberg und Friedrich Hustedt (Friedrich-Hustedt-Arbeitsplatz für Diatomeenkunde am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, BRM). Angaben zur Etikettierung und Beschaffenheit der Proben sind Tabelle 1 zu entnehmen. Es ist zu vermuten, dass die im August 1906 entnommenen Proben aus der von Maximilian Marsson zeitgleich durchgeführten Untersuchung des Rheinabschnittes zwischen Mainz und Koblenz stammen (Marsson 1908).

Die Präparation des planktischen Materials erfolgte nach der Wasserstoffperoxid-Methode (Klee & Steinberg 1987), die Benthosprobe des Rheins bei Bonn wurde einer Behandlung mit Salz- und Schwefelsäure unterworfen (siehe in Schaumburg et al. 2006). Um repräsentative Verteilungen zu erhalten, wurden in den Streupräparaten jeweils mindestens 500 Diatomeenobjekte bestimmt. Die taxonomische Literatur ist Schaumburg et al. (2006) zu entnehmen. In sieben der historischen Proben wurden lediglich Objektzahlen zwischen 100 und 300 erreicht. Zur weiteren Auswertung wurden die Gesellschaftsanteile in Form prozentualer Häufigkeiten berechnet. Anhand der benthischen Gemeinschaften wurden der Trophie- und Saprobienindex nach Rott et al. (1997, 1999) und der Trophie-Index nach Coring et al. (1999) berechnet sowie die ökologische Qualität nach Schaumburg et al. (2006) ermittelt.

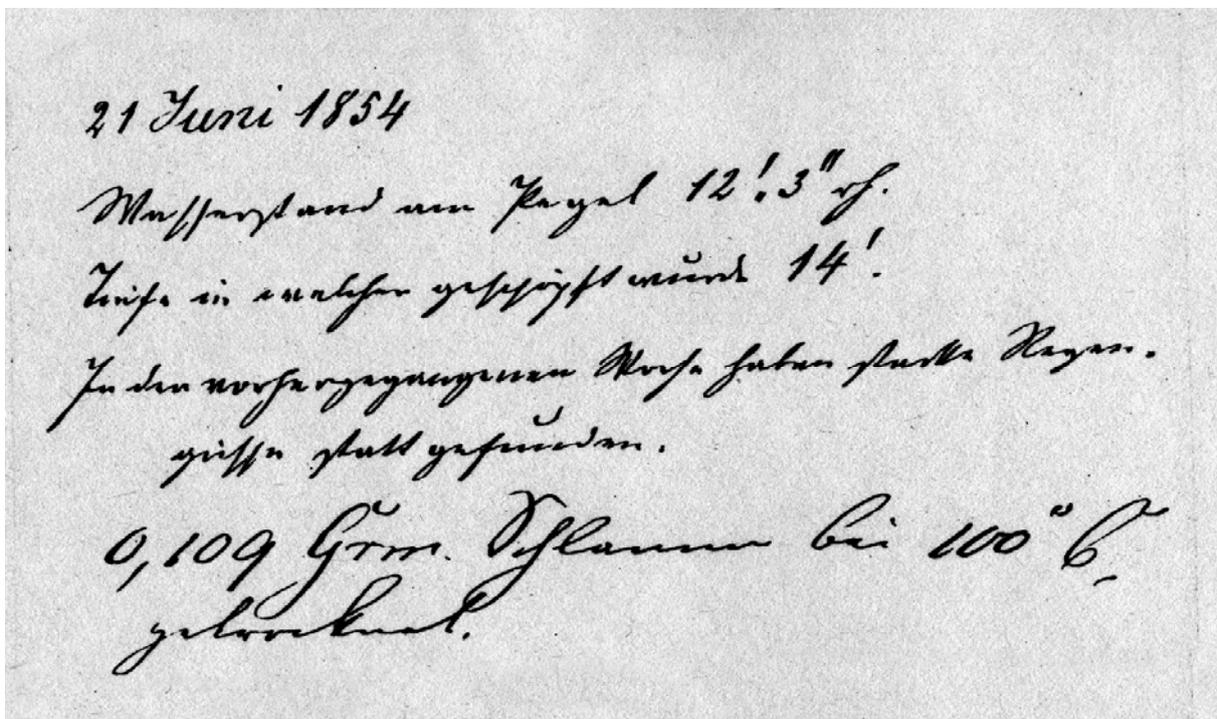


Abb. 1. Beispiel der Beschriftung einer Papiertasche aus der Ehrenberg-Sammlung (BHUPM).

Tabelle 1. Angaben zu den benthischen Diatomeenpräparaten.

Lage der Probestelle	Sammlung	Nummer	Datum	Weitere Beschriftung	Art der Probe
Rhein bei Bonn	Ehrenberg	2649	1853*	Schlick	Rohmaterial
Rhein bei St. Goarshausen	Hustedt	301/71	August 1906	Pontonbesatz, prep. Thum	Dauerpräparat
Rhein bei Rüdesheim	Hustedt	301/72	August 1906	prep. Thum	Dauerpräparat

* Die genaue Angabe lautet „Mbl. 1853“, die Entnahme des Materials kann daher auch vor 1853 erfolgt sein.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Plankton

Der überwiegende Teil der nachgewiesenen 191 Taxa zählt zu den benthischen Diatomeen. Der Anteil planktischer Arten am Gesamtarteninventar beträgt lediglich 15 %. Obgleich innerhalb der benthischen Taxa nur *Achnanthes minutissima* Kütz. und *Amphora pediculus* (Kütz.) Grunow Einzelanteile über 10 % erreichen, ergeben sich infolge der hohen Artenzahlen Summenanteile bis zu 88 % (Abb. 2). Höchste prozentuale Anteile benthischer Taxa wurden in den Monaten Oktober bis April sowie im Juni verzeichnet, auch die Taxazahl ist in den kalten Monaten am höchsten.

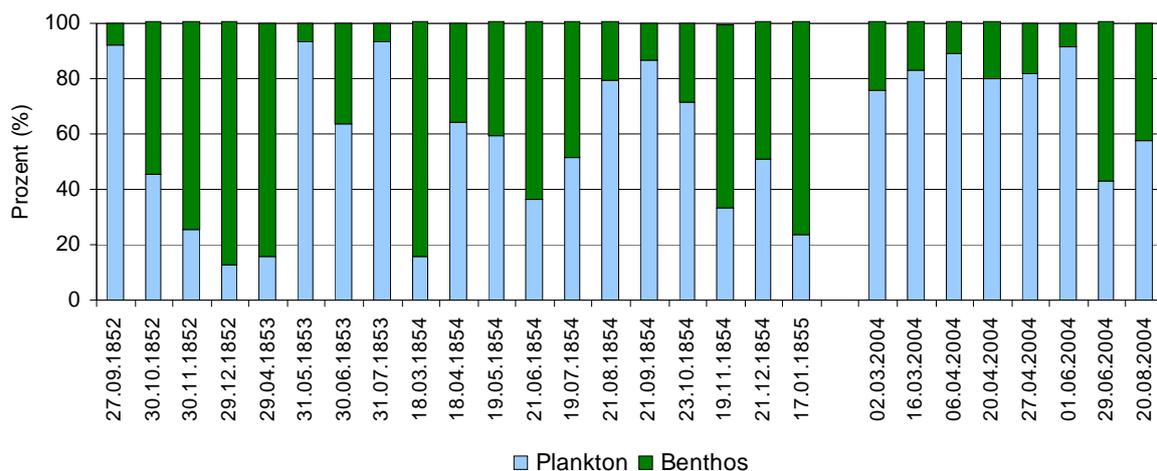


Abb. 2. Prozentuale Summenanteile planktischer und benthischer Arten im Vergleich der Jahre 1852 bis 1855 und 2004.

Im Vergleich der Jahre 1852 bis 1855 und 2004 ergeben sich deutliche Unterschiede in der Artzusammensetzung des Planktons. Während die Gesellschaften Mitte des 19. Jahrhunderts in extremer Weise von *Cyclotella pseudostelligera* Hust. sowie der Begleitart *Cyclotella comensis* Grunow geprägt werden, dominieren im Jahr 2004 *Cyclostephanos invisitatus* M.H.Hohn & Hellerman) Stoermer, E.C.Ther. & Håk., *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cleve & Möller und *S. hantzschii* Grunow das Diatomeenplankton (Abb. 3). Obgleich *Cyclostephanos invisitatus* seinen Dominanz-Schwerpunkt eindeutig 2004 aufweist, ist die Art jedoch auch in den historischen Proben mit Anteilen bis zu 15 % präsent. Neben den genannten Vertretern der Gattung *Stephanodiscus* sind folgende Taxa als charakteristische Bestandteile des rezenten Rheinplanktons zu nennen, fehlen jedoch in den 1850er Jahren gänzlich oder sind quantitativ nur von geringer Bedeutung: *Asterionella formosa* Hassall, *Cyclotella atomus* Hust., *Diatoma tenuis* C.Agardh und *Fragilaria ulna angustissima*-Sippen sensu Krammer & Lange-Bertalot (1991).

Die im Rhein im Verlauf der Eutrophierung zu beobachtende Umstrukturierung des Diatomeenplanktons von einer von *Cyclotella* dominierten hin zu einer von *Stephanodiscus* geprägten Gesellschaft ist gleichfalls in Voralpenseen durch paläolimnologische Untersuchungen belegt (z.B. Hofmann & Schaumburg 2005a, 2005b). Während in den süddeutschen Seen *Cyclotella comensis* die nährstoffarmen Phasen charakterisiert, stellt im Rhein *C. pseudostelligera* die Leitart dar. Demgegenüber kennzeichnet *Stephanodiscus minutulus* sowohl in Alpen- und Voralpenseen als auch im Rhein die Zeiten starker Eutrophierung.

Die Frage, inwieweit die Gemeinschaften der 1850er Jahre dem Leitbild des Mittelrheins und südlichen Niederrheins entsprechen oder aber diesem nur sehr nahekommen, ist anhand der vorliegenden Daten nicht zu klären. So erfolgte die Entnahme der Proben zwar noch vor der Hauptindustrialisierungsphase in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, doch waren die anthropogenen Einflüsse bereits zu dieser Zeit erheblich. Dazu zählen insbesondere die Nutzung der Auwälder, die mit den zunehmenden Bevölkerungszahlen einhergehenden, lokalen organischen Belastungen und die im Jahr 1817 begonnene Oberrhein-Rektifikation durch Tulla. Insbesondere durch die aus den wasserbaulichen Eingriffen resultierende Zunahme der Fließgeschwindigkeit und der dadurch erhöhten Erosionskraft ist ein Anstieg der Nährstoffkonzentrationen zu vermuten. Als Hinweis auf bereits zeitweise vorhandene Belastungen sind die – mit Ausnahme des Aprils 1854 – allerdings individuenarmen Vorkommen der eutraphenten *Stephanodiscus minutulus* zu werten (Abb. 3).

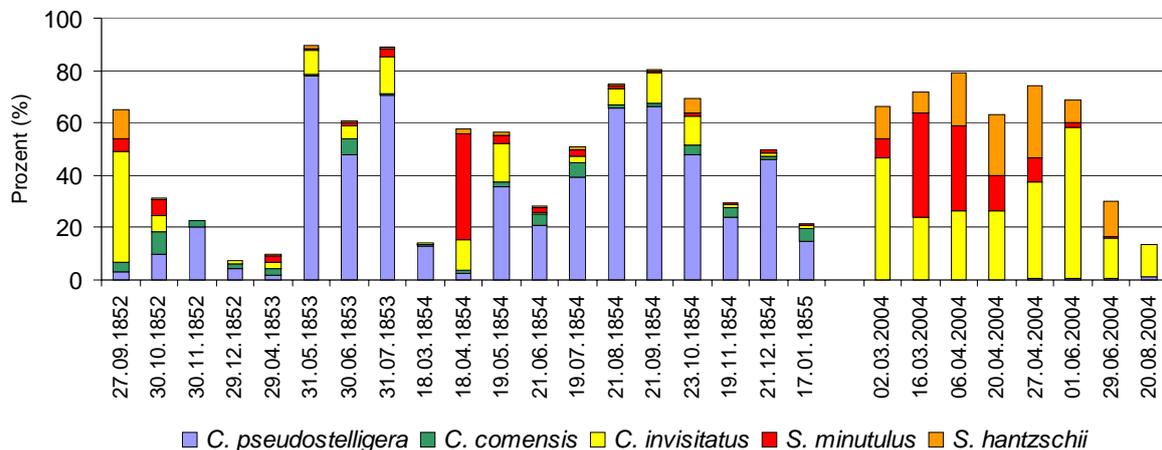


Abb 3. Gesellschaftsanteile von *Cyclotella pseudostelligera*, *C. comensis*, *Cyclostephanos invisitatus*, *Stephanodiscus hantzschii* und *Stephanodiscus minutulus* im Vergleich der Jahre 1852 bis 1855 und 2004.

Benthos

Bewertung der trophischen und saprobiellen Situation

Im Vergleich zum Plankton bilden benthische Diatomeen den stofflichen Gewässerzustand in einem deutlich engeren räumlichen Bezug ab und sind daher geeignete Indikatoren punktueller Belastungen. Die Diatomeengesellschaften der in die Jahre 1853 und 1906 datierenden Proben indizieren unterschiedliche saprobielle und trophische Zustände. So ist der Rhein bei Bonn 1853 nach den Verfahren von Rott et al. (1997, 1999) als eutroph bis polytroph und kritisch saprobiell belastet (β - α -mesosaprob) zu charakterisieren (Tabelle 2). Eine merkliche Belastung wird gleichfalls im Jahr 1906 bei St. Goarshausen angezeigt. Hingegen indizieren die Gesellschaften aus der gleichfalls im August 1906 bei Rüdesheim entnommenen Probe ein sehr geringes trophisches und saprobielles Niveau. Eine vergleichbare Bewertung ergibt sich durch den Trophie-Index von Coring et al. (1999), wenngleich das indizierte Trophiepektrum merklich geweitet ist. Das heterogene Gütebild steht in Übereinstimmung mit Wendling (1993), der die bereits Anfang des 20. Jahrhunderts bestehende punktuelle Belastung des Rheins betont und eine Arbeit von Marsson aus dem Jahr 1906 wie folgt zitiert: „Die Abwässer der Stadt Mainz sind nicht imstande, den Rhein auf weitere Strecken als ganz in der Nähe der Zuflüsse zu verunreinigen.“

Tabelle 2. Kenngrößen der benthischen Gesellschaften.

TZ = Taxazahl, SI = Saprobienindex, GK = Güteklasse, TI = Trophieindex, T = Trophie

Lage der Probestelle	Jahr	TZ	SI	GK	TI _{ROTT}	T _{ROTT}	TI _{Coring}	T _{Coring}
Rhein bei Bonn	1853	22	2,26	II-III	2,99	eutroph-polytroph	2,97	polytroph-hypertroph
Rhein bei St. Goarshausen	1906	26	1,99	II	2,54	eutroph	2,54	polytroph
Rhein bei Rüdesheim	1906	40	1,43	I-II	1,66	mesotroph	1,66	oligotroph-mesotroph

Bewertung der ökologischen Qualität

Nach dem Bewertungsverfahren von Schaumburg et al. (2006) ergibt sich an den untersuchten Stellen eine sehr gute bis mäßige ökologische Qualität (Tabelle 3). Die Zahl der typspezifischen Referenzarten reicht von 6 (Bonn) bis 20 (Rüdesheim), insgesamt wurden 30 Referenzarten erfasst. Individuenreiche Vorkommen wurden insbesondere im Falle von *Fragilaria capucina* subsp. *rumpens* (Kütz.) Lange-Bert., *Cymbella cymbiformis* C.Agardh und *Mastogloia smithii* var. *lacustris* Grunow verzeichnet, wobei die beiden letztgenannten Arten in den vergangenen drei Jahrzehnten im Rhein nicht mehr nachzuweisen waren (Krause 1994, Lange-Bertalot 1979). Rezent liegt ihr Verbreitungsschwerpunkt im Litoral nährstoffarmer Seen der Alpen, des Alpenvorlandes und des norddeutschen Tieflandes (Hofmann 1994, Schaumburg et al. 2007). Bemerkenswert ist weiterhin das Vorkommen einer Reihe von Arten der Gattungen *Eunotia* und *Pinnularia*. Die Präsenz verschiedener als dystroph geltenden Arten kann gleichfalls in der Elbe um 1850 bestätigt werden (Gutowski et al. 2007) und weist auf den Einfluss der zur damaligen Zeit noch ausgedehnteren Auenbereiche und Altwässer hin.

Bemerkenswert ist der geringe Trophie-Index bei Rüdesheim, der weit unter dem von Schaumburg et al. (2006) als Grenzwert des sehr guten zum guten ökologischen Zustand postulierten Wert von 2,35 liegt. Die Vorkommen derart trophie-sensibler Arten sind unerwartet und deuten auf einen geringeren Trophiestatus im Referenzzustand hin als bisher für die Flüsse der Mittelgebirge angenommen. Weitere Aufschlüsse sind durch Recherchen in historischen Diatomeensammlungen und die Auswertung von Herbarbelegen zu erwarten, wobei die Bewertungsrelevanz kritisch zu hinterfragen ist. So sind die Gewässer über weite Strecken strukturell irreversibel verändert und lassen in ihrer Besiedlung weitere Veränderungen im Zuge des derzeitigen Klimawandels erwarten.

Tabelle 3. Bewertung der ökologischen Qualität nach Schaumburg et al. (2006).RA = Referenzartensumme in %, TI = Trophie-Index, DI_{FG} = Diatomeenindex_{Fließgewässer}

Lage der Probestelle	Jahr	RA	TI _{ROTT}	DI _{FG}	Ökologische Qualität
Rhein bei Bonn	1853	31,8%	2,99	0,29	mäßig
Rhein bei St. Goarshausen	1906	12,0%	2,54	0,24	mäßig
Rhein bei Rüdesheim	1906	76,5%	1,66	0,68	sehr gut

DANKSAGUNG

Die Untersuchung der Diatomeengemeinschaften des Rheins wurde im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Besonderer Dank gilt Dr. Barbara Guhl und den Betreuern der Hustedt- und Ehrenberg-Sammlung Dr. Richard Crawford, Friedel Hinz, Dr. Regine Jahn und Dr. David Lazarus.

LITERATUR

- Coring, E., Schneider, S., Hamm, A. & Hofmann, G. 1999: Durchgehendes Trophiesystem auf der Grundlage der Trophieindikation mit Kieselalgen. – DVWK Materialien **6**: 1-219.
- 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 der Europäischen Union **L 32771**, 22.12.2002.
- Gutowski, A., Foerster, J. & Hofmann, G. 2007: Untersuchung des Phytobenthos in der Tideelbe auf Eignung zur Beurteilung des Gewässers gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie im Jahr 2006 [online]. – Im Auftrag des Sonderaufgabebereichs Tideelbe der ARGE Elbe, Wassergütestelle Elbe: 1-81. Verfügbar unter <http://www.arge-elbe.de/wge/Download/Texte/06Phytobenthos_TEL.pdf>.
- Hofmann, G. 1994: Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. – Bibliotheca Diatomologica **30**: 1-241.
- Hofmann, G. & Schaumburg, J. 2005a: Seesedimente in Bayern: Waginger-Tachingener See – Diatomeenflora in Sedimentkernen, August 2002 [online]. – Materialienband Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 121: 1-77. Verfügbar unter <http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/seen_karten_berichte_veroeffentlichungen/index.htm>.
- Hofmann, G. & Schaumburg, J. 2005b: Seesedimente in Bayern: Simssee – Diatomeenflora in Sedimentkernen, Dezember 2002 [online]. – Materialienband Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft **123**: 1-50. Verfügbar unter <http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/seen_karten_berichte_veroeffentlichungen/index.htm>.
- Klee, R. & Steinberg, C. 1987: Kieselalgen bayerischer Gewässer. – Informationsberichte Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft **4/87**: Loseblattsammlung.
- Krause, I. 1994: Benthische Diatomeen-Gesellschaften im Zuge veränderter Wasserqualitäten im Rhein zwischen Ludwigshafen und Lorch von 1974 bis 1993. – Umweltplanung und Umweltschutz **182**: 1-157.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1991: Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. – In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (ed.): Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2 (3). – Stuttgart.
- Lange-Bertalot, H. 1979: Die Diatomeenbesiedlung des Rheins in Abhängigkeit von der Abwasserbelastung. – Archiv für Hydrobiologie **87(3)**: 347-363.
- Marsson, M. 1908: Bericht über die Ergebnisse der dritten vom 15. bis 22. August 1906 ausgeführten biologischen Untersuchung des Rheins auf der Strecke Mainz-Koblenz. – Arbeiten aus dem kaiserlichen Gesundheitsamt **28**: 92-124.
- Rott, E., Hofmann, G., Pall, K., Pfister, P. & Pipp, E. 1997: Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 1: Saprobielle Indikation. – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft: 1-73. – Wien.
- Rott, E., Binder, N., Van Dam, H., Ortler, K., Pall, K., Pfister, P. & Pipp, E. 1999: Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 2: Trophieindikation und autökologische Anmerkungen. – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft: 1-248. – Wien.
- Schaumburg, J., Schranz, C., Stelzer, D., Hofmann, G., Gutowski, A. & Foerster, J. 2006: Handlungsanweisung für die ökologische Bewertung von Fließgewässern zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos, Stand Januar 2006 [online]. Verfügbar unter <http://www.bayern.de/lfw/technik/gkd/lmn/fliessgewaesser_seen/pilot/am_g.htm>.
- Schaumburg, J., Schranz, C., Stelzer, D. & Hofmann, G. 2007: Handlungsanweisung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos, Stand Februar 2007 [online]. Verfügbar unter <http://www.bayern.de/lfw/technik/gkd/lmn/fliessgewaesser_seen/pilot/d_seen.pdf>.
- Wendling, K. 1993: Gewässergüte gestern und heute im rheinland-pfälzischen Rheinabschnitt. – Tagung „Lachs 2000“: 79-87.
- Ziemann, H., Nolting, E. & Rustige K. H. 1999: Bestimmung des Halobienindex. – Pp. 310-313 in: Von Tümpling, W. & Friedrich, G. (ed.): Biologische Gewässeruntersuchung. – Methoden der Biologischen Gewässeruntersuchung **2**: 310-313.