

Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Abschlussbericht

F&E Vorhaben FKZ 299 24 274

Dokumentation von Zustand und Entwicklung der wichtigsten Seen Deutschlands

Vorwort

von

Prof. Dr. Brigitte Nixdorf

Dipl.-Ing. Mike Hemm

Dipl.-Biol. Anja Hoffmann

Dipl.-Ing. Peggy Richter

Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Lehrstuhl Gewässerschutz

IM AUFTRAG

DES UMWELTBUNDESAMTES

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
1. Titel des Berichts Dokumentation von Zustand und Entwicklung der wichtigsten Seen Deutschlands		
2. Autoren: Prof. Dr. Brigitte Nixdorf Dipl.-Ing. Mike Hemm Dipl.-Biol. Anja Hoffmann Dipl.-Ing. Peggy Richter	8. Abschlussdatum 30.06.2003	9. Veröffentlichungsdatum
	10 UFOPLAN-Nr. 29924274	
	11. Seitenzahl 1056 Seiten	12. Literaturangaben 390 Quellen
3. Durchführende Institution (Name, Anschrift): Brandenburgische Technische Universität Cottbus Lehrstuhl Gewässerschutz Seestraße. 45 15526 Bad Saarow	13. Tabellen 490 Tabellen	
	14. Abbildungen 367 Abbildungen	
4. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin		
15. Zusätzliche Angaben Als Anlage ist eine CD-Rom mit dem kompletten Inhalt des Berichtes enthalten.		
16. Zusammenfassung Das Projekt hatte zum Ziel, eine flächendeckende Dokumentation des Zustands der wichtigsten natürlichen Seen sowie Baggerseen (keine Tagebauseen und Talsperren) über 0,5 km ² Fläche in Deutschland nach einheitlichen Kriterien zu liefern. Die Dokumentation dient der Information der Öffentlichkeit und soll einen Beitrag für bestehende und zukünftige internationale Berichtspflichten der Bundesrepublik Deutschland liefern (europäische Umweltagentur, Wasserrahmenrichtlinie u.a.). Insgesamt wurden 227 Seen entsprechend der Datenlage nach Genese, Charakterisierung des Einzugsgebietes, Hydrologie und Belastung, Morphometrie und Topographie, Trophie und ihre Entwicklung, Besiedlung mit Plankton, Makrophyten und Makrozoobenthos und Fischen sowie der anthropogenen Nutzung und Schutzmaßnahmen beschrieben. Die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie werden berücksichtigt und relevante Parameter werden beschrieben und erklärt. Der gesamte Bericht ist in 11 Teile gegliedert worden.		
17. Schlagwörter Entstehung, Morphometrie, Gewässergüte, Chemismus, Trophie, pelagische und benthische Besiedlung, anthropogene Nutzung		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Documentation about the state and the development of the most important German lakes		
Autors: Prof. Dr. Brigitte Nixdorf Dipl.-Ing. Mike Hemm Dipl.-Biol. Anja Hoffmann Dipl.-Ing. Peggy Richter	5. Report Date 31.05.2000	
	6. Publication Date	
	7. UFOPLAN-Ref. No. 29924274	
Performing Organisation (Name, Address) Brandenburg University of Technology Cottbus Chair of Water Conservation Seestraße 45 D-15526 Bad Saarow, Germany	8. No. of Pages 1056 pages	
	9. No. of References 390 references	
	10. No. of Tables 490 tables	
Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 33 00 22, 14191 Berlin	11. No. of Figures 367 figures	
12. Supplementary Notes The complete contents of the report are on CD-Rom.		
13. Abstract The aim of the project was to document the state of the most important natural lakes and gravel pit lakes (no mining lakes and reservoirs) in Germany covering an area of more than 0,5 km ² by uniform criteria according to WaterFrameworkDirective (WFD). It is a basic collection and description for the information of the public and a main contribution for present and future international obligatory reports of the FRG to the European environmental agency according to the recommendations of the EU-WFD. 227 lakes have been documented considering genesis, catchment area, hydrology, morphometry and topography, trophy and its long term development, colonization with plankton, macrophytes and macrozoobenthos, fish as well as anthropogenic use and protection measures according to the basic data. The instruction of the EU-Water Framework Directive have been considered and relevant parameters are described and explained. The hole report has been structured into 11 parts.		
17. Keywords Genesis, morphometry, water quality, chemistry trophy, pelagic and benthic colonization, anthropogenic influences, use and protection		
18. Price	19.	20.

0 Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt	2
Report Cover Sheet	3
0 Inhaltsverzeichnis	4
1 Zusammenfassung	6
2 Summary	7
3 Danksagung	8
4 Abkürzungen	10
5 Vorwort	11
5.1 Einleitung	11
5.1.1 Ziel des Vorhabens	11
5.1.2 Allgemeine Charakterisierung von Seen nach Genese und Verbreitung von Seen in Deutschland	11
5.1.3 Morphometrische, topographische und trophische Eigenschaften von Standgewässern	16
5.1.3.1 Tiefe	16
5.1.3.2 Uferentwicklung	16
5.1.3.3 Seebeckenmorphometrische Kenngrößen (u.a. zur Ermittlung des trophischen Referenzzustandes s. LAWA 1999)	16
5.1.3.4 Wasserspeisung und Wasserführung	19
5.1.3.5 Belastungen von Standgewässern – die Eutrophierung	19
5.2 Allgemeine Aspekte zur ökologischen Bewertung von Gewässern nach der EG- Wasserrahmenrichtlinie (2000) (aus Rohde & Nixdorf, 2002)	24
5.3 Probleme bei der ökologischen Bewertung von Gewässern nach der EG- Wasserrahmenrichtlinie (2000)	25
5.3.1 Das Problem der Referenzzustände	25
5.3.2 Die Qualität und Eignung vorliegender Daten als Grundlage für die Entwicklung von Bewertungssystemen und künftigen Messprogrammen	27
5.3.3 Künstliche oder erheblich veränderte Wasserkörper	27
5.3.4 Weitere Probleme	28
5.3.5 Ausblick	28
5.4 Zur Typisierung der Gewässer in Deutschland (Mathes et al. 2002)	29
5.4.1 Generelle Bemerkungen zur Typisierung	29
5.4.2 Ökoregionen	30
5.4.2.1 Die Alpen und das Alpenvorland	30
5.4.2.2 Die zentralen Mittelgebirge	30
5.4.2.3 Das norddeutsche Flachland	31
5.4.3 Geologie	31
5.4.4 Einfluss der relativen Größe des Einzugsgebietes	32
5.4.5 Theoretische Wasseraufenthaltszeit	32
5.4.6 Schichtungseigenschaften	33
5.4.7 Typisierungssystem	33
5.5 Nährstoffhaushalt und Trophie, zeitliche Entwicklung der Gewässerqualität und zusammenfassende Einschätzung	37

6	Erläuterungen zum Aufbau und Inhalt der einzelnen Kapitel der Seenmonographien.....	38
7	Abbildungsverzeichnis.....	40
8	Tabellenverzeichnis	41
9	Literatur	42

1 Zusammenfassung

Das Projekt hatte eine flächendeckende Dokumentation des Zustands der wichtigsten natürlichen Seen sowie Baggerseen (keine Tagebauseen und Talsperren) über 0,5 km² Fläche in Deutschland nach einheitlichen Kriterien zum Ziel. Die Dokumentation dient der Information der Öffentlichkeit und soll einen Beitrag für bestehende und zukünftige internationale Berichtspflichten der Bundesrepublik Deutschland liefern (europäische Umweltagentur, Wasserrahmenrichtlinie u.a.).

Insgesamt wurden Datensätze und Beschreibungen von mehr als 12.000 Seen recherchiert, von denen etwa 750 größer als 50 ha und somit für die Erfassung und Bewertung nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie relevant sind. Für die Erstellung der Seenmonographie wurden 227 Seen aus allen Bundesländern in Abstimmung mit den hauptverantwortlichen Kollegen aus den staatlichen Überwachungsbehörden ausgewählt.

Entsprechend der Datenlage wurden Seen nach Genese, Charakterisierung des Einzugsgebietes, Hydrologie, Belastung, Morphometrie, Topographie, trophischer Status und Entwicklung, Besiedlung mit Plankton, Makrophyten, Makrozoobenthos und Fischen sowie der anthropogenen Nutzung und Schutzmaßnahmen beschrieben. Die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie werden berücksichtigt und relevante Parameter werden beschrieben und erklärt. Dies erfolgt für jedes Bundesland anhand von fünf Kapiteln:

1. Genese, Lage, Einzugsgebiet und Hydrologie
2. Topographie und Morphometrie
3. Chemische und trophische Charakteristik
4. Flora und Fauna
5. Nutzung, anthropogener Einfluss

In den elf Teilen des Berichtes wurden auch Bundesländer mit Seen unter 50 ha berücksichtigt. Im folgenden sind die einzelnen Teilnummerierungen, das dazugehörige Bundesland und die Anzahl der beschriebenen Seen je Bundesland aufgelistet:

Teil 1: Schleswig-Holstein	24 Seen
Teil 2: Mecklenburg-Vorpommern	83 Seen
Teil 3: Hamburg	5 Seen
Teil 4: Bremen & Niedersachsen	1 See / 10Seen
Teil 5: Brandenburg	37 Seen
Teil 6: Berlin	7 Seen
Teil 7: Sachsen-Anhalt	8 Seen
Teil 8: Hessen, Thüringen & Sachsen	4 Seen / 1 See / 2 Seen
Teil 9: Nordrhein-Westfalen, Rheinland Pfalz & Saarland	9 Seen / 1 See / 1 See
Teil 10: Baden-Württemberg	8 Seen
Teil 11: Bayern	26 Seen

2 Summary

The aim of the project was to document the state of the most important natural lakes and gravel pit lakes (no mining lakes and reservoirs) in Germany covering an area of more than 0,5 km² by uniform criteria according to the WaterFrameworkDirective (WFD). It is a basic collection and description for the information of the public and a main contribution for present and future international obligatory reports of the FRG to the European environmental agency according to the recommendations of the EU-WFD.

All in all have been data records and descriptions of more than 12.000 lakes documented, 750 of them are larger than 50 ha and therefore relevant for the registration and evaluation according to the EU-WFD. 227 lakes in all federal states were selected together with the responsible colleagues from the national departments for a detailed description within the lake monography.

The lakes have been described according to genesis, catchment area, hydrology, water problems, morphometry, topography, trophy and its long term development, colonization with plankton, macrophytes, macrozoobenthos and fish as well as anthropogenic use and protection measures according to the basic data.

The instructions of the EU-WaterFrameworkDirective have been considered and relevant parameters are described and explained. This is been done for every federal state with five chapters:

1. Genesis, place, catchment area and hydrology
2. Topography and morphometry
3. Chemical and trophic characteristics
4. Flora and fauna
5. Use, anthropogenic influence

In the 11 parts of the report also lakes with an area < 50 ha are described as following: the separate numbering of parts, the country and the number of the described lakes from every federal state.

Part 1: Schleswig-Holstein	24 lakes
Part 2: Mecklenburg-Western Pomerania	83 lakes
Part 3: Hamburg	5 lakes
Part 4: Bremen & Lower Saxonian	1 lake / 10 lakes
Part 5: Brandenburg	37 lakes
Part 6: Berlin	7 lakes
Part 7: Saxony-Anhalt	8 lakes
Part 8: Hesse, Thuringia & Saxony	4 lakes / 1 lake / 2 lakes
Part 9: North Rhine-Westphalia, Rhineland-Palatinate & Saarland	9 lakes / 1 lake / 1 lake
Part 10: Baden-Württemberg	8 lakes
Part 11: Bavaria	26 lakes

3 Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns ganz herzlich bei den Bearbeitern dieses Projektes bedanken, die nicht als Autoren aufgeführt sind und die bei der Dateneingabe wertvolle Unterstützung gegeben haben. Stellvertretend seien hierbei Steffi Henkel, Andrea Launhardt und Hilmar Hofmann genannt. Nicht zu vergessen unsere Sekretärin Beate Müller, welche uns unermüdlich bei den unzähligen Korrekturlesungen half.

Bei unseren Recherchen in den Bundesländern waren wir in hohem Maße auf die Kooperationsbereitschaft der Leiter und Bearbeiter in den entsprechenden behördlichen Einrichtungen angewiesen (siehe Datenquellen). Diesen gilt unser besonderer Dank

Das Umweltbundesamt finanzierte dieses Vorhaben und unterstützte uns in Fragen der Datenbeschaffung. Frau Dr. Rechenberg sei an dieser Stelle herzlich gedankt für das stete Interesse, die anregenden Diskussionen und die kritischen und konstruktiven Anmerkungen der Manuskripte.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ansprechpartner und Hauptquellen zu den erfolgten Recherchen genannt.

Baden-Württemberg

Herr Dr. Reiner Kümmerlin, Institut für Seenforschung, Untere Seestraße 81, 88085 Langenargen

Bayern

Herr Dr. Jochen Schaumburg, Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstr. 67, 80636 München

Berlin

Herr Dr. Matthias Rehfeld-Klein, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Leiter der Arbeitsgruppe Wasserwirtschaft und Landeshydrologie (VIII E 2), Brückenstraße 6 10179 Berlin

Herr Hans-Christoph Harmsen, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Am Kölnischen Park 3, 10173 Berlin

Herr Dr. Horst Behrendt, IGB Berlin, II / MSD310, Müggelseedamm 310, 12587 Berlin

Brandenburg

Herr Dr. Eberhard Rohde, Landesumweltamt Brandenburg Abt. Ökologie und Umweltanalytik, Ref. 05, Berliner Str. 21-25, 14467 Potsdam

Herr Dr. Olaf Mietz, Dipl.-Geogr. Jens Meisel, Institut für angewandte Gewässerökologie in Brandenburg GmbH, Schlunkendorfer Str. 2e, 14554 Seddin

Bremen

Herr Meier, Senator für Bau und Umwelt Bremen

Hamburg

Herr Michael Meyer-Jenin, Umweltbehörde Hamburg, Amt für Umweltuntersuchungen, Marckmannstraße 129 b, 20539 Hamburg

Herr Prof. Dr. Hartmut Kausch, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft, Zeisenweg 9, 22765 Hamburg

Hessen

Herr Ulrich Fesel, Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie, PSF 3209,65022 Wiesbaden

Mecklenburg-Vorpommern

Herr Dr. Jürgen Mathes & Frau Iona Korczynski, Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung Integrierter Umweltschutz und Nachhaltige Entwicklung - Seenprojekt, Pampower Str. 66/68, 19061 Schwerin

Herr H.J. Jennerich, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Fischerei, An der Jägerbäk 2, 18069 Rostock

Niedersachsen

Herr Dr. Jens Poltz, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, An der Scharlake 39, 31135 Hildesheim

Nordrhein-Westfalen

Herr Dr. Karl-Heinz Christmann, Landesumweltamt NRW, PF 102363, 45023 Essen

Rheinland Pfalz

Frau Martina Oehms, Landesamt für Wasserwirtschaft, Am Zollhafen 9, 55118 Mainz

Saarland

Herr Walter Köppen, Ministerium für Umwelt, Abteilung E, Technischer Umweltschutz, PF 102461, 66024 Saarbrücken

Sachsen

Frau Dr. Carmienke, Staatliches Umweltfachamt Leipzig, PF 241215, 04332 Leipzig

Sachsen-Anhalt

Herr Friede, Landesamt für Umweltschutz, Reideburger Straße 47, 06116 Halle (Saale)

Schleswig-Holstein

Frau Gudrun Plambeck, Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Abt. Gewässer, G. Hamburger Chaussee, 24220 Flintbek.

Thüringen

Herr Dr. Peter Loth, TLU Jena, Referat 52, Oberirdische Gewässer integrierter Gewässerschutz, Prüssingstr. 25, 07745 Jena-Göschwitz

4 Abkürzungen

µg/l	Mikrogramm pro Liter
µS/cm	Mikrosiemens pro Zentimeter
Baden-Württemb.	Baden-Württemberg
Chl a	Chlorophyll a
DRP	gelöster reaktiver Phosphor
FM	Frischmasse
Gr.	Großer
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
Leitf.	elektrische Leitfähigkeit
m	Meter
Mecklenburg-Vorp.	Mecklenburg-Vorpommern
mg/l	Milligramm pro Liter
M-V / S-H	Mecklenburg-Vorpommern / Schleswig-Holstein
o.g.	oben genannten
ST	Sichttiefe
TM	Trockenmasse
TN	Gesamtstickstoff
TP	Gesamtphosphor
TP _{Früh}	Gesamtphosphor - im Frühjahr
u.a.	unter anderem
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

5 Vorwort

5.1 Einleitung

5.1.1 Ziel des Vorhabens

Das Ziel des Forschungsprojektes war es, für etwa 250 der wichtigsten Seen Deutschlands Angaben zum Typ und zum Zustand sowie zur Entwicklung der Gewässergüte zu sammeln und zu dokumentieren. Damit sollte ein wesentlicher Beitrag zur flächendeckenden, systematischen Dokumentation von Standgewässern als Vorbereitung für die Implementierung der EG-Wasserrahmenrichtlinie geleistet werden. Folgende Aspekte sollten bei der Dokumentation berücksichtigt werden:

1. Typisierung entsprechend der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL)
2. Genese/Alter
3. Einzugsgebiet und Hydrologie
4. Morphometrie und Schichtungsverhalten
5. Sauerstoffhaushalt
6. Trophie (Nährstoffstatus und Einträge)
7. biologische Besiedlung des Freiwassers (Nahrungsketten) und des Benthals (Makrophyten, Makrozoobenthos)
8. zeitlicher Verlauf der Entwicklung des Sees unter den Aspekten der prägenden Nutzungen
9. Zusammenfassende Bewertung zu Typ, Zustand und Gefährdung des Sees

Die genannten Parameter werden im Folgenden näher erläutert, um ihre Bedeutung für die Gewässergüteentwicklung darzustellen und den Zugang zu den Dokumentationen zu erleichtern.

5.1.2 Allgemeine Charakterisierung von Seen nach Genese und Verbreitung von Seen in Deutschland

Zu den Standgewässern werden Gewässer gezählt, die sich aufgrund ihrer Wasseraufenthaltszeit von Fließgewässern unterscheiden. Nach Forel (1901) ist ein See eine „allseitig umschlossene Wasseransammlung in einer Vertiefung der Erdoberfläche“. Seen können durchflossen sein, wobei eine theoretische Aufenthaltszeit von 3 Tagen nicht unterschritten werden sollte (s. Mathes et al. 2002). Die Flusseen werden als die Gewässer mit einer Verweildauer von 3-30 Tagen charakterisiert.

Bislang wurden in Deutschland im Rahmen eines UBA-Projektes zur Erfassung und Dokumentation der natürlichen Seen Deutschlands mehr als 12.000 Seen erfasst, von denen etwa 750 größer als 50 ha sind und somit für die Erfassung und Bewertung nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie relevant sind (Hemm et al. 2002, Abbildung 1). Von diesen Seen wurden etwa 250 der wichtigsten Seen für diese Dokumentation in Abstimmung mit den hauptverantwortlichen Kollegen aus den staatlichen Überwachungsbehörden ausgewählt.

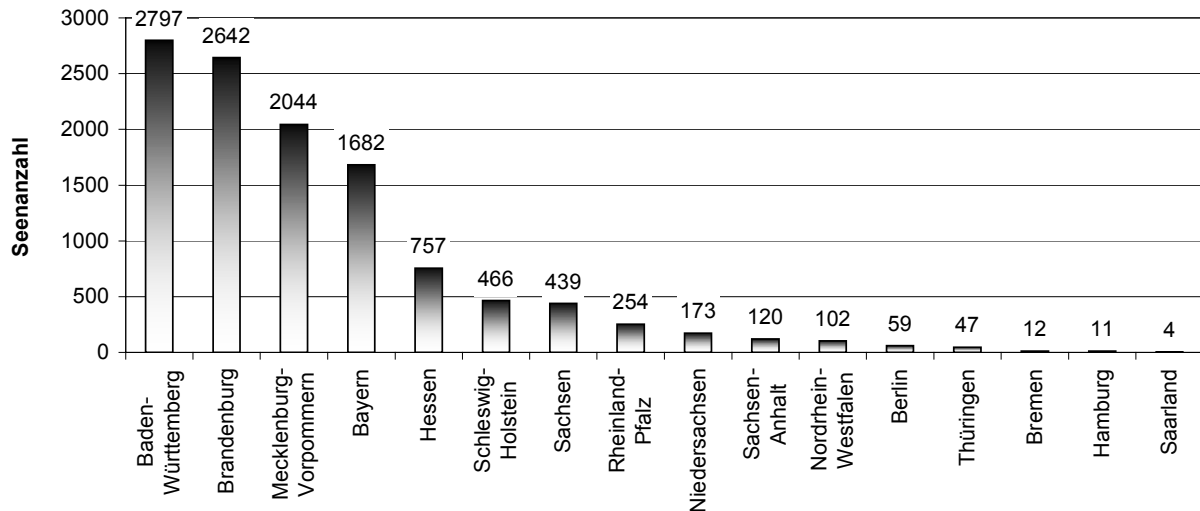


Abb. 1: Anzahl und Verteilung der bislang in Deutschland erfassten Seen (außer Braunkohlentagebauseen) aus den einzelnen Bundesländern (aus Hemm et al. 2002)

Gewässer können nach verschiedenen Gesichtspunkten typisiert bzw. klassifiziert werden:

- Entstehung
- Größe, Morphometrie
- Durchlichtung und Eigenfärbung
- Durchströmung, Mixis
- Trophie, Saprobie, Nährstoffangebot
- Temperatur
- Periodizität, Stabilität
- Geologie und Landnutzung im Einzugsgebiet

Folgende Elemente eines Standgewässers müssen in eine Typisierung einbezogen werden:

- Vertiefung oder eigentliches Seebecken mit geologischem Untergrund
- der Wasserkörper selbst
- das Ablagerungsgut (autochthoner Seegrund, Sedimente, limnisch oder lakustrin)
- das Einzugsgebiet.

Die Klassifikation bzw. Typisierung stehender Gewässer wird bislang weder in Deutschland noch im internationalen Rahmen einheitlich gehandhabt. Eine Unterscheidung in natürliche und künstliche Gewässer ist zunächst sinnvoll. Neben den

natürlichen Standgewässern existiert eine Vielzahl künstlicher Gewässer, zu denen in Deutschland hauptsächlich Baggerseen einschließlich Braunkohletagebauseen zählen. Eine weiter gehende Typisierung aufgrund der Größe, Flachheit und Durchlichtung von Seen und Weihern ist problematisch, wenn man bedenkt, dass es relativ klare und tiefe Seen gibt, die bis zum Grunde durchlichtet sein können. Hier wird vorgeschlagen, diese Seen ungeachtet ihrer Tiefenausdehnung Litoralseen zu nennen.

Die meisten natürlichen Standgewässer sind in und nach der Eiszeit entstanden. Sie sind im Vergleich zu den tektonisch geformten Seen (Grabenbruchseen z.B. Tanganjikasee, Baikalsee) relativ jung, d.h. jünger als 20.000 Jahre. In der Tabelle 1 ist eine Übersicht über die morphogenetische Differenzierung von natürlichen Standgewässern gegeben.

Tab. 1: Klassifikation natürlicher Seen nach der Art ihrer Entstehung

Glazigene Gewässer
• Eisrandstausee
• Zungenbeckensee
• Toteissee
• Soll (Sölle)
• Rinnensee durch fluviale Erosion von Fließgewässern oder Berstungsrissen oder Absenkung von Schollen
• Karsee durch glazialerosive Vertiefung
• Gletschersee (z.B. Gletscherstauseen)
• Noor (durch Strandwall oder Landzunge von einem Rinnensee abgeschnürtes Gewässer)
• Alpiner Tümpel
Karstgewässer durch chemische Lösungen von Salzen
• Höhlengewässer
• Karstsee
Vulkanische Hohlformen
• erloschener Gipfelkrater (Kratersee)
• Explosionskrater (Maar)
• Vulkanische Einbruchsbecken
Tektone Gewässer
• Grabensee
• Muldensee

Moorgewässer
• Moorsee
• Moorkolk
Natürliche Staugewässer
• Bergsturzsee
• Kalktuffdammsee (Travertin durch Kalksinterbildung) Juguslawien, Türkei
Auegewässer
• Altwasser
• Altarm
• Totarm
• Überschwemmungstümpel

In der Abbildung 2 ist eine Übersicht über die bislang in Deutschland erfassten und digitalisierten Seen dargestellt. Diese Abbildung verdeutlicht die geographische Konzentration der glazigenen Seen in der norddeutschen Tiefebene sowie im Alpenvorland und in den Alpen. Diese Seen sind die nach Anzahl und Größe die weitaus dominierenden Standgewässer in Deutschland.



Abb. 2: Übersicht über die bislang in Deutschland erfassten Seen (graue Kreise: natürliche Seen, schwarze Dreiecke: Tagebauseen)

5.1.3 Morphometrische, topographische und trophische Eigenschaften von Standgewässern

Neben der Fläche und dem Volumen sind eine Vielzahl morphometrischer und topographischer Merkmale bzw. aus diesen Größen abgeleitete Parameter für die Charakterisierung von Standgewässern von Bedeutung.

5.1.3.1 Tiefe

Unterschieden werden maximale und mittlere Tiefe:

- Maximale Tiefe (z_{\max}) ist die absolut größte Tiefe, die aus vorhandenen Tiefenkarten, durch klassische Lotungen oder mittels GPS und Echolot durch direkte Messungen ermittelt werden kann.
- Mittlere Tiefe (z_{mean} oder \bar{z}) ist das Verhältnis von Volumen zu Oberfläche und ist ein wichtiger Parameter für die Klassifizierung:

$$z_{\text{mean}} = \frac{V}{A} \quad (V - \text{Volumen, } A - \text{Fläche})$$

Aus dem Verhältnis von mittlerer zu maximaler Tiefe können Hinweise auf morphometrische Inhomogenitäten (z.B. Löcher) oder große Heterogenitäten im Untergrund abgeleitet werden.

5.1.3.2 Uferentwicklung

Wichtig ist auch die Verzahnung eines Gewässers mit dem Umland. Betrachtet wird dabei die Uferentwicklung (U_e), die anhand der wahren Uferlänge im Verhältnis zu einem Kreisumfang angibt, wie buchtenreich ein See ausgeprägt ist:

$$U_e = \frac{U}{2 * \sqrt{\pi * A}} \quad (U - \text{Uferlänge, } A - \text{Gewässeroberfläche})$$

Bei einer Kreisform eines Sees ist die Uferentwicklung $U_e \cong 1$.

5.1.3.3 Seebeckenmorphometrische Kenngrößen (u.a. zur Ermittlung des trophischen Referenzzustandes s. LAWA 1999)

Der Tiefengradient als Maß für die Durchmischungsintensität eines Gewässers ist der Quotient aus maximaler Tiefe und theoretische Epilimniontiefe:

$$F = \frac{z_{\max}}{z_{\text{epi}}}$$

Die theoretische Epilimniontiefe (z_{epi}) errechnet sich aus:

$$z_{\text{epi}} = 5,81 * D_a^{0,28}$$

Wobei die effektive Achsenlänge (D_a) als Maß für die Angriffsmöglichkeit des Windes auf die Wasseroberfläche betrachtet wird.

$$D_a = \frac{L_{eff} + B_{eff}}{2} \quad (L_{eff} - \text{effektive Länge, } B_{eff} - \text{effektive Breite})$$

Die effektive Länge bezeichnet die Verbindungslinie zwischen den zwei am weitesten voneinander entfernten Punkten auf der Uferlinie, ohne dass Land (Halbinseln, oder Inseln) gekreuzt werden. Diese beschreiben die wirkliche Entfernung von Ufer zu Ufer ohne dazwischenliegendes Land. Die effektive Breite wird im rechten Winkel zur effektiven Länge bestimmt. Die Linie, welche die zwei am weitesten voneinander entfernten Punkte auf der Uferlinie verbindet, ohne dass sie von Land unterbrochen wird, ergibt die effektive Breite.

Der Tiefengradient wird nun kalkuliert aus:

$$F = \frac{z_{\max}}{4,785 * (L_{eff} + B_{eff})^{0,28}}$$

Werte für F größer als 1,5 bedeuten im Sommer thermisch stabile Schichtung, also Mono-, Di- bzw. Meromixie.

In der Tabelle 2 werden Beispiele für topographische und morphometrische Parameter ausgewählter Seen Deutschlands gegeben. Die flächenmäßig größten Seen sind der Bodensee und die Müritz, die tiefsten Seen finden sich in den Alpen und in der Voralpenregion. Das Steinhuder Meer und der Dümmer sind die größten Flachseen Deutschlands, wobei der Dümmer mit einer theoretischen Aufenthaltszeit von 0,3 Jahren zu den stark durchflossenen Standgewässern gehört. Dagegen verweilt das Wasser im Starnberger See etwa 21 Jahre. Große Unterschiede ergeben sich auch in der Stabilität der Schichtung zwischen tiefen und flachen Seen: Während der Bodensee mit einem Tiefengradienten von 15,8 extrem stabil geschichtet ist, weist der Wert von 0,2 für den Dümmer auf intensive und permanente Durchmischung hin.

Tab. 2: Topographische und morphometrische Parameter der flächenmäßig größten Seen Deutschlands mit maximaler (Z_{\max}) und mittlerer Tiefe (Z_{mean}), Uferentwicklung (U_e) und Tiefengradient (F), theoretischer Verweilzeit (t_R) und Einzugsgebietsgröße (EZG)

See	Volumen [Mio. m ³]	Fläche [km ²]	Z_{\max} [m]	Z_{mean} [m]	U_e [-]	F [-]	Z_{epi} [m]	t_R [a]	EZG [km ²]
Bodensee	48522	571,5	254,0	84,9	3,20	15,8	16,0	4,2	11488
Müritz	737	112,6	31,0	6,5	3,39	2,6	12,1		663
Chiemsee	2048	79,9	73,4	25,6	2,02	6,4	11,5	1,3	1399
Schweriner See	787	61,5	52,4	12,8		5,0		10,1	414
Starnberger See	2999	56,4	127,8	53,2	1,85	11,0	11,7	21,0	315
Ammersee	1750	46,6	81,1	37,6	1,78	7,3	11,2	2,7	993
Plauer See	300	38,4	25,5	6,8	2,61	2,2	10,9		1109
Schweriner See	331	35,2	52,4	9,4	2,14	5,0	10,4		85
Kummerower See	263	32,6	23,3	8,1	1,56	2,3	10,2	1,6	1155
Großer Plöner See	373	30,0	58,0	12,4	2,14	5,7	10,2	3,0	393
Steinhuder Meer	40	29,1		1,4		0,3		2,8	80
Schaalsee	328	23,4	71,5	14,1		7,9	9,1	15,0	123
Selenter See	294	22,4	35,8	13,2	1,70	4,5	8,0	15,3	61
Kölpinsee	72	20,3	30,0	3,5	1,66	3,5	8,6		827
Tollensesee	316	17,9	31,3	17,7	1,81	3,2	9,7	4,5	502
Walchensee	1300	16,3	189,5	80,8	1,90	19,9	9,5	1,6	783
Malchiner See	35	14,0	10,0	2,5	1,73	1,1	9,3		199
Großer Ratzeburger See	145	13,2	24,4	11,0	1,70	2,6		3,3	139
Dümmer	14	12,4		1,1		0,2		0,3	426
Scharmützelsee	108	12,1	29,0	9,0	2,46	3,2	9,0	16,0	112
Schwielochsee	35	11,5	4,0	3,1	2,93	0,5	8,8	0,5	530
Fleesensee	66	10,8	26,3	6,1	1,45	3,1	8,6	0,7	894
Unterückersee	92	10,7	20,0	8,6	1,57	2,4	8,3	2,0	400

5.1.3.4 Wasserspeisung und Wasserführung

Wichtig für die Typisierung von Seen sind auch die Wasserspeisung und Wasserführung. Folgende Fragen sollten bei der hydrologischen Charakterisierung von Seen beantwortet werden können:

1. Woher kommt das Wasser?
 - Regen- und Schmelzwasser
 - diffuser Oberflächenabfluss
 - Fließgewässer (Durchfluss bestimmen)
 - Grundwasser (GW-Quellen = Limnokrene)
2. Wie viel Wasser kommt in welcher Zeit an: Zu- bzw. Abflussmessungen (Hydrologie)?
3. Wie lange bleibt es im Gewässer?
 - theoretische Aufenthaltszeit: $t_R = V/Q$ (Q – Abfluss aus dem See, V - Volumen)
 - Austauschrate: $= 1/t_R$ (gibt an, welcher Teil des Wasserkörpers pro Zeiteinheit ausgetauscht wird)
4. Wie ist die zeitliche Wasserführung ?
 - permanent
 - temporär
 - periodisch
 - ephemer

5.1.3.5 Belastungen von Standgewässern – die Eutrophierung

Die Gewässerbelastung ist die Beanspruchung eines Gewässers, die zu seiner Beeinträchtigung im Sinne des § 1a des WHG führt, d.h. zu gravierenden Systemveränderungen, z.B. durch die Gewässernutzung, den Verbau sowie den Eintrag von Nähr- und Schadstoffen.

Die wichtigsten Gewässerbelastungen für Standgewässer sind:

- Eutrophierung
- Saprobisierung
- Versauerung
- Versalzung
- Vergiftung/Kontamination
- Uferzerstörung/Uferverbau

Innerhalb dieser Ausführungen werden hier beispielhaft die Probleme der Eutrophierung behandelt, die im Rahmen der Implementierung der EG-Wasserrahmenrichtlinie von entscheidender Bedeutung sind und bislang in der Entwicklung von biologischen Bewertungsverfahren für Seen Berücksichtigung gefunden haben (Mischke et al. 2002).

Eutrophierung an sich ist ein natürlicher Prozess, der zur Alterung von Seen führt, die aufgrund ihrer Senkenfunktion in der Landschaft Stoffe akkumulieren, somit die Produktivität des Gewässers erhöhen und schließlich zur Verlandung der Gewässer führen. Dieser Prozess vollzieht sich normalerweise sehr langsam, ist jedoch innerhalb der vergangenen 130 Jahre durch die erhöhte Nährstoffzufuhr durch menschliche Tätigkeiten stark beschleunigt worden. Es kommt dabei durch die erhöhten Nährstofffrachten und -konzentrationen zu einer Steigerung der pflanzlichen Biomasseproduktion, die sich auch in der Veränderung der Zusammensetzung der Biozöosen niederschlägt. Phosphor spielt dabei eine Schlüsselrolle als limitierender Faktor für die Primärproduktion autotropher Organismen. Nach Elster (1958) ist die Trophie ein Ausdruck der Intensität der Primärproduktion. Symptome der Eutrophierung aufgrund der anthropogenen Erhöhung der Nährstoffeinträge sind im Folgenden zusammengefasst:

Symptome der Eutrophierung (nach Uhlmann, 1988)

1. Erhöhung der Biomasseproduktion des Phytoplanktons um mehr als eine Größenordnung (von 50 auf 500 gC/(m² * a)),
2. Verfärbung und Trübung des Wassers durch Planktonalgen ("Vegetationstrübungen")
 - sinkende Sichttiefen (unter 1 m im Sommer)
 - Flotation aufgerahmter Blaualgenmassen und Zersetzung (stinkende Fäulnis)
3. Sauerstoffschwund im Tiefenwasser, das bedeutet
 - Verschwinden der meisten Bodentiere und der Lachsfische
 - Anreicherung des Tiefenwassers mit H₂S, aggressiver Kohlensäure, gelöstem Fe und Mn,
4. Methanbildung im Bodensediment
5. Reduktive Zerstörung der vor allem aus Eisenoxidhydrat bestehenden oxidierten Oberflächenschicht des Bodenschlammes, die als Sperrschicht gegen eine Rücklieferung der Pflanzennährstoffe aus dem Bodensediment wirkt.
6. Rücklösung der im Interstitialwasser der Sedimente festgelegten N-, P- und S-Verbindungen
7. Massenentwicklungen von krautigen Wasserpflanzen und Fadenalgen im Flachwasserbereich (insbesondere Ufer) sowie von Blaualgen (Cyanobakterien)
8. Krautschwund durch Planktonalgenkonkurrenz
9. Fischsterben durch Sauerstoffmangel oder Ammoniakvergiftung (pH-Erhöhung durch starke Photosynthese)
10. Störung der Trinkwassergewinnung durch Algen, die die Filter der Aufbereitungsanlagen frühzeitig verstopfen oder die bis in das Trinkwasser durchschlagen

11. Behinderung des Badens durch Wassertrübung, Verkrautung oder wegen Hautreizungen durch algenbürtige Stoffe
12. Störung des Wassersports durch Verkrautung
13. Minderung des Erholungswertes durch faulende Algenmassen
14. Einschränkung der Fischerei durch Rückgang wirtschaftlich wertvoller Fischarten und gelegentliches Fischsterben.

Eine Quantifizierung der Auswirkungen erhöhter Nährstoffeinträge erfolgte durch Vollenweider (1975) und wurde im Rahmen einer OECD-Studie (OECD 1982) für verschiedene Gewässertypen getestet. Dieses Klassifikationssystem zur Trophiecharakterisierung der Standgewässer (Abb. 3) ist weltweit anerkannt und bildet auch die Grundlage für das Klassifikations- und Bewertungssystem der Standgewässer in Deutschland, das 1998 von der LAWA veröffentlicht wurde.

Die Trophieeinstufung erfolgt dabei anhand der Parameter Chlorophyll a und Gesamtphosphor (TP)-Konzentration.

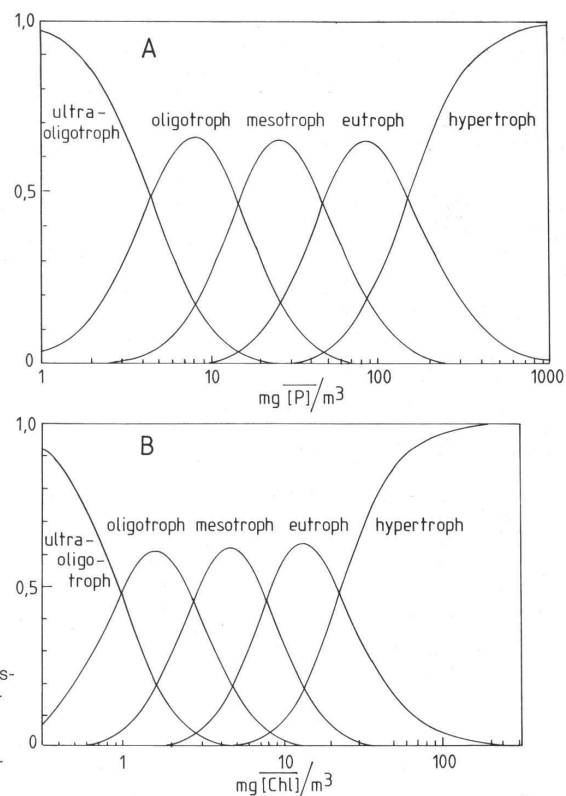


Abb. 70 Wahrscheinlichkeitsverteilung der Trophieklassifikation A = Parameter Phosphor; B = Parameter Chlorophyll a (chl a) (nach Vollenweider u. Kerekes 1980).

Abb. 3: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Trophieklassen nach den Parametern Gesamtphosphor- und Chlorophyll a –Konzentration aus Vollenweider und Kerekes (1980)

Die mittlere TP-Konzentration eines Gewässers errechnet sich nach Vollenweider (OECD 1982) nach folgender Formel:

$$P_{\lambda} = P_i / (1 + \sqrt{t_R})$$

P_{λ} = mittlere TP-Konzentration im See

P_i = mittlere TP-Konzentration im Zufluss

t_R = theoretische Verweilzeit (Aufenthaltszeit) des Wassers (V/Q)

Die LAWA-Klassifikation erweiterte die von Vollenweider abgeleiteten Trophiegrade in Abhängigkeit von der Gesamtposphorkonzentration im Bereich der Flachgewässer mit hohem Trophiegrad, die in Norddeutschland vorherrschen (Tabellen 3, 4).

Tab. 3: Gesamtposphorkonzentration und Trophiegrade nach LAWA (1999)

Gesamtposphorkonzentration [$\mu\text{gP/l}$]	Trophiegrad
< 15	oligotroph
> 15 - 45	mesotroph
> 45 - 85	eutroph e 1
> 85 - 150	eutroph e 2
> 150 - 230	polytroph p 1
> 230 - 350	polytroph p 2
> 350	hypertroph

Tab. 4: Zuweisung des Trophiegrades für die Biomasseparameter Chlorophyll a- und Sichttiefe (Mittelwert Mai bis September, ohne Klarwasserstadium) nach LAWA (1999)

Trophie- klasse	Chlorophyll a [$\mu\text{g/l}$] im Epilimnion	Sichttiefe [m]		
		geschichtete Seen	ungeschichtete Seen	Kleinseen
oligotroph	$\leq 3,0$	$\geq 5,88$		
mesotroph	> 3,0 – 9,7	< 5,88-2,40	$\geq 2,28$	$\geq 1,94$
eutroph 1	> 9,7 - 17	< 2,40 – 1,53	< 2,28 – 1,42	< 1,94 – 1,24
eutroph 2	> 17 - 31	< 1,53 – 0,98	< 1,42 – 0,89	< 1,24 – 0,80
polytroph 1	> 31 – 56	< 0,98 – 0,63	< 0,89 – 0,56	< 0,80 – 0,52
polytroph 1	> 56 - 100	< 0,63 – 0,40	< 0,56 – 0,35	< 0,52 – 0,33
hypertroph	> 100		< 0,35 – 0,22	< 0,33 – 0,21

Zur Quantifizierung und Bewertung der Eutrophierung werden folgende Parameter erfasst:

- Sichttiefe (ST oder SD = Secchi depth)
- Sauerstoffkonzentration
- Konzentration an Chlorophyll a (beeinflusst in eutrophierten Gewässern die Sichttiefe wesentlich: in einem Bereich um 2 µg/l mit ST um 5 m und mehr und im Bereich von 100 µg/l in hypertrophen Seen mit ST unter einem halben Meter)
- Gesamtposphorkonzentration (TP)

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Trophiezustand eines Sees sehr stark von den Stoffeinträgen aus dem Einzugsgebiet beeinflusst wird und es deshalb in Abhängigkeit von der Landnutzung auf den unten genannten Eintragungspfaden zu einer beträchtlichen Belastung mit Nährstoffen kommen kann.

Eintragungspfade für Schadstoffe und die Nährstoffe sind:

- Punktförmige Einträge
- Diffuse Einträge
- Interne Einträge aus dem See selber - Rücklösung von Sediment

Konkret können diese Einträge verursacht sein durch:

- Direkte Oberflächeneinleitungen: Abwasser und Drainwasser
- Austrag aus Landflächen
- Remobilisierung aus dem Sediment
- Unterirdischer Zufluss
- Niederschlag
- Auswaschung im Einzugsbereich
- Badende und Sportler
- Vögel, Fischfütterung
- Laub
- Staub
- Natürliche Quellen

Eines der größten Probleme ist dabei die Auswaschung bzw. Erosion von Nährstoffen aus oder von dem Boden, dem durch intensive Landwirtschaft zuviel Nährstoffe zugeführt, aber nicht mehr durch Ernte entzogen werden.

Im folgenden Schema sind Austragsraten für Phosphor und Stickstoff aus verschiedenen landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich genutzten Flächen dargestellt, die als Grundlage für die Abschätzung des potentiell natürlichen Nährstoffeintrages in die Gewässer dienen können (LAWA 1999).

Austragsraten für P:	
Wald	5 kgP/(km ² *a) = 0,05 kgP/(ha*a)
Ackerland	40 kgP/(km ² *a) = 0,4 kgP/(ha*a)
Dauergrünland	20 kgP/(km ² *a) = 0,2 kgP/(ha*a)
Weide mit Güllewirtschaft	80 kgP/(km ² *a) = 0,8 kgP/(ha*a)

Austragsraten für Stickstoff	
Landwirtschaft	1500 - 2000 kg N/(km ² *a)
Wald u.a. ungedüngte Flächen	500 - 1000 kg N/(km ² *a)

5.2 Allgemeine Aspekte zur ökologischen Bewertung von Gewässern nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000) (aus Rohde & Nixdorf, 2002)

Die im Dezember 2000 im Amtsblatt veröffentlichte EG-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (WRRL; EU 2000) sieht zur Ermittlung der chemischen und ökologischen Gewässerqualität eine auf einheitlichen Verfahren beruhende Überwachung und gewässertypspezifische Bewertung der Oberflächengewässer vor. Diese Verfahren sind im gesamten EU-Raum einzugsgebietsbezogen anzuwenden. Die ökologische Gewässerqualität soll vorrangig auf der Basis von biologischen Untersuchungen gewässergebundener Organismen stattfinden (Irmer 2000). Bislang existiert in Deutschland und in den meisten EU-Ländern kein derart komplex ökologisch ausgerichtetes Bewertungsverfahren zur Beurteilung der Gewässergüte. Betont man im Zusammenhang mit der Implementierung der WRRL den Rahmen dieser Vorgabe, so wird verständlich, wie viele Interpretations- und Umsetzoptionen aus dem Vorschlag erwachsen. Die WRRL schreibt vor, dass europaweit ein guter ökologischer Zustand der Gewässer bis zum Jahre 2015 erreicht werden soll. Konkret bedeutet dies:

Befindet sich ein Gewässer im guten Zustand, darf es zwar durch menschliche Nutzung beeinflusst werden, aber nur so weit, dass seine ökologischen Funktionen nicht wesentlich beeinträchtigt werden.

Die zu bewertenden Elemente sind bei den Standgewässern in Analogie zu den Fließgewässern:

- das Phytoplankton
- die Makrophyten und das Mikrophytobenthos
- das Makrozoobenthos
- sowie die Fischfauna.

Einzelne biologische Elemente, bei denen die Referenz eine zu hohe natürliche Variabilität aufweist, können in den entsprechenden Gewässertypen von der Anwendung ausgeschlossen werden. Der Grund dafür ist, dass für diese Elemente ein Nachweis signifikanter Effekte durch anthropogene Einwirkungen nicht möglich ist.

Die Prüfung auf Eignung läuft für Standgewässer gegenwärtig für alle Elemente und alle Typen im Rahmen der Bearbeitung von Forschungsvorhaben (LAWA, BMBF, Länder, Universitäten, Institute). Eine umfassende Übersicht über die Auftragnehmer und Inhalte dieser Projekte findet sich auf der Website eines BMBF-Koordinierungsprojektes (KoBio) unter der Adresse: www.kobio.de.

5.3 Probleme bei der ökologischen Bewertung von Gewässern nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000)

5.3.1 Das Problem der Referenzzustände

Folgende Frage ist im Zusammenhang mit der Implementierung der WRRL zu beantworten:

Was ist ein anthropogen unbeeinflusster Referenzzustand? Ist es ein historisches Leitbild („Zurück in die Eiszeit“, vor der Industrialisierung und Intensivierung der Landwirtschaft usw.)? Bis in welche Perioden sollte man bei der Analyse der aquatischen Besiedlungsmuster zurückgehen? Ist die Leitbildfindung ein mehr pragmatisch ausgerichtetes Suchen nach „The best of“, d.h. der beste ökologische Zustand, der sich für den Gewässertyp in der Ökoregion findet? Wie nutzungsbezogen darf ein derartiger prognostizierter Zustand in einer auf „Naturnähe“ orientierten Umweltpolitik sein ?

Laut Vorgabe der im Mai 2003 von den europäischen Wasserdirektoren verabschiedeten EU-Leitlinie aus dem EU-Projekt zur Referenzermittlung „REFCOND“ wird zu dieser Problematik folgende Vorgehensweise empfohlen:

Untersuchung von unbelasteten Wasserkörpern (Definition von Kriterien in der Leitlinie – z.B. keine intensive Landwirtschaft, Schadstoffe im Hintergrundbereich oder nahe “Null”, keine größeren morphologischen Eingriffe)



wenn nicht verfügbar

Verwendung von Daten aus benachbarten Regionen und Ländern



wenn nicht verfügbar

Verwendung von historischen Daten und Modellen



wenn nicht verfügbar



Experteneinschätzung

Für die meisten Flachseen der norddeutschen Tiefebene sind keine unbelasteten Seen als Referenz verfügbar - das gilt besonders für die sehr flachen Seen und die stark durchflossenen Seen in Flusssystemen. Es werden daher verschiedene Ansätze zur Entwicklung von Referenzzuständen für die Bewertungsverfahren diskutiert. Der paläolimnologische Ansatz gehört neben der Nutzung von Expertenwissen und der Modellierung zu den favorisierten Methoden der Referenzfindung. Sedimente von Gewässern werden auch als ihr Gedächtnis bezeichnet, speichern sie doch stoffliche und biologische Information über viele Jahrtausende. Einige Organismen erhalten ihre Struktur trotz der hohen Drücke und chemisch extremen Bedingungen im Sediment relativ gut und können damit unter Benutzung ihrer ökologischen Valenzen als Indikatoren für bestimmte historische Gewässerzustände herangezogen werden. Bekanntestes Beispiel hierfür sind die Kieselalgen (Diatomeen) und z.T. auch Goldalgen (Chrysophyceen), die ihrer kompakten Kieselsäureschale ein Überdauern im Sediment verdanken. Auf diese Weise sind Analysen der Lebensbedingungen für diese Organismen einige Jahrtausende zurück möglich. In Bezug auf Eutrophierung und Versauerung stellen diese Organismengruppen ein wertvolles Archiv der vergangenen ökologischen Verhältnisse dar (s. Hoffmann et al. 2003). Insbesondere die Diatomeen sind oft abundante, sehr diverse und bedeutsame Vertreter der pelagischen und benthischen Planktongemeinschaft. Sie bestreiten in zahlreichen Gewässern saisonal einen dominanten Part innerhalb der Biomasse und weisen charakteristische Besiedlungsmuster entsprechend dem Belastungsstatus auf (Schönfelder 2002).

Daneben werden ökologisch breitere ökologische Ansätze im Zusammenhang mit der paläolimnologischen Analyse angewendet, die aufgrund der Rekonstruktion früherer Besiedlungsmuster und Nahrungsnetzbeziehungen helfen sollen, folgende Fragen zu beantworten:

1. Waren unsere Flachseen im weitgehend unbelasteten Zustand eher durch Makrophyten oder Phytoplankton dominiert?
2. Fand schon früher ein Wechsel zwischen diesen beiden Zuständen statt (Bistabilität)?
3. Welche Rolle spielen die Blaualgen in diesem Zusammenhang?
4. In welcher Intensität der Biomassebildung (Blüten) sind sie für einen guten ökologischen Zustand akzeptabel?

Dabei werden Pollen sowie die pflanzlichen Reste der Makrophyten und des Phytoplanktons (HPLC-Analytik) ebenso untersucht wie die Reste planktischer (Chydoriden) und benthischer Invertebraten (Chironomiden). Dieser Ansatz spiegelt die Untersuchungsstrategie innerhalb eines Projektes wider, das zur Referenzfindung für Flachseen Brandenburgs vom MLUR finanziert wird.

**Rekonstruktion von Referenzzuständen in Flachseen
mittels Paläolimnologie**

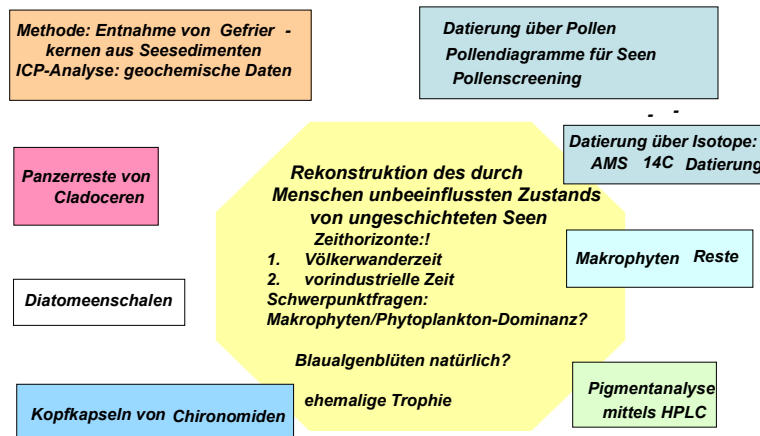


Abb. 4: Schema zur Rekonstruktion von Referenzzuständen in Flachseen mittels paläolimnologischer Analyse in Seen Brandenburgs

5.3.2 Die Qualität und Eignung vorliegender Daten als Grundlage für die Entwicklung von Bewertungssystemen und künftigen Messprogrammen

Die für die Umsetzung erforderlichen leitbildbezogenen Bewertungsverfahren für die einzelnen biologischen Qualitätskomponenten werden zur Zeit erarbeitet und durch die LAWA fachlich begleitet. Bei der Auswertung der in den Ländern vorhandenen Daten hat sich sehr schnell herausgestellt, dass im Gegensatz zu den chemischen Daten, die als Datengrundlage sowohl zur Charakterisierung der Gewässer als auch für die Maßnahmeprogramme ausreichend erscheinen, die biologischen Daten als Datengrundlage nur unzureichend erhoben, bestimmt und zum Teil ausgewertet wurden. Diese Tatsache ergibt sich aufgrund unterschiedlicher Probenahmen, Erfassungsmethoden sowie Auswertung (z.B. unterschiedliche Bestimmungsniveaus), wodurch die Ergebnisse nur bedingt vergleichbar und somit auch nur eingeschränkt verwendbar sind.

Nationale oder internationale Normen zur Probenahme von biologischem Material in Seen liegen nicht vor. Erste Vorschläge (Makrozoobenthos, Phytoplankton und Fische) wurden erarbeitet und müssen durch die Praxis erprobt und bestätigt werden.

In der WRRL ist eine Mindestüberwachungsfrequenz für den Gütezustand der Gewässer von 6 Monaten für das Phytoplankton vorgesehen. Das ist angesichts der Dynamik innerhalb von Plankton sukzessionen nicht ausreichend und bedarf einer Überprüfung bzw. einer gewässerspezifischen Auslegung durch die einzelnen Länder.

5.3.3 Künstliche oder erheblich veränderte Wasserkörper

Ein zur Zeit noch ungelöstes Problem ist, wie mit der Ableitung von Referenzen und der typspezifischen Bewertung der künstlichen und erheblich veränderten Seen zu verfahren ist. Wörtlich heißt es in der WRRL Anhang II Ziffer 1.1: „Bei künstlichen oder erheblich veränderten Oberflächenwasserkörpern ist die Unterscheidung anhand der Deskriptoren für diejenigen Oberflächengewässerkategorien

vorzunehmen, die den betreffenden erheblich veränderten oder künstlichen Wasserkörper am ähnlichsten sind.“ Während Baggerseen und Talsperren in den meisten Fällen in den vorgelegten Entwurf der Seentypen Deutschlands (s. Kap. 4.) einzuordnen sind, stellen die Tagebauseen des Braunkohleabbaus eigene Sondertypen dar, die aber im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt werden. Die Braunkohletagebauseen Deutschlands sind in einem früheren UBA-Projekt (UBA-Texte 35/01, 2001) dokumentiert worden.

5.3.4 Weitere Probleme

Bei der Erarbeitung der Bewertungsverfahren ist ein pragmatischer Ansatz erforderlich, der die Machbarkeit und Finanzierbarkeit nicht aus dem Auge verliert, ohne selbst zum Regulativ der Gestaltungsmöglichkeiten für ökologische Bewertungen zu werden. Vorhandene Bewertungsansätze wie z. B. Saprobienindex, Makrophytenindex, Index of Biotic Integrity, Potamon-Typie-Index, Trophieindex müssen auf ihre Anwendbarkeit überprüft und weiterentwickelt werden.

Die von der WRRL vorgeschriebene (nationale) und internationale Interkalibrierung wird ein erhebliches Konfliktpotential bei der praktischen Umsetzung der WRRL erzeugen.

Die WRRL wird insgesamt als gutes und nützliches Instrument zur Bewertung und zum Schutz von Gewässern angesehen. In ihrer jetzigen Fassung enthält sie allerdings einige gravierende Defizite bezüglich der ökologischen Bewertung, die den Protest einer ganzen Gruppe von Limnologen, nämlich der Zooplanktonspezialisten hervorgerufen hat, da diese komplex ausgelegte Handlungsanleitung bei der ökologischen Bewertung von Standgewässern auf die wichtige Schlüsselkomponente Zooplankton verzichtet. Hierzu findet sich bei Deneke (2002) eine kritische Analyse und Bewertung dieses Defizits. Ähnliches gilt für die Sedimente als wichtiger Stoffumsatzraum in Seen (Kleeberg 2002) und eine bislang vernachlässigte Gruppe innerhalb des Phytoplanktons, die phototrophen Bakterien (Cyanobakterien und Schwefelbakterien). In dem Maße, wie die dimiktischen Seen ihren trophischen Zustand verbessern und klarer werden, gewinnen die lichtnutzenden Bakterien in den tieferen Schichten der Seen an Bedeutung (Rücker & Nixdorf 2002). Solange die ehemals eutrophierten Seen aufgrund ihrer „Altlasten“ Schwefelwasserstoff im Hypolimnion während der Sommerstagnation speichern, wird es eine bedeutsame Verschiebung der Primärproduktion in tiefere Bereiche geben, obwohl oder gerade weil das Epilimnion relativ klar ist. Das gilt ebenso für das bislang vernachlässigte autotrophe Picoplankton.

5.3.5 Ausblick

Die WRRL stellt alle Beteiligten, vor allem die Länder, vor große Herausforderungen, die es zur Stärkung des internationalen Gewässerschutzes zu meistern gilt. Auf Grund des von der WRRL gesetzten engen Zeitrahmens gilt es, die erforderlichen finanziellen, personellen und organisatorischen Entscheidungen zeitig zu treffen. Die Frage, ob die möglichen und finanzierbaren Maßnahmen überhaupt ausreichen, um in der vorgesehenen Zeit eine gute ökologische Qualität zu erreichen, bleibt zunächst offen und sollte den Entwicklungsprozess der Bewertungsfindung nicht negativ beeinflussen.

5.4 Zur Typisierung der Gewässer in Deutschland (Mathes et al. 2002)

5.4.1 Generelle Bemerkungen zur Typisierung

Die WRRL fordert eine gewässertypspezifische Bewertung der Gewässerbeschaffenheit. Hierzu wird zur Zeit die Karte der Fließgewässertypen Deutschlands auf der Grundlage der Karte der Gewässerlandschaften nach Briem et al. und biologischer Daten erstellt (s. KoBio). Eine entsprechende Typisierung der Stand- und Fließgewässer lag in Deutschland bislang nicht vor.

Durch den LAWA Unterausschuss „Biologische Bewertung von Seen“ wurde ein erster Entwurf zur Seentypisierung erarbeitet. Zur Abgrenzung der Typen werden gemäß Vorgaben der WRRL geographische, topographische, geologische, hydrologische und morphometrische Kenngrößen verwendet.

Für eine leitbildgestützte Bewertung der Seen im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie der EU, die eine Bewertung des Gewässerzustandes beinhaltet, der vorrangig durch Biozönosen beschrieben wird, müssen bundesweit Seentypen entwickelt werden, die im anthropogen unbelasteten Zustand eine jeweils charakteristische Lebensgemeinschaft (Referenzbiozönose) besitzen. Da die Datengrundlage für eine derart umfangreiche biozönotische Typisierung noch nicht vorliegt, wurde zunächst der umgekehrte Weg gewählt, also vorab ein Seentypensystem erarbeitet, in das sich im Idealfall die für die Wasserrahmenrichtlinie relevanten Biozönosen (Phytoplankton, Makrozoobenthos, Makrophyten/Phytobenthos, Fische) einordnen lassen.

Unter praktikablen Gesichtspunkten erschien es sinnvoll, die Anzahl der Typen möglichst gering zu halten, weil für jeden Gewässertyp Referenzzustände und entsprechende Degradationszustände für alle relevanten Organismengruppen definiert werden müssen. Vor dem Hintergrund, dass eigentlich jeder See ein Typ für sich ist, mussten deshalb Kompromisse hinsichtlich der Typisierungskriterien getroffen werden. Allein mit der Einschränkung der Seen auf solche mit Seeflächen ≥ 50 ha durch die Vorgaben der WRRL wird die Anzahl der Typen schon relativ stark reduziert.

Der vorliegende Entwurf des LAWA – Unterausschusses „Bewertung stehender Gewässer“ folgt den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie der EG gemäß System B. Zur Abgrenzung werden geographische, topographische, geologische, hydrologische und morphometrische Kenngrößen verwendet.

Wesentliche Kriterien sind danach:

- Größe (Mindestseefläche 50 ha)
- Ökoregion
- Calcium-Konzentration als Maß für die geochemischen Verhältnisse des Einzugsgebietes
- Verhältnis Einzugsgebietsgröße/Seevolumen als Maß für den Einfluss des Einzugsgebietes auf den Wasser- und Stoffhaushalt des Sees.
- Schichtungseigenschaften für die morphometrische und stoffliche Charakterisierung des Sees

Als erster Anhaltspunkt für die Lebensgemeinschaften der verschiedenen Seentypen wurde die Trophie herangezogen. Sie charakterisiert die Verhältnisse im Phytoplankton, die später als ein wichtiges biozönotisches Kriterium heranzuziehen

sein werden, und die chemisch-physikalischen Verhältnisse. Die übrigen, für die Wasserrahmenrichtlinie relevanten Biozönosen konnten aufgrund der noch fehlenden Leitbilder vorerst nicht berücksichtigt werden.

Mit Hilfe des vorhandenen LAWA-Datenmaterials von knapp 400 Standgewässern aus allen Regionen Deutschlands wurden die Grenzwerte für die einzelnen Kriterien unter dem Gesichtspunkt einer praktikablen Anwendung festgelegt.

5.4.2 Ökoregionen

Die von Illies (1978) für die Fließgewässerfauna Europas entwickelten Ökoregionen grenzen Fließgewässer nach geographischen und klimatischen Kriterien gegeneinander ab. Für eine Klassifizierung der Seen Deutschlands sind diese Kriterien nur bedingt brauchbar. Besonders eine Höhenabgrenzung ist für die stehenden Gewässer wahrscheinlich wenig relevant.

Daher werden die Ökoregionen im Hinblick auf die Seentypisierung abweichend von Illies (1978) folgendermaßen voneinander abgegrenzt:

5.4.2.1 Die Alpen und das Alpenvorland

Die Seen dieser Region umfassen unabhängig von einer bestimmten Höhenlinie das Gebiet des Gebirges selbst, den Alpenrand (z.B. mit dem Bodensee) sowie alle Gebiete nördlich der Alpen, in denen die Seen geologisch (Gesteinsschotter aus den Alpen), damit gewässerchemisch alpin sowie durch ein alpines Abflussregime (Frühjahrs- und Sommerhochwässer infolge Schneeschmelze, hoher Schwebstoffanteil, niedrige Zuflusstemperaturen) charakterisiert sind. Dabei werden Alpenseen und Voralpenseen voneinander abgegrenzt.

Alpenseen sind unabhängig von ihrer Lage (in den Alpen oder im Vorland) durch die oben beschriebenen Charakteristika der meist großen alpinen Einzugsgebiete besonders geprägt. Diese Faktoren bedingen einen natürlicherweise nährstoffarmen Status und eine geringe Primärproduktion. In höher gelegenen alpinen Seen, die in Deutschland nur mit Flächen < 50 ha vorkommen, kann die hohe Strahlung das Plankton schädigen und dadurch die Primärproduktion zusätzlich limitieren.

Alpenvorlandseen werden dagegen nicht durch Zuflüsse aus den Alpen gespeist. Diese Seen sind meistens wärmer, haben ein von den Alpenseen abweichendes hydrologisches Regime, geringe oder keine Schwebstoffzufuhr und die Einzugsgebiete sind kleiner als solche alpiner Seen. Unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. geringe mittlere Tiefe) ist dort ein höherer potentiell natürlicher Trophiestatus möglich.

Beide Seengruppen dieser Region sind aufgrund der geologischen Voraussetzungen (nördliche Kalkalpen) kalkreich und können zusätzlich durch Grundwasser beeinflusst sein. Das Voralpenland und die geologisch und klimatisch heterogenen Mittelgebirge sind so verschieden, dass es nicht sinnvoll ist, die Seen der Voralpen mit denen der Mittelgebirge zusammenzufassen.

5.4.2.2 Die zentralen Mittelgebirge

Die Mittelgebirgsregion schließt nördlich an das Alpenvorland an, umfasst u.a. die Schwäbische Alb, den Schwarzwald, den Bayerischen Wald, Oberpfälzer Wald,

Fichtelgebirge, Thüringer Wald, die Gebiete der oberen Donau, des Oberrheins und der Oberweser, Spessart, Odenwald, Rhön, Rothaargebirge, Rheinisches Schiefergebirge bis zum nördlichen Rand der Mittelgebirge, Teutoburger Wald, Weserbergland, Leinebergland, Harz und Erzgebirge. Auch in den Mittelgebirgen können Seen in Tallagen zum einen durchaus unterhalb der von Illies (1978) veranschlagten Höhengrenze von 200 m liegen, zum anderen existieren beispielsweise im Schwarzwald auch Seen oberhalb von 800 m Höhenlage.

Die Zahl der natürlichen Seen mit einer Größe von ≥ 50 ha ist in den Mittelgebirgen sehr gering. Die überwiegende Anzahl stehender Gewässer dieser Größe ist künstlich (zumeist Talsperren und Speicherbecken). Diese Seen sind auf Grund der geologischen Voraussetzungen (Granit, Gneis, Buntsandstein, Schiefer) meistens kalkarm und oft leicht sauer. Vor allem kleinere Gewässer sind versauerungsgefährdet oder bereits versauert. Wegen der überwiegend durch Wald geprägten Einzugsgebiete ist für die Seen auf Festgesteinen ein potentiell nährstoffarmer Status anzunehmen. Einige dieser Seen sind zudem huminstoffgeprägt (z.B. Eckertalsperre, Schluchsee).

5.4.2.3 Das norddeutsche Flachland

Das norddeutsche Flachland (oder norddeutsche Tiefebene) schließt sich nördlich an die Mittelgebirgsregion an und reicht bis zur Nord- und Ostsee.

In dieser Ökoregion haben sich eine Reihe von Seentypen gebildet, die sich auch biozönotisch von den beiden vorgenannten Gruppen unterscheiden. Es sind kalkreiche, aber auch kalkarme Seen anzutreffen. Letztere sind jedoch selten und bis auf eine Ausnahme (Ewiges Meer) kleiner als 50 ha. Prägend für die Ökoregion sind überwiegend flachere Seen. Die Einschränkung auf Seen mit einer Mindestwasserfläche von 50 ha reduziert die dort theoretisch zu erwartende große Zahl von Seentypen erheblich.

5.4.3 Geologie

Für die Charakterisierung der geochemischen Verhältnisse des Einzugsgebietes wird die Calcium- Konzentration des Seewassers herangezogen, indem Kalkreichtum bzw. -armut bei Werten größer/gleich bzw. kleiner 15 mg/l unterschieden wird.

Eine weitere Differenzierung der Calcium- Konzentration erscheint nicht sinnvoll, da das vorhandene Datenmaterial nur wenige kalkarme Seen im Mittelgebirge enthält. An Talsperren wurde festgestellt, dass die pH - Werte bei einer Calcium-Konzentration kleiner 15 mg/l in den sauren Bereich wechseln, ab 15 mg/l Ca jedoch gut gepuffert sind und stabil bei bzw. über pH 7 bleiben. Auch im Rahmen der Seenbewertung nach trophischen Kriterien wird dieser Grenzwert für die Differenzierung von kalkarmen bzw. kalkreichen Böden genutzt (LAWA 1999).

Da die Calcium- Konzentration in der Regel eng mit der Leitfähigkeit korreliert ist, kann diese bei fehlenden Calcium - Daten alternativ zur Abgrenzung genutzt werden. Anhand des vorliegenden Datenmaterials ergibt sich für kalkarme Seen ein Grenzwert von $< 180 \mu\text{S}25/\text{cm}$. Eine Ausnahme bilden stark saure Gewässer, bei denen die Leitfähigkeit durch die hohe Konzentration der Protonen bestimmt wird.

5.4.4 Einfluss der relativen Größe des Einzugsgebietes

Der Einfluss des Einzugsgebietes wird über das Verhältnis der Einzugsgebietsfläche (inklusive Seefläche) zum Seevolumen charakterisiert, wobei unterschieden wird, ob der Quotient größer bzw. kleiner/gleich 1,5 ist.

Natürliche Seen stehen durch ihre Zuflüsse und den direkten See-Umland-Kontakt in enger Wechselwirkung mit ihrem Einzugsgebiet. In der Regel gilt: je größer das Einzugsgebiet, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass der See nährstoffreich ist; regionale Unterschiede sind möglich (z.B. in den Alpen). Hinsichtlich der Nährstoffausnutzung spielt hingegen die Seebeckenmorphologie eine bedeutende Rolle. Ein flacher See ist bei gleicher Nährstoffkonzentration produktiver als ein tiefer See. Daher ist das Verhältnis der Einzugsgebietsfläche (inklusive Seefläche) zum Seevolumen (VQ [$\text{km}^2/106\text{m}^3$]) ein relativ gutes Maß für die Wirkung des Einzugsgebietes auf den Stoffhaushalt des Sees.

Das vorhandene Datenmaterial ergibt, dass die Mehrzahl der natürlichen Seen mit einem VQ bis zu 1,5 im Ist-Zustand eine geringe Trophie aufweisen. Bei nur 29 % der natürlichen Seen mit $VQ \leq 1,5$ liegt die Trophie über mesotroph. Diese sind zur Hälfte ungeschichtet und vermutlich aus diesem Grund produktiver. Bei Erhöhung der Grenze von VQ auf ≤ 2 erhöht sich der Prozentsatz auf 38 %. Bei Werten ab $VQ > 2$ sind die Seen zu 90 % eutroph 1 und produktiver. Es wird daher vorgeschlagen, die Grenze für den „Seentyp mit kleinem Einzugsgebiet“ bei $VQ \leq 1,5$ zu legen. Bei stark bewaldeten oder alpinen Einzugsgebieten, Seenketten oder auch anderen natürlichen Gegebenheiten, die die Nährstofffracht aus der Fläche vermindern, ist vom Bearbeiter zu entscheiden, ob die Grenze ggf. höher angesetzt werden kann.

Als zusätzliches Kriterium für den Einfluss der Einzugsgebietsgröße kann der Flächenquotient (FQ [km^2/km^2]), also das Verhältnis von Einzugsgebietsgröße zu Seefläche, genutzt werden. Dieser sollte jedoch nur in Zweifelsfällen herangezogen werden. Für die Abgrenzung der Typen wurde dieser Parameter zunächst nicht berücksichtigt, zumal die Größe dieses Quotienten je nach Ökoregion variiert. Beispielsweise ist die Wirkung des Einzugsgebietes bei den Alpenseen, die im Mittel sehr tief sind, geringer als bei den Flachlandseen. Der Abgleich vom $VQ \leq 1,5$ mit dem FQ ergibt bei den Alpenseen einen Grenzbereich für den FQ von 15 bis 20 und bei den Flachlandseen Werte von unter 10. Weil für die „Mittelgebirgsseen“ nur sehr wenige Datensätze vorliegen (nur drei natürliche Gewässer, ansonsten Talsperren), wird zunächst unter Vorbehalt davon ausgegangen, dass die Grenze auch dort zwischen 15 und 20 liegt.

5.4.5 Theoretische Wasseraufenthaltszeit

Eine weitere Kenngröße des Einzugsgebietes mit Einfluss auf die Biozönose von Standgewässern ist die theoretische Wasseraufenthaltszeit. Da die Jahresabflussmenge eines Sees aber nur sehr schwer zu erfassen ist und von Jahr zu Jahr sehr stark schwanken kann, ist die theoretische Wasseraufenthaltszeit und insbesondere die in diesem Zusammenhang interessierende sommerliche Verweildauer nur grob abschätzbar. Mit Ausnahme von wenigen stark durchflossenen Mittelgebirgstalsperren (Pirk, Ratscher, Neunzehnhain 1) liegen die mittleren jährlichen und die sommerlichen theoretischen Verweilzeiten der Gewässer in der Alpen- und Mittelgebirgsregion in der Regel über 30 Tagen und lassen damit einen biozönotisch wirksamen Durchspüleffekt in den Hintergrund treten. Im Flachland lässt sich über mittlere sommerliche Verweilzeiten (Mai bis Oktober) über

3 Tage (Abgrenzung zum typischen Fließgewässer), aber unter 30 Tagen der Typ eines Flusseees charakterisieren. Diese Gewässer werden über größere Einzugsgebiete (großer Flächen- bzw. Volumenquotient) versorgt, haben verhältnismäßig geringe Volumina, sind flach und demzufolge alle polymiktisch.

5.4.6 Schichtungseigenschaften

Für die Klassifizierung nach Seetypen wird die Unterscheidung zwischen geschichteten und ungeschichteten Gewässern herangezogen.

In flachen ungeschichteten oder schwach geschichteten Seen stehen die Nährstoffe, die im Wasser oder Sediment nach der Zersetzung wieder freigesetzt werden, dem Algenwachstum unmittelbar wieder zur Verfügung. Massenentwicklungen von Algen, vor allem im Sommer, sind in eutrophierten Seen die Folge. Daher ist es wahrscheinlich, dass sich die Biozönosen von geschichteten und ungeschichteten Seen unterscheiden. Es wird empfohlen, einen See als geschichtet einzuordnen, wenn die thermische Schichtung an der tiefsten Stelle des Sees für mindestens 3 Monate stabil bleibt. Sofern nicht genügend Messdaten zum Schichtungsverhalten des Sees vorliegen, kann als Hilfsgröße der Tiefengradient (Mietz 1991) genutzt werden.

5.4.7 Typisierungssystem

Für die Klassifizierung der Seen nach Gewässertypen lagen Angaben von insgesamt 377 Gewässern ≥ 50 ha vor, von denen 319 Seen komplette Datensätze aufwiesen. Es handelt sich um Datenmaterial von Seen natürlicher Entstehung und von Talsperren. Weitere künstliche Gewässertypen lassen sich mit dem vorliegenden Typisierungssystem nicht erfassen und werden zunächst unter der Rubrik Sondertypen geführt. Das trifft insbesondere auf die Abgrabungsseen zu, die grundwassergespeist sind und daher in den meisten Fällen nur unwesentlich vom oberirdischen Einzugsgebiet beeinflusst werden.

Mit Hilfe der oben genannten Kriterien ergeben sich für Deutschlands Standgewässer mit Mindestwasserflächen von 50 ha insgesamt 10 Haupttypen für Seen natürlicher Entstehung sowie weitere 4 Gewässertypen der Mittelgebirgsregion, die fast ausschließlich Talsperren enthalten (s. Abb. 5).

Das sind in der Alpen- und Voralpenregion:

Voralpenseen: kalkreich, relativ großes Einzugsgebiet, ungeschichtet [1]

Voralpenseen: kalkreich, relativ großes Einzugsgebiet, geschichtet [2]

Voralpenseen: kalkreich, relativ kleines Einzugsgebiet, geschichtet [3]

Alpenseen: kalkreich, geschichtet [4]

in der Mittelgebirgsregion:

kalkreich, relativ großes Einzugsgebiet, geschichtet, (nur Talsperren) [5]

kalkreich, relativ großes Einzugsgebiet, ungeschichtet, (fast nur Talsperren) [6]

kalkreich, relativ kleines Einzugsgebiet, geschichtet, (eine Talsperre, ein nat. See) [7]

kalkarm, relativ großes Einzugsgebiet, geschichtet, (nur Talsperren)	[8]
kalkarm, relativ kleines Einzugsgebiet, geschichtet, (fast nur Talsperren)	[9]
und in der Flachlandregion:	
kalkreich, relativ großes Einzugsgebiet, geschichtet	[10]
kalkreich, relativ großes Einzugsgebiet, ungeschichtet, Verweilzeit > 30d	[11]
kalkreich, relativ großes Einzugsgebiet, ungeschichtet, Verweilzeit 3 - 30d	[12]
kalkreich, relativ kleines Einzugsgebiet, geschichtet	[13]
kalkreich, relativ kleines Einzugsgebiet, ungeschichtet	[14]

Tabelle 5 enthält für alle ermittelten Seentypen die Anzahl der berücksichtigten Datensätze sowie jeweils beispielhaft einige der flächengrößten Seen.

Darüber hinaus werden zunächst folgende Sondertypen (mit Seeflächen ≥ 50 ha) abgegrenzt, die ggf. noch weiter zu untergliedern sind bzw. die in Kombination auftreten können (z.B. Tagebaurestseen: sauer und elektrolytreich, Gr. Koblenzener See/Mecklenburg-Vorpommern : huminstoffgeprägt und elektrolytreich):

- Abgrabungsseen (neutral bis basisch)

Dieser Seentyp (vor allem Kiesbaggerseen) ist in allen Ökoregionen vertreten.

- Abgrabungsseen (schwach bis stark sauer)

Dabei handelt es sich um Tagebaurestseen des Braunkohleabbaus in Brandenburg, Sachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern.

- huminstoffgeprägte Seen bzw. Talsperren

Dieser Seentyp ist unabhängig von der Ökoregion, kann kalkarm bzw. kalkreich sein.

- elektrolytreiche Seen

Dazu gehören die meisten sauren Tagebaurestseen, salzhaltige Strandseen sowie künstliche/natürliche Seen, deren hoher Elektrolytgehalt geogen bedingt ist.

Nach der vorläufigen Einordnung der von den Bundesländern gemeldeten Seen ≥ 50 ha ist nun zu prüfen, inwieweit sich die für die Wasserrahmenrichtlinie relevanten Biozönosen den vorgeschlagenen Seentypen zuordnen lassen. Eine biozönotisch begründete Seentypisierung kann daher erst nach Auswertung der biologischen Daten der diesbezüglichen F&E-Vorhaben und ggf. nach einer entsprechenden Anpassung der hier vorgeschlagenen Seentypen endgültig festgelegt werden.

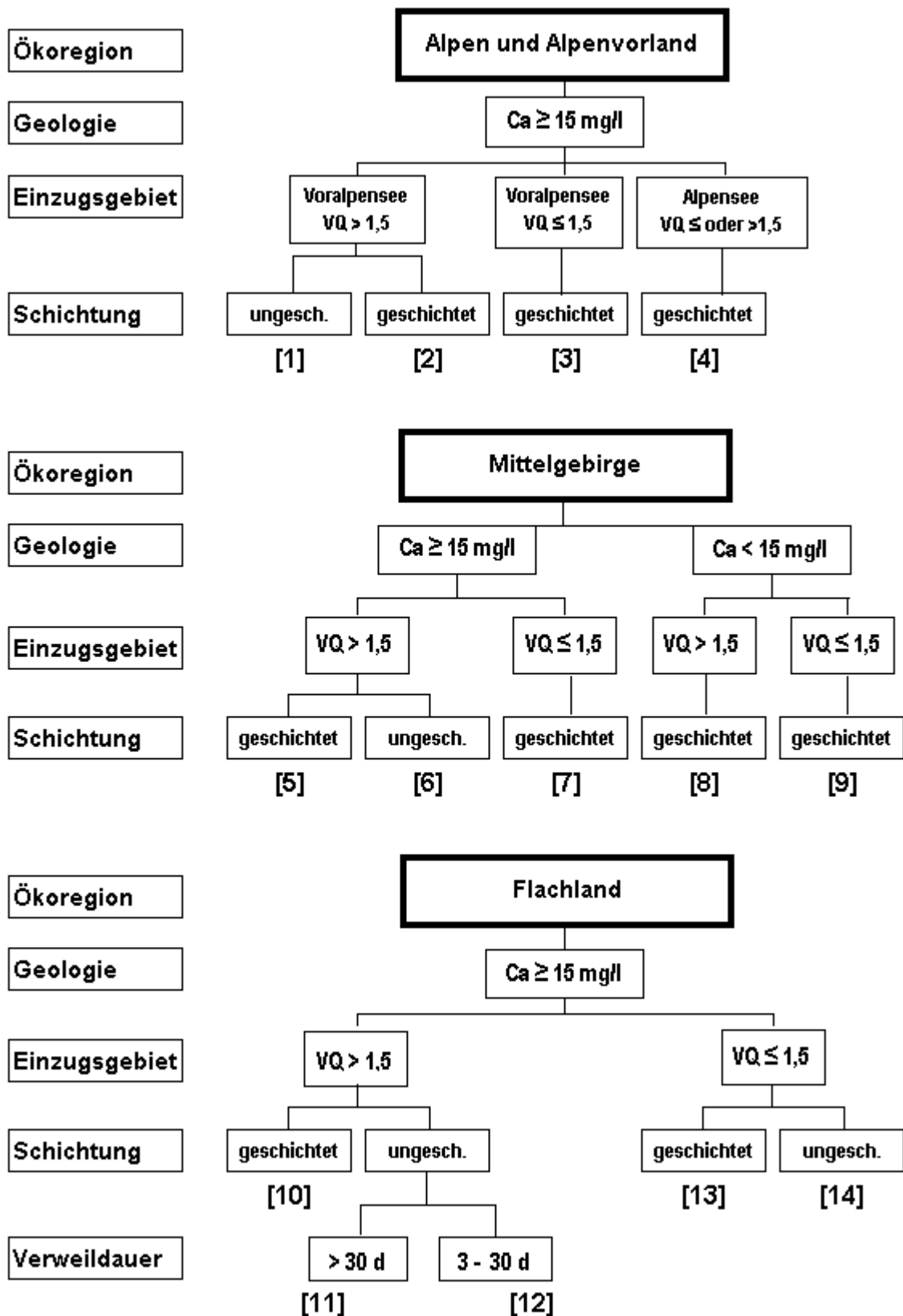


Abb. 5: Das Typisierungssystem für die Seen und Talsperren Deutschlands mit Wasserflächen ab 50 ha

Tab. 5: Anzahl der für den Typisierungsvorschlag verwendeten Datensätze und Beispiele von Seen aus allen Regionen Deutschlands

Seetyp (Nr.: s. Abb. 1)	Datensätze (davon Talsperren)	Beispiele			
		Seename	Fläche [km ²]	Bundesland	Teil / Seite
1	4	Hopfensee	1,94	Bayern	11/37
		Hofstädter See	0,58	Bayern	-/-
		Rohrsee	0,52	Baden-Württemb.	10/18
2	6	Bannwaldsee	2,28	Bayern	11/13
		Pilsensee	1,95	Bayern	11/58
		Großer Ostersee	1,18	Bayern	11/30
3	10	Starnberger See	56,36	Bayern	11/75
		Staffelsee	7,66	Bayern	11/71
		Waginger See	6,61	Bayern	11/88
4	15	Bodensee	ca. 500	Baden-Württemb./Bayern	10/4
		Chiemsee	79,90	Bayern	11/17
		Ammersee	46,60	Bayern	11/8
5	15 (15)	(TS Bleiloch)	9,20	Thüringen	-/-
		(TS Hohenwarthe)	7,30	Thüringen	-/-
		(TS Pöhl)	3,60	Sachsen	-/-
6	9 (8)	Federsee	1,36	Baden-Württemb.	10/10
		(TS Quitzdorf)	5,70	Sachsen	-/-
		(TS Bautzen)	5,20	Sachsen	-/-
7	2 (1)	Laacher See	3,31	Rheinland-Pfalz	9/27
		(TS Schönbrunn)	1,00	Thüringen	-/-
8	4 (4)	(TS Eibenstock)	3,20	Sachsen	-/-
		(TS Mauthaus)	0,93	Bayern	-/-
		(TS Ohra)	0,85	Thüringen	-/-
9	5 (4)	Titisee	1,07	Baden-Württemb.	10/29
		(TS Schluchsee)	5,08	Baden-Württemb.	10/23
		(Pulvermaar, < 50 ha)	(0,34)	Rheinland-Pfalz	-/-
10	91	Plauer See	38,40	Mecklenburg-Vorp.	2/221
		Kölpinsee	20,29	Mecklenburg-Vorp.	2/150
		Tollensesee	17,90	Mecklenburg-Vorp.	2/292
11	102 (4)	Kummerower See	32,55	Mecklenburg-Vorp.	2/163
		Steinhuder Meer	29,10	Niedersachsen	4/25
		Malchiner See	13,95	Mecklenburg-Vorp.	2/176
12	9 (2)	Schwielowsee	8,50	Brandenburg	5/120
		Gülper See	6,16	Brandenburg	5/51
		Gr. Sternberger See	2,53	Mecklenburg-Vorp.	2/118
13	40	Schweriner See	61,54	Mecklenburg-Vorp.	2/265
		Großer Plöner See	29,97	Schleswig-Holstein	1/39
		Schaalsee	22,80	M-V / S-H	1/71
14	7	Müritz	112,63	Mecklenburg-Vorp.	2/190
		Schmollensee	5,03	Mecklenburg-Vorp.	2/258
		Dobersdorfer See	3,12	Schleswig-Holstein	1/21

Summe: 319

5.5 Nährstoffhaushalt und Trophie, zeitliche Entwicklung der Gewässerqualität und zusammenfassende Einschätzung

Die Erarbeitung der Kriterien richtet sich neben den Vorgaben durch das Umweltbundesamt nach vorliegenden und auszuwertenden Kriterien der Standgewässerklassifizierung der EG-WRRL sowie der in der Bundesrepublik Deutschlands entwickelten LAWA-Richtlinien zur Erfassung und Bewertung von Standgewässern (LAWA 1999). Eine wesentliche Aufgabe bei der Erarbeitung dieses Kriterienkataloges wird es sein, die spezifischen Güteparameter bezüglich der Bewertung Seen zu berücksichtigen und entsprechend zu modifizieren. Im diesem Zusammenhang bietet sich eine zusätzliche Bewertung der verschiedenen nationalen und internationalen Klassifikationsansätze an, um die Vor- und Nachteile der einzelnen Kriterienkomplexe vergleichend zu bewerten.

Für die Trophie-Indikation in Seen und Talsperren sind bereits einige für die Erfordernisse der WRRL vielversprechende Klassifikationssysteme vorhanden und weiter entwickelt worden (s. Kap. 3.1.5, Mathes et al. 2002).

In der Dokumentation (spezieller Ergebnisteil) wird der zeitliche Verlauf der Entwicklung der Seen unter den Aspekten der prägenden Nutzungen entsprechend der Datenlage beschrieben sowie der zeitliche Verlauf der Trophieentwicklung anhand der wesentlichen Parameter Chlorophyll a – , TP- und TN – Konzentration sowie der Sichttiefe graphisch dargestellt. Eine verbale Einschätzung des Entwicklungspotentials wird vorgenommen, wobei Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen erwähnt und in ihrer Wirkung beschrieben werden. Bei dieser Einschätzung werden auch derzeitige und künftige Nutzungsoptionen für die Gewässer berücksichtigt.

Eine zusammenfassende Bewertung zum Zustand und zur Gefährdung des Sees schließt sich in den Fällen an, in denen die Datenlage ein solches Vorgehen zulässt. Zu Beginn des Projektes war vorgesehen, eine Zuordnung zu den Gewässertypen, sowie eine zusammenfassende Bewertung zum ökologischen Zustand der Gewässer und zu den wesentlichen Gefährdungspotentialen vorzunehmen. Diese Aufgabe konnte im zeitlichen Rahmen der Projektbearbeitung jedoch nicht erfüllt werden, weil die Ergebnisse aus den Projekten zur Erarbeitung von Bewertungsverfahren von Oberflächengewässern entsprechend den Vorgaben der EG-WRRL noch nicht vorliegen und somit zusammenfassende Bewertungen nach den Vorgaben der EG-WRRL (2000) nicht möglich sind.

6 Erläuterungen zum Aufbau und Inhalt der einzelnen Kapitel der Seenmonographien

Der Bericht ist gemäß der Meldungen aus den einzelnen Bundesländern in folgende elf Teile gegliedert:

- Teil 1: Schleswig-Holstein
- Teil 2: Mecklenburg-Vorpommern
- Teil 3: Hamburg
- Teil 4: Bremen und Niedersachsen
- Teil 5: Brandenburg
- Teil 6: Berlin
- Teil 7: Sachsen-Anhalt
- Teil 8: Hessen, Thüringen und Sachsen
- Teil 9: Nordrhein-Westfalen, Rheinland Pfalz und Saarland
- Teil 10: Baden-Württemberg
- Teil 11: Bayern

Die einzelnen Seenmonographien sind in jeweils fünf Kapitel gegliedert. Fehlt ein Kapitel, konnten dazu keine Daten bzw. Informationen recherchiert werden. Im folgenden wird der Inhalt der einzelnen Kapitel benannt.

Das **erste Kapitel** lautet „Genese, Lage, Einzugsgebiet und Hydrologie“. Eine Tiefenlinienkarte wurde mit abgebildet, falls diese vorhanden war. Ansonsten wurde stattdessen eine topographische Karte eingebunden.

Das **zweite Kapitel** beschäftigt sich mit der „Topographie und Morphometrie“ der Gewässer. Neben der Beschreibung der Selben, sind die morphometrischen Angaben in einer Tabelle zusammengefasst (Tab. 6).

Tab. 6: Inhalt der Tabelle „Topographie und Morphometrie“

Parameter	Abkürzung	Einheit
Seevolumen	V	[Mio. m ³]
Seefläche	A	[km ²]
maximale Tiefe	Z _{max}	[m]
mittlere Tiefe	Z _{mean}	[m]
effektive Länge / bzw. maximale Länge	L _{eff} / bzw. L _{max}	[m]
effektive Breite / bzw. maximale Breite	B _{eff} / bzw. B _{max}	[m]
Uferentwicklung	U _E	[-]
Tiefengradient	F	[-]
theoretische Epilimniontiefe	Z _{epi}	[m]
theoretische Aufenthaltszeit	t _R	[a]

Das Seevolumen umfasst den gesamten Wasserkörper eines Sees.

Die Seefläche beschreibt die gesamte Wasseroberfläche eines Sees.

Die maximale Länge ist die Verbindungslinie zwischen den zwei am weitesten voneinander entfernten Punkten auf der Uferlinie.

Die maximale Breite wird im rechten Winkel zur maximalen Länge bestimmt. Die Linie der zwei am weitesten voneinander entfernten Punkte auf der Uferlinie ergeben die maximale Breite.

Die theoretische Aufenthaltszeit oder auch Verweilzeit ist ein Parameter dafür, wie schnell in einem Seebecken das gesamte Wasservolumen ausgetauscht wird.

(alle Angaben nach (Håkanson 1981)).

Die maximale Tiefe, mittlere Tiefe, effektive Länge, effektive Breite, die Uferentwicklung, der Tiefengradienten und die theoretische Epilimniontiefe wurden im Kapitel 5.1.3 schon näher erläutert.

Im **dritten Kapitel** geht es um die „chemische und trophische Charakteristik“ im See. Es werden Aussagen zur Gewässerqualität getroffen und Trends der Gewässerentwicklung aufgezeigt. Weiterhin wird neben dem aktuellen Trophiezustand auch der morphometrische Referenzzustand wiedergegeben. In der Tabelle (Tab. 7) sind die Mittelwerte der Vegetationsperiode von April bis Oktober der wichtigsten Trophieparameter aufgelistet. Die Gesamtphosphorkonzentration im Frühjahr stammt aus den Monaten März und April.

Tab. 7: Inhalt der Tabelle „Vegetationsmittelwerte (April-Oktober) chemischer und trophierelevanter Parameter (Ausnahme TP_{Früh}: Mittelwert der Monate März und April)“

Parameter	Abkürzung	Einheit
pH-Wert	pH-Wert	[-]
elektrische Leitfähigkeit	Leitf.	[µS/cm]
Chlorophyll a - Konzentration	Chl a	[µg/l]
Sichttiefe	ST	[m]
Gesamtstickstoff - Konzentration	TN	[mg/l]
Gesamtphosphor- Konzentration	TP	[µg/l]
Gesamtphosphor - Konzentration im Frühjahr	TP _{Früh}	[µg/l]

Weiterhin wurde in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit langer Reihen ein Diagramm erstellt, in dem die langzeitliche jährliche Entwicklung (als Vegetationsmittelwerte) der Parameter ST, TP, TN und Chl a abgebildet sind. Die Daten aus dem Freistaat Bayern sind Jahresmittelwerte.

Im **vierten Kapitel** geht es um die „Flora und Fauna“ im Gewässer. Dabei handelt es sich um Angaben zum Vorkommen von Makrophyten, dem Phyto- und Zooplankton, dem Makrozoobenthos und den Fischen. Für Mecklenburg-Vorpommern lagen relativ viele Informationen vor, so dass diese in Tabellenform zusammengefasst wurden.

Das **fünfte Kapitel** beinhaltet Informationen zur Nutzung und zur weiteren anthropogenen Beeinflussung des Sees.

7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anzahl und Verteilung der bislang in Deutschland erfassten Seen aus den einzelnen Bundesländern (aus Hemm et al. 2002)	12
Abb. 2: Übersicht über die bislang in Deutschland erfassten Seen (graue Kreise: natürliche Seen, schwarze Dreiecke: Tagebauseen)	15
Abb. 3: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Trophieklassen nach den Parametern Gesamtphosphor- und Chlorophyll a –Konzentration aus Vollenweider und Kerekes (1980).....	21
Abb. 4: Schema zur Rekonstruktion von Referenzzuständen in Flachseen mittels paläolimnologischer Analyse in Seen Brandenburgs	27
Abb. 5: Das Typisierungssystem für die Seen und Talsperren Deutschlands mit Wasserflächen ab 50 ha.....	35

8 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Klassifikation natürlicher Seen nach der Art ihrer Entstehung.....	13
Tab. 2:	Topographische und morphometrische Parameter der flächenmäßig größten Seen Deutschlands mit maximaler (z_{\max}) und mittlerer Tiefe (z_{mean}), Uferentwicklung (U_e) und Tiefengradient (F), theoretischer Verweilzeit (t_R) und Einzugsgebietsgröße (EZG).....	18
Tab. 3:	Gesamtphosphorkonzentration und Trophiegrade nach LAWA (1999).....	22
Tab. 4:	Zuweisung des Trophiegrades für die Biomasseparameter Chlorophyll a- und Sichttiefe (Mittelwert Mai bis September, ohne Klarwasserstadium) nach LAWA (1999).....	22
Tab. 5:	Anzahl der für den Typisierungsvorschlag verwendeten Datensätze und Beispiele von Seen aus allen Regionen Deutschlands	36
Tab. 6:	Inhalt der Tabelle „Topographie und Morphometrie“	38
Tab. 7:	Inhalt der Tabelle „Vegetationsmittelwerte (April-Oktober) chemischer und trophierelevanter Parameter (Ausnahme $TP_{\text{Früh}}$: Mittelwert der Monate März und April)“	39

9 Literatur

Briem et al., s. www.kobio.de

Deneke, R., 2002. Welchen Beitrag kann das Metazooplankton zur Bewertung des ökologischen Zustandes von Seen leisten? In R. Deneke & B. Nixdorf (Hrsg.), Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. *Aktuelle Reihe* 5/02: 83-88.

Elster, H.-J., 1958. Zum Problem der quantitativen Methoden in der Zooplanktonforschung. Ver. int. Ver. Limnol. 13: 101-120.

EU (Europäische Union), 2000. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327: 72 S.

Forel, F.A., 1901. Handbuch der Seenkunde. Engelhorn, Stuttgart.

Håkanson, L., 1981: A Manual of Lake Morphometry. Springer Verlag. Berlin Heidelberg New York. 1-78.

Hemm, M., A. Hoffmann, U. Mischke & B. Nixdorf, 2002. Natürliche Seen Deutschlands – Aktueller Stand zur Dokumentation, Typisierung und Bewertung anhand des Phytoplanktons. Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Tagungsbericht 2001 (Kiel), Eigenverlag der DGL, Tutzing: 55-60.

Hoffmann, A., J. Rücker & U. Mischke, 2003. Pigmente in Sedimenten ungeschichteter Flachseen Brandenburgs - ein paläolimnologischer Ansatz zur Leitbildermittlung. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Tagungsbericht 2002: 63-67.

Illies, J., 1978. Limnofauna Europaea. 2. Aufl. G. Fischer-Verlag, Stuttgart.

Irmer, U., 2000. Die neue EG-Wasserrahmenrichtlinie: Bewertung der chemischen und ökologischen Qualität von Oberflächengewässern. Acta hydrochim. hydrobiol.28: 7-14.

Kleeberg, A., 2002. Implikation von Umweltqualitätsstandards zum Gefährdungspotential lakustriner Sedimente in die EU-Wasserrahmenrichtlinie. In R. Deneke & B. Nixdorf (Hrsg.), Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. *Aktuelle Reihe* 5/02: 97-108.

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser), 1999. „Gewässerbewertung – stehende Gewässer“ Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien. Kulturbuch-Verlag, Berlin. 74 S.

Mathes, J., Plambeck, G., & J. Schaumburg, 2002. Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. In R. Deneke & B. Nixdorf (Hrsg.), Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. *Aktuelle Reihe* 5/02: 15-24.

Mietz, O., 1991. Allgemeine limnologische Charakteristik von 12 Potsdamer Landseen unter der besonderen Berücksichtigung des Einflusses von topographischen und morphometrischen Parametern auf den Chlorophyll-Gehalt. Diss. A, Humboldt-Universität Berlin. 129 S.

Mischke, U., B. Nixdorf, E. Hoehn & U. Riedmüller, 2002. Möglichkeiten zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons - Aktueller Stand in Deutschland. In R. Deneke & B. Nixdorf (Hrsg.), Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. *Aktuelle Reihe* 5/02: 25-37.

Nixdorf, B., U. Mischke & H. Behrendt, 2002. Phytoplankton/Potamoplankton - wie geeignet ist dieser Merkmalskomplex für die ökologische Bewertung von Flüssen? In R. Deneke & B. Nixdorf (Hrsg.), Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. *Aktuelle Reihe* 5/02: 39-52.

OECD, 1982. Eutrophications of waters. Monitoring, Assessment and Control. OECD report, OECD Paris: 154 pp.

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der EU vom 22.12.2000 (L327/1).

Rohde, E. & B. Nixdorf, 2002. Probleme und Ausblick bei der Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie für stehende Gewässer. In R. Deneke & B. Nixdorf (Hrsg.), Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. *Aktuelle Reihe* 5/02: 7-13.

Rücker, J. & B. Nixdorf, 2002. Besonderheiten der Primärproduktion in meso- bis schwach eutrophen dimiktischen Seen mit meta- und hypolimnischen Planktonmaxima. In R. Deneke & B. Nixdorf (Hrsg.), Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. *Aktuelle Reihe* 5/02: 89-96.

Schmetdje et al. 2001. Leitbildbezogenes Bewertungsverfahren mit Makrophyten und Phytobenthos. ATV-DVWK-Arbeitsbericht.

UBA-Texte35/01, 2001. Braunkohlentagebauseen in Deutschland - Gegenwärtiger Kenntnisstand über wasserwirtschaftliche Belange von Braunkohlentagebaurestflöchern.

Uhlmann, D., 1988. Hydrobiologie. Ein Grundriß für Naturwissenschaftler und Ingenieure. G. Fischer Verlag, 3. Aufl.

Vollenweider, R.A. & J. Kerekes 1982. Eutrophication of waters. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris, 154 pp.

Vollenweider, R.A., 1975. Input – Output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology, Schweiz. Z. Hydrol. 37: 53-84.