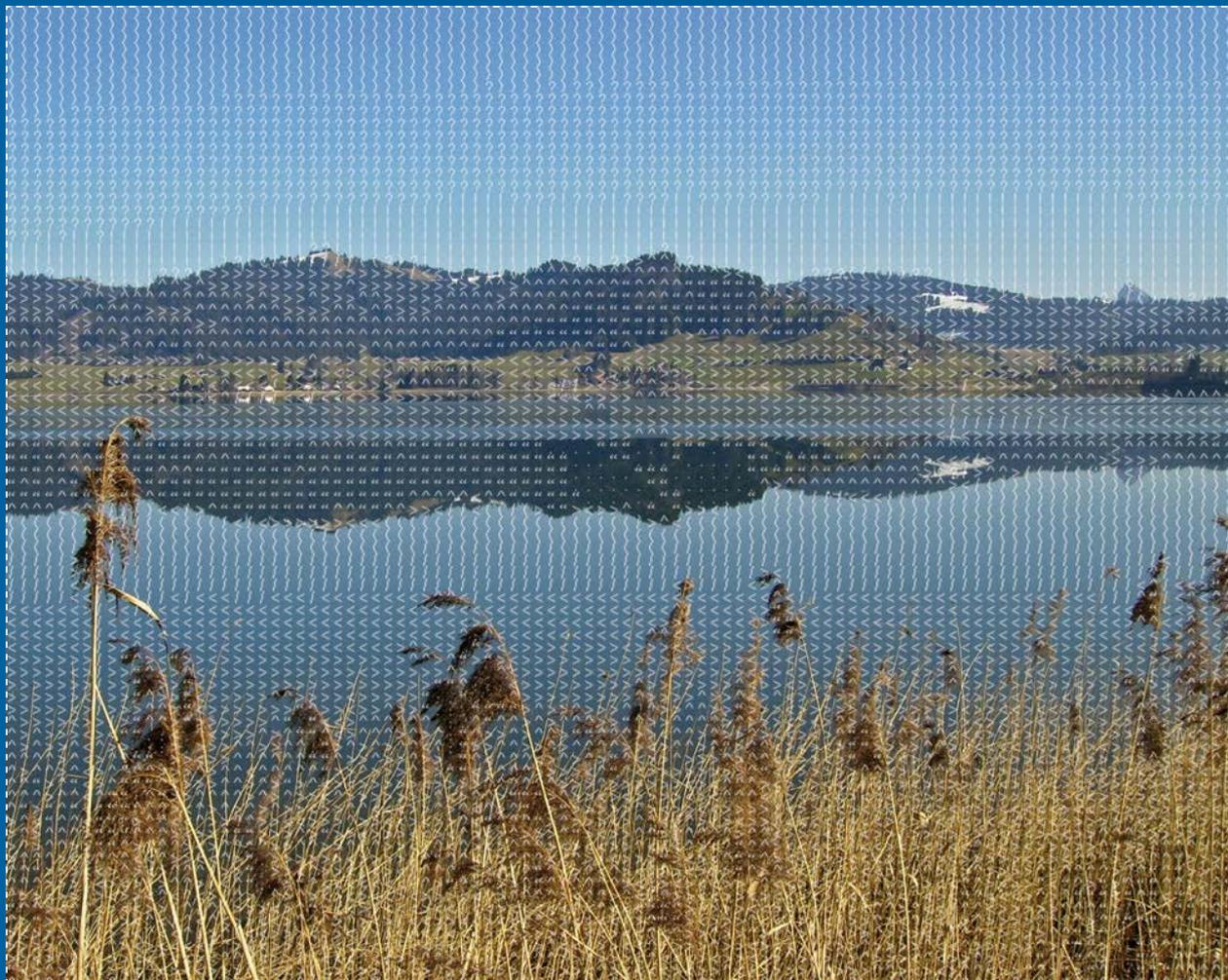


> Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz

Anleitung zur Entwicklung und Anwendung von Beurteilungsmethoden



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

eawag
aquatic research ooc

> Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz

Anleitung zur Entwicklung und Anwendung von Beurteilungsmethoden

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs

Autoren

Jacqueline A. Schlosser, Eawag; Susanne Haertel-Borer, BAFU;

Paul Liechti, Sponsolim; Peter Reichert, Eawag

Begleitung

Heinz Ehmann, Amt für Umwelt, Kt. Thurgau; Jukka Jokela, Eawag;

Brigitte Lods-Crozet, Direction générale de l'environnement (DGE),
Protection des eaux, Kt. Waadt;

Pius Niederhauser, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft,
Kt. Zürich;

Marco Simona, Scuola Universitaria Professionale della Svizzera
Italiana, Kt. Tessin;

Pascal Vonlanthen, Eawag; Alfred Wüest, Eawag;

Markus Zeh, Gewässer- und Bodenschutz, Kt. Bern

Zitierung

Schlosser J. A., Haertel-Borer S., Liechti P., Reichert P. 2013:
Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der
Schweiz. Anleitung zur Entwicklung und Anwendung von Beurteilungs-
methoden. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1326:
38 S.

Gestaltung

Karin Nöthiger, 5443 Niederrohrdorf

Titelbild

Sihlsee (von Einsiedeln aus). Foto: Jacqueline A. Schlosser

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uw-1326-d

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

> Inhalt

Abstracts	5
Vorwort	7
Zusammenfassung	8
<hr/>	
1 Einleitung	9
<hr/>	
2 Ziel und Zweck der Untersuchung und Beurteilung von Seen	12
<hr/>	
3 Konzept	13
3.1 Modulares Konzept – Zielhierarchie und Attribute	13
3.2 Methodenauswahl für eine integrale Beurteilung (Synthese)	15
3.3 Leitfaden für die Modulentwicklung	17
<hr/>	
Anhang	19
A1 Die ökologische Zustandsbeurteilung	19
A2 Zielhierarchie	23
A3 Priorisierung der Modulentwicklung	26
A4 Eine Auswahl bestehender Verfahren zur ökologischen Seenbeurteilung (Stand 2010)	27
<hr/>	
Literatur	35
Verzeichnisse	38

> Abstracts

This publication describes the concept for the ecological assessment of the condition of Switzerland's lakes. It is published as part of the FOEN «Environmental studies» series. The concept is an integral part of the modular stepwise procedure for studying and assessing surface bodies of water. It describes the use of instruments supporting the decision-making process in the development and application of modules for assessing the condition of lakes, and provides an overview of the priorities in the area of module development.

Die vorliegende Publikation in der BAFU-Reihe «Umwelt-Wissen» beschreibt das Konzept für die ökologische Zustandsbeurteilung der Schweizer Seen. Das Konzept ist Bestandteil des Modul-Stufen-Konzepts zur Untersuchung und Beurteilung der Oberflächengewässer. Es erläutert die Anwendung von Instrumenten zur Entscheidungsunterstützung bei der Entwicklung und Anwendung von Modulen für Seenbeurteilungen und gibt einen Überblick über die Priorisierung der Modulentwicklung.

Cette publication de la série «Connaissance de l'environnement» de l'OFEV décrit le système servant à évaluer l'état écologique des lacs suisses. Celui-ci fait partie intégrante du système modulaire gradué d'analyse et d'appréciation des eaux de surface. Le document explique comment utiliser les instruments d'aide à la décision lors de l'élaboration et de l'application des différents modules d'évaluation et présente l'ordre des priorités à respecter.

La presente pubblicazione della collana «Studi sull'ambiente» dell'UFAM presenta il sistema per la valutazione ecologica dello stato dei laghi svizzeri, che fa parte integrante del sistema modulare graduale (detto anche concetto basato su moduli e livelli) per l'analisi e la valutazione delle acque superficiali. Il documento illustra l'utilizzo di strumenti di supporto decisionale nell'ambito dello sviluppo e dell'applicazione di moduli per la valutazione dei laghi e fornisce una panoramica delle priorità da rispettare nello sviluppo di moduli.

Keywords:

Lake assessment, concept, decision-making support, module development

Stichwörter:

Seenbeurteilung, Konzept, Entscheidungsunterstützung, Modulentwicklung

Mots-clés:

évaluation des lacs, système, aide à la décision, modules

Parole chiave:

valutazione dei laghi, strategia, supporto decisionale, sviluppo di moduli

> Vorwort

Seen sind Juwelen der Landschaft in der Schweiz. Sie sind von grosser Bedeutung für die Biodiversität, die Lebensqualität und den Tourismus. Seen sind Lebensräume für eine Vielzahl von Pflanzen und Tieren und stehen in intensivem Austausch mit der Umgebung. Komplexe physikalische, chemische und biologische Prozesse bestimmen den ökologischen Zustand.

Seen werden von vielfältigen menschlichen Nutzungen beeinflusst. Die Belastung durch Nährstoffe konnte in den letzten Jahrzehnten durch grosse Anstrengungen im Gewässerschutz reduziert werden. Der Eintrag organischer Spurenstoffe (Mikroverunreinigungen) ist jedoch eine neue Herausforderung. Auch die Uferbereiche vieler Schweizer Seen sind beeinträchtigt: Uferverbauungen reduzieren die Lebensraumqualität für Pflanzen und Tiere.

Das Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 und die Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 haben den umfassenden Schutz der Gewässer und ihrer vielfältigen Funktionen als Lebensräume für Pflanzen und Tiere sowie die nachhaltige Nutzung durch den Menschen zum Ziel.

Ein umfassender Schutz der Seen bedingt gute Kenntnisse über ihren Zustand. Dies macht die Untersuchung nicht nur der Wasserchemie und -physik, sondern auch der Lebensgemeinschaften von Tieren und Pflanzen sowie der Struktur (v. a. der Ufermorphologie) der Gewässer nötig. Das vorliegende Konzept gibt den Rahmen vor, damit Fachleute des BAFU, der Forschungsinstitutionen sowie von kantonalen Fachstellen, internationalen Kommissionen, und privaten Organisationen gemeinsam entsprechende Untersuchungsmethoden für die einheitliche Beurteilung der Seen erarbeiten können.

Franziska Schwarz
Vizedirektorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Das Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen orientiert sich am umfassenden Schutzgedanken des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 und gibt eine Anleitung zur Entwicklung von Methoden (Modulen) zur Erhebung des gesamtökologischen Gewässerzustands. Vorgesehen sind Module für die Beurteilung des chemischen, physikalischen und biologischen Zustands.

Die Auswahl der Module und deren Anwendung richten sich nach den Zielen, die mit der Gewässeruntersuchung verfolgt werden. Diese ergeben sich aus den gesetzlichen Grundlagen und orientieren sich am Zustand der Gewässer.

Das Konzept für die Untersuchung richtet sich wo sinnvoll und möglich an bisher verwendeten Untersuchungsmethoden aus, ist aber offen für neue Entwicklungen. Die Übernahme etablierter Methoden garantiert eine weitestmögliche Verwendung vorhandener Daten und die Kontinuität bei der Untersuchung. Erfasst werden jeweils objektiv messbare Grössen – sogenannte Attribute.

Das Konzept für die ökologische Zustandsbeurteilung orientiert sich an einem naturnahen Referenzzustand. Für die Strukturierung der einzelnen Module und für die Quantifizierung des gesamtökologischen Gewässerzustands werden Methoden der Entscheidungstheorie verwendet. Dabei wird der Referenzzustand als oberstes Ziel gesetzt. Dieses Ziel wird hierarchisch in Unterziele zerlegt. Die Erreichung der Ziele wird mittels Bewertung auf einer kontinuierlichen Werteskala von 0 für einen sehr schlechten Zustand bis 1 für den naturnahen Zustand quantifiziert. Daraus lassen sich bei Bedarf diskrete Zustandsklassen (z. B. sehr gut, gut, mässig, unbefriedigend, schlecht) ableiten.

Dieselbe Bewertung kann auch für die Beurteilung von Massnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustands verwendet werden, indem sie statt auf den beobachteten Zustand auf einen Zustand angewendet wird, der durch Modelle oder aufgrund von Expertenwissen prognostiziert wurde.

1 > Einleitung

Die Schweiz ist reich an Seen. Selbst wenn nur die grösseren stehenden Gewässer von mindestens 10 ha Oberfläche berücksichtigt werden, lassen sich mehr als 70 natürliche Seen und rund 100 Speicherseen zählen. Über ihre Fähigkeit, Wärme zu speichern, beeinflussen die Seen das lokale Mikroklima. Dank ihrer natürlichen Schönheit charakterisieren sie das Landschaftsbild. Sie sind für die Biodiversität und als Trinkwasserreservoir von Bedeutung.

Die Schweiz,
ein seenreiches Land

Die Seen sind als besiedelte Lebensräume in die Freiwasserzone, das **Pelagial**, und die Bodenzone, das **Benthal**, gegliedert (Schwoerbel 1987):

Die Lebensräume Pelagial,
Litoral und Profundal

Das **Pelagial** zeigt aufgrund der Wärmeeinstrahlung in entsprechend tiefen Seen eine charakteristische jahreszeitliche Schichtungsdynamik. Die für das Pelagial typische Lebensgemeinschaft ist das Phyto- und Zooplankton. Letzteres ist eine wichtige Nahrungsgrundlage für verschiedene Fischarten.

Das **Benthal** ist vertikal untergliedert in die Uferzone, das Litoral, und die Tiefenzone, das Profundal:

- > Das **Litoral** umfasst den durchlichteten Bereich des Benthals bis hin zur Tiefengrenze (Kompensationsebene), bis zu der eine Netto-Primärproduktion noch möglich ist (Schwoerbel 1987), d. h. den mit Algen und höheren Pflanzen bewachsenen Bereich. Landseitig trifft das Litoral auf das terrestrische Habitat. In diesem Übergangsbereich ist – insbesondere bei Flachufers – die Artenvielfalt von Fauna und Flora hoch. Die Flachwasserzone dient als Laich- und Juvenilhabitat (Kinderstube) für verschiedene Fischarten.
- > Das **Profundal** ist ein Bereich, in dem die Primärproduktion wegen Lichtmangel nicht mehr möglich ist (Schwoerbel 1987). Dieser Bereich ist aber für den Stoffumsatz wichtig; sein Zustand ist ausschlaggebend für die Stabilisierung und Fixierung sedimentierter Substanzen, die als Pflanzennährstoffe in Frage kommen. Die dort ansässige Lebensgemeinschaft ist eine reine Konsumentengemeinschaft, das Faunenbild hängt vom Nährstoffreichtum und von den Sauerstoffverhältnissen in der Tiefe ab.

Seen werden von vielfältigen menschlichen Nutzungen beeinflusst. Die Belastung durch Nährstoffe konnte in den letzten Jahrzehnten durch grosse Anstrengungen im Gewässerschutz reduziert werden. Der Eintrag organischer Spurenstoffe (Mikroverunreinigungen) ist jedoch eine neue Herausforderung. Zudem sind die Uferbereiche vieler Schweizer Seen durch Uferverbauungen beeinträchtigt.

Das Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 814.20) bezweckt, die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen und unter anderem die Seen als natürliche Lebensräume für die einheimische Tier- und Pflanzenwelt, als Fischgewässer und als Landschaftselemente (Art. 1) zu erhalten. Die Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) enthält unter anderem ökologische Ziele für oberirdische Gewässer (Anhang 1 GSchV) und definiert Anforderungen an die Wasserqualität (Anhang 2 GSchV).

GSchG und GSchV geben die Ziele zum Zustand der Seen vor

Das GSchG verpflichtet Bund und Kantone, die Öffentlichkeit über den Gewässerschutz sowie den Zustand der Gewässer zu informieren. Grundlage dafür sind umfassende Kenntnisse der Zusammenhänge zwischen den Einflussgrössen und dem Gewässerzustand. Auch für die Erfüllung vieler Aufgaben, z. B. der Revitalisierung von Gewässern, sind Untersuchungen über den Zustand der Gewässer nötig. Deshalb verpflichtet Artikel 57 Absatz 1 GSchG den Bund und Artikel 58 Absatz 1 GSchG die Kantone, gezielte Erhebungen durchzuführen.

Notwendigkeit von Gewässeruntersuchungen und Rahmenkonzept

Dafür wiederum wird ein für die Kantone realistisches Rahmenkonzept zur Untersuchung nach einem gesamtökologischen Ansatz benötigt. Das Konzept soll Methoden umfassen, mit denen die verschiedenen Untersuchungsbereiche und Lebensräume eines Sees und schliesslich durch Synthese der gesamte See bewertet werden können.

Die «Empfehlungen über die Untersuchung der schweizerischen Oberflächengewässer» (EDI 1982) enthalten nur Teilaspekte einer umfassenden Gewässerbeurteilung, vor allem im Bereich chemisch-physikalischer Methoden und Erhebungen; Methodenanleitungen zur Beurteilung der Morphologie und der Biologie fehlen. Diese Empfehlungen waren die Grundlage für die Überwachungskonzepte der kantonalen Fachstellen.

Methodenanleitungen als Grundlage für die kantonalen Überwachungskonzepte

Die Vereinigung Cercl'eau hat diese Fachstellen im Jahr 2008 zu den realisierten Überwachungsarbeiten befragt. Die 24 erhaltenen Antworten sind in einem Bericht zusammengefasst (Zeh 2009).

Seit 1993 werden Methoden zu Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer der Schweiz erarbeitet (Modul-Stufen-Konzept, MSK 2012; Langhans et al. 2008). Viele dieser Methoden sind publiziert oder liegen als Entwurf zur Erprobung vor. Für die stehenden Gewässer fehlen solche abgestimmten Vorgaben bisher noch weitgehend. In den Jahren 1996 bis 2000 wurden in verschiedenen Fachgruppen zwar entsprechende Methoden diskutiert und in einem internen Bericht zusammengefasst (Aktualisierung 2008). Für die Morphologie der Ufer wurde damals zudem ein Ansatz erarbeitet, welcher von der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) nach Überarbeitung und Ergänzung am Bodensee (IGKB, 2009) und mittlerweile in der Folge ebenfalls am Vierwaldstättersee, Zugersee und Ägerisee angewendet wurde. Eine standardisierte Schweizer Methode liegt aber noch nicht vor. Für die übrigen Erhebungen fehlen standardisierte Methoden ebenfalls (Zeh 2009).

Bewertungsmodule für Fliessgewässer seit 1993; für stehende Gewässer fehlen schweizweit standardisierte Methoden

In den Projekten zum Thema Mikroverunreinigungen des BAFU und im Rahmen der koordinierten Beobachtung der Oberflächengewässer (NAWA) sowie in den internationalen Gewässerschutzkommissionen (IKSR, IGKB, CIPEL und Cipais) werden

Untersuchungskonzepte und Indikatorenlisten zu organischen Spurenstoffen diskutiert. Die Liste der bisher in Seen untersuchten chemischen Inhaltsstoffe ist bei einer Methodenentwicklung gegebenenfalls entsprechend zu ergänzen.

Seit der Änderung des Gewässerschutzgesetzes vom 11. Dezember 2009 (in Kraft seit 1.1.2011) bestehen die Verpflichtungen zur Ausscheidung des Gewässerraums und zur Planung und Durchführung von Gewässerrevitalisierungen. Letztere haben unter Berücksichtigung des Nutzens für die Natur und die Landschaft sowie der wirtschaftlichen Auswirkungen zu erfolgen. Sie müssen strategisch geplant werden, wofür Grundlagen, insbesondere zum ökomorphologischen Zustand, nötig sind. Eine Methode zur morphologischen Untersuchung und Beurteilung des Uferbereichs an stehenden Gewässern erhält dadurch eine hohe Priorität.

**Änderung des GSchG vom
11. Dezember 2009
(in Kraft seit 1.1.2011)**

Seit Inkrafttreten der Konvention über die biologische Vielfalt (CBD) im Februar 1995 verfolgt die Schweiz das Ziel der Erhaltung der Biodiversität (SIB 2010). Der Bundesrat legte 2009 deshalb das folgende langfristige Ziel fest: Die Biodiversität ist reichhaltig und gegenüber Veränderungen reaktionsfähig (resilient). Die Biodiversität und ihre Ökosystemleistungen sind langfristig zu erhalten (Strategie Biodiversität Schweiz 2012).

Die Biodiversität ist jedoch weltweit gefährdet. Besonders stark betroffen ist der aquatische Bereich (WWF Living Planet Report 2008). Nebst anthropogenen Lebensraumveränderungen können auch biologische Faktoren, wie zum Beispiel gebietsfremde Arten (Neobionten) Auswirkungen auf die einheimische Biodiversität haben. So breiten sich etwa im Bodensee seit Beginn des 21. Jahrhunderts verschiedene Neozoen rapide aus (Werner 2010), doch über die Konsequenzen dieser Invasion ist bis dato nur wenig bekannt. Zukünftige Methoden zur Erhebung von biologischen Faktoren sollten deshalb auch Neobionten berücksichtigen.

Neobionten berücksichtigen

Diese heterogenen Ausgangslage bezüglich Methoden und Datenlage und die verschiedenen Herausforderungen unterstreichen die Notwendigkeit für ein umfassendes Konzept, welches alle Untersuchungsbereiche (Chemie, Physik, Biologie) abdeckt. Wenn Untersuchungsmethoden in diesen Bereichen entwickelt und für die jeweils relevanten Lebensräume (Litoral, Pelagial und/oder Profundal) angewendet werden, führt dies zu einem modularen System der Methoden für die Zustandserhebung.

**Modulares System für die
Zustandserhebung**

2 > Ziel und Zweck der Untersuchung und Beurteilung von Seen

Eine sinnvolle Überwachung der Gewässer verfolgt als Hauptziel die Zustandsbeurteilung anhand aktueller Erhebungen.

Hauptziel der Überwachung ist die Zustandsbeurteilung

Diese ermöglicht:

- > Überprüfung der Erreichung der ökologischen Ziele für die Gewässer (Defizitanalyse)
- > Ermittlung von Handlungsbedarf insbesondere in Bezug auf die Erfüllung der Anforderungen an die Wasserqualität (Anhang 2 GSchV) und die Revitalisierung der Gewässer (Art. 38a GSchG)
- > Früherkennung möglicher Probleme
- > Kontrolle des Effekts getroffener Massnahmen
- > Überwachung und Sicherung des heute erreichten Schutzniveaus

Als Nebenziele der Zustandserhebung ergeben sich:

- > Schaffung einer Grundlage für die Beurteilung geplanter Massnahmen anhand von Prognosen, d. h. Evaluation geeigneter Massnahmen zur Zustandsverbesserung.
- > Erkenntnisgewinn durch standardisierte Datenerhebungen:
 - Ausbau des Verständnisses der ablaufenden Prozesse durch Langzeiterhebungen und durch den Vergleich verschiedener Gewässer mittels Erhebung nach gleicher Methodik,
 - Generieren von Grundlagenwissen über verschiedene Lebensräume und Untersuchungsbereiche.

Nebenziele der Zustandserhebung: Evaluation geeigneter Massnahmen und Erkenntnisgewinn

Die Beurteilung der Gewässer orientiert sich an einem naturnahen Zustand, wie er in Anhang 1 der GSchV beschrieben ist, und an den Anforderungen an die Wasserqualität nach Anhang 2 GSchV. Durch die Anforderungen in Anhang 2 sollen auch Nutzungen insbesondere als Badegewässer und zur Trinkwassergewinnung gewährleistet werden. Die Vollzugshilfe «*Beurteilung der Badegewässer. Empfehlungen zur Untersuchung und Beurteilung der Badewasserqualität von See- und Flussbädern*» wurde vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) und dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) überarbeitet und 2013 publiziert: www.bafu.admin.ch/uv-1310-d.

Beurteilung im Vergleich zum naturnahen Zustand

3 > Konzept

3.1 Modulares Konzept – Zielhierarchie und Attribute

Das hier vorgeschlagene Konzept bietet den zuständigen Vollzugsbehörden eine Grundlage für die Planung und Durchführung von Erhebungen an schweizerischen Seen und zur Verwendung dieser Daten für die Zustandsbewertung. Es dient zudem der systematischen Entwicklung der dafür benötigten Methoden (Module).

Module

Um eine transparente und integrale Beurteilung (Synthese) des Qualitätszustands von Seen zu ermöglichen, empfiehlt sich die Anwendung entscheidungstheoretischer Mittel. Die Zustandsbeurteilung eines Gewässers sollte sich an einem naturnahen **Referenzzustand** ausrichten. Es ist dabei sinnvoll, den in der Gewässerschutzgesetzgebung umschriebenen naturnahen Zustand als oberstes Ziel aller Gewässerschutzmassnahmen festzulegen. Um die integrale Beurteilung des Gesamtzustands eines stehenden Gewässers zu ermöglichen, wird dieses Oberziel hierarchisch in konkretere Unterziele zerlegt. Dies führt zu einer sogenannten **Zielhierarchie** (Eisenführ und Weber 2003; vgl. Abb. 1). Die unteren Ebenen dieser Hierarchie lösen das zugeordnete Oberziel, den Referenzzustand, in spezifischere und möglichst komplementäre Unterziele auf, die zusammen alle wesentlichen Aspekte des Oberziels beinhalten sollen und deren Erreichen mit Hilfe von Wertfunktionen quantifizierbar ist (siehe Anhang A1).

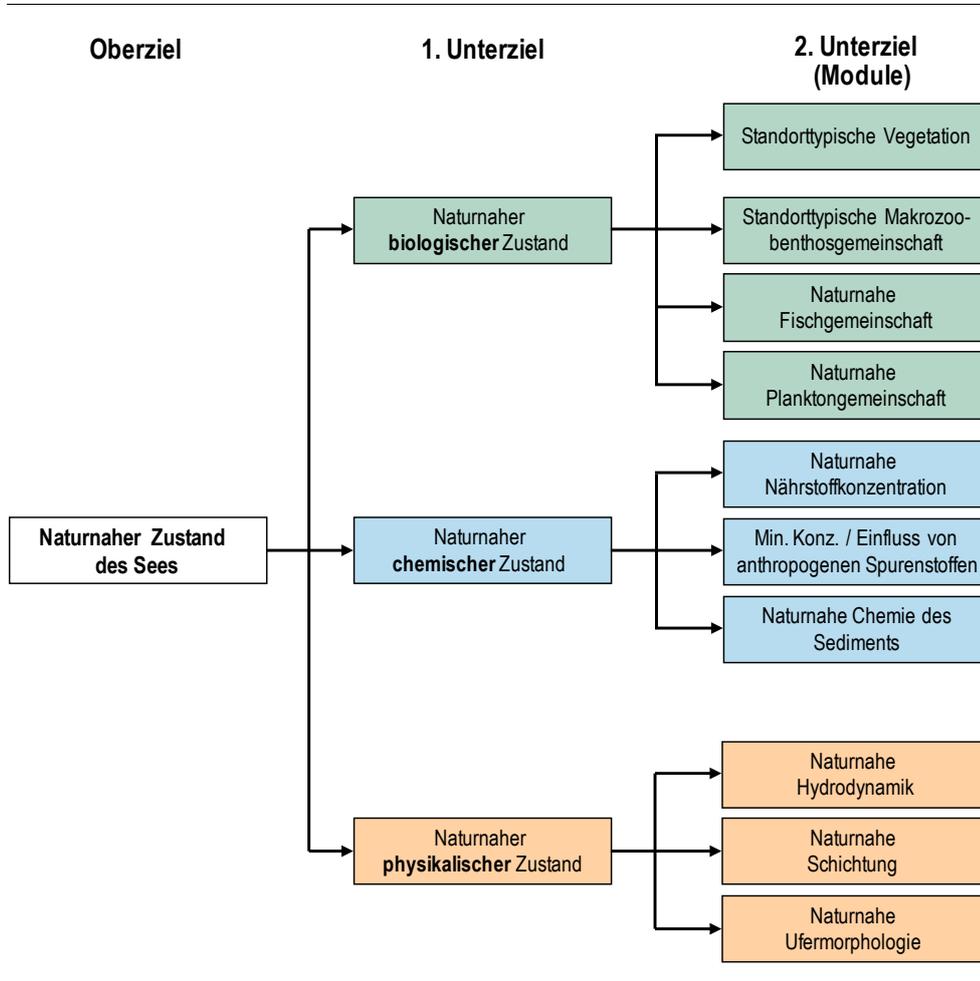
Integrale Beurteilung

Den Unterzielen auf dem untersten hierarchischen Niveau (Endknoten) werden objektiv messbare Grössen – sogenannte **Attribute** – zugeordnet, mit welchen sich die Erreichung der Ziele überprüfen lässt. Die Wahl dieser Attribute erfolgt so, dass sich die Zielerreichung möglichst einfach quantifizieren lässt.

Zielhierarchie für die Zustandserhebung von Seen

Das **Oberziel** des naturnahen Zustands wird in diesem Beispiel (Abb. 1) in **Unterziele** auf zwei Hierarchieebenen aufgespalten:

Abb. 1 > Mögliche Zielhierarchie für eine Zustandserhebung von Seen



Jedes der Unterziele auf dem 1. Unterzielniveau kann auf der nächsten Hierarchiestufe durch zusätzliche Unterziele weiter präzisiert werden. Im Anhang aufgeführt sind drei Vorschläge von Zielhierarchien für die Beurteilung des naturnahen biologischen, chemischen und physikalischen Zustands mit dazugehörigen Attributbeispielen (Abb. 4 bis Abb. 6). Solche Zielhierarchien können in Zukunft auf Grund von z. B. verbessertem Wissensstand oder methodischen Neuerungen ergänzt und so den jeweiligen aktuellen Bedürfnissen angepasst werden. Die in den Abbildungen Abb. 1 und, detaillierter, Abb. 4 bis Abb. 6 aufgelisteten Unterziele und Attribute dienen der Veranschaulichung des Konzepts und müssen bei der Ausarbeitung der entsprechenden Module genauer definiert werden. Zukünftige Änderungen sind deshalb vorbehalten.

Bei der Erhebung des Gewässerzustands wird vor der Untersuchung entschieden, welche Ziele evaluiert werden sollen und mit welchen Modulen dies erfolgen kann. Daraus ergibt sich dann die Planung der Datenerhebung und der Probenahme.

Werden bei den Modulentwicklungen entscheidungstheoretische Grundlagen wie die Erstellung von Zielhierarchien und Quantifizierung der Zielerreichung mit Hilfe von Wertfunktionen berücksichtigt, ermöglicht dies für eine zukünftige Synthese eine Integration der, wie in Anhang A1 beschriebenen, Qualitätswerte für den biologischen, chemischen und physikalischen Zustand.

Integration des biologischen, chemischen und physikalischen Zustands

3.2

Methodenauswahl für eine integrale Beurteilung (Synthese)

Eine integrale Beurteilung der Seen stützt sich auf Erhebungen in den Untersuchungsbereichen Chemie, Physik, und Biologie in den jeweils relevanten Teilhabitaten (Pelagial, Litoral und Profundal). Die für eine Synthese notwendigen Module können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschliessend festgelegt werden. Zunächst sollen nun Module in den prioritären Bereichen entwickelt werden (vgl. Anhang A3). Für die Erarbeitung der Module werden der aktuelle Wissensstand aus der Praxis und der Wissenschaft aber auch schon bestehende Methoden berücksichtigt.

Synthese

Da die Erarbeitung der einzelnen Bewertungsmodule zeitintensiv ist, drängt sich eine **Priorisierung** auf. Diese richtet sich nach folgenden sechs Kriterien:

Priorisierung der Modulentwicklung

- > Integration von Effekten verschiedener Ursachen und Skalen (örtlich, zeitlich)
- > Generieren von relevantem Grundlagenwissen aus Langzeitmonitoring
- > Bekannte Defizite und/oder politische Dringlichkeit
- > Verwendung bestehender Daten und/oder Bewertungsmethoden
- > Integration bestehender Methoden bei der Modulentwicklung und Anwendbarkeit der Module in der Praxis
- > Ableitbarkeit von Massnahmen

Eine durch die Experten der begleitenden Arbeitsgruppe durchgeführte Gewichtung der sechs Kriterien für die verschiedenen Module ergibt eine transparente Priorisierung für die Entwicklung der einzelnen Module (Anhang A3). Sie kommt zum Schluss, dass als Erstes die Module **Ufermorphologie** und **Nährstoffe** entwickelt werden sollten.

Ufermorphologie und Nährstoffe

Die Kantone sind gefordert, bis 2018 eine strategische Revitalisierungsplanung für ihre stehenden Gewässer vorzunehmen. Dafür werden Daten zur Ökomorphologie der Uferbereiche benötigt. Aus diesem Grund besteht hohe Dringlichkeit für eine standardisierte Methode zur Beurteilung der Ökomorphologie von Seeufern. Da in der Schweiz von verschiedenen Kantonen schon Beurteilungsmethoden erarbeitet wurden, die für die Modulentwicklung beigezogen werden können, wurde das vierte Kriterium «Verwendung bestehender Daten und/oder Bewertungsmethoden» hoch gewichtet (Tab. 2). Kaum ins Gewicht fiel hingegen das erste Kriterium, da Schädigungen des Uferbereichs nur einen schwachen integrierten Effekt von verschiedenen Ursachen zeigen.

Die hohe Priorität des Moduls Nährstoffe ergibt sich aus der starken Gewichtung der Kriterien, nämlich von vieren aus sechs mit «hoch». So ist das Monitoring der Nährstoffe wichtig, um allfällige Korrelationen zwischen dem Konzentrationsverlauf der Nährstoffe und den Veränderungen in den aquatischen Lebensgemeinschaften aufzudecken. Da die Messung der Nährstoffe zur Gewässerüberwachung bei vielen Gewäs-

sern üblich ist, existieren bereits viele Messdaten und Methoden. Die schweizweite Umsetzbarkeit der Methode kann somit relativ schnell erfolgen. Auch Massnahmen zur Behebung allfälliger Defizite im Gewässer lassen sich relativ einfach umsetzen, da die Ursachen für veränderte Nährstoffkonzentrationen bekannt sind und die Verursacher eruiert werden können.

2. Priorität kommt der Entwicklung des Moduls Fische zu. Hier spielt bei der Gewichtung eine grosse Rolle, dass einerseits noch sehr wenige Langzeitdaten vorliegen und entsprechend geringes Wissen zu den Lebensgemeinschaften existiert, andererseits Fische sehr gute Indikatoren für den Zustand des Ökosystems See sind. Sie reagieren unterschiedlich auf verschiedene Ursachen, die sich akut und/oder chronisch auswirken. Es bestehen jedoch noch kaum Erfahrungen mit Bewertungsmethoden, und bei der Umsetzbarkeit der Methode wird mit Schwierigkeiten gerechnet, da sich eine Erhebung der Fischgemeinschaft in einem See als aufwendig erweisen wird und Massnahmen bei Defiziten schwer ableitbar sein dürften.

Fische

Rang drei bei der Priorisierung der Entwicklung besetzen die Module Makrophyten, Makrozoobenthos und Plankton. Auch bei diesen drei Modulen wird die Ableitbarkeit von Massnahmen schwierig sein. Dafür sind schon Bewertungsmethoden vorhanden, und vor allem bezüglich Neozoen sind Defizite bekannt. Deshalb besteht eine Dringlichkeit, diese Lebensgemeinschaft zu beobachten.

Makrophyten, Makrozoobenthos
und Plankton

Als Viertes sollte das Modul Spurenstoffe entwickelt werden. Ins Gewicht fallen bei den Spurenstoffen vor allem die bekannten Defizite und die daraus folgende Dringlichkeit, die zur Zeit in Entwicklung stehenden gesetzlichen Anpassungen sowie die Umsetzbarkeit der Methode und die gute Ableitbarkeit von Massnahmen. Akkumulierte Ursachen können mit Spurenstoffen nicht nachgewiesen werden. Zudem fehlen Erfahrungen mit Bewertungsmethoden.

Spurenstoffe

Als von geringer Priorität wird das Modul Physik (Hydrodynamik und Schichtung) eingeschätzt. Dies hauptsächlich, weil vier von sechs Kriterien mit niedrig (1) gewichtet wurden. Für dieses Modul besteht keine Dringlichkeit, es lassen sich damit keine integrierten Effekte nachweisen, und eine Ableitung von Massnahmen wäre kaum möglich.

Physik (Hydrodynamik und
Schichtung)

Einen Sonderfall stellt das Sediment dar. Da ein Bohrkern einer einmaligen Probenahme ausreicht, um wertvolle Langzeitinformationen über die historische Entwicklung des betroffenen Gewässers zu erhalten, benötigt es kein Bewertungsmodul.

Sediment

Zusammengefasst sollen in einem ersten Schritt die Module Ufermorphologie und Nährstoffe und in einem zweiten Schritt die biologischen Module entwickelt werden. Die weiteren folgen je nach Bedarf.

Es sollen Module entwickelt werden, die vor allem für die grösseren und grossen schweizerischen Seen geeignet sind (rund 25), welche heute schon regelmässig untersucht werden. Alpine Speicherseen oder solche mit grossen künstlichen Seespiegelschwankungen (z. B. der Sihlsee) sind als Lebensräume von geringerer ökologischer Bedeutung und werden in diesem Konzept nicht berücksichtigt. Für welche Seengrösse

Module für grössere bis
grosse Seen

sich ein Modul eignet, wird sich aber erst bei dessen Erarbeitung zeigen. Einzelne Module werden somit möglicherweise auch für kleinere Seen anwendbar sein.

Ähnlich dem Modul-Stufen-Konzept für Fließgewässer soll jedes Modul einzeln angewendet, und unabhängig von den übrigen Modulen dafür eine Defizitanalyse erstellt werden können.

Die verschiedenen Module sind jedoch so aufeinander abzustimmen, dass durch Synthese eine Gesamtbeurteilung des Oberziels erfolgen kann und sich darauf aufbauend integrale Massnahmenpläne zur Verbesserung des Gewässerzustands entwickeln lassen. Dies ermöglicht eine hohe Flexibilität: Die Auswahl an Modulen kann einerseits den Untersuchungsbedürfnissen der einzelnen Seen angepasst werden, andererseits sind in Zukunft Anpassungen an heute noch nicht abschätzbare Szenarien und Bedürfnisse möglich.

Voraussetzung für eine Synthese ist die Anwendung einer Wertfunktion beim Festlegen der Bewertung für alle Methoden (siehe Anhang A1-1).

Defizitanalyse mit einzeln angewendeten Modulen möglich

Gesamtbeurteilung des Oberziels mit mehreren Modulen

Wertfunktion für Bewertung

3.3 Leitfaden für die Modulentwicklung

Um methodisch einheitliche Module und eine erleichterte Synthese aller Bewertungen zu erreichen, sollten bei der Entwicklung jedes Moduls folgende Punkte berücksichtigt werden:

Modulentwicklung

1. Zielhierarchie

Für jedes Modul soll als erstes eine Zielhierarchie erstellt werden, aus der ersichtlich ist, welche Ziele mit einer Erhebung zu beurteilen sind.

2. Attribute zuordnen

Den detailliertesten Zielen (unterste Zielebene) sollen Attribute zugeordnet werden, mit deren Hilfe sich die Zielerreichung quantifizieren lässt. Der Wertebereich der Attribute soll durch Experten abgeschätzt und festgelegt werden. Die Wahl der Attribute ist auf die Interessen der Langzeitbeobachtung abzustimmen und allenfalls zu beschränken.

3. Entwicklung Wertfunktion

Für jedes Ziel der Hierarchie wird sodann eine Wertfunktion entwickelt, die die Zielerreichung in Funktion der Attribute (für die detaillierten Unterziele) bzw. in Funktion der Zielerreichung der unterliegenden Ziele (für höhere Ziele in der Hierarchie) quantifiziert.

4. Flexibilität

Im Modulbescrib soll aufgezeigt werden, welche Unterziele und Attribute allenfalls optional und welche Unterziele und Attribute für eine Beurteilung absolut notwendig sind. Werden in einem Kanton routinemässig zusätzliche Attribute erhoben, sollte die Möglichkeit bestehen, auch diese in die Beurteilung zu integrieren.

5. Klare Trennung von erhobenen Daten und Bewertung

Die für jedes Attribut erhobenen Daten werden getrennt von der Bewertung gespeichert. Die Bewertung mithilfe der Wertfunktionen basiert auf den Messwerten, nicht auf Stufen, Punkten o. ä. Dies ermöglicht es Anwenderinnen und Anwendern, die Ursachen für unterschiedliche Bewertungen bei Langzeitstudien zu eruieren und auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen. Auch können alte Daten neu beurteilt und mit neuen Datensätzen verglichen werden, falls in Zukunft die Module aufgrund neuer Erkenntnisse oder Gesetzesänderungen angepasst und dadurch die Beurteilung der Gewässerqualität geändert werden müssen.

6. Kontinuierliche Variablen

Die Attribute sollen wenn möglich als kontinuierliche Variablen erhoben und idealerweise zusammen mit einem geschätzten Messfehler abgespeichert werden. Auf eine Umwandlung kontinuierlicher in diskrete Werte soll in der Datenerhebungsphase verzichtet werden.

7. Internationaler Kontext

Gewässerschutzmassnahmen werden zunehmend international diskutiert. Auch innerhalb der EU werden von allen Mitgliedstaaten verbindlich einheitliche ökologische Zielsetzungen sowie vergleichbare, standardisierte Gewässeruntersuchungen verlangt (EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)¹). Im Rahmen der Mitgliedschaft der Schweiz in der Europäischen Umweltagentur (EUA) hat sich die Schweiz verpflichtet, auch Daten zum ökologischen Zustand der Seen an die Agentur zu liefern. Die zu liefernden Daten beruhen auf den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie und umfassen biologische, chemische und hydromorphologische Komponenten. Um die Situation in den schweizerischen Seen im europäischen Rahmen einordnen zu können wird es deshalb immer wichtiger, dass die Schweiz über eine vergleichbare Methodik zur Gewässerbeurteilung verfügt. Im Rahmen der Methodenentwicklung der Module Seen ist dies zu berücksichtigen.

8. Dokumentation

Jedes Modul ist mit einer ausführlichen Bibliografie der beigezogenen Literatur zu ergänzen. Auch soll, beispielsweise im Anhang, dokumentiert werden, wie die Bewertung entstanden ist. Auf diese Weise gehen die eingeflossenen Überlegungen nicht verloren und können bei möglichen späteren Anpassungen der Module berücksichtigt werden.

¹ Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Massnahmen der Gemeinschaft im Bereich Wasserpolitik

> Anhang

A1 Die ökologische Zustandsbeurteilung

A1-1 Bewertung des ökologischen Zustands – Wertfunktion

Das Konzept für die ökologische Zustandsbeurteilung richtet sich an einem naturnahen **Referenzzustand** aus, welcher vom **Typ des untersuchten Sees** abhängt. Wir gehen davon aus, dass sich die Zielhierarchie allgemein genug formulieren lässt, damit sie für alle Seetypen gültig ist. Für die Bewertung ist jedoch der Seetyp essenziell. Wichtige Typisierungskriterien für Seen als Ganzes können der Trophiegrad, die Grösse, die Tiefe und die Höhenlage sein (z. B. Mathes et al. 2002). Zum Teil können sich Typen auch auf Teilaspekte, wie etwa die Steilheit des Ufers, beschränken. Die Bewertung eines Flachufers kann nicht dieselbe sein, wie diejenige eines Steilufers, aber Ufer eines bestimmten Typs können allenfalls für verschiedene Seetypen gleich bewertet werden. Der Referenzzustand und die Seetypen müssen bei der Modulentwicklung definiert werden.

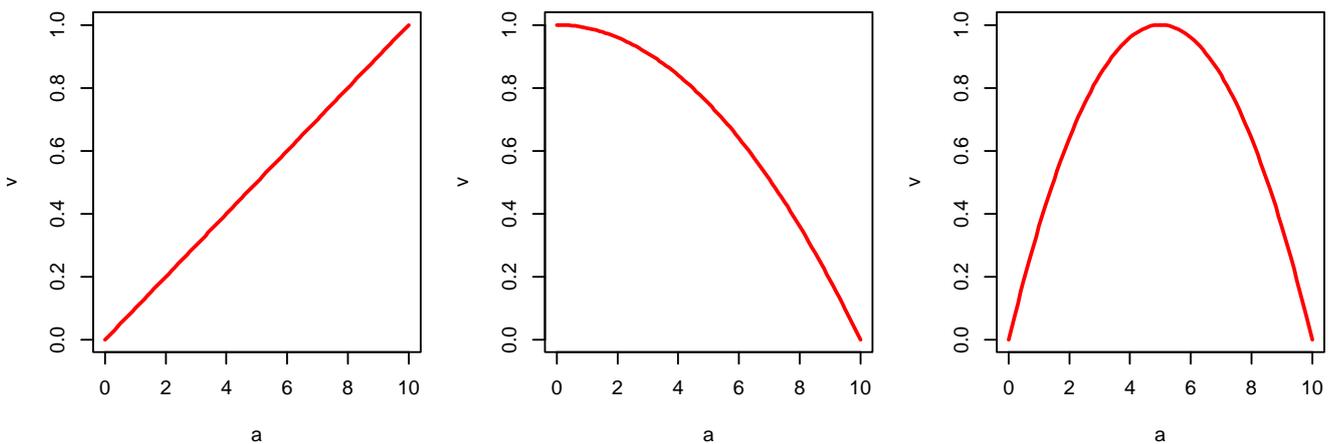
Naturnaher Referenzzustand

Die Bewertung erfolgt mittels einer sogenannten **Wertfunktion**, die Werte von 0, für einen sehr schlechten, bis 1, für den naturnahen (Referenz-)Zustand, annehmen kann (Eisenführ & Weber 2003). Die Wertfunktion drückt den Erfüllungsgrad eines Ziels als Funktion der messbaren **Attribute** des Systems aus. Gleiche Wertdifferenzen zwischen zwei Zuständen entsprechen dem gleichen ökologischen Gewinn bzw. Verlust beim Übergang vom einen zum anderen Zustand. Da es wegen der grossen Zahl von Attributen sehr schwierig ist, den Wert in Funktion aller Attribute zu formulieren, wird die Wertfunktion hierarchisch konstruiert. Dabei werden erst Wertfunktionen für die hierarchisch tiefsten Unterziele formuliert. Dies ist wegen der viel geringeren Anzahl Attribute und der grösseren Konkretheit des Unterziels bedeutend einfacher als die direkte Formulierung für ein Ziel auf höherer Ebene. Die Wertfunktion wird für jedes Ziel unabhängig von der Felderhebung einmalig durch Expertenbefragung und/oder Modellierung erstellt und den Anwenderinnen und Anwendern als Teil der Methode für ihre Gewässerbeurteilung zur Verfügung gestellt. Bei Bedarf, etwa bei neuen Erkenntnissen zum Wert eines Ziels, können die Wertfunktionen von den Methodenentwicklern angepasst werden. Abbildung 2 veranschaulicht Beispiele für Wertfunktionen von Unterzielen, die nur von einem Attribut abhängen.

Wertfunktion

Abb. 2 > Beispiele von Wertfunktionen

Wertfunktionen, die den Wert v (auf der y-Achse aufgetragen) in Funktion des Attributniveaus (der zu erhebenden Messgrösse) a (auf der x-Achse aufgetragen) ausdrücken. Im linken Beispiel steigt der Wert linear mit dem Attributniveau an, im mittleren Beispiel fällt er nichtlinear ab, und im dritten Beispiel erreicht er bei mittleren Attributniveaus ein Maximum. Beispiele für ansteigende Verläufe könnten Biodiversitätsindizes oder Charakterisierungen von Habitatvielfalten sein, Beispiele für abfallende Verläufe Schadstoffkonzentrationen, und Beispiele für Verläufe mit einem Maximum Abundanzen oder Biomassedichten.

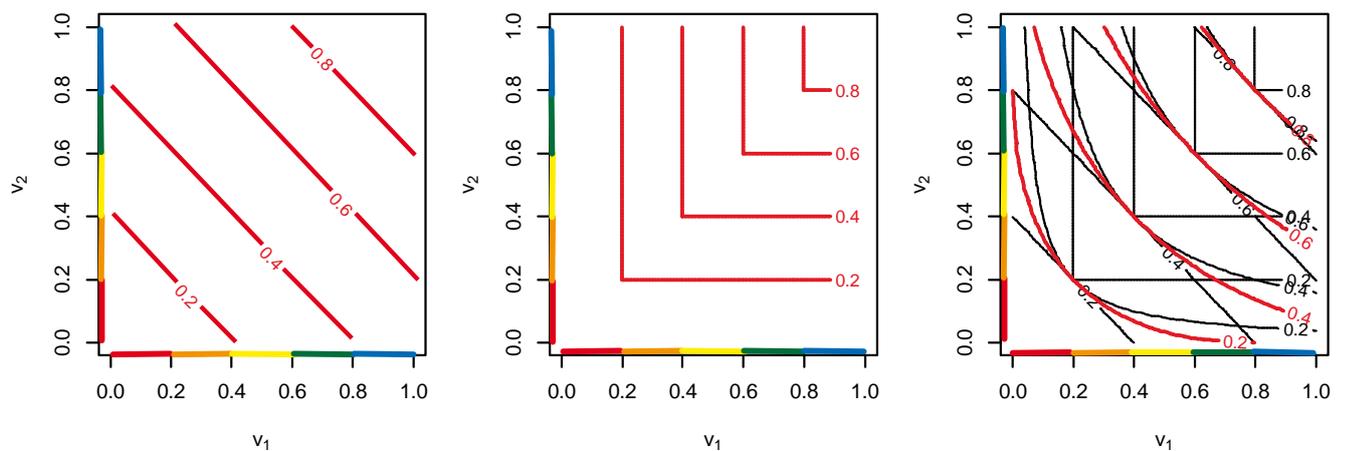


Nachdem die Wertfunktionen der Unterziele auf dem tiefsten Niveau in Funktion der Attributniveaus formuliert sind, werden diese Werte zur Quantifizierung der Erfüllung des Oberziels aggregiert. Die Wahl der Aggregationsfunktion hängt davon ab, zu welchem Grad sich eine schlechte Erfüllung eines Unterziels durch die gute Erfüllung eines anderen Unterziels kompensieren lässt. Bei der Worst-case-Aggregation zum Beispiel lässt sich der schlechte Zustand eines Unterziels nicht kompensieren. Die einfachste Aggregation, die von einer solchen Kompensierbarkeit ausgeht, besteht aus der Bildung eines gewichteten Mittelwertes der Erfüllungsgrade der Unterziele. Abbildung 3 illustriert typische Aggregationsfunktionen am Beispiel der Aggregation von zwei Unterzielen mit Werten v_1 und v_2 zu einem Oberziel mit Wert v .

Aggregation von Unterzielen

Abb. 3 > Aggregation von zwei Unterzielen

Beispiele der Aggregation von zwei Unterzielen mit Werten v_1 und v_2 zu einem hierarchisch übergeordneten Ziel mit Wert v . Die Werte v_1 und v_2 und die fünf farbcodierten Zustandsklassen sind auf der x-Achse und y-Achse aufgetragen, der Wert v des Oberziels ist durch «Höhenlinien» eines bestimmten Wertniveaus dargestellt. Links ist die Mittelwertbildung (in diesem Fall mit gleichen Gewichten), in der Mitte die Worst-case Aggregation, und rechts ein Aggregationsverfahren dargestellt, das einen Kompromiss zwischen den anderen beiden Verfahren implementiert. Dieses Aggregationsverfahren wird auf jeder Hierarchiestufe innerhalb eines Moduls angewandt aber auch bei der Synthese der verschiedenen Module.



Für die Beurteilung des ökologischen Zustands von Oberflächengewässern sollten auf den höheren Hierarchiestufen nur die wichtigsten Ziele für die Bewertung erforderlich sein. Je nach möglichem Untersuchungsaufwand erlaubt dies den Kantonen, ihre Gewässer sowohl mit einer minimalen als auch mit einer grösseren Anzahl erhobener Attribute zu beurteilen. Je mehr Attribute gemessen werden, desto robuster wird die Gesamtbeurteilung. Wird nur eine minimale Datenmenge erhoben, ist bei der Aggregation der Werte die Gewichtung für die Beurteilung entsprechend anzupassen. Die minimalen Anforderungen, die für eine Gesamtbeurteilung nötig sind, müssen im Modulbescrieb genau definiert werden, damit eine schweizweit einheitliche Bewertung der Seen möglich ist.

Die berechneten Werte eines beliebigen Ziels in der Zielhierarchie lassen sich wie folgt in diskrete **Zustandsklassen** einteilen und farblich visualisieren (siehe auch Abb. 3):

Zustandsklassen

Tab. 1 > Zustandsklassen

Farbliche und numerische Bewertung der Ziele.

	0,0	≤	Wert	<	0,2 :	schlecht	rot
	0,2	≤	Wert	<	0,4 :	unbefriedigend	orange
	0,4	≤	Wert	<	0,6 :	mässig	gelb
	0,6	≤	Wert	<	0,8 :	gut	grün
	0,8	≤	Wert	≤	1,0 :	sehr gut	blau

Für die Attribute, für welche explizit Anforderungen an die Wasserqualität in Anhang A2 GSchV formuliert sind, muss die Bewertung für den aufgeführten Grenzwert zu einem Wert von mindestens 0,6 führen. Eine Überprüfung des Handlungsbedarfs für Verbesserungen entsprechend Artikel 47 GSchV wird notwendig, wenn dieser Grenzwert unter- bzw. überschritten ist (je nachdem, in welche Richtung sich der Zustand verschlechtert). Dies muss mit einer Bewertung von schlecht, unbefriedigend oder mässig korrespondieren (also $< 0,6$).

Die Bewertung der Seen mit Wertfunktionen erlaubt eine einheitliche Beurteilung mit hoher Transparenz und Flexibilität. Die Zielhierarchien und somit die Module können bei Bedarf und unter Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben einfach ergänzt werden. Für jedes Modul lässt sich festlegen, welche Attribute minimal zu erheben sind, um eine robuste Beurteilung des Gewässers zu garantieren. Zusätzlich wird auf jeder Hierarchiestufe ersichtlich, welche Unterziele erfüllt oder nicht erfüllt sind, und dementsprechend können gezielt Massnahmen zur Verbesserung des Zustands eingeleitet werden. Auch vereinfacht die einheitliche Anwendung der Wertfunktionen die Synthese der verschiedenen Module zu einer Gesamtbewertung.

Einheitliche Beurteilung mit Wertfunktionen

A1-2 Entscheidungsunterstützung für das Seemanagement

Die in Anhang A1-1 beschriebene Wertfunktion kann auch für die Beurteilung von Massnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustands verwendet werden. Dazu braucht es die **Prognose** der durch die Massnahme erzielten Attributwerte. Diese lässt sich mittels eines Modells berechnen oder durch Expertenbefragungen erheben. In beiden Fällen soll auch die Unsicherheit der Prognose quantifiziert werden.

Entscheidungsunterstützung bei Massnahmen

Werden die prognostizierten Attributwerte in die Wertfunktion eingesetzt, ergibt sich daraus der für die zugehörige Massnahme prognostizierte Zielerreichungsgrad. Durch einen Vergleich des aktuellen Zustands mit dem für verschiedene Massnahmen prognostizierten Zustand erhält man die erwarteten Zustandsverbesserungen für alle vorgeschlagenen Massnahmen. Diese Information ist für die Entscheidung über die zu treffende Massnahme äusserst nützlich.

A2 Zielhierarchie

Das Oberziel der nachfolgenden drei Zielhierarchien ist der naturnahe Zustand des Sees (Abb. 1). Die Unterziele und Farben der eingefärbten Kästchen entsprechen den Zielen in Abb. 1. Zur Veranschaulichung sind für manche Unterziele mögliche Attribute definiert worden.

Zielhierarchie

Abb. 4 > Beispiel einer Zielhierarchie zur Erreichung des naturnahen biologischen Zustands

Die Unterziele und Attribute müssen unter Berücksichtigung der Gewässerschutzgesetzgebung und der Anforderungen der Vollzugsbehörden bei der Erarbeitung der einzelnen Module genau definiert werden.

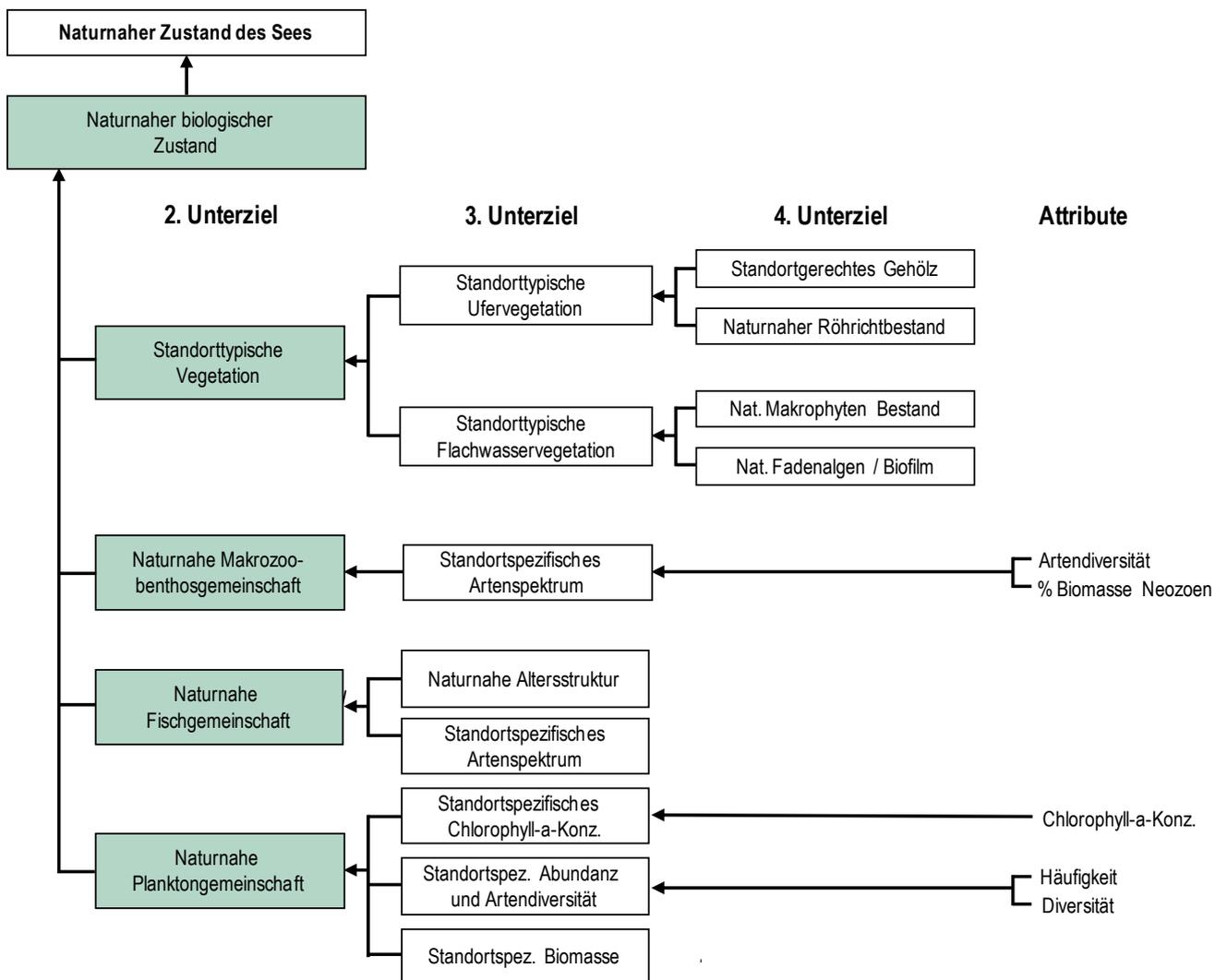


Abb. 5 > Beispiel einer Zielhierarchie zur Erreichung des naturnahen chemischen Zustands

Die Unterziele und Attribute müssen unter Berücksichtigung der Gewässerschutzgesetzgebung und der Anforderungen der Vollzugsbehörden bei der Erarbeitung der einzelnen Module genau definiert werden.

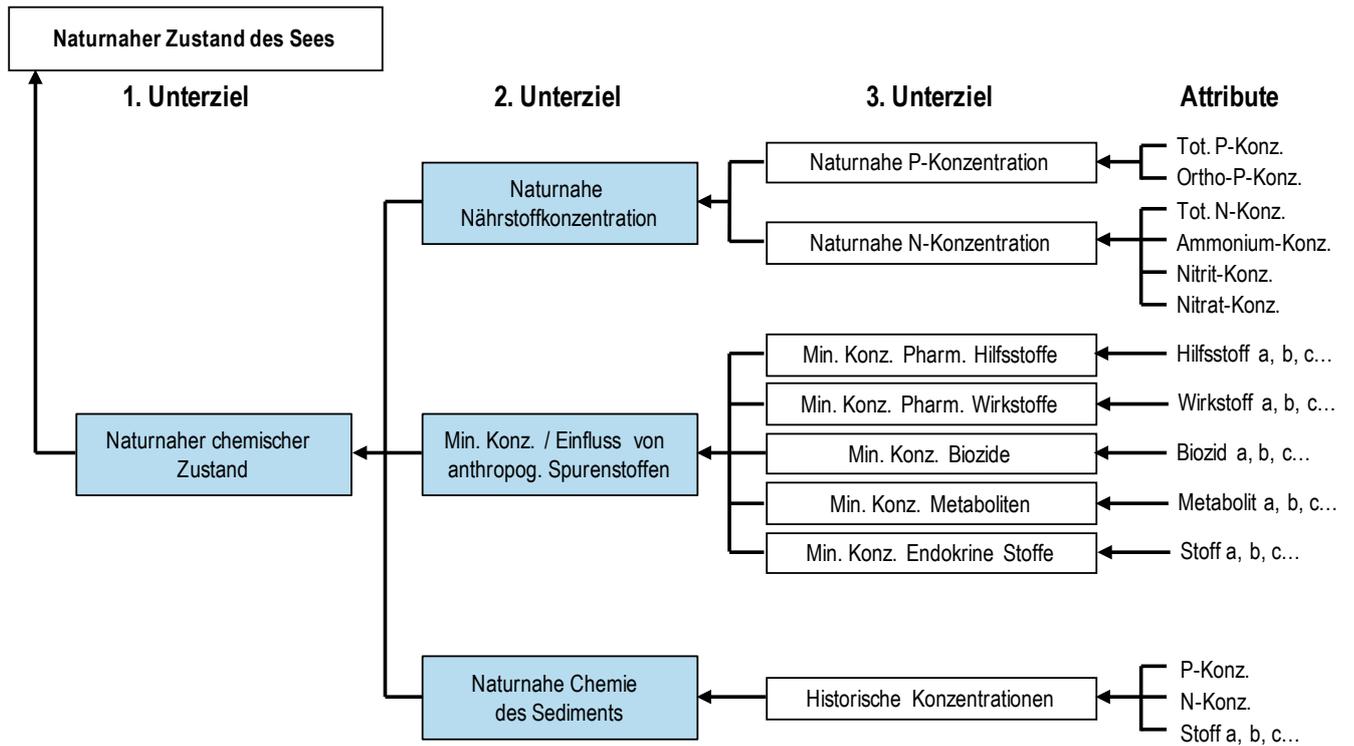
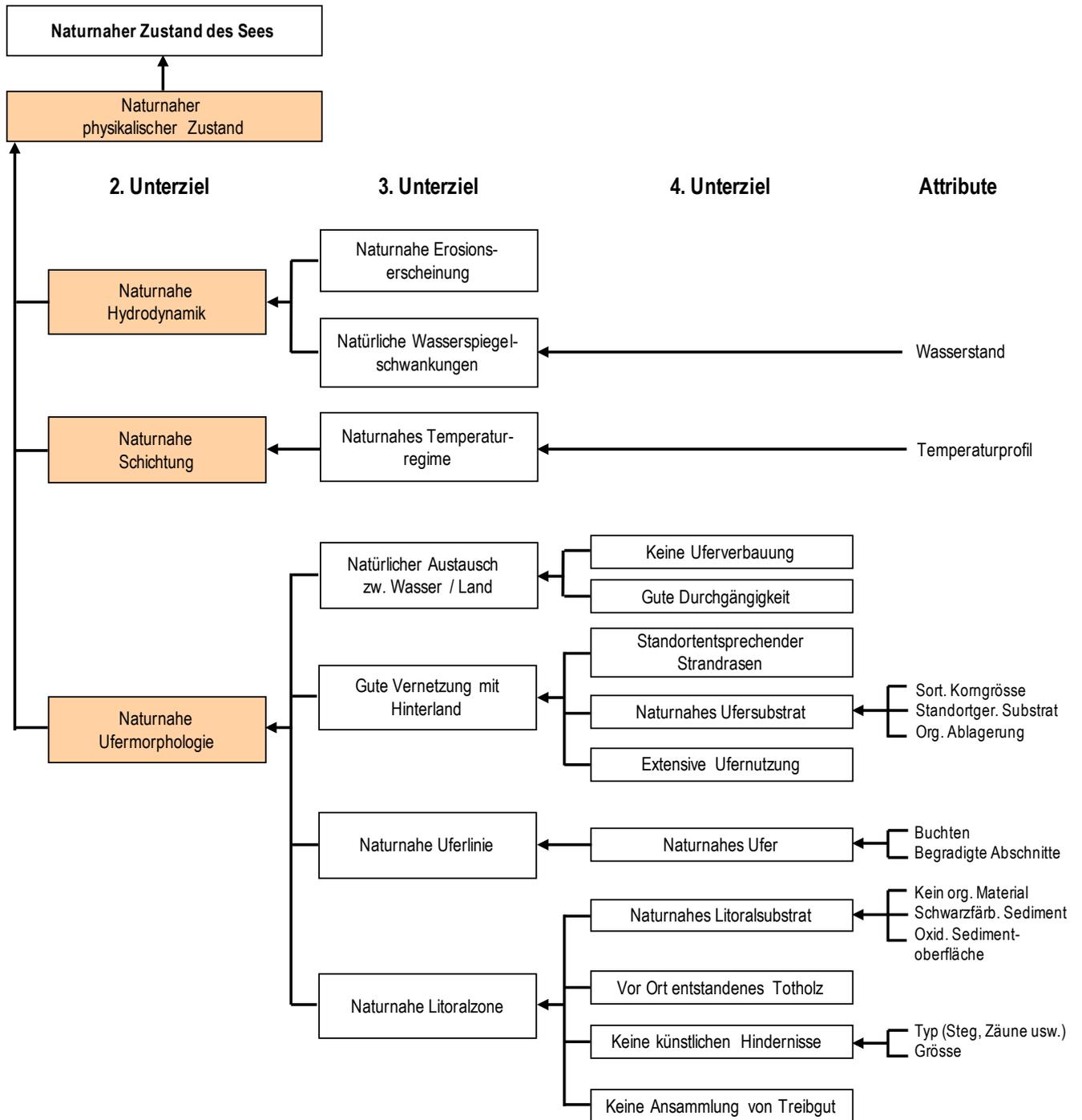


Abb. 6 > Beispiel einer Zielhierarchie zur Erreichung des naturnahen physikalischen Zustands

Die Unterziele und Attribute müssen unter Berücksichtigung der Gewässerschutzgesetzgebung und der Anforderungen der Vollzugsbehörden bei der Erarbeitung der einzelnen Module genau definiert werden.



A3 Priorisierung der Modulentwicklung

Durch die Mittelwertbildung der einzelnen Expertenmeinungen (Fachpersonen des BAFU, der Kantone und der Eawag) ergab sich folgende Priorisierung für die Entwicklung der Module:

Priorisierung der
Modulentwicklung

Tab. 2 > Priorisierung der Modulentwicklung durch Expertenbefragung

Für die Priorisierung wurde die Gewichtung (1: niedrig, 2: mittel und 3: hoch) der sechs Kriterien für jedes Modul aufsummiert. Die Kriterien sind in der Reihenfolge von Ursache nach Wirkung aufgelistet, sie sind nicht gewichtet.

*Chemie des Sediments: Es wird kein Modul Sediment benötigt.

	Ufermorphologie	Vegetation (Makrophyten)	Makrozoobenthos (Neozoen)	Fische	Plankton	Nährstoffe	Spurenstoffe	Hydrodynamik und Schichtung	*Chemie des Sediments
1) Integriert Effekte verschiedener Ursachen und Skalen (örtlich, zeitlich)	1	2	2	3	2	2	1	1	2
2) Generieren von relevantem Grundlagenwissen aus Langzeitmonitoring	2	2	2	3	2	3	2	1	2
3) Bekannte Defizite und/oder politische Dringlichkeit	3	2	2	2	1	2	2	1	1
4) Verwendung bestehender Daten und/oder Bewertungsmethoden	3	2	2	2	2	3	1	2	2
5) Umsetzbarkeit der Methode	3	2	2	2	2	3	2	2	1
6) Ableitbarkeit von Massnahmen	3	1	1	1	1	3	2	1	1
Total	14	11	11	12	11	14	10	9	9
Priorisierung	1	3	3	2	3	1	4	5	*5

A4 Eine Auswahl bestehender Verfahren zur ökologischen Seenbeurteilung (Stand 2010)

A4-1 Generelle Aspekte

Im Jahre 1982 hat das Eidgenössische Departement des Innern (EDI) eine überarbeitete Version der Empfehlungen für die Untersuchung schweizerischer Oberflächengewässer von 1974 herausgegeben. Seither wurden für die Untersuchung von Schweizer Fließgewässern standardisierte Methoden erarbeitet, jedoch nicht für die Seen. Währenddessen wurden im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im EU-Raum von verschiedenen Arbeitsgruppen in den europäischen Ländern angewendete Bewertungsverfahren miteinander verglichen und auf Praxistauglichkeit überprüft (z. B. Deneke & Nixdorf 2002, Wiser).

Um gemäss der WRRL jeden See einer ökologischen Gewässergüteklasse zuteilen zu können, haben verschiedene Arbeitsgruppen Vorschläge zur Definition von Referenzzuständen erarbeitet. Die meisten neu entwickelten EU-Methoden verwenden für die Klassifizierung des Gesamtzustands eines Sees deshalb die Ecological quality ratio (EQR), die auf der Abweichung vom dem Typ entsprechenden Referenzzustand beruht. Die Typisierung der Gewässer erfolgt weitgehend für jedes EU-Land einzeln (z. B. Deneke & Nixdorf 2002 für Deutschland, Schaumburg et al. 2004 für Deutschland, UKTAG 2008a-e für Grossbritannien und Nordirland, Pall & Moser 2009 für Österreich).

Da im Rahmen der WRRL europaweit Bestrebungen im Gange sind, einheitliche Untersuchungsmethoden für Seen zu entwickeln, wird im Folgenden eine Übersicht über einige Verfahren gegeben. Für die Methodenübersicht wurde eine Auswahl an Verfahren aus dem EU-Raum und den USA, die in Deutsch oder Englisch publiziert wurden, verwendet. Bei der Methodenentwicklung für die Schweizer Seen sollten deshalb noch weitere (auch aktualisierte) Methodenbeschriebe und Testberichte zu unterschiedlichen Verfahren beigezogen werden.

A4-2 Ökomorphologie der Uferzone

Die Uferzone erfüllt wichtige ökologische Funktionen für Seen, sei es nun als Pufferzone oder auch als Kinderstube von Fischen (z. B. Walz et al. 2003). Der Uferbereich dient zugleich aber auch dem Menschen als Siedlungsraum und Naherholungsgebiet (Informus GmbH 2004). Um die Auswirkungen dieses Nutzungskonflikts auf die biologische Integrität des Uferbereichs zu erfassen, wurden dafür in verschiedenen EU-Ländern, der Schweiz und den USA Erhebungsmethoden entwickelt.

Die publizierten Verfahren zur Evaluierung der Uferzone unterscheiden sich in einem wichtigen Punkt: Entweder werden alle Attribute GIS-basiert anhand von Luftbilddaufnahmen erhoben (z. B. Kollatsch et al. 2005, Ostendorp et al. 2008, pers. Komm. A. Klein, CIPEL 2010) oder direkt im Feld (z. B. Rowan et al. 2006a, IGKB 2009, EPA

Zusammenfassung ausgewählter bestehender Verfahren

2010a), jedoch nicht in Kombination. Ostendorp et al. (2009) verglichen deshalb die Ortho-Luftbild-Kartierung (HMS-Verfahren) mit den Ergebnissen der Feldkartierung (IGKB 2009) vom Bodensee. Sie fanden, dass die Sensitivität je nach Ausprägung der Beeinträchtigung variiert. Bei stärkeren und grösseren Belastungen zeigte sich das HMS-Verfahren als sensitiver, während bei geringen strukturellen Beeinträchtigungen die Feldmethode sensitiver war. Der Gesamtindex der beiden Methoden korrelierte signifikant (Ostendorp et al. 2009). Ein grosser Vorteil der Ortho-Luftbild Methode gegenüber der Feldkartierung ist ihr rund zehnmal geringerer Kostenaufwand (Ostendorp et al. 2009), und da die einzelnen Segmente als Overlay abgespeichert werden, können genau dieselben Stellen wieder bewertet werden, wenn neue Luftbildserien verfügbar werden (Ostendorp et al. 2008).

Für Mecklenburg-Vorpommern wurde ein Luftbildverfahren zur Beurteilung von hydromorphologischen Qualitätskomponenten entwickelt (LUNG 2004, Kollatsch et al. 2005, Kollatsch et al. 2006). Bei diesem Verfahren wird das Seeufer in 1000 m lange Kartierabschnitte eingeteilt. Der Kartierbereich für jeden Abschnitt umfasst die Flachwasserzone von der Uferlinie bis zur 4-m-Tiefenlinie (bis max. 100 m von der Uferlinie entfernt), einen Uferstreifen, der sich von der Uferlinie 15 m landeinwärts erstreckt, und das Gewässerumfeld auf weiteren 100 m. Für diese drei Bereiche werden auf den Luftbildaufnahmen 19 Einzelparameter erfasst. Für 13 dieser Attribute werden Bonus- und Malus-Punkte vergeben. Anschliessend werden sie zu Indices zusammengezogen und verrechnet. Für die Gesamtbewertung jedes Kartierabschnittes werden die Indices gemittelt und einer der sieben Güteklassen zugeordnet. Kartiert werden die Röhrichtzone, die Morphologie der Uferzone, die Uferverbauung sowie die Flächennutzung des Ufers und des Gewässerumfelds. Ein detaillierter Methodenbeschrieb findet sich in LUNG (2004).

Rowan et al. (2006a) entwickelten für Grossbritannien die Methode «Lake Habitat Survey (LHS)». Bei dieser Methode werden 10 Uferabschnitte von 15 m Breite vom Boot aus genau untersucht (Hab-Plot) und zusätzlich noch ein Überblick über das gesamte Seeufer festgehalten. Beim Hab-Plot wird jeder Abschnitt eingeteilt in die Flachwasserzone (10 m von der Wasserlinie Richtung Boot), die Uferzone (variable Breite) und die Uferzone die sich 15 m landeinwärts erstreckt. In diesen Abschnitten werden verschiedenste Attribute zu Uferstruktur, Landnutzung, Feuchtgebiet und andern Habitaten untersucht. Dies ist die einzige Methode, bei der die Anwender angehalten werden, auch Beobachtungen von Neophyten zu notieren. Das Resultat dieser Methode führt nicht zu einer numerischen Zustandsklasse. Die Entwicklung der Methode und ihre statistische Auswertung sind in Rowan et al. (2006b) festgehalten.

Mit dem Bericht Nr. 55 (IGKB 2009) liegt für den Bodensee ein detailliertes Verfahren zur Uferbewertung vor. Bei dieser Methode wird das gesamte Seeufer in 50-m-Schritten per Boot abgefahren und evaluiert. Dabei werden Attribute zu vier Kriteriengruppen für Flachufer, mittelsteile Ufer und Steilufer erhoben: standorttypische und standortfremde Strukturen sowie langlebige und kurzlebige Ufervegetation. Jedes Attribut wird bei der Erhebung einer der drei bis fünf Gütestufen zugeteilt. Dies widerspricht der Forderung nach «deutlicher Trennung von Zustandsbeschreibung und Bewertung» (Informus GmbH 2004). Für jeden der Gewässerabschnitte wird eine Gesamtnote be-

rechnet, bei der die Attribute gewichtet und aggregiert werden. Die Zustandsklassen beziehen sich auf einen Referenzzustand.

Auch in den USA wurden Methoden entwickelt, um die Seeufer zu untersuchen. Bei diesen Verfahren erfolgt die Erhebung der Attribute im Feld, die Uferabschnitte werden jedoch letztlich nicht einer von fünf numerischen Zustandsklassen zugeordnet, sondern im Vergleich zum Referenzzustand als gut, mittel oder schlecht eingestuft (EPA 2010b). Als einziges Verfahren erhebt die von der EPA (2010c) in Ohio angewendete Methode auch die Neozoen.

A4-3 Chemie in der Freiwasserzone (Nährstoffe und trophierelevante Attribute)

Die Empfehlungen des EDI (1982) für Untersuchungen von stehenden Gewässern beschränken sich hauptsächlich auf Untersuchungen, die über die Nährstoffsituation durch Abwassereinleitung eines Sees Auskunft geben. Um die Sauerstoffkonzentration und die Nährstoffverhältnisse zu erfassen, empfiehlt das EDI (1982), Seenuntersuchungen in der Zeit von Ende Sommerstagnation bis Beginn der Vollzirkulation durchzuführen. Dabei sollen Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Karbonathärte, Sauerstoff, Schwefelwasserstoff (falls geruchlich feststellbar), Eisen und Mangan (bei tiefer O₂-Konzentration), Orthophosphat, Gesamtphosphor, Nitrat und Ammonium gemessen werden. Die Proben sollen in drei Tiefenstufen des Epilimnion, zwei Stufen der Sprungschicht, zwei bis drei Stufen des Hypolimnions und mehrere Proben auf unterschiedlichen Höhen über dem Sediment entnommen werden. Um die Nähr- und Sauerstoffkonzentration am Ende der Frühjahrszirkulation zu erfassen, sollen dieselben Attribute auf den gleichen Tiefenstufen wie bei der Sommerstagnationsuntersuchung zwischen Februar und April gemessen werden. Je nach Seezustand sollen die Untersuchungen jährlich durchgeführt werden oder spätestens nach fünf Jahren (EDI 1982).

Da die Nährstoffkonzentrationen in den Seen der Schweiz überwacht werden, wird hier auf eine Zusammenstellung weiterführender Literatur zu diesem Thema verzichtet.

A4-4 Lebensgemeinschaften der Uferzone: Makrophyten

Die Flachwasserzone des Litorals bietet dank guter Lichtverhältnisse und Heterogenität Lebensräume für verschiedenste Tier- und Pflanzenarten. So wird diese Zone auch von Makrophyten besiedelt. Je nach Artenreichtum und Dichte des Makrophytenbestands können «Schlüsse auf den Zustand des Sees» gezogen werden (EDI 1982).

Der Makrophytenbestand korreliert sehr gut mit dem Trophiezustand eines Gewässers, jedoch weniger mit anderen spezifischen Belastungsfaktoren. Die im EU-Raum bestehenden Methoden zur Gewässergütebeurteilung von Seen anhand von Makrophyten bewerten deshalb hauptsächlich die Nährstoffbelastung. Einzig Österreich hat mit dem Austrian Index Macrophytes (AIM-Modul) eine Methode entwickelt, mit der sich Aussagen zur Trophie, aber auch zu weiteren Belastungen machen lassen (Pall & Moser 2009). Da Makrophyten Aussagen über den längerfristigen Trophiezustand eines Gewässers machen, kombinieren manche Methoden, zum Beispiel Schaumburg et al.

(2007), die Untersuchung von Makrophyten mit derjenigen des Phytobenthos, um auch kurzfristige Veränderungen evaluieren zu können.

Allen im Rahmen der WRRL entwickelten Methoden gemeinsam ist das Bedürfnis nach Praxistauglichkeit, d. h., die Erhebung des Makrophytenbestands möglichst einfach und kostengünstig durchzuführen. Im Vergleich zu älteren Methoden wird für die Kartierung deshalb nicht mehr der gesamte Litoralbereich beprobt. Bei der AIM-Methode aus Österreich (Pall & Mayerhofer 2009) wird zuerst Echosondierung verwendet, um einen detaillierten Überblick des Makrophytenbestands im Litoralbereich zu erhalten. Anhand der so gewonnenen Informationen werden Transekte von 25 m in repräsentativen Makrophytenbeständen untersucht. Taucher erfassen entlang dieser senkrecht zum Ufer gelegten Transekte das Artenspektrum, die Pflanzenmenge pro Art (nach Kohler 1978) und die mittlere Wuchshöhe. Für jedes Transekt werden die Einzelmetrics Vegetationsdichte, Lage der Vegetationsgrenze, Zonierung, Trophie-Indikation sowie die Artenzusammensetzung und ihre Abweichung vom Referenzzustand berechnet. Für die Ermittlung der ökologischen Zustandsklasse werden die Resultate gewichtet und gemittelt (Pall & Mayerhofer 2009).

In der von Schaumburg et al. (2007) entwickelten Methode für Deutschland werden Bandtransekte von 20 bis 30 m Breite senkrecht zum Ufer an für den See charakteristischen Stellen untersucht. Die Beprobung kann durch Taucher oder vom Boot aus mit entsprechenden Hilfsgeräten durchgeführt werden. Innerhalb von vier Tiefenstufen werden die Arten, deren Häufigkeit, die Tiefe der unteren Vegetationsgrenze und Angaben zur Wuchsform erhoben. Für die Bewertung wird entsprechend des Seetyps (nach Mathes et al. 2002) zuerst der Referenzindex berechnet. Da diese Methode für die Gesamtbewertung von Litoralstellen auch noch das Phytobenthos beurteilt, wird der Referenzindex der Makrophyten auf eine Skala von 0 bis 1, schlecht bis sehr gut, umgerechnet. Mit diesem Wert kann nun die ökologische Zustandsklasse des untersuchten Sees anhand einer Tabelle ermittelt werden (Schaumburg et al. 2007). Für einen detaillierten Beschrieb der Methodenevaluation empfiehlt sich BLW (2005).

Für Grossbritannien und Nordirland empfiehlt die UKTAG (2008a) den Free Index, für England, Schottland und Wales die LAKE-LEAFPACS-Methode (UKTAG 2008b) für die Seebewertung mit Makrophyten. Diese Methoden wurden entwickelt, um den Einfluss von Nährstoffen zu untersuchen. Beprobt werden mindestens vier Transekte von 100 m Länge die senkrecht zum Ufer gelegt werden. Jedes Transekt wird in 5-m²-Quadranten aufgeteilt, in denen das Artenvorkommen und die relative Häufigkeit erhoben werden. Für die Berechnung des Free Macrophyte Index wird der arithmetische Durchschnitt der maximalen Bewuchstiefe, der relativen Häufigkeit von Chariden und Elodeiden, der relativen Häufigkeit toleranter Arten und der Trophieklasse des Sees verwendet. Aus diesem Index wird mit dem Referenzwert von 0,8 (für alle Seen) die Ecological quality ratio (EQR) ermittelt, die nun Auskunft über die ökologische Zustandsklasse des Sees Auskunft gibt (UKTAG 2008a).

Bei der Entwicklung und Evaluation der Methoden wurde in einer Untersuchung an 24 Seen in Nordrhein-Westfalen auch die Qualität der Untersuchungen durch Taucher oder vom Boot aus verglichen. Der Personalaufwand ist bei beiden Methoden ähnlich,

doch konnten bei Tauchgängen mehr Makrophytenarten und ein genauerer Wert der Bewuchstiefe festgestellt werden (LUA 2006).

A4-5 **Lebensgemeinschaften der Uferzone: Makrozoobenthos, Neozoen**

Während das Makrozoobenthos der Flüsse als Indikator der Fließgewässerqualität verwendet wird, ist nur wenig bekannt über die Auswirkungen von anthropogenen Belastungen auf die benthischen Makroinvertebraten in der Uferzone von Seen (O'Toole et al. 2008). Es bestehen deshalb auch kaum Bewertungsverfahren, um den Zustand von stehenden Gewässern anhand des Makrozoobenthos zu beurteilen (Little et al. 2006). Damit im Rahmen der WRRL der ökologische Zustand von Seen auch mit benthischen Makroinvertebraten der Litoralzone beurteilt werden kann, wurde in den letzten Jahren in mehreren Studien versucht, Korrelationen zwischen verschiedenen anthropogenen Einflüssen und deren Auswirkungen auf das Makrozoobenthos der Uferzone nachzuweisen (Tolonen et al. 2001, O'Toole et al. 2008, Donohue et al. 2009, Free et al. 2009). Die Resultate widersprechen sich teilweise, vor allem bezüglich der Aussagekraft zur Eutrophierung. Free et al. (2009) konnten nur einen geringen direkten Hinweis einer Reaktion des Makrozoobenthos auf Eutrophierung finden. Donohue et al. (2009) hingegen wiesen nach, dass das Makrozoobenthos statistisch robuste Vorhersagen zur Nährstoffbelastung machen kann, wenn die Probenahme der Invertebraten auf hartem Substrat erfolgte. Die unterschiedlichen Resultate könnten jedoch auch daher rühren, dass bei dieser Untersuchung die Litoralzone beprobt wurde, bei Free et al. (2009) hingegen das Sublitoral.

Entsprechend dem Mangel an gefestigtem Wissen über die Zusammenhänge von anthropogener Belastung und deren Beeinflussung des Makrozoobenthos der Uferzone gibt es auch erst wenig publizierte Verfahren zur Bewertung des ökologischen Zustands stehender Gewässer anhand dieser biologischen Indikatoren. Zenker et al. (2006) präsentieren ein Bewertungsverfahren für Deutschland, das auf unterschiedliche Belastungen wie beispielsweise Nährstoffeinträge oder Strukturdegradation reagiert. Bei dieser Methode werden im Frühjahr (optional Herbst) acht bis zwölf Proben aus dem Sublitoral genommen, aus denen sieben Metrics bestimmt werden. Diese Einzelmetrics erlauben Rückschlüsse auf die entsprechenden Belastungsursachen. Für die ökologische Zustandsbewertung werden die Einzelmetrics genormt und zum Gesamtindex gemittelt.

Die UKTAG (2008c, d) hat zwei Verfahren für die Bewertung von Seen in Grossbritannien anhand benthischer Invertebraten publiziert. Die «Lake acidification macroinvertebrate metric (LAMM)» (UKTAG 2008c) weist die Auswirkung der Versauerung von Seen nach, während mit der «Chironomid pupal exuviae technique (CPET)» (UKTAG 2008d) die Nährstoffbelastung beurteilt werden kann. Bei der LAMM-Methode wird zwischen März und Mai in der Litoralzone (≤ 75 cm) der steinige Untergrund beprobt. Mit CPET werden vier Proben von April bis Oktober von der Wasseroberfläche genommen. Entsprechend dem Namen dieser Technik werden bei CPET nur Chironomiden-Taxa erhoben und nicht alle Makrozoobenthos-Taxa wie bei LAMM.

Invasive Arten werden bei zwei Seeuntersuchungsverfahren erhoben, jedoch nur als Zusatzinformation. Auf die Beurteilung des Gewässers nehmen sie keinen Einfluss. Neophyten werden bei Untersuchungen mit dem Lake Habitat Survey (Rowan et al. 2006a) in Grossbritannien erhoben und Neozoen bei der Anwendung der Methode der EPA (2010c). Da invasive Arten ein Ökosystem stark zu beeinflussen vermögen, kann dies auch Auswirkungen auf die Interpretation der resultierenden Zustandsklassen haben (Cardoso & Free 2008). Cardoso und Free (2008) schlagen deshalb vor, die invasiven Arten separat zu beurteilen. Ein Monitoring-Programm, bei dem Neozoen und Neophyten gezielt erhoben werden, könnte als Frühwarnsystem dienen, sodass sich durch Massnahmen zur Eradikation oder Eindämmung eine weitere Ausbreitung möglichenfalls verhindern lässt kann (Anonym).

A4-6 **Fische (Uferzone, Freiwasserzone und Seeboden)**

Viele EU-Länder waren bezüglich der Beurteilung des ökologischen Zustands von Seen anhand von Fischen unvorbereitet (z. B. Champ et al. 2009) und mussten deshalb innert kürzester Zeit Bewertungsverfahren entwickeln. Bei allen Verfahren folgt die Befischung in etwa der von CEN (2005) ausgearbeiteten Methode, doch werden in den verschiedenen Ländern unterschiedliche Attribute und Metrics erhoben. Brämick und Rittersbusch (2010) testeten das für Deutschland in Entwicklung stehende Bewertungssystem, bei dem zwei Module zum Einsatz kommen können. Modul 1 verwendet semiquantitative Indikatoren und bewertet basierend auf einer gewässerspezifischen Fischgemeinschaft. Modul 2 ist typbasiert und verwendet quantitative Indikatoren. Jedem einzelnen Indikator werden für die Bewertung Punkte zugeordnet. Die Summe über alle Indikatoren wird in die EQR umgerechnet. Dieser Wert wird für die ökologische Bewertung des Sees einer Zustandsklasse zugeordnet. Bei beiden Modulen wird der Besatz der Seen berücksichtigt. Die Methode verfolgt einen integrativen Bewertungsansatz, indem verschiedene Indikatoren der Fischgemeinschaft erhoben werden (z. B. Anzahl Leitarten, Abundanz der Reproduktionsgilden), womit sich jedoch kaum Rückschlüsse auf die Belastungsart ziehen lassen (Brämick & Rittersbusch 2010).

Für Österreich liegt ein ausgearbeitetes Bewertungsverfahren vor (Gassner et al. 2009). Um Fischarten und deren Reproduktion nachzuweisen, werden die standardisierten Erhebungen im Uferbereich mit Elektrobefischung, im Freiwasser und am Gewässerboden mit Netzbefischung durchgeführt. Zusätzlich zu diesen drei Methoden erfolgt zur Abschätzung der Fischbiomasse und der Verteilung der Fische eine hydroakustische Erhebung. Bei den gefangenen Fischen wird die Art bestimmt sowie die Totallänge und das Gewicht gemessen. Bei den Leitfischarten wird zusätzlich noch eine Altersbestimmung durchgeführt. Die Reproduktion in den drei befischten Lebensräumen lässt sich anhand von Larven und 0+Fischen nachweisen. Auch mit dieser Methode werden anthropogene Belastungen integrativ nachgewiesen. Jedoch erlaubt der Einsatz von fünf Bewertungsfaktoren, Rückschlüsse auf die Art der Belastung zu machen. Zum Beispiel dienen Länge und Alter der Fische als Langzeitindikatoren, während die Biomasse Rückschlüsse auf Eutrophierung und Versauerung zulässt. Die Summe der Punkte der einzelnen Bewertungsfaktoren wird schliesslich einer ökologischen Zustandsklasse zugeteilt.

Durch die Langlebigkeit von Fischen und ihre Funktion als Prädatoren innerhalb von Lebensgemeinschaften im See dauert es relativ lange, bis anthropogene Gewässerbelastungen auf der Populationsebene bemerkbar werden. Daher lässt sich mit ökologischen Indikatoren auch kaum die kausale Beziehung zwischen Effekt und Ursache herleiten. Damit Fische als Bioindikatoren verwendet werden können, sollten deshalb auch Attribute erhoben werden, die sensitiv und selektiv auf Veränderungen reagieren (Burkhardt-Holm 2001). Um Veränderungen zu erfassen und Rückschlüsse auf die möglichen Ursachen machen zu können, sollten Biomarker wie zum Beispiel Stressproteine, die Ultrastruktur der Haut oder auch Parasiten untersucht werden (Burkhardt-Holm 2001). Bei den für Deutschland und Österreich entwickelten Beurteilungsmethoden kommen Bioindikatoren nicht zur Anwendung. Bei Erhebungen der Fischgemeinschaften im Lake Michigan (USA) werden zusätzlich zu den Attributen Abundanz, Wachstum usw. auch der Mageninhalt sowie der Zustand und die Gesundheit der Fische untersucht. Dazu werden bei einem Subsample Bluttests durchgeführt sowie der Fettanteil und die Nieren untersucht (Schneeberger et al. 1998). Der «Health assessment Index (HAI)» (Adams et al. 1993) ermöglicht es, die Gesundheit der Fische im Feld schnell, einfach und preiswert zu evaluieren.

Einen ausführlichen Literaturüberblick zu diesem Thema gibt die Semesterarbeit von Zimmermann (2010).

A4-7 Plankton in der Freiwasserzone

Die WRRL verlangt, dass der ökologische Zustand auch mithilfe des Phytoplanktons beurteilt wird (EC 2000). Bei den meisten Methoden wird nur die Chlorophyll-a-Konzentration erhoben, aus der sich dann der trophische Zustand eines Sees ableiten lässt. Einige wenige Methoden analysieren auch die Phytoplankton-Zusammensetzung oder -Biomasse (z. B. Deneke & Nixdorf 2002, Mischke & Nixdorf 2008, Wolfram & Dokulil 2009). Bei der Seen-Beurteilungsmethode von UKTAG (2008e) wird zusätzlich zur Chlorophyll-a-Konzentration auch der prozentuale Anteil an beeinträchtigenden (nuisance) Cyanobakterien evaluiert. Auch im Kanton Zürich werden die Seen anhand der Chlorophyllkonzentration bewertet. Je nach zu erwartendem Referenzzustand werden verschiedene Schlüssel für die Bewertung verwendet (AWEL).

Damit die EQR berechnet werden kann, definieren alle EU-Methoden einen Referenzzustand. In den meisten Fällen werden für die Zustandsbewertung mit Phytoplankton aktuelle Messwerte aus nährstofflich (relativ) unbelasteten Seen als Referenzwerte verwendet (z. B. Mischke & Nixdorf 2008). Für Chlorophyll a wurden standortsspezifische Referenzbedingungen untersucht (z. B. Carvalho et al. 2009), und in verschiedenen Ländern angewendete Chlorophyll Referenzbedingungen wurden auch zur Interkalibrierung des ökologischen Zustands verwendet (Carvalho et al. 2008). Detaillierte Auswertungen zur Definition der fünf Klassen und zur Festlegung der Klassengrenzen basierend auf der EQR finden sich in Carvalho et al. (2006).

Da Phytoplankton-Abundanz von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird, ist aus Sicht von Kaiblinger et al. (2009) ein Phytoplankton-Index nicht sensitiv genug, um Veränderungen in einem See belastungsspezifisch nachzuweisen.

Detaillierte Methodenbeschriebe mit Seentypologie liegen für Deutschland (Mischke & Nixdorf 2008) und Österreich (Wolfram & Dokulil 2009) vor. Für die Anwendung der Methode aus Deutschland steht auch eine Software zur Verfügung für die Berechnung der verschiedenen Metrics und der Gesamtbeurteilung des Qualitätszustands durch Phytoplankton (Mischke & Nixdorf 2008).

> Literatur

Konzept und A4-1 Generelle Aspekte

BAFU/BAG (Hrsg.) 2013: Beurteilung der Badegewässer. Empfehlungen zur Untersuchung und Beurteilung der Badewasserqualität von See- und Flussbädern. Umwelt-Vollzug Nr. 1310: 42 S. www.bafu.admin.ch/uv-1310-d

EC 2000: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 Oct. 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities L 327: 1–72.

EDI 1982: Empfehlungen über die Untersuchung der schweizerischen Oberflächengewässer (Stand 1982). Eidgenössisches Departement des Innern. Bern.

Eisenführ F. und Weber M. 2003: Rationales Entscheiden, 4. Aufl., Springer.

Forum Biodiversität Schweiz 2004: Biodiversität in der Schweiz, Zustand, Erhaltung, Perspektiven. Haupt Verlag.

Langhans S.D., Weber C., Göggel W. 2008: D'une méthode à l'autre vers une évaluation intégrale des cours d'eau. ARPEA 238: 5–11.

Modul-Stufen-Konzept (MSK 2012). www.modul-stufen-konzept.ch/index?clear_lang=1 (27.08.2012)

Schwoerbel, J. 1987: Einführung in die Limnologie. 6. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

SIB 2010: Schweizer Informationssystem Biodiversität. Konventionstext. www.sib.admin.ch/de/biodiversitaet/die-konvention/konventionstext/index.html (27.08.2012)

Strategie Biodiversität Schweiz des Bundesrates 2012: www.bafu.admin.ch/ud-1060-d (18.09.2013)

Werner S. 2010: Sind aquatische Neozoen eine Gefahr für die Biodiversität von Bodensee und Hochrhein? Verborgener Reichtum – Die Artenvielfalt der Seen. KOMPAZ Forum Zürichsee, 26. August 2010. ZHAW Wädenswil. (27.08.2012)

WWF 2008: The Living Planet Report. WWF International, Gland, Switzerland.

Wiser. Deliverable D3.2–1: Overview and comparison of macrophyte survey methods used in European countries and a proposal of harmonized common sampling protocol to be used for WISER uncertainty exercise including a relevant common species list. Water bodies in Europe: Integrative Systems to assess Ecological status and Recovery.

Zeh M. 2009: Wie werden die Schweizer Seen untersucht? Ergebnisse der Cercl'eau-Umfrage von 2008 – Statuspapier. www.cercl'eau.ch/files/6713/2266/0005/Statuspapier_Seen_V3_D.pdf (27.8.2012).

A4-2 Ökomorphologie

EPA 2010a: Methods of assessing habitat in Lake Erie shoreline waters using the Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) Approach (Version 2.1). U.S. Environmental Protection Agency, Ohio.

EPA 2010b: National Lakes Assessment: Technical Appendix. Data Analysis Approach. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water / Office of Research and Development, Washington, D.C. EPA 841-R009-001a.

EPA 2010c: National Lakes Assessment – A collaborative Survey of the Nation's Lakes. Chapter 2. Design of the Lakes Survey. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water/Office of Research and Development, Washington D.C. EPA 841-R-09-001.

IGKB 2009: Limnologische Bewertung der Ufer- und Flachwasserzone des Bodensees. (Bericht Nr. 55). Langenargen. www.igkb.de/html/publikationen/index.html (27.08.2012)

Informus GmbH 2004: Entwicklung eines Kartierverfahrens zur Bestandsaufnahme des Strukturzustandes der Ufer von Seen >= 50 ha in Mecklenburg-Vorpommern – Endbericht. Berlin.

Kollatsch R.-A., Küchler A., Olbert C., Hölzl K. 2005: Bestandsaufnahme der Standgewässer nach der Wasserrahmenrichtlinie – Struktur der Standgewässeruferzonen in Mecklenburg-Vorpommern. KA-Abwasser, Abfall 52: 1085–1088.

Kollatsch R.-A., Küchler A., Olbert C., Hölzl K. 2006: Kartierung und Bewertung der Struktur von Standgewässeruferzonen in Mecklenburg-Vorpommern. Wasserwirtschaft: 78–82.

LUNG 2004: Entwicklung eines Kartierverfahrens zur Bestandsaufnahme des Strukturzustandes der Ufer von Seen >= 50 ha in Mecklenburg-Vorpommern. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie. Berlin.

Mathes J., Plambeck G., Schaumburg J. 2002: Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. In: Nixdorf B., R. Deneke (Hrsg.), Ansätze und Probleme bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Aktuelle Reihe BTU Cottbus, Sonderband: 15–24.

Ostendorp W., Ostendorp J., Dienst M. 2008: Hydromorphologische Übersichtserfassung, Klassifikation und Bewertung von Seeufern. Wasserwirtschaft: 8–12.

Ostendorp W., Dienst M., Spitzbarth H., Ostendorp J. 2009: Natur-
schutzfachliche Interpretationsmöglichkeiten gewässerstruktureller
Seeuferkartierungen am Beispiel des HMS-Verfahrens. *Natur und
Landschaft* 12: 545–552.

Rowan J.S., Soutar I., Bragg O.M., Carwardine J., Cutler M.E.J.
2006a: Lake Habitat Survey in the United Kingdom. Field Survey
Guidance Manual Version 3.1. Final Report. Sniffer Project WFD42.
Edinburgh.

Rowan J.S., Carwardine J., Duck R.W., Bragg O.M., Black A.R., Cutler
M.E.J., Soutar I., Boon P. J. 2006b: Development of a technique for
Lake Habitat Survey (LHS) with applications for the European Union
Water Framework Directive. *Aquatic Conserva: Mar. Frescw. Ecosyst.*
16: 637–657.

Walz N., Ostendorp W., Brüggemann R. 2003: Die ökologische
Bewertung von Seeufem in Deutschland. *UWSF – Z Umweltchem.
Ökotox.* 15: 1–8.

A4-3 Chemie in der Freiwasserzone (Nährstoffe und trophierelevante Attribute)

EDI 1982: Empfehlungen über die Untersuchung der schweizerischen
Oberflächengewässer (Stand 1982). Eidgenössisches Departement
des Innern. Bern.

A4-4 Lebensgemeinschaften der Uferzone: Makrophyten

BLW. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.). 2005:
Bewertungsverfahren Makrophyten & Phytobenthos. Fließgewässer-
und Seen-Bewertung in Deutschland nach EG-WRRRL. Informations-
bericht Heft 1/05.

Kohler A. 1978: Methoden der Kartierung von Flora und Vegetation
von Süßwasserbiotopen. *Landschaft + Stadt* 10:73–85.

LUA 2006: Klassifikation und Bewertung der Makrophytenvegetation
der grossen Seen in Nordrhein-Westfalen gemäss EG-Wasserrahmen-
richtlinie. (Merkblatt 52). Essen: Landesumweltamt Nordrhein-West-
falen.

Pall K., Mayerhofer V. 2009: Leitfaden zur Erhebung der biologischen
Qualitätselemente Teil B3 – Makrophyten. B3-01e_MPH. Bundesamt
für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

Pall K., Moser V. 2009: Austrian Index Macrophytes (AIM-Module 1)
for lakes: a Water Framework Directive compliant assessment system
for lakes using aquatic macrophytes. *Hydrobiologia* 633: 83–104.

Schaumburg J., Schranz C., Stelzer D., Hofmann G. 2007: Handlungs-
anweisung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung

der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos.
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft.

Schaumburg J., Schranz C., Hofmann G., Stelzer D., Schneider S.,
Schmedtje U. 2004: Macrophytes and phytobenthos as indicators of
ecological status in German lakes – a contribution to the
implementation of the Water Framework Directive. *Limnologica* 34(4):
302–314.

UKTAG 2008a: Macrophytes (Free Index). UKTAG lake assessment
methods. Macrophytes and phytobenthos. Edinburgh: Water Framework
Directive – United Kingdom Technical Advisory Group.

UKTAG 2008b: Macrophytes (LAKE LEAFPACS). UKTAG lake
assessment methods. Macrophyte and phytobenthos. Edinburgh:
Water Framework Directive – United Kingdom Advisory Group.

A4-5 Lebensgemeinschaften der Uferzone: Makrozoobenthos, Neozoen

Anonym. Developing an EU Framework for Invasive Alien Species.
Discussion Paper (Final).

Cardoso A.C., Free G. 2008: Incorporating invasive alien species into
ecological assessment in the context of the Water Framework
Directive. 4: 361–366.

Donohue I., Donohue L.A., Ainin B. N., Irvine K. 2009: Assessment of
eutrophication pressure on lakes using littoral invertebrates.
Hydrobiologia 633(1): 105–122.

Free G., Solimini A.G., Rossaro B., Marziali L., Giacchini R., Paracchini
B. et al. 2009: Modelling lake macroinvertebrate species in the
shallow sublittoral: relative roles of habitat, lake morphology, aquatic
chemistry and sediment composition. *Hydrobiologia* 633: 123–136.

Little R., Bowman J. J., McGarrigle M. L., Free G., Donnelly K.,
Tierney D. et al. 2006: Implementation of the Water Framework
Directive: Investigations for establishing a lake typology using littoral
macroinvertebrates in the Republic of Ireland. *Verh. Internat. Verein.
Limnol.* 29: 2192–2196.

O'Toole C., Donohue I., Moe S.J., Irvine K. 2008: Nutrient optima and
tolerances of benthic invertebrates, the effects of taxonomic
resolution and testing of selected metrics in lakes using an extensive
European data base. *Aquat. Ecol.* 42: 277–291.

Tolonen K.T., Hamalainen H., Holopainen I.J., Karjalainen J. 2001:
Influences of habitat type and environmental variables on littoral
macroinvertebrate communities in a large lake system. *Arch.
Hydrobiol.* 152: 39–67.

UKTAG 2008c: Lake acidification macroinvertebrate metric (LAMM).
UKTAG lake assessment methods. Benthic invertebrate fauna.

Edinburgh: Water Framework Directive – United Kingdom Advisory Group.

UKTAG 2008d: Chironomid pupal exuviae technique (CPET). UKTAG lake assessment methods. Benthic invertebrate fauna. Edinburgh: Water Framework Directive – United Kingdom Advisory Group.

Zenker A., Baier B., Böhmer J. 2006: Feinabstimmung des Bewertungsverfahrens für Makrozoobenthos in stehenden Gewässern. Abschlussbericht 2005. Institut für Zoologie, Universität Hohenheim.

A4-6 Fische (Ufer-, Freiwasserzone, Seeboden)

Adams S. M., Brown A. M. und Goede R. W. 1993: A quantitative health assessment index for rapid evaluation of fish condition in the field. *Transactions of the American Fisheries Society*, 122, 63–73.

Brämick U. und Ritterbusch D. 2010: Praxistest Seebewertung sowie Interkalibrierung Seebewertung für Fische. Projekt Nr. O 2.09. Endbericht. Institut für Binnenfischerei e.V. (IfB), Potsdam.

Burkhardt-Holm P. 2001: Der Fisch – wie lässt er sich als Indikator für die Qualität seiner Umwelt einsetzen? *GAIA*, 10(1), 6–15.

CEN 2005: EN 14757 Water quality – sampling of fish with multi-mesh gillnets. surveygillnet.com/Z-files/multimesh%20standard.pdf (9.11.2010).

Champ W.S.T., Kelly F.L., King J.J. 2009: The Water Framework Directive: using fish as a management tool. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*. 109B:191–206.

Gassner H., Achleitner D., Bruscek G., Mayrhofer K., Frey I. 2009: Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente Teil B1 – Fische. B1-01d_FIS. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Schneeberger P., Toneys M., Elliott R., Jonas J., Clapp D., Hess R., Passino-Reader D. 1998: Lakewide assessment plan for Lake Michigan fish communities. www.glfrc.org/pubs/SpecialPubs/lwasses01.pdf (8.11.2010).

Zimmermann M. 2010: Ein entscheidungstheoretischer Ansatz zur Bewertung der biologischen Integrität von Seen – Ein Vorschlag für Ziele und Attribute. Semesterarbeit, ETH Zürich und Eawag.

A4-7 Plankton in der Freiwasserzone

AWEL. Mess- und Beurteilungsmethoden Seen. www.gewaesser-qualitaet.zh.ch/internet/bd/awel/gq/gg/de/see.html (27.08.2012)

Carvalho L., Phillips G., Maberly S.C., Clarke R. 2006: Chlorophyll and Phosphorus Classifications for UK Lakes. WFD38. Edinburgh: SNIFFER.

Carvalho L., Solimini A., Phillips G., van den Berg M., Pietilainen O.P., Solheim A.L. et al. 2008: Chlorophyll reference conditions for European lake types used for intercalibration of ecological status. *Aquat. Ecol.* 42: 203–211.

Carvalho L., Solimini A.G., Phillips G., Pietilainen O.P., Moe J., Cardoso, A.C. et al. 2009: Site-specific chlorophyll reference conditions for lakes in Northern and Western Europe. *Hydrobiologia* 633: 59–66.

Deneke R., Nixdorf, B. (Hrsg.) 2002: Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite, BTUC-AR 5/2002, ISSN 1434-6834.

Kaiblinger C., Anneville O., Taddonleke R., Rimet F., Druart J.C., Guillard J., Dokulil M.T. 2009: Central European water quality indices applied to long-term data from peri-alpine lakes: test and possible improvements. *Hydrobiologia* 633:67–74.

Mischke U., Nixdorf, B. (Hrsg.) 2008: Gewässerreport (Nr. 10): «Bewertung von Seen mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie». BTUC-AR 2/2008, ISBN 978-3-949471-06-2, ISSN 1434-6834.

UKTAG 2008e: UKTAG lake assessment methods. Phytoplankton. Chlorophyll a and percentage nuisance cyanobacteria. Edinburgh: Water Framework Directive – United Kingdom Advisory Group (WFD-UKTAG).

Wolfram G., Dokulil M.T. 2009: Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente Teil B2 – Phytoplankton. B2-01e_PHP. Wien.

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1	
Mögliche Zielhierarchie für eine Zustandserhebung von Seen	14
Abb. 2	
Beispiele von Wertfunktionen	20
Abb. 3	
Aggregation von zwei Unterzielen	21
Abb. 4	
Beispiel einer Zielhierarchie zur Erreichung des naturnahen biologischen Zustands	23
Abb. 5	
Beispiel einer Zielhierarchie zur Erreichung des naturnahen chemischen Zustands	24
Abb. 6	
Beispiel einer Zielhierarchie zur Erreichung des naturnahen physikalischen Zustands	25

Tabellen

Tab. 1	
Zustandsklassen	21
Tab. 2	
Priorisierung der Modulentwicklung durch Expertenbefragung	26