

# Ufermonitoring Bodensee

## Datenblatt Makrozoobenthos

### 1. Einleitung

Die Erfassung des Makrozoobenthos (MZB) in Fließgewässern hat seit der Entwicklung des Saprobienindex von Kolkwitz und Marsson im Jahre 1902 eine lange Tradition und wird zur Belastungsindikation herangezogen. Bei Seen lag der Fokus bisher vor allem auf der Überwachung des Freiwassers. Ein regelmäßiges Monitoring des MZB an Seen erfolgte erst mit der Entwicklung der biologischen Bewertungsverfahren für die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Hierbei wurden verschiedene „Stressoren“ untersucht, die einen Einfluss auf die Zusammensetzung des MZB aufweisen. Dabei zeigte sich, dass die sublitoralen Biozönosen eher auf die trophischen Bedingungen reagieren, während die eulitoralen Biozönosen morphologische Defizite anzeigen können.

Die Gruppe der Würmer (Oligochaeten) wurde am Bodensee bereits in den 1970er Jahren zur Indikation der trophischen Belastung des Sediments herangezogen (IGKB-Berichte Nr. 25, 38 und 47). Hierbei standen aber vor allem die sublitoralen und profundalen Sedimente im Vordergrund. Untersuchungen des deutlich artenreicheren MZB im Eulitoral erfolgten allenfalls lokal und sporadisch, vor allem im Rahmen von Voruntersuchungen zu Renaturierungsmaßnahmen oder im Rahmen von studentischen Abschlussarbeiten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen liegen größtenteils nur in Form von Berichten vor und haben nicht den Charakter eines Monitorings. Eine Bestandsaufnahme über den gesamten Seeboden erfolgte in den Jahren 2003-2006 im Rahmen des InterregIII A-geförderten Projekts Bodensee-Untersuchung-Seeboden (IGKB-Bericht Nr. 56). Der Schwerpunkt hier lag allerdings auf den sublitoralen Lebensräumen.

Im Zuge des Klimawandels wird die zunehmende Ansiedlung wärmeliebender Arten erwartet. Durch verschiedene Quellen finden auch nicht heimische Arten (Neobiota) den Weg in den Bodensee, mit nicht absehbaren Folgen für das Ökosystem. Das Interreg geförderte Projekt „ANEBO“ (aquatische Neozoen Bodensee, 2005-2008) konnte die Einwanderung einiger MZB-Arten in den Bodensee dokumentieren. Seither erfolgt am Bodensee ein Neozoenmonitoringprogramm, um die weitere Einwanderung von nicht heimischen Arten frühzeitig zu erfassen.

Dennoch herrschen noch große Lücken bei der Kenntnis des Arteninventars von Seen und der möglichen Indikation des MZB.

#### 1.1 Definition

Unter Makrozoobenthos (MZB) versteht man mit bloßem Auge erkennbare, tierische, wirbellose Organismen, die an ein Substrat gebunden sind. In der Regel werden Tiere > 0,5 - 1 mm zum Makrozoobenthos gezählt. Kleinere Organismen werden dem Meio- und Mikrobenthos (< 0,1 mm) zugordnet. Das besiedelte Substrat kann mineralisch (Stein, Kies, Sand, Ton, Schluff, etc.) oder organisch (Totholz, Wasservegetation, andere im Wasser lebende Tiere, etc.) sein. Zum MZB zählen Moostierchen, Schwämme, Würmer, Egel, Muscheln, Schnecken, Krebstiere und Wasserinsekten.

#### 1.2 Ökologische Bedeutung

Das Makrozoobenthos stellt ein wichtiges Glied im aquatischen Nahrungsnetz dar. Die Organismen ernähren sich heterotroph, d.h. sie konsumieren und zerkleinern anfallendes organisches Material

(z.B. Falllaub, Makrophyten(reste), Aufwuchs) oder leben räuberisch von anderen Wirbellosen. Zusammen mit bakteriellem Abbau sorgen sie für die Remineralisation. Einige Arten (z.B. Schwämme, Moostierchen und Muscheln) ernähren sich filtrierend und können bei massenhaftem Auftreten einen Einfluss auf die Wassertransparenz haben. Gleichzeitig dienen MZB-Organismen als Nahrung für Amphibien, Wasservögel, Krebse und Fische. Die Wasserinsekten sorgen mit Ihrer Emergenz (Schlüpfen aus der Verpuppung und Verlassen des aquatischen Lebensraums) für den Austrag organischer Substanz aus dem Gewässer. Als erwachsene Insekten werden sie v.a. von Vögeln und Fledermäusen gefressen. MZB ist in der Lage, verschiedenste Substrate zu besiedeln (Seeboden, Makrophyten, Totholz etc.)

Ähnlich wie Makrophyten integrieren auch MZB-Organismen die im Gewässer herrschenden Umweltbedingungen über einen längeren Zeitraum. Einige Wasserinsekten verbringen mehrere Jahre im Wasser bevor sie dieses als flugfähiges Insekt verlassen.

Die Zusammensetzung des MZB wird einerseits von den vorhandenen Habitaten und andererseits von den Nahrungsgrundlagen bestimmt. Makrophyten spielen sowohl als Strukturelement als auch als Nahrungslieferanten eine wichtige Rolle. Äußere Faktoren wie Wind- und Wellenexposition, Landnutzung und Strukturelemente sowie Wasserchemismus beeinflussen die Lebensgrundlagen für das MZB entscheidend.

Auf der anderen Seite können MZB-Organismen durch ihre Lebensweise auch Lebensräume verändern, z.B. wenn sich sessil lebenden Organismen auf Feinsubstraten ansiedeln und somit die Oberflächenstruktur des Seebodens und die Habitategenschaften verändern („ecoengineering“). Das kann dazu führen, dass sich die gesamte Biozönose ändert, Arten verdrängt und andere gefördert werden.

Im Sediment grabende Arten können dazu beitragen, dass die Sauerstoffversorgung erhöht wird und Abbauprozesse beschleunigt ablaufen können (Bioturbation).

## 2. Fragestellungen

Grundsätzlich sollen mit einem Monitoring des MZB anhand von repräsentativer Messstellen Veränderungen erkannt werden und auch Fragestellungen, die heute noch nicht absehbar sind, später bearbeitet werden können. Hierzu ist es notwendig, neben dem möglichst vollständigen Arteninventar auch die abiotischen Faktoren mit zu erfassen. Je nach Energieeintrag durch Wind und Wellen herrschen unterschiedliche abiotische Bedingungen vor (vgl. Energieeintragsmodell). Auch die Erhebung der Wasser-Land-Strukturelemente (vgl. Datenblatt Wasser-Land-Strukturelemente) kann wertvolle Hinweise liefern, welche Habitate vorhanden sein können und wie sich diese über die Jahre verändern (z.B. Totholz). Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen, dass es sinnvoll ist, möglichst umfassend zu untersuchen (Qualität statt Quantität).

- Überblick über das Arteninventar eines Habitats, einer Probenstelle, des Sees;
  - ➔ durch die Auswahl der Probenstellen können weitere Fragestellungen bearbeitet werden, z.B. Abweichung des Arteninventars von einer Referenz (Zustandsindikation)
  - ➔ durch die Wahl der Häufigkeit der Beprobung können saisonale Muster aufgezeigt werden
- Auftreten wärmeliebender Arten (Klimawandel), Aussterben von Arten
- Einschleppung von Neozoen und die Auswirkung auf die ursprüngliche Biozönose

- Stoffliche Belastung des Seebodens
- Naturschutzfachliche Bewertung (Diversität, wertgebende Arten, Biotopqualität)
- Wellenschlag

### 3. Methoden

Je nach Fragestellung kommen unterschiedliche Methoden zur Erfassung des MZB zum Einsatz. Es kann sinnvoll sein, einzelne Stellen, Uferabschnitte oder Transekte zu beproben. Bei allen möglichen Fragestellungen sind am Bodensee besonders die schwankenden Wasserstände und der Einfluss von Wind- und Wellenexposition zu berücksichtigen, welche sich sehr stark auf die litoralen Habitate auswirken.

Eine Beprobung erfolgt in der Regel flächenbezogen. Es gibt aber auch Untersuchungsmethoden, die eine zeitliche Dauer der Beprobung festlegen (so lange suchen, bis keine neuen Arten mehr entdeckt werden).

Um beispielsweise einen Überblick über das Arteninventar des gesamten Sees zu gewinnen ist es wichtig, dass alle für das MZB besiedelbaren Habitate im Litoral und Profundal in ausreichender Zahl erfasst werden.

#### 3.1 Datenerhebung

Zur quantitativen Erhebung des MZB werden in der Regel definierte Flächen beprobt. Je nach Fragestellung unterscheiden sich die Methoden der Beprobung und Aufarbeitung.

Folgende Probenahmegeräte können zum Einsatz kommen:

- Handnetze/Kescher/Pfahlkratzer, die eine gewisse Strecke durch/über das zu beprobende Substrat gezogen werden. Das Substrat kann auch zuvor per „Kick-Sampling“ aufgewühlt werden.
- Sammeln von Steinen, Totholz, Wasserpflanzen und den daran anhaftenden Organismen. Für Steine und Totholz und Wasserpflanzenstängel (z.B. Schilfhalme) kann die Oberfläche bestimmt werden, bei komplexer aufgebauten, verzweigten Wasserpflanzen ist eine Bestimmung der Oberfläche schwierig. Meist wird dann ein Bezug zur Trockenmasse der Pflanzen hergestellt, indem die Pflanzen nach dem Absammeln der Organismen getrocknet und gewogen werden.
- Saug-Sammler: hier wird ein Rahmen (definierte Fläche) über das zu beprobende Substrat gestellt und dann nach dem Prinzip „Staubsauger“ die Organismen „aufgesaugt“, indem eine starke Strömung erzeugt wird.
- Bodengreifer: nur für Feinsubstrat geeignet. „Baggert“ eine bestimmte Fläche aus dem Seeboden.
- Stechrohre: nur für Feinsubstrat geeignet, sticht eine definierte Fläche Sediment aus. Kann auch zur Tiefenverteilung von Benthosorganismen innerhalb des Sediments herangezogen werden
- Dredge: vorwiegend für Feinsubstrate geeignet. Die Dredge wird mit einem Boot eine definierte Strecke über den Seegrund gezogen. Mit einem Rechen, der vorne an der Dredge montiert ist, wird Sediment aufgewirbelt und in den auf einem Schlitten befestigten Netzbeutel geschwemmt.

- Ergänzend: Emergenzfänge mit Lichtfallen, da zahlreiche Insekten im Adultstadium einfacher bestimmt werden können als die Larven.
- Unterwasserfotografie/-video (z.B. zur Dokumentation der Besiedlungsdichte, Besiedlungstiefe bei größeren sessilen Formen)

An einer Probenstelle vorhandene Substrate können einzeln beprobt und separat ausgewertet werden oder es kann eine Mischprobe entnommen werden, indem die vorhandenen Substrate anteilmäßig beprobt werden (Multi-Habitat-Sampling).

Die gewonnenen Proben werden entweder direkt vor Ort mit 70% Ethanol fixiert, nachdem erkennbar geschützte Arten vorher aussortiert und lediglich notiert wurden. Alternativ kann das Lebendsortierverfahren angewandt werden, was allerdings gute Artenkenntnisse voraussetzt. Hierbei werden die Proben in eine oder mehrere Fotoschalen überführt und die erkannten Arten lediglich gezählt und wenige Exemplare zur Nachbestimmung im Labor mitgenommen. Für die nicht sofort bestimmbaren Arten wird eine vorgegebene Mindestanzahl von Individuen gesammelt, die restlichen Individuen nur gezählt. Für die meisten Fragestellungen ist eine Bestimmung auf Artniveau notwendig – nur so lassen sich neue Arten erkennen (vgl. Neobiotamonitoring).

Die Anzahl von Probestellen hängt stark von der Fragestellung, der gewählten Methode und dem zu beprobenden Bereich (z.B. Litoral, Profundal) ab. Für ein überblicksmäßiges Monitoring im Uferbereich sollten alle Ufertypen proportional zu ihrer Uferlänge in ausreichender Anzahl beprobt werden.

Einige wenige, gut ausgewählte (repräsentative) Dauerbeobachtungsstellen, die kontinuierlich beprobt werden, erleichtern die Einordnung von Einzeluntersuchungen in größeren Abständen.

Aufgrund des unterschiedlichen Energieeintrags und unterschiedlicher Ufertypen wurden für das Ufermonitoring zunächst 23 repräsentative Stellen ausgewählt. Diese werden um die bereits vorhandenen Stellen des quantitativen Neozoenmonitorings ergänzt (soweit diese nicht deckungsgleich sind), um die Datenkontinuität zu gewährleisten. Ob die Anzahl von insgesamt 33 Messstellen ausreicht, muss sich im Zuge der Umsetzung des Monitoringkonzepts herausstellen.

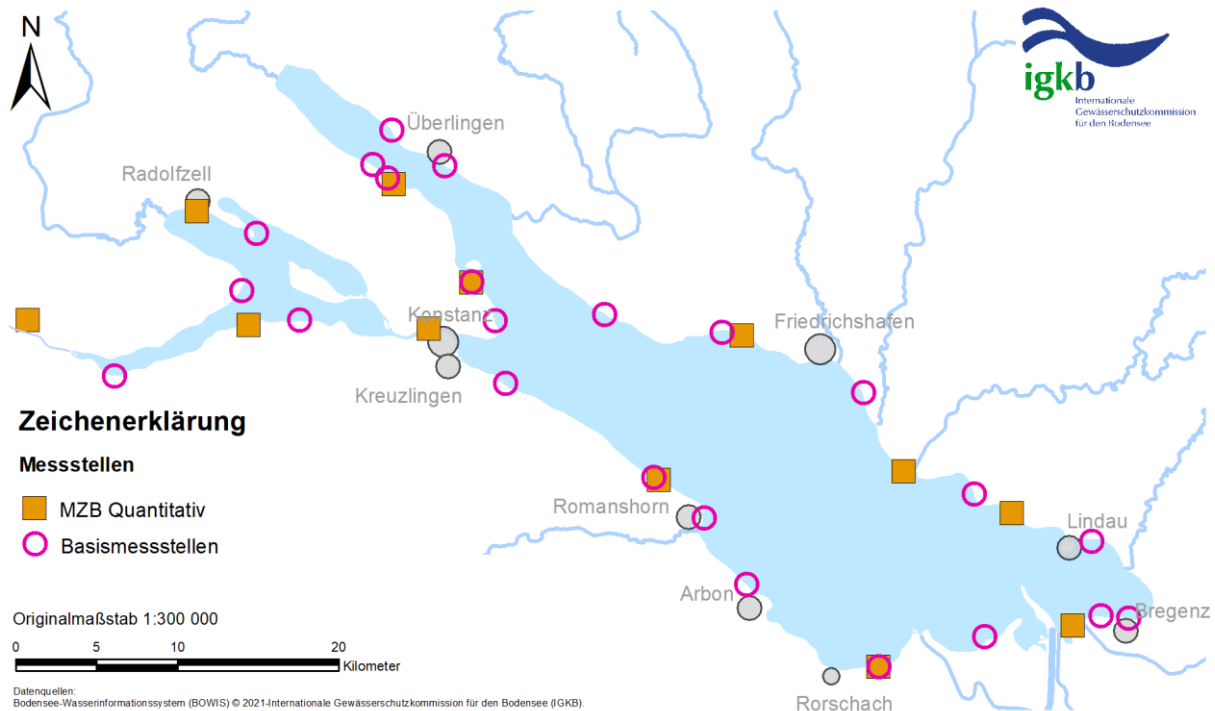


Abb.1: 23 Basismessstellen des MZZ-Ufer-Monitorings sowie die bereits vorhandenen 12 Messstellen des quantitativen Neozoenmonitorings. Zwei der 12 Neozoenmonitoringstellen überschneiden sich mit einer Basismessstelle. Bei zwei Messstellen muss noch geprüft werden, ob sie sich in Deckung bringen lassen.

Methoden, die sich noch in der Entwicklung befinden, sind Artbestimmungen durch genetische Methoden (z.B. Metabarcoding) und e-DNA.

### 3.2 Indikations- und Bewertungssysteme

Da Makrozoobenthos in Seen eine der biologischen Qualitätskomponenten der EU-WRRL darstellt, wurden verschiedenen Verfahren entwickelt. Einige dieser Verfahren zeigen, dass die MZZ-Lebensgemeinschaft auf hydromorphologische Defizite reagiert. Zu Beginn der Entwicklung der Verfahren waren kaum Monitoring-Daten von MZZ in Seen vorhanden. Uferstrukturelle Kartierungen, die mit den MZZ-Daten verglichen werden konnten, fehlten ebenfalls weitgehend. Es mussten daher zunächst Daten erhoben werden – meist mit Methoden, die bei der Fließgewässerbewertung herangezogen werden und die für Seeufer angepasst wurden. Die EG-WRRL fordert, dass für die Bewertung die Artenzusammensetzung und die Abundanz, das Verhältnis störungsempfindlicher Taxa zu robusten Taxa sowie die Vielfalt der wirbellosen Taxa berücksichtigt wird.

Die Verfahren werden hier nur aufgezählt, ausführlichere Angaben finden sich im Anhang.

In der Literatur sind Bewertungsverfahren für die eulitoralen- und die sublitoralen Biozönosen beschrieben, wobei die sublitoralen Biozönosen vorwiegend auf die Gewässertrophie abzielen.

Sublitoral:

- **IOBL** (Indice oligochètes de bioindication lacustre, Lafont et al., 2012): Index zur Beurteilung der Kapazität von Seesedimenten, organisches Material zu mineralisieren

- **GLBil** (Greek Lake Benthic macroinvertebrate Index, Ntislidou et al., 2018): Index, der Eutrophierung anzeigt. In den Index gehen Taxaanzahl, Diversität und relativer Anteil der Chironomiden ein.

Eulitoral:

- **LAMM** (Lake acidification macro-invertebrate metric, UKTAG 2008a) weist die Auswirkung der Versauerung von Seen nach. Der Index wurde für Großbritannien entwickelt.
- **CPET** (Chironomid pupal exuviae technique, UKTAG 2008b): beurteilt die Nährstoffbelastung anhand der Chironomiden-Puppenexuvien, die von der Seeoberfläche gesammelt werden. Der Index wurde für Großbritannien entwickelt.
- **LIMCO** (Littoral Invertebrate Multimetric Index based on Composite Sampling) und **LIMHA** (Littoral Invertebrate Mutlitmetric Index based on Habitat Sampling): im EU-Projekt WISER entwickelte Makrozoobenthos-Bewertungsmetrics, die anhand statistischer Methoden aus MZB-Daten und Daten zum Uferzustand abgeleitet wurden.
- **AESHNA** (Böhmer, 2017): Verfahren zur Bewertung hydromorphologischer Defizite anhand des MZB. Ein wichtiger Teilmetric für die Bewertung ist der Faunaindex (FI), der einzelne Arten ufertypspezifisch hinsichtlich ihrer Sensitivität für hydromorphologische Belastungen einstuft.
- **H2 (2017)**: Das Verfahren wurde für bayerische Alpen- und Voralpenseen entwickelt. Der hier verwendete Faunaindex wurde anhand von Daten und Expertenwissen abgeleitet und stuft ein, wie charakteristisch eine Art für einen Ufertyp ist.
- **OHI** (Odonata Habitat Index; ÖNORM M 6231): bewertet die Stabilität bzw. Veränderung von Uferzonen anhand der Libellenfauna. Grundlage bildet eine hohe Korrelation zwischen dem Vorkommen einzelner Arten(gesellschaften) und hydrologischen und morphologischen Habitatparametern unter klimatisch-zoogeografischen Rahmenbedingungen.
- **Modulstufenkonzept** (Schlosser et al., 2013) zur Beurteilung des ökologischen Zustands von Seen. Es sind Module für die Beurteilung des chemischen, physikalischen und biologischen Zustands geplant. Ähnlich wie die WRRl orientiert sich das Konzept der Zielehierarchie an einem Referenzzustand. Das Modul Makrozoobenthos für Seen ist noch nicht entwickelt.
- **CIEPT** (Menetrey et al, 2010): Schweizer Index für ökologischen Zustand von Kleingewässern, basiert auf Artenvielfalt der Käfer, Vielfalt der MZB-Familien und Vielfalt der EPT-Familien (Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen).

Die meisten Verfahren wurden an deutlich kleineren Seen oder anderen Seetypen als dem Bodensee plausibilisiert. Im Rahmen des Projekts HyMoBio-Strategie wurde deutlich, dass Ufermauern einen Einfluss auf das MZB haben, dieser Einfluss jedoch nur auf die Habitate direkt vor der Mauer wirkt.

Die starken Wasserstandsschwankungen und der teilweise heftige Wellenschlag sind Randbedingungen, welche die Bewertungsverfahren vor eine große Herausforderung stellen.

### 3.3 Kosten (Stand 2020, inkl. MwSt.)

### 3.4 Periodizität und Dauer

- Nach WRRL dreijährlich, mindestens jedoch alle sechs Jahre eine einmalige Beprobung zwischen März und Mai, vor dem Schlupf der Insekten. Es muss eine genügende Anzahl von Probenstellen beprobt werden, so dass alle vorherrschenden Ufertypen und Habitate in genügender Anzahl abgebildet werden.
- Nach Vorschrift WRRL (D) wird die Anzahl der Probestellen je nach Uferlänge berechnet. Nimmt man den gesamten Bodensee mit 273 km Uferlänge als Grundlage, so wären etwa 21 Messstellen auszuwählen. Betrachtet man jedoch die Uferlängen der einzelnen Anrainerländer, so können sich davon Abweichungen ergeben – so fordert das in Österreich entwickelte EG-WRRL – Verfahren zur Bewertung des MZB acht Messstellen am Vorarlberger Ufer. Um nationale Anforderungen zu erfüllen, müssen ggfs. zusätzliche Messstellen beprobt werden. Die Ergebnisse aus dem Messstellennetz des IGKB-Monitorings können jedoch mitverwendet werden, da sie prinzipiell geeignet sind, die nationalen Erfordernisse zu bedienen.

## 4. Fachliche Querverbindungen

- Phytobenthos
  - als Nahrungsquelle
- Makrophyten
  - Siedlungssubstrat (lebende Makrophyten, Detritus)
  - Nahrung (lebende Makrophyten, Detritus, anhaftendes Periphyton)
  - Strömungs- /Brandungsschutz/ Versteck
  - Beschattung
  - Feinsedimentbildung
- Fische
  - Fraßfeind
  - Lebensraum in speziellen Lebensabschnitten (z.B. Großmuscheln als Laichplatz für Bitterling)
  - Zwischenwirt (Großmuschellarven entwickeln sich an Fischkiemen oder Fischflossen)
- Phytoplankton
  - Nahrungsquelle
- Wasservögel
  - Fraßfeind
  - Möglichkeit der Ausbreitung in andere Gewässer (im Gefieder)
- Physik/Energieeintrag
  - Temperatur
  - Strömung
  - Brandung
  - Substratumlagerung
- Uferchemie

- pH-Werte (Photosynthese)
- Sauerstoffzehrung
- CO<sub>2</sub>
- Nährstoffe: Phosphor und Stickstoff
- Umsatz von POM (partikuläres, organisches Material)
- Sediment
  - Bioturbation
  - Mineralisation
  - Überdeckung

## 5. Gesetzliche Grundlagen/Vorgaben

ohne Anspruch auf Vollständigkeit

- Deutschland
  - WRRL 2000/60/EG
  - Oberflächengewässerverordnung – OGewV
  - Wasserhaushaltsgesetz - WHG
- Österreich
  - WRRL 2000/60/EG
  - Wasserrechtsgesetz (WRG 1959 idgF)
  - Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV, BGBl. II Nr. 479/2006 idgF)
  - Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG (BGBl. II Nr. 99/2010 idgF)
- Schweiz
  - Gewässerschutzgesetz, (GSchG, SR 814.20)
  - Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201)
  - Modulstufenkonzept zur Untersuchung der Gewässer (Bundesamt für Umwelt)

Mit dem vorgeschlagenen Monitoring werden die gesetzlichen Vorgaben für D und CH erfüllt, für A wird ein Beitrag zu den gesetzlichen Vorgaben geleistet.



Makrozoobenthos aus dem Bodensee



## 6. Synergien

- Neozoenmonitoring
- Resilienzmonitoring und –forschung
- Klimafolgenmonitoring
- Berichtspflichten:
  - WRRL
  - FFH
- Erfolgskontrolle Renaturierungen

## 7. Bisheriges Monitoring/Erhebungen

Seeweite Untersuchungen:

- Im Zuge des Neozoenmonitorings:
  - 2004-heute, 10-12 Stellen rund um den See, jeweils Probenahme im Frühjahr und Herbst, allerdings nur ca.  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup>, nicht repräsentativ für alle Ufertypen.
- Vereinzelt Untersuchungen von Renaturierungsflächen
- BUS-Projekt: 2003-2006: Bestandserfassung MZB vor allem im Sublitoral
- Einzeluntersuchungen bestimmter Organismengruppen in Form von Abschluss- und Forschungsarbeiten

## 8. Datenhaltung

Die erhobenen taxonomischen Daten inkl. Verortung und standortbezogene Begleitdaten sollen in FisGeQua hinterlegt werden.

Für die zur Plausibilisierung und Qualitätssicherung gewonnenen Belegsammlungen, Fotos, Videos oder andere Medien muss eine dauerhafte Archivierung ermöglicht werden.

## 9. Literatur:

Lafont, M., Tixier, G., Marsalek, J., Jezequel, C., Breil, P. Schmitt, L. (2012): From research to operational biomonitoring of freshwaters : a suggested conceptual framework and practical solutions. *Ecohydrology & Hydrobiology* 12: 9-20.

Ntislidou, C., Lazaridou, M., Tsiaoussi, V., Bobori, D.C. (2018): A new multimetric macroinvertebrate index for the ecological assessment of Mediterranean lakes. *Ecological Indicators* 93: 1020-1033

WFD-UKTAG, 2008a: UKTAG Lake assessment methods benthic invertebrate fauna lake acidification macroinvertebrate metric (LAMM). – Bericht 16 S.

WFD-UKTAG, 2008b: UKTAG Lake assessment methods benthic invertebrate fauna Chironomid pupal exuviae technique (CPET). Bericht, 14 S.

Oliver Miler, O., Pusch, M., Pilotto, F., Solimini, A., McGoff, E., Sandin, L., Clarke, R. (2012): Deliverable D3.3-4: Assessment of ecological effects of hydromorphological lake shore alterations and water level fluctuations using benthic macroinvertebrates. EU-Projekt WISER, Technischer Bericht. 44 S.

Böhmer, J. (2017): Methodisches Handbuch zur WRRL-Bewertung von Seen mittels Makrozoobenthos gemäß AESHNA.

Miler, O., Pusch, M. Böhmer, J. (2018): Weiterentwicklung des deutschen MZB-Bewertungsverfahrens für Seen „AESHNA“ zu einer strukturgestützten Gesamtseebewertung. - UBA-Bericht, 184 S.

Menetrey, N., Oertli, B., Lachavanne, J.-B. (2011): The CIEPT: A macroinvertebrate-based multimetric index for assessing the ecological quality of Swiss lowland ponds. Ecological indicators 11: 590-600.

Schlösser 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 Beurteilungsmethoden. - Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1326: 38 S.

USEPA: <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-benthic-macroinvertebrates>

## 10. Anhang: ausführlichere Verfahrensbeschreibungen

Sublitoral:

- **IOBL** (Indice oligochètes de bioindication lacustre, Lafont et al., 2012): Index zur Beurteilung der Kapazität von Seesedimenten, organisches Material zu mineralisieren. Index basiert auf der Dichte und Diversität der Oligochaeten. Ansprüche der Oligochaeten variieren von sehr sensibel bis sehr resistent gegenüber organischen Belastungen und toxischen Substanzen.
- **GLBiI** (Greek Lake Benthic macroinvertebrate Index, Ntislidou et al., 2018): Index, der Eutrophierung anzeigt. In den Index gehen Taxaanzahl, Diversität und relativer Anteil der Chironomiden ein.

Eulitoral:

- **LAMM** (Lake acidification macro-invertebrate metric, UKTAG 2008a) weist die Auswirkung der Versauerung von Seen nach. Hier wird zwischen März und Mai der steinige Untergrund beprobt ( $\leq 75$  cm Wassertiefe) und die MZB-Arten bestimmt. Es werden Klarwasserseen und Humose Seen unterschieden. Die MZB-Arten werden nach Säuretoleranz eingestuft. Anhand der Abundanz der einzelnen Arten und ihrer Sensitivität bzgl. pH wird der LAMM-Index berechnet. Der Index wurde für Großbritannien entwickelt.
- **CPET** (Chironomid pupal exuviae technique, UKTAG 2008b): beurteilt die Nährstoffbelastung. Es werden vier Proben von April bis Oktober von der Wasseroberfläche genommen und nur die Chironomiden-Arten anhand der Puppenexuvien bestimmt. Die einzelnen Arten sind hinsichtlich ihrer trophischen Vorlieben eingestuft. Der Chironomidenbefund wird mit einem Referenzzustand abgeglichen, der mittels eines statistischen Modells eine Art Referenztrophiie berechnet (Eingangsdaten in den Referenzwert: mittlere Seetiefe,

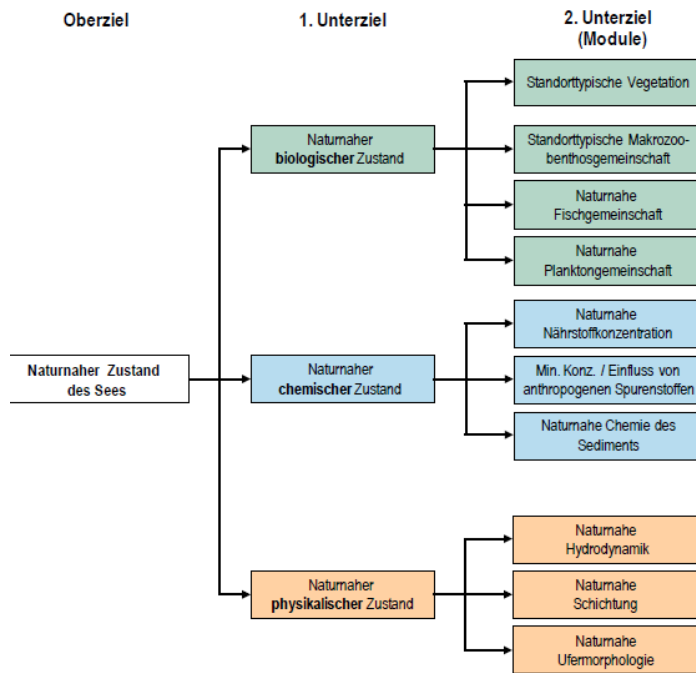
Seeoberfläche in ha, Einzugsgebiet ohne Seefläche, Wasseraufenthaltszeit, Netto-Niederschlag im Einzugsgebiet). Der Index wurde für Großbritannien entwickelt.

- **LIMCO** (Littoral Invertebrate Multimetric Index based on Composite Sampling) und **LIMHA** (Littoral Invertebrate Mutlitmetric Index based on Habitat Sampling): im EU-Projekt WISER entwickelte Makrozoobenthos-Bewertungsmetrics, die anhand statistischer Methoden aus MZB-Daten und Daten zum Uferzustand abgeleitet wurden. Die Einzelmetrics, die der Berechnung für den LIMCO-Index zugrunde liegen, sind je nach Biogeografischer Region verschieden. Für Deutschland erwiesen sich die Margalef Diversität, der prozentuale Anteil von Sammlern/Sedimentfressern, der prozentuale Anteil der Chironomiden und die Anzahl an EPTCBO-Arten (Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen, Käfer, Muscheln, Libellen) als aussagekräftig, wobei für diese Indices vor allem Daten aus Seen des norddeutschen Tieflands herangezogen wurden.
- **AESHNA** (Böhmer, 2017): Verfahren zur Bewertung hydromorphologischer Defizite, das zur Umsetzung der WRRRL entwickelt wurde. Das Verfahren unterscheidet grob drei Seetypen für natürliche Seen (Alpen/Alpenvorland, Tieflandseen, Flusseen) sowie drei Typgruppen für künstliche und Mittelgebirgsseen. Der Seetyp legt fest, welche Metrics herangezogen werden und wie die Ankerpunkte für einzelne Metrics gewählt werden. Einen größeren Einfluss als die Seetypen haben die eutlitoralen Ufertypen auf die MZB-Zusammensetzung. Daher wurden drei eutlitorale Ufertypen: Grobsediment, Feinsediment und organisch unterschieden. Die Probenahme kann entweder habitatspezifisch oder als Mischprobe erfolgen. Zunächst wird für einen Uferbereich (50 – 100 m Breite) abgeschätzt, wie die Habitatverteilung ist und dann werden die Einzelhabitate anteilmäßig beprobt. Alle Habitate zusammen sollten ca. 1m<sup>2</sup> Fläche erfassen. Ein wichtiger Teilmetric für die Bewertung ist der Faunaindex (FI), der einzelne Arten ufertypspezifisch hinsichtlich ihrer Sensitivität für hydromorphologische Belastungen einstuft. „Geeicht“ wurde der Faunaindex ursprünglich an einem Stressorindex, der für Voralpen-/Alpenseen aus folgenden Parametern gebildet wurde: „% Anteil nicht natürlicher Landnutzung im unmittelbaren Uferbereich (15 m)“, „% Anteil nicht natürlicher Landnutzung im Uferumfeld (100 m)“, „Nutzungsindex aus den Landnutzungsanteilen im Uferumfeld (100 m) des gesamten Sees“, „%-Anteil veränderter Uferlänge“, „Uferstrukturbewertung (Expertenklassifikation)“, „Harte Uferveränderung“, „Weiche Uferveränderung“. Im Zuge der Verfahrensentwicklung wurden auch neue Strukturklassifizierungsverfahren erarbeitet (LHS, SUK, HMS, biota-Verfahren). In einem vorläufig letzten Schritt der AESHNA-Verfahrensanpassung wurden Einzelparameter dieser unterschiedlichen Verfahren hinsichtlich der Korrelation mit den Metrics aus AESHNA überprüft und ggfs. die Ankerpunkte für die Metrics und die Metriczusammensetzung für die Gesamtbewertung nachjustiert. Für die Gesamtbewertung werden mehrere Einzelmetrics gewichtet und zu einem multimetrischen Index (MMI) zusammengefasst. Für Alpen-/Alpenvorlandseen berechnet sich der MMI:  $(5 \cdot \text{Faunaindex} + \text{EPTCBO HK\%} + \text{typspezifische Vielfalt} + \text{Sedimentfresser HK\%} + \text{Holzbewohner} + \text{Fortpflanzungsstrategie rk})/10$ . Der MMI kann in die 5 ökologischen Zustandsklassen der EG-WRRRL-Bewertung eingestuft werden, von „sehr gut“ bis „schlecht“.

Es musste zunächst geprüft werden, auf welche „Stressoren“ MZB in Seen überhaupt reagiert und welchen Anteil andere abiotische Faktoren ausmachen (z.B. Trophie, Habitat,

biogeografische Region etc.). Über statistische Verfahren wurden die „Metrics“ herausgefiltert, die am meisten auf Unterschiede der uferstrukturellen Parameter reagierten, so genannte „Kandidatenmetrics“. In der Arbeit von Miler et al. (2018) zeigte sich, dass 29,1 % der Varianz der Makrozoobenthoszusammensetzung durch Morphologie und Trophie erklärt werden. Davon konnten 21,2 % nur durch Morphologie, 3,6 % nur durch Trophie und 4,3 % durch beide Einflussparameter gemeinsam erklärt werden.

- **H2 (2017):** Das Verfahren wurde für bayerische Alpen- und Voralpenseen entwickelt. Der hier verwendete Faunaindex wurde anhand von Daten und Expertenwissen abgeleitet und stuft ein, wie charakteristisch eine Art für einen Ufertyp ist. Zunächst wird das Seeufer nach landschaftsökologischen Kriterien eingeteilt, um für jeden Uferbereich den potenziell natürlichen Ufertyp abzuleiten. Für die einzelnen Ufersegmente wird dann eine Abschätzung der Abweichung vom Naturzustand vorgenommen (Hemerobie-Einstufung). Insgesamt wurden sieben Ufertypen definiert. Aus den Erhebungsdaten werden der „Faunaindex“ und die „typspezifische Vielfalt“ berechnet und zur Einstufung herangezogen. Der Index ist weniger spezifisch für bauliche Veränderungen in der Uferzone (außer massive Hafenanlagen), da nach Probenahmevervorschrift bis 1 m Wassertiefe die Habitate anteilmäßig beprobt werden und kleine Blockschüttungen am Ufer oder Mauern als lineare Elemente nur eine untergeordnete Rolle spielen. Hier ist noch eine Diskussion zu führen, welche Flächen tatsächlich beprobt werden sollen, um auch uferstrukturelle Defizite über das MZB nachweisen zu können.
- **OHI (Odonata Habitat Index; ÖNORM M 6231):** bewertet die Stabilität bzw. Veränderung von Uferzonen anhand der Libellenfauna. Grundlage bildet eine hohe Korrelation zwischen dem Vorkommen einzelner Arten(gesellschaften) und hydrologischen und morphologischen Habitatparametern unter klimatisch-zoogeografischen Rahmenbedingungen. Verglichen wird ein Bestand mit einer gewässertypspezifischen Referenzzönose. Es werden 5 Habitattypen unterschieden. Es werden repräsentative Standorte im Verhältnis der Habitattypen untersucht (fünf Begehungen zwischen April und Oktober, um das aspektbildende Artenspektrum zu erfassen). Die Referenzzönose wird anhand historischer und rezenter biotischer und abiotischer Daten beschrieben. Die Referenzzönose wird mit dem Status quo verglichen, das Ergebnis einer von fünf ökologischen Zustandsklassen zugeordnet.
- **Modulstufenkonzept** (Schlosser et al., 2013) zur Beurteilung des ökologischen Zustands von Seen. Es sind Module für die Beurteilung des chemischen, physikalischen und biologischen Zustands geplant. Ähnlich wie die WRRL orientiert sich das Konzept der Zielehierarchie an einem Referenzzustand. Das Modul Makrozoobenthos für Seen ist noch nicht entwickelt.



- **CIEPT** (Menetrey et al, 2010): Schweizer Index für ökologischen Zustand von Kleingewässern, basiert auf Artenvielfalt der Käfer, Vielfalt der MZB-Familien und Vielfalt der EPT-Familien (Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen).