

# IGKB-Basismonitoring Bodensee Konzept 2022 - Synthesebericht



## Impressum

Auftraggeber	Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)
Datum	09.03.2022
Autor(en)	Peter Rey / Hydra Konstanz
Begleitende Arbeitsgruppe, Datenblätter	Caroline Brosy, LRA Bodenseekreis Heinz Ehmann, Amt für Umwelt, Thurgau (Vorsitz) Karoline Härtl-Brandl, Institut für Seenforschung der LUBW, Langenargen Christian Mosbach, Bodenseewasserversorgung (ZVBWV), Sipplingen Anna Noffke, Institut für Seenforschung der LUBW, Langenargen Robert Obad, Institut für Seenforschung der LUBW, Langenargen Marlene Reichenegger, Regierungspräsidium Freiburg Christine Schranz, Landesamt für Umwelt (LfU) Bayern Dietmar Straile, Universität Konstanz Petra Teiber-Sießegger, Institut für Seenforschung der LUBW, Langenargen Lucia Walser, Umweltinstitut des Landes Vorarlberg Thomas Wolf, Institut für Seenforschung der LUBW, Langenargen

März 2022

Titelbild-Fotos: ©Hydra, [www.seewandel.org](http://www.seewandel.org)

# IGKB-Basismonitoring

## Inhalt

Impressum.....	2
Inhalt .....	3
1 Ein Konzept für die Untersuchung des Bodensees.....	5
1.1 Bisherige Ausrichtung des Bodenseemonitorings .....	5
1.2 Neue Herausforderungen .....	5
1.3 Digitale Information zum Bodenseezustand .....	6
2 Aufgaben und Grenzen eines IGKB-Basismonitorings, Begriffe .....	7
2.1 Berücksichtigung der unterschiedlichen Themen.....	7
2.1.1 Bisherige und neue Monitoringinhalte.....	7
2.1.2 Ziele .....	8
2.1.3 Kernthemen «Klimawandel» und «aquatische Neobiota» .....	8
2.2 Räumliche Untersuchungsbereiche.....	9
2.2.1 Seeteile .....	9
2.2.2 Seekompartimente (Lebensraumzonen).....	9
2.3 Monitoringkomponenten .....	10
2.4 Informationssammlung und -auswertung.....	12
2.4.1 BOWIS-Datenbank.....	12
2.4.2 FISGeQua .....	12
2.4.3 Auswertung der Monitoringergebnisse.....	12
2.4.4 Datenqualität und Qualitätssicherung .....	12
3 Konzept des IGKB-Basismonitorings.....	13
3.1 Fragestellungen .....	13
3.2 Untersuchungsinhalte der Monitoringkomponenten .....	13
3.3 Untersuchungsintervalle .....	14
3.4 Basis-Messstellen des IGKB-Basismonitorings .....	15
3.4.1 Messstellen Im Freiwasser .....	15
3.4.2 Messstellen am Seeboden.....	16
3.4.3 Messstellen in der Ufer- und Flachwasserzone.....	16
4 Datenblätter der Monitoringkomponenten (Kurzfassung) .....	17
4.1 Wasser-Land-Strukturelemente .....	17
4.2 Physikalische Parameter .....	21

4.3	Wasserchemie .....	25
4.4	Phyto- und Zooplankton .....	28
4.5	Makrozoobenthos .....	30
4.6	Makrophyten .....	33
4.7	Phytobenthos .....	36
4.8	Neobiota .....	38
4.9	Seeboden und Seebodenbesiedlung (Destruenten).....	42
5	Fazit und Konzept IGKB-Basismonitoring 2023 bis 2028.....	46

# 1 Ein Konzept für die Untersuchung des Bodensees

## 1.1 Bisherige Ausrichtung des Bodenseemonitorings

Der Bodensee zählt zu den limnologisch am längsten und am besten untersuchten Seen Europas. Dies ist der seit 1919 etablierten und nach dem zweiten Weltkrieg international koordinierten Gewässerschutzarbeit mit ihren regelmässig durchgeführten Kampagnen zur Untersuchung des biologischen und abiotischen Seezustands zu verdanken. Diese Gewässerschutzarbeit, seit 1959 von der IGKB koordiniert, war auch Taktgeber für viele Forschungsprojekte und Sonderforschungsbereiche von Universitäten der Region. Die für die IGKB relevanten Informationen über den Zustand des Bodensees werden vom Institut für Seenforschung in Langenargen (ISF, Einrichtung der LUBW) zusammengetragen, ausgewertet und verwaltet. Das ISF arbeitet dabei eng mit den Gewässerschutzfachstellen der Länder und Kantone des Bodenseeraums zusammen. Seit mehr als einem Jahrzehnt werden ortsbezogene Daten im System BOWIS ([www.igkb.org/aktuelles/bodensee-wasser-informationssystem-bowis/](http://www.igkb.org/aktuelles/bodensee-wasser-informationssystem-bowis/)) erfasst und lassen sich grenzüberschreitend darstellen.

Um Veränderungen des limnologischen Zustands erkennen und deren Ursachen verfolgen zu können, werden auf Veranlassung oder Empfehlung der IGKB verschiedene Untersuchungs- oder Monitoringprogramme durchgeführt. Traditionell zählt hierzu das sogenannte Freiwassermonitoring mit seinen Teilen Wasserchemie und Plankton. Weitere Untersuchungen im Einzugsgebiet und der Region erfassen die von außen auf den See wirkenden Faktoren wie

- die Seezuflüsse, welche die Hydrologie und Physik des Sees entscheidend steuern und verschiedene Schadstoffe und Spurenstoffe eintragen;
- das sich verändernde Klima mit seinen vielfältigen Einflussgrößen wie Niederschlag, Wind und Globalstrahlung;
- die Nutzungen im und am See;
- der Einfluss eingeschleppter Neobiota.

Mit einem Aktionsprogramm der IGKB wurde 2004 die äußerst dynamische, sich in ihrer Form und Ausdehnung stark verändernde und biologisch sehr produktive Ufer- und Flachwasserzone in den Fokus gerückt. Zuvor wurden hier schon einzelne biologische Untersuchungsprogramme durchgeführt (z.B. Makrophytenkartierungen, Neozoenmonitoring), ein neuer Fokus lag auf dem ökomorphologischen Zustand der Ufer- und Flachwasserzone (IGKB Uferbewertung).

Die Monitoring-Komponente «Fische» ist nicht Teil des IGKB-Monitorings. Entsprechende Untersuchungen werden einerseits von den Fischereifachstellen der Länder- und Kantone durchgeführt. Zum anderen untersucht die Fischereiforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg ([https://lazbw.landwirtschaft-bw.de/pb/\\_Lde/Startseite/Themen/](https://lazbw.landwirtschaft-bw.de/pb/_Lde/Startseite/Themen/) Fischereiforschungsstelle) zusammen mit der Internationalen Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodenseefischerei IBKF ([www.ibkf.org](http://www.ibkf.org)) den Fischbestand und die Fischbiozönose des Sees und regelt die Belange der Fischerei.

## 1.2 Neue Herausforderungen

Die immer besseren Kenntnisse über die Topografie der verschiedenen Bodenseebecken (IGKB-Projekt «Tiefenschärfe») und über die physikalischen Vorgänge im See (z.B. Wasseraustausch- und Vermischungsprozesse, Unterschiede und Zusammenspiel zwischen verschiedenen Seebecken, Wellenmodell) werfen u.a. die Frage auf, ob die bisherigen Untersuchungsinhalte und Auswahl der Probestellen ausreichend und repräsentativ genug sind, um alle für den See wichtigen Kompartimente und Prozesse über längere Zeit beobachten zu können.

Die ExpertInnen der IGKB sind sich zudem einig, dass **Klimawandel** und **Neobiota** zwei komplexe Schlüsselfaktoren sind, die den abiotischen und den biologischen Zustand des Bodensees künftig wesentlich prägen werden. Die Entwicklungen der bisher berücksichtigten Klima-Parameter (z.B. Wasserstände/Pegel, Wassertemperaturen, Niederschlagregime) in den letzten drei Jahrzehnten zeigen bereits, in welche Richtung solche Veränderungen gehen und lassen erahnen, in welcher Geschwindigkeit sie ablaufen werden. Noch direktere Auswirkungen zeigen die seit 2003 eingeschleppten Wirbellosenarten, deren invasive Ausbreitung die angestammten Biozöosen 2021 schon grundlegend verändert hat.

### 1.3 Digitale Information zum Bodenseezustand

Die im Rahmen des Bodenseemonitorings und speziellen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse werden der Öffentlichkeit schon seit vielen Jahren im Internet zugänglich gemacht. Auf der Webseite der IGKB ([www.igkb.org](http://www.igkb.org)) sind viele der hier vorgestellten Themen, Zustandsdaten und Forschungsergebnisse zum Bodensee abrufbar oder extern verlinkt. Hier sind auch die «Grünen Berichte» (Limnologischer Zustand des Sees, Jahresberichte), die «Blauen Berichte» (Fachberichte zu speziellen Themen), das Printorgan «Seespiegel» der IGKB, Faktenblätter und Pressemitteilungen archiviert.

Im Informationssystem BOWIS der IGKB werden verschiedene Geo- und Messdaten der Länder und Kantone des Bodensee-Einzugsgebiets zusammengetragen und in projektbezogene Themen einzelner Fachbereiche der IGKB ausgewertet und kartographisch umgesetzt. Eine zentrale Datenbank verwaltet die erhobenen Messdaten der IGKB-Messstellen.

Mit digitalen Technologien wurde in einem mehrjährigen Projekt der Bodenseegrund neu vermessen und kartiert. Das grenzübergreifende, von der EU geförderte Projekt «Tiefenschärfe – Hochauflösende Vermessung Bodensee», liefert seit 2015 ein detailgenaues 3D-Modell des Seebeckens (<https://tiefenschaerfe-Bodensee.info/Projekt/>). Die Datendichte ist dabei um das hundert- bis tausendfache höher als beim letzten Aufmaß von 1990.

Informationen zu den beiden Kernthemen eines angepassten Bodenseemonitorings - «Klimawandel» und «Neobiota» - sind in den Portalen KLIMBO ([www.igkb.org/aktuelles/klimbo-klimawandel-am-bodensee/](http://www.igkb.org/aktuelles/klimbo-klimawandel-am-bodensee/)) und ANEBO ([www.neozoen-bodensee.de](http://www.neozoen-bodensee.de)) abrufbar.

Die IGKB-Seite ist zudem mit Informationsportalen der Mitgliedstaaten der IGKB verlinkt.

Wassertiefe, Temperatur und Pegelstand des Bodensees können aktuell auch auf einem mobilen Gerät abgerufen werden. Dieser mobilen Service ist kostenlos unter <https://m.igkb.org/> zu erhalten.

BodenseeOnline ist ein Informationssystem der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, welches der Öffentlichkeit modellbasierte Daten zu den Windverhältnissen am Bodensee sowie den Wassertemperaturen, Strömungen und Wellen zur Verfügung stellt. Das Informationssystem wurde zur Beschreibung und Vorhersage des hydrodynamischen Verhaltens und der Wasserqualität des Bodensees entwickelt. Es soll z.B. bei Schadensfällen oder für die Umweltüberwachung hilfreiche Informationen liefern, dient jedoch auch zur Information der Öffentlichkeit ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/bodenseeonline](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/bodenseeonline)).

## 2 Aufgaben und Grenzen eines IGKB-Basismonitorings, Begriffe

Das IGKB-Basismonitoring ist ein standardisiertes Untersuchungsprogramm zum limnologischen Zustand des Bodensees. Ziel des vorliegenden Konzepts ist es, für die bisherigen und für künftige wissenschaftliche Untersuchungen und Messungen im Bodensee eine gemeinsame Grundlage zu schaffen. Die bereits durch jahrzehntelange Untersuchungsreihen behandelten Themen werden durch neue Untersuchungsinhalte und Vorgehensweisen ergänzt, die für die Beantwortung aktueller und künftiger Fragen wichtig sind, wie z.B. den Klimawandel und die sich immer mehr ausbreitenden Neobiota. Das Konzept bleibt gegenüber neuen Erkenntnissen und Handlungserfordernissen offen (rollende Planung).

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie und die Schweizerische Gewässerschutzgesetzgebung verlangen zudem eine Zustandsbewertung des Sees. Das Basismonitoring muss daher auch eine geeignete Datenbasis für die Anwendung von Indikations- und Bewertungsverfahren liefern.

### 2.1. Berücksichtigung der unterschiedlichen Themen

#### 2.1.1 Bisherige und neue Monitoringinhalte

Um Trends zu erkennen und verlässliche Prognosen abgeben zu können, werden alte und neue Untersuchungsinhalte als Langzeitmonitoring aufgegleist und deshalb in regelmäßigen auf das Thema abgestimmten Intervallen erhoben. Zusätzliche Untersuchungsinhalte, die zum Verständnis von Zuständen und Prozessen beitragen, werden als Sonderuntersuchungen in eine Gesamtschau mit aufgenommen.

Ein Schwerpunkt bleibt auf Untersuchungsinhalten im Freiwasser (Pelagial) des Sees, ein weiterer Schwerpunkt soll auf Untersuchungen in der Ufer- und Flachwasserzone gelegt werden. Hier gibt es deutlichen Nachholbedarf. So müssen hier künftig vermehrt die Auswirkungen der Energieeinträge auf die Ausformung des ufernahen Bereichs und des zunehmenden Einflusses der «ecosystem engineers» Makrophyten und Quaggamuschel auf die Habitate der Flachwasserzone berücksichtigt werden.

Der Seeboden ist für umfassende und regelmäßige Untersuchungen weniger gut «zugänglich». Aber auch die 2003 bis 2006 durchgeführte Bodensee-Untersuchung-Seeboden (BUS) der IGKB sollte in den nächsten Jahren regelmäßig wiederholt und damit den veränderten Produktionsverhältnissen im See (Reoligotrophierung) und neuen Besiedlungen (Quagga-Muschel, Destruenten) Rechnung getragen werden.

Die einzelnen Themenbereiche können aktuellen Anforderungen und Fragen angepasst und weiterentwickelt werden. Auch die Effekte der Nutzungen, die direkt auf den Wasserhaushalt, die Wasserqualität, den Energiehaushalt und die Qualität des Ufer- und Flachwasserbereichs wirken, sollen in Ihrer Stärke und Konsequenz abgeschätzt werden können.

Das vorliegende Konzept 2021 stellt die wichtigsten Themenbereiche und Untersuchungsinhalte des IGKB-Basismonitorings vor. Es enthält erste Schätzungen zu den anfallenden Kosten. Adressaten des Monitoring-Konzepts sind Gewässerschutzfachstellen, Fachleute und interessierte Laien mit Fachwissen.

Für jeden Themenbereich wurde ein Datenblatt mit spezifischer Information erstellt. Ein Großteil der Datenblätter werden voraussichtlich im Verlauf des Basismonitorings an den Stand der Kenntnis und Technik angepasst und modifiziert. Dies gilt auch für den hier vorliegenden Synthesebericht. Beides sind Instrumente einer «rollenden» Programmplanung und -umsetzung und erheben aus diesem Grund auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

### 2.1.2 Ziele

Übergeordnete Ziele des IGKB-Basismonitorings sind:

- jeweils aktuelle Kenntnisse über den Zustand des Bodensees zu besitzen;
- durch geeignete Untersuchungsinhalte, richtige Auswahl und Zahl repräsentativer Probe-/Messstellen, geeignete Untersuchungsintervalle, Untersuchungsmethoden und Modelle nach dem Stand der Technik alle wichtigen Veränderungen und Prozesse verfolgen zu können;
- gute und aktuelle Kenntnis über den Einfluss von Klimawandel und Neobiota auf die Limnologie des Bodensees zu besitzen und diese in den Kontext mit Zuständen und Veränderungen des Ökosystems Bodensee stellen zu können;
- Ursache und Bedeutung neu auftretender Phänomene und Entwicklungen zu erkennen;
- die Richtlinien der IGKB und die jeweiligen nationalen Gewässerschutzvorgaben einhalten zu können;
- stets den aktuellen Forschungs- und Handlungsbedarf für den Gewässerschutz am Bodensee bestimmen zu können.

Verschiedene ereignisbezogene Themen können vom IGKB-Monitoring nicht voll und zeitnah erfasst werden. Sie sollen von den Gewässerschutzfachstellen und verschiedenen Forschungseinrichtungen untersucht, auf IGKB-Ebene gesammelt und z.B. in den Grünen Berichten (Statusberichten) der IGKB publiziert sowie auf der digitalen Internet-Plattform der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

### 2.1.3 Kernthemen «Klimawandel» und «aquatische Neobiota»

Alle abiotischen und biotischen Untersuchungsinhalte und deren Ergebnisse sollen im Basismonitoring auch im Kontext mit den erwartbaren Veränderungen des Ökosystems Bodensees durch den Klimawandel und die invasive Ausbreitung aquatischer Neobiota betrachtet werden. Diese Veränderungen betreffen schon jetzt alle räumlichen Kompartimente des Sees (Ufer- und Flachwasserbereich, Freiwasser und Seeboden) und alle Komponenten des Stoffkreislaufs (Lebensräume und Strukturen, Wasserhaushalt, Energieein- und -austrag, Primärproduktion, Prädation, Sedimentation und Stoffabbau, Mineralisierung, Resuspension).

Der von diesen Faktoren abhängige, beschleunigte Prozess der Veränderungen innerhalb des Ökosystems erfordert eine ebenso schnelle und dynamische Reaktion der Gewässerschutzfachstellen und Forschungseinrichtungen. Obwohl auch das künftige IGKB-Basismonitoring ein Instrument der Zustandserfassung und -beschreibung bleibt, fällt der IGKB vermehrt die Aufgabe zu, die Arbeit von Gewässerschutzfachstellen und Forschungseinrichtungen beratend zu unterstützen. Untersuchungen müssen den jeweils neuen Zuständen angepasst und neue Erkenntnisse künftig in kürzeren Intervallen diskutiert werden, z.B.

- Wie schnell, wie oft, wann und in welchem Maße sind Veränderungen der Wassertemperaturen zu erwarten?
- Bei welchen Organismen werden Lebensraumoptima über-/unterschritten?
- Wie kann man Veränderungen in den Stoffkreisläufen/ im Nahrungsnetz erkennen?
- Gibt es Möglichkeiten, den Folgen von Klimawandel und Neobiota entgegenzuwirken?
- Wie und wie schnell verändert sich die Zirkulation im Bodensee?
- Welche Parameter und Organismen sind die besten Indikatoren für den Klimawandel und die Ausbreitung von Neobiota?

## 2.2 Räumliche Untersuchungsbereiche

Als Untersuchungsbereiche werden die weitestgehend vom See überspannten Flächen bezeichnet, innerhalb derer die Messtellen/Probstellen für die einzelnen Untersuchungskomponenten liegen. Die Untersuchungsbereiche sind so gewählt, dass sie charakterlich gut unterscheidbare Seeteile und Seenkompartimente (Unterscheidung nach relativer Lage und Wassertiefe) repräsentieren.

### 2.2.1 Seeteile

Im Basismonitoring werden alle Seeteile berücksichtigt, die hinsichtlich ihrer Beckenform und ihrer abiotischen Prozesse unterschiedliche Mess- und Untersuchungsergebnisse erwarten lassen. Sie orientieren sich am Probstellenraster des Freiwassermonitorings (Abb. 2.1). Alle Themenbereiche/Komponenten ordnen ihre Probstellen so weit wie möglich diesen Seeteilen zu. Es kann sein, dass bei bestimmten Fragestellungen eine noch weiter differenzierte geografische Unterscheidung getroffen werden muss oder Seeteile weggelassen werden können. Bei verschiedenen Themenbereichen werden auch die beiden Seeabflüsse (Seerhein und Hochrhein) berücksichtigt.

### 2.2.2 Seekompartimente (Lebensraumzonen)

Der Begriff «Seekompartiment» bezeichnet eine räumliche Untereinheit des Sees mit eigenständigem Charakter. Die Kompartimente Ufer- und Flachwasserzone (Litoral), Freiwasser (Pelagial) und Seeboden/Tiefenboden (Profundal) werden auch auf Basis ihrer Lebensraumfunktionen voneinander abgegrenzt. Sich frei bewegende Seebewohner, wie z.B. die Fische, durchwandern in ihrem Lebenszyklus individuell verschiedene Seekompartimente, während die festsitzenden Wasserpflanzen an ein Habitat in der Flachwasserzone gebunden bleiben. Das Makrozoobenthos hat als einzelnes Tier auch nur einen begrenzten Mobilitätsradius, als Art kann es sich aber auf dem Seeboden vom Flachwasser in tiefere Zonen ausbreiten.

Zwischen den Kompartimenten gibt es neben den biologischen Austauschprozessen umfangreiche physikalisch-chemische Stoffflüsse. Diese ändern sich vor allem durch periodisch ablaufende hydrologische (Hoch-/Niedrigwasser), jahreszeitliche (Saisonalität) und biologische (Habitatwechsel der Entwicklungsstadien, Vertikalwanderung) Gesetzmäßigkeiten.

#### Ufer- und Flachwasserzone (Litoral)

Rund 15 % der Seeoberfläche liegen über dem Flachwasserbereich. Landseitig beginnt der Uferbereich mit dem Seehag (Uferkante), der in der Regel die Form der geografischen Uferlinie bei mittlerem Hochwasser nachzeichnet, seeseitig schließen sich das zeitweilig überflutete Eulitoral (Wasserwechselzone) und das ständig überflutete Sublitoral (Brecher- und Brandungszone) an, welches sich bis zur Halde (Refraktionszone) in 10-20 m Tiefe erstreckt. Für andere Gewässer und bei Anwendung verschiedener Erhebungsmethoden werden gegebenenfalls davon abweichende Grenzen im Litoral angegeben. Die Flächenunterschiede im Eulitoral zwischen den Wasserständen des Hochwassers 1999 und des Niedrigwassers 2006 betragen 38,3 km<sup>2</sup>, eine Fläche, etwa so groß wie Zellersee und Gnadensee (Seeteile des Untersees) zusammen.

Der Flachwasserbereich ist in der Regel bis auf seinen Grund lichtdurchflutet, so dass er sich mit dem Hauptverbreitungsgebiet der im Bodensee lebenden höheren Wasserpflanzen und Algen deckt. Im Flachwasserbereich liegen die Reproduktionsgebiete der meisten Fischarten und die Hauptverbreitungsflächen der meisten benthischen Wirbellosen und Neobiota.

Die Uferbereiche des Bodensees sind wegen ihrer hohen Attraktivität ein nicht nur dicht besiedeltes, sondern auch touristisch intensiv genutztes Gebiet. Der Erhalt intakter Uferzonen mit Schilfgürteln und Strandrasen, die Vernetzung von Naturräumen sowie die Revitalisierung verbauter Uferabschnitte zählen

seit Jahren zu den wichtigsten Zielen der IGKB. Entsprechend fokussiert werden deshalb Verbauungen und Naturzustände sowie die Beeinflussung/Veränderung der Flachwasserzone im Themenbereich Wasser-Land-Strukturelemente behandelt.

### **Freiwasser (Pelagial)**

Dieser Bereich wird von ca. 85 % der Gesamtfläche des Bodensees überspannt. 90 % dieser Fläche entfallen auf den Obersee. Während das Litoral stark durch seine morphologische Vielfalt geprägt ist, erhält das Freiwasser seine Strukturierung insbesondere durch seine vertikal unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften (Druckverhältnisse, Schichtungen).

Im Freiwasser lässt sich ein vom Licht durchdrungener Wasserkörper (euphotische Zone) vom dunklen Tiefenwasserbereich (aphotische Zone) abgrenzen. Die Lichtstärke nimmt von der Oberfläche zur Tiefe schnell ab, und die spektrale Zusammensetzung des Lichtes ändert sich dabei. Die Quantität des eindringenden Lichtes wird stark von der Dichte suspendierter Partikel (Trübstoffe), insbesondere auch der Planktonorganismen, bestimmt. Der Lebensraum Freiwasser unterliegt durch Strömungen und Schichtungen von Licht und Temperatur dynamischen Einflüssen, die sich auf die Aufenthaltsorte seiner Bewohner, z.B. des Phyto- und Zooplanktons sowie der Fische auswirkt.

### **Seeboden (Profundal)**

Als Seeboden wird im Allgemeinen der unter der Freiwasserzone liegende Bereich bezeichnet. Aufgrund seiner topografischen und physikalischen Besonderheiten wird der Boden des Flachwasserbereichs nicht zum Profundal gerechnet, sondern im Rahmen des Basismonitorings den Strukturelementen der Flachwasserzone zugeordnet. Der Seeboden ist als Oberfläche des Sediments an den Stoffkreisläufen des Bodensees beteiligt. Die Sedimente – das „Gedächtnis“ des Sees – geben durch ihre Beschaffenheit und Schichtung Auskunft über frühere Umweltbedingungen und Episoden wie auch über den gegenwärtigen Zustand des Sees. Der Seeboden ist Lebensraum einer an die speziellen Verhältnisse angepassten Organismengemeinschaft. Diese Gemeinschaft setzt sich überwiegend aus Destruenten zusammen, Organismen verschiedener Gruppen, die ihre Energie aus der Zersetzung organischen Materials ziehen und die Stoffwechselprodukte (u.a. biologisch verfügbares Phosphat) an den Wasserkörper zurückgeben. Der Sauerstoffgehalt in der Wasserschicht über dem Seeboden steuert die Rücklösung von Nährstoffen aus dem Sediment und die Entwicklung pelagisch reproduzierender Fischarten wie den Felchen. Im Zusammenhang mit der sich seit 2016 im Bodensee stark ausbreitenden Quaggamuschel ist eine generelle Umstrukturierung des Seebodens bis in große Wassertiefen zu erwarten.

Die Seebodenareale außerhalb der Flachwasserzone nehmen im Obersee eine Fläche von rund 440 km<sup>2</sup> und im Untersee von rund 53 km<sup>2</sup> ein.

## **2.3 Monitoringkomponenten**

Im IGKB-Basismonitoring werden folgende Monitoringkomponenten behandelt und in unterschiedlicher Tiefe und Häufigkeit untersucht:

- Wasser-Land-Strukturelemente
- Physikalische Parameter
- Wasserchemie
- Phyto- und Zooplankton
- Makrozoobenthos
- Makrophyten
- Phytobenthos
- Aquatische Neobiota

- Mikroorganismen
- Seeboden (Sedimente und Besiedlung)

Für die meisten Monitoringkomponenten wurden bereits Datenblätter erstellt, in denen die Fragestellungen zum Themenbereich, seine Bedeutung für die Strukturen und Prozesse des Sees sowie die Untersuchungsinhalte und Methoden detailliert vorgestellt werden. Eine zusammenfassende Kurzversion dieser Datenblätter wird in Kap. 3 vorgestellt.

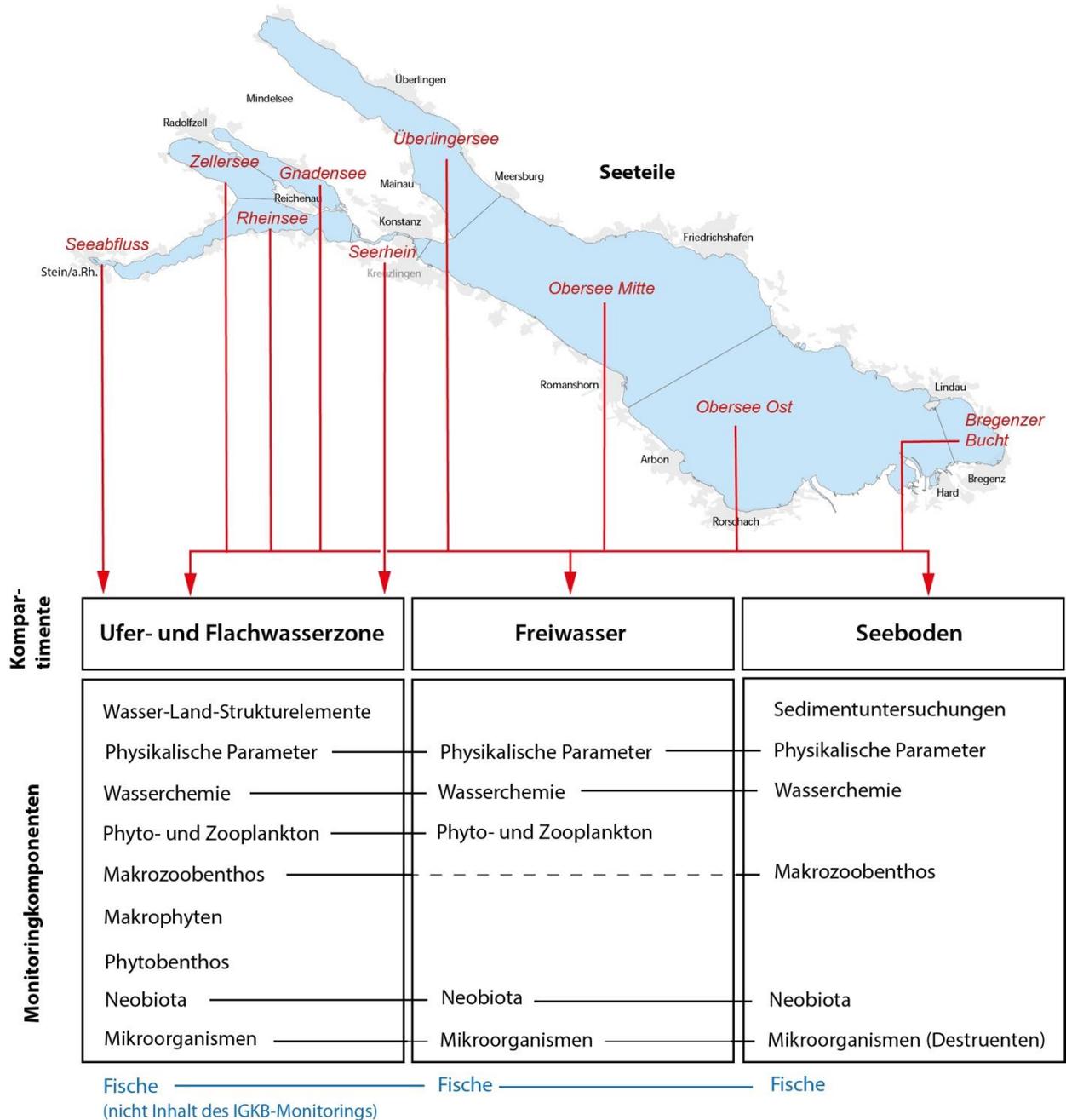


Abb. 2.1: Zusammenhang zwischen Untersuchungsbereichen (Seekompartimenten) und Monitoringkomponenten

## **2.4 Informationssammlung und -auswertung**

### **2.4.1 BOWIS-Datenbank**

Im Bodensee-Wasserinformationssystem (BOWIS) der IGKB werden verschiedene Geodaten, physikalisch chemische Messdaten und biologische Daten der Länder und Kantone vom Bodensee-Einzugsgebiet zusammengetragen und in projektbezogene Themen einzelner Fachbereiche der IGKB ausgewertet und kartographisch umgesetzt. Eine zentrale Datenbank verwaltet die erhobenen Messdaten der IGKB-Messstellen. Die Überwachungsdaten werden auf Anforderung kurzfristig über eine Schnittstelle in einem vorgegebenen Datensatzformat ausgegeben.

### **2.4.2 FISGeQua**

Die im Rahmen des biologischen Monitorings gewonnenen Informationen werden im Datenbanksystem FISGeQua (Fachinformationssystem Gewässer-Qualitätskomponenten) der LUBW abgelegt. Hier kommt es zu Stammdatenbearbeitung, Datenrücklauf, Datenaus- und -bewertung und Datenaufbereitung.

### **2.4.3 Auswertung der Monitoringergebnisse**

Die Auswertung der Monitoringergebnisse (Artenlisten, Häufigkeiten usw., darauf aufbauend Metrics und Indices für biologische Komponenten und aus den Messdaten physikalischer und chemischer Kenngrößen abgeleitete Berechnungen) ist in den Datenblättern zu den Monitoringkomponenten ausführlich beschrieben.

### **2.4.4 Datenqualität und Qualitätssicherung**

Die Datenqualität ist zunächst abhängig von der richtigen Auswahl von Probestellen/(Dauer)messstellen. Diese sind für den Bereich des Freiwassers schon lange festgelegt und liefern Vergleichsdaten von immer denselben Stellen. Die Auswahl von Probestellen/(Dauer)messstellen im Ufer- und Flachwasserbereich geschieht unter Berücksichtigung von Uferneigung, der Breite der Flachwasserzone, der Wellenexposition, von Mündungsbereichen von Zuflüssen usw.

Das IGKB-Basismonitoring erfasst seine Daten nach dem Stand der Technik. Messgeräte müssen immer geeicht und auf die Umgebungsbedingungen kalibriert sein. Die Funktionsfähigkeit ist vor jedem Einsatz zu kontrollieren. Die Qualität der Laboranalysen wird regelmäßig im Ringtest plausibilisiert. Taxonomische Arbeiten sind mit FachkollegInnen abzugleichen.

In den Informationssammlungen der Datenbanken müssen alle Messwerte und relevanten Metadaten hinterlegt sein, um sie mit anderen Themenfelder verknüpfen und in verschiedenem Kontext nutzen zu können.

Aus den biologischen Proben werden Belegsammlungen angefertigt. Sie dienen Vergleichen und Kontrollen bei der Artbestimmung sowie bei der Merkmalsausprägung und den vorgefundenen Größenklassen der einzelnen Arten. Die Belegsammlungen können ausgelagert sein, müssen aber nach vorgegebenem Modus fixiert und archiviert werden (siehe Datenblätter) und müssen den Arbeiten der IGKB zugänglich sein.

### 3 Konzept des IGKB-Basismonitorings

#### 3.1 Fragestellungen

Ein gemeinsames Konzept für unterschiedliche Monitoringkomponenten verlangt auch eine gewisse Gemeinsamkeit in der Vorgehensweise. Auch um die in Kapitel 2.1.2 aufgelisteten Ziele zu erreichen, müssen zu jedem Themenbereich/zu jeder Monitoringkomponente folgende Fragen beantwortet werden können:

Tab. 3.1: Grundsätzliche Fragen zu den Themenbereichen/Monitoringkomponenten des Basismonitorings

Frage	Im Monitoring berücksichtigt als
<u>Was</u> untersuche ich?	Auswahl geeigneter Parameter oder Organismengruppen eines Themenbereichs. Indikatoren für Zustandsveränderungen.
<u>Warum</u> untersuche ich es?	Bedeutung des ausgewählten Themenbereichs / der Komponenten, Fragen zum Themenbereich.
<u>Wie</u> untersuche ich?	Untersuchungs- und Auswertungsmethodik nach dem Stand der Technik/ der guten Umweltpraxis.
<u>Wann</u> untersuche ich?	Erfassung aller Zeiträume mit unterschiedlichen abiotischen und biologischen Zuständen einer Komponente (Saisonalität, Langzeitveränderungen). Zeitraum für Sonderuntersuchungen.
<u>Wie oft</u> untersuche ich?	Dauermessungen, periodische Untersuchungen in bestimmten Intervallen oder einmalige Untersuchungen.
<u>Wo</u> untersuche ich?	Auswahl der für eine Komponente/Fragestellung repräsentativen Messstellen/Probestellen.

#### 3.2 Untersuchungsinhalte der Monitoringkomponenten

Keiner der unter 2.3 aufgeführten Monitoringkomponenten kann hinsichtlich seiner abiotischen und biologischen Charakteristik voll erfasst werden. Für die Untersuchungen müssen deshalb Untersuchungsinhalte ausgewählt werden, die den Zustand des Sees und seine Veränderung möglichst gut repräsentieren können. Lokal auftretende Phänomene (z.B. Algenblüten) sind mit dem Basismonitoring nicht abgedeckt.

Tab. 3.2: Untersuchungsinhalte der verschiedenen Monitoringkomponenten

Monitoring-komponenten	Untersuchungsinhalte
Wasser- und Strukturelemente	Bodenseetopografie
	Morphodynamik des Bodenseeuferes
	Verbauungen der Uferlinie
	Einflüsse/Anlagen der Flachwasserzone
	Wellenschlagwirkung
	Veränderungen der Flachwassersohle
Physikalische Parameter	Wasserstände u.a. Hydrologische Parameter
	Flusswasserfahnen
	Messnetze meteorologische, seenphysikalische und limnologische Parameter
	Trübung, Sichttiefe, Licht
	Verschiedene Fernerkundungsdaten
	Energieeintrag, Wellen, Strömung
Wasserchemie	Physikalisch-chemische Parameter Freiwasser (BOWIS-Liste)
	Spurenstoffe
	Chlorophyll a und andere Algenpigmente, Blaualgentoxine (anlassbezogen) .
Plankton	Phytoplankton-Erhebungen
	Chlorophyllmessungen, Fernerkundung

Monitoring-komponenten	Untersuchungsinhalte
	Zooplankton -Erhebungen
	Bakterienuntersuchungen
Makrozoobenthos (MZB)	Wirbellose der Flachwasserzone
	Wirbellose des tiefen Seebodens (siehe auch «Seeboden»)
Makrophyten	Helophyten, Pleustophyten, Hydrophyten, Haptophyten
Phytobenthos	Benthische Diatomeen
	Sonstige benthische Algen
Neobiota	Makrozoobenthos qualitativ und flächenbezogen Flachwasser
	Makrophyten
	Phytobenthos
	Muschelmonitoring
	Mysidenmonitoring
	Großkrebsmonitoring
	Fische
Seeboden	Sedimentkerne (physikalisch, chemisch, biologisch und paläobiologisch)
	Mikrobiologie des Tiefenbodens (Destruenten)
	Oberfläche des Tiefenbodens (Chemie, O <sub>2</sub> , MZB-Besiedlung)
	Sedimentation von Feststoffeinträgen

### 3.3 Untersuchungsintervalle

Aufgrund der unterschiedlich starken und schnellen Veränderungen verschiedener Strukturen und Parameter werden die Monitoringkomponenten in teilweise stark unterschiedlichen Intervallen untersucht. Solche Intervalle können auch modifiziert werden, wenn die Geschwindigkeit von Veränderungen zu- oder abnimmt. Die empfohlenen Untersuchungsintervalle sind in Tab. 3.3 aufgelistet.

Tabelle 3.3: Empfohlene und derzeit praktizierte Untersuchungsintervalle im Basismonitoring

Monitoringkomponenten/ Untersuchungsinhalte	Untersuchungsintervall		Untersuchungsfrequenz		
	Sonderunter- suchung	Jahre	Messungen /Jahr	saisonal	Dauer- messung
<b>Wasser- und Strukturelemente</b>					
Bodenseevermessungen	x	25			
Morphodynamik der Ufer- u. Flachwasserzone		6	1		
Verbauungen der Uferlinie		6			
<b>Physikalische Parameter</b>					
Wasserstände u.a. hydrologische Parameter		1			x
Flusswasserfahnen, Feststoffeintrag	x				
Messnetze meteorologische, seenphysikalische und limnologische Parameter		1			x
Trübung, Sichttiefe, Licht		1	12 - 24		
Energieeintrag, Wellen, Strömung	Simulation	einmalig			
<b>Wasserchemie</b>					
Physikalisch-chemische Param. (BOWIS-Liste)		1	12-24		(x)
Relevante Spurenstoffe (bisher IGKB-Mon. mit Vergabe)		4	2/3		
Relevante Spurenstoffe nach WRRL (nationales Monitoring)		6	12		
Biota-Monitoring (nationales Monitoring)		1	1		
Blualgentoxine	x				
Chemie der Sedimente und des Tiefenbodens	x				
Chlorophyll a u.a. Algenpigmente		1	12 - 24		

Monitoringkomponenten/ Untersuchungsinhalte	Untersuchungsintervall		Untersuchungsfrequenz		
	Sonderunter- suchung	Jahre	Messungen /Jahr	saisonal	Dauer- messung
<b>Plankton</b>					
Phytoplankton		1	12 - 24		
Zooplankton		1	12 - 24		
Chlorophyll –Messungen mittels Fernerkundung, Blaualgenindikator		1	> 4		
Bakterien im Freiwasser		1	12		
<b>Makrozoobenthos</b>					
Wirbellose der Flachwasserzone		3	1	x	
Wirbellose des Tiefenbodens (Destruenten)		6	1		
<b>Makrophyten</b>					
Helo-, Pleusto-, Hydro- und Haptophyten		6	1	x	
<b>Phytobenthos</b>					
Benthische Diatomeen		6	1	x	
<b>Neobiota</b>					
Makrozoobenthos flächenbez. Flachwasser		1	1	x	
Makrozoobenthos qualitativ Flachwasser		1	1	x	
Makrophyten/Phytobenthos Flachwasser		6	1	x	
Muschelmonitoring (Quagga) Tiefentransekte	(x)	1	1	x	
Mysidenmonitoring	(x)	3	2	x	
<b>Seeboden, Sedimente</b>					
Sedimentkerne	x				
Sedimentation von Feststoffeinträgen	x				x
Seebodenbesiedlung (Makrozoobenthos)	(x)	6	1		
Untersuchung Felcheneier mit Dredge		1	3	x	
Mikrobiologie Seeboden (Destruenten)	x				

Kommt es zu keinen zustandsrelevanten Episoden/Einzelereignissen (s.u.), dann bleiben die Untersuchungsinhalte hinsichtlich Frage «Was wird untersucht?» unverändert. Die übrigen Fragen «Wie? Wann? Wie oft? und Wo?» sind in einem Rahmen modifizierbar, der eine Kontinuität im Informationsgewinn gewährleistet. Dies ist z.B. der Fall, wenn eine neue Methode zur Verfügung steht, Dauermessungen periodische Messungen ersetzen können oder das bisherige Untersuchungsdesign optimiert werden kann (z.B. durch Messketten und Fernerkundungsdaten).

Auch bei optimierten Untersuchungsintervallen können nicht erfasste, episodische oder sehr kurzzeitige Ereignisse auftreten, die zu einer Zustandsveränderung des Systems führen. So können z.B. bei Extremwetterereignissen Wasserstände sehr schnell ansteigen und Durchmischungsprozesse ablaufen; durch starken Energieeintrag/Wellenschlag können Sohl- und Uferstrukturen sowie Makrophytenbestände und Benthosbiozönosen massiv verändert werden. Auf diese muss im Basismonitoring flexibel reagiert werden können, z.B. durch Sonderuntersuchungen und/oder noch höhere Untersuchungsfrequenzen bei einigen Parametern. Durch kürzere Messintervalle bei den physikalischen Standardparametern (z.B. ½-stündlich statt mehrstündlich) kann auch die Dauer schnell ablaufender Ereignisse festgehalten und Temperatur-Spitzenwerte erfasst werden, die besondere Bedeutung für die Lebensraumbedingungen besitzen.

### 3.4 Basis-Messstellen des IGKB-Basismonitorings

#### 3.4.1 Messstellen Im Freiwasser

Die IGKB-Basis-Messstellen des Freiwassermonitorings der Komponenten Physik (vgl. 4.2), Wasserchemie (vgl. 4.3) und Phyto-/Zooplankton (vgl. 4.4) entsprechen denen der bisherigen IGKB-Untersuchungen. Sie

werden ergänzt durch Sondenketten und Datenlogger, die auch an zusätzlichen Messstellen exponiert sein können.

### **3.4.2 Messstellen am Seeboden**

Die Basis-Messstellen für die Untersuchungen des Seebodens (vgl. 4.9) orientieren sich an der BUS-Untersuchungskampagne von 2006. Hier kommen noch drei neue Messstellen im Untersee hinzu.

### **3.4.3 Messstellen in der Ufer- und Flachwasserzone**

Anhand der neuen Erkenntnisse über Energieeinträge und ihre Wirkung auf die Ufer- und Flachwasserzone des Bodensees (siehe Kasten unten) sowie in Abhängigkeit von Uferneigung und Verbauungsgrad wurden 23 Basis-Messstellen für die Untersuchung verschiedener Komponenten der Ufer- und Flachwasserzone festgelegt, und zwar für

- Wasser-Land-Strukturelemente (vgl. 4.1)
- Makrozoobenthos (vgl. 4.5)
- Makrophyten und Phytobenthos (vgl. 4.6 und 4.7)
- Neobiota (vgl. 4.8).

Diese Basis-Messstellen sollen in jedem Fall in den vorgegebenen Intervallen untersucht werden. Bei Makrozoobenthos und Neobiota finden bereits seit 2008 Untersuchungskampagnen an festgelegten Messstellen statt. Bei den Makrophyten/Phytobenthos gibt es schon eine Vorauswahl im Rahmen der WRRL. Liegen die bisherigen Messstellen in direkter Nachbarschaft zu den neuen Basis-Messstellen und repräsentieren sie einen vergleichbaren Lebensraum, dann werden sie zusammengelegt. Im Sinne einer Kontinuität der Messergebnisse werden sie durch diejenigen Stellen ergänzt, die bisher regelmäßig untersucht wurden, aber abseits davon liegen.

#### **Exkurs:** Wie wurden die **Basis-Messstellen** festgelegt?

Unter der Prämisse, dass ca. 30 Messstellen rund um den See hinsichtlich Ufertyp, Energieeintrag und Uferverbauung repräsentativ sind, wurden diese Stellen anteilmäßig auf die Ufertypen verteilt. Da das «mittelsteile Ufer» am Bodensee vorherrschend ist, wurden die meisten Stellen für diesen Ufertyp festgelegt. In einem zweiten Schritt wurden die Daten aus dem Wellenmodell ausgewertet. Diese wurden mit der IGKB-Uferbewertung verschnitten und auf die 1 m- Tiefenlinie projiziert. Stellvertretend für den Energieeintrag wurde die maximale Orbitalgeschwindigkeit (bei Wasserwellen die Bewegung der Wasserteilchen) herangezogen und in fünf Klassen eingeteilt. Die Höhe der Orbitalgeschwindigkeit bestimmt die kritische Sohlschubspannung, die zur Resuspension von Sediment führt. Je höher die Orbitalgeschwindigkeit, desto wahrscheinlicher ist die Resuspension von Sedimenten. Daraufhin wurde ufertypspezifisch die Verteilung der Orbitalgeschwindigkeitsklassen in Kombination mit der Uferverbauung betrachtet. Anhand dieser Verteilung wurde die Messstellenzahl bzgl. Orbitalgeschwindigkeitsklasse und Uferverbauungsgrad festgelegt. Zunächst wurden die vorhandenen Messstellen aus der Beprobung der Makrophyten und des Makrozoobenthos auf Eignung hinsichtlich der o.g. Kriterien geprüft. Auf diese Weise konnten 19 Messstellen festgelegt werden. Zusätzlich wurden noch vier weitere Messstellen ergänzt. Insgesamt konnten 23 Basis-Messstellen ausgewählt werden. Die festgelegten Kriterienkombinationen konnten nicht in allen Fällen in ausreichender Qualität gefunden werden, da die Kombinationen häufig sehr kleinräumig wechseln und für die Auswahl als Basis-Messstelle Uferabschnitte ausgewählt werden sollten, die über größere Strecken (mindestens 200-300 m) vergleichbare Bedingungen aufweisen.

## 4 Datenblätter der Monitoringkomponenten (Kurzfassung)

### 4.1 Wasser-Land-Strukturelemente

#### Beschreibung

Im Ufer- und Flachwasserbereich sind Land und Wasser natürlicherweise komplex miteinander verzahnt; hier finden ausgeprägte Austauschprozesse zwischen Land, Luft, Wasser und Seeboden statt. Wasserstandsschwankungen prägen über den Angriffsbereich und die Stärke des Wellenschlags und über unterschiedliche Strömungen das Erosionsgeschehen und damit die Morphologie des Ufers und des Bodenseelitorals. Sedimente werden immer wieder remobilisiert und neu sortiert.

Die Nutzung des direkten Uferbereichs als Siedlungsraum für den Menschen brachte die Notwendigkeit baulicher Einrichtungen zum Schutz vor Erosion und Hochwasser mit sich. Aufschüttungen und Ufermauern finden sich heute vor allen größeren Orten wie auch an Stellen, an denen die Verkehrs-Infrastruktur das Bodenseeufer berührt. Während bei natürlichen Ufern, v.a. Flachufern, die Energie der auflaufenden Wellen weitgehend schadlos abgepuffert wird, wird sie bei hart verbauten Ufern reflektiert oder uferparallel umgelenkt. So kommt es besonders in benachbarten unverbauten Uferabschnitten zu starken Erosionserscheinungen und zur Kliffkantenbildung. Mit Hilfe der IGKB-Seeuferbewertung wurden Defizite erkannt, lokalisiert und der Handlungsbedarf formuliert.

#### Ökologische Bedeutung

Der Ufer- und Flachwasserbereich des Sees ist das strukturreichste und in dessen Folge auch das an verschiedenen Habitaten reichste und produktivste Kompartiment des Sees. Zahl und Qualität der Wasser-Land-Strukturelemente bestimmen das Habitatangebot und damit auch das Reproduktions- und Wachstumspotenzial in der Ufer- und Flachwasserzone.

Klimatisch bedingte Wasserstandsschwankungen, stärkere Wellenerosion und biogene Prozesse (z.B. die Verbreitung der Quaggamuschel als «neues» Seebodensubstrat oder die dynamische Schilfentwicklung) führen neben den verschiedenen Nutzungen zu strukturellen Veränderungen im Ufer und Flachwasserbereich mit allen Folgen für die Besiedelbarkeit und Produktivität dieses Kompartiments.

Die Indikations- und Bewertungssysteme werden in der ausführlichen Fassung des Datenblatts vorgestellt.

#### Was untersuche ich?

##### Grundlagen:

- Topografie des Sees (Projekt Tiefenschärfe)
- Ufertypen
- Wellenexposition
- Lage der Zuflussmündungen und Feststoffeintrag
- Wasserstände, Wasserwechselzonen

##### Systemparameter in den Untersuchungsbereichen:

- Ausdehnung und Charakter des Ufer- und Flachwasserbereichs
- Erosions- und Sedimentationsbereiche (Abgleich mit Wellenmodell)
- Verbauungen und Störungen im Ufer- und Flachwasserbereich (IGKB-Seeuferbewertung)
- Permanente Nutzungseffekte (Schifffahrt – Anlagen, Ankerkettenkreise, Wellenschlag, Badebetrieb)
- Bewuchsflächen und Texturen mit Makrophyten
- Substratkategorien, Substratsortierung
- Unterscheidung von Habitatkategorien

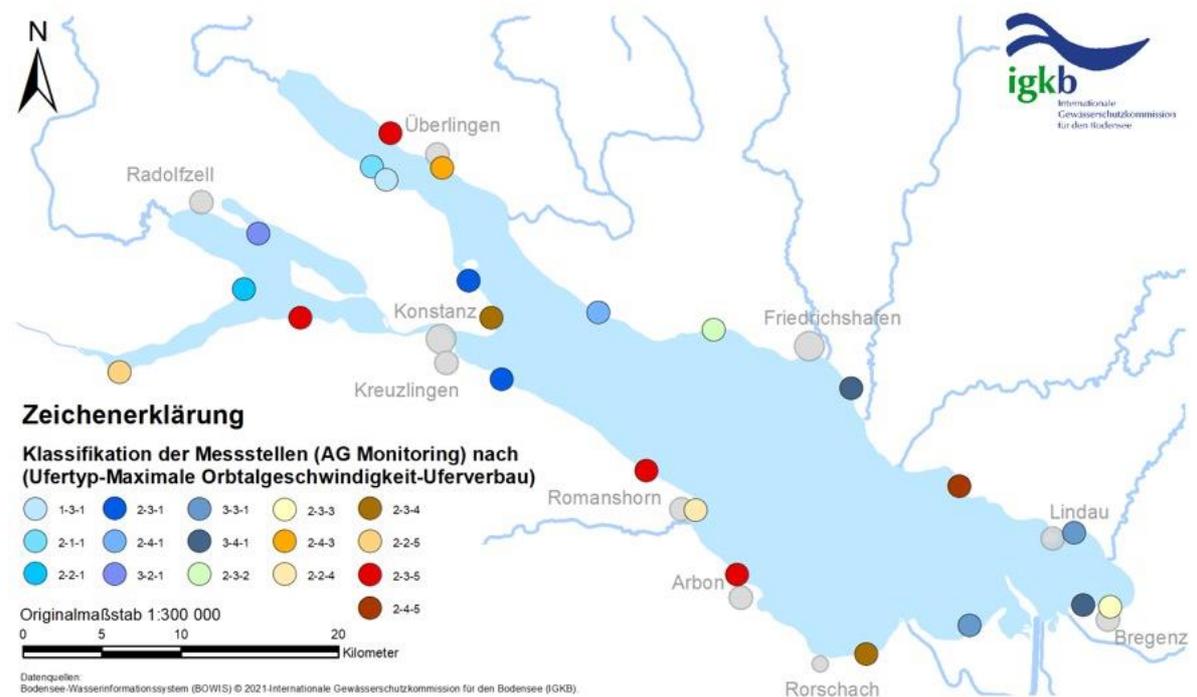
Dynamische Prozesse bzw. Entwicklungen werden mit der Bodensee-Uferbewertung unzureichend abgebildet. Kenntnisse über dynamische Prozesse können beispielsweise über ein Substratmonitoring erlangt werden und für Fragestellungen im Zusammenhang mit Erosion, Sedimentumlagerung, Ablagerung oder Verlandungstendenzen (z.B. vor Ufermauern) dienlich sein. Auch ein Vegetationsmonitoring (z.B. Entwicklung des Schilfbestands, Strandrasen etc.) ermöglicht Aussagen über die Strukturdynamik im Seeuferbereich. Änderungen der Vegetationsstruktur wirken sich auf das Habitatangebot von Tieren aus und haben somit direkte Auswirkungen auf die aquatische, amphibische

	<p>und terrestrische Fauna. Auch können Vegetationsänderungen den Nutzungsdruck aufzeigen.</p>
<p><b>Warum</b> untersuche ich?</p>	<p>Im Zentrum der Untersuchungen stehen die Fragen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie natürlich ist das Bodenseeufer?</li> <li>• Wie dynamisch ist ein natürliches Bodenseeufer?</li> <li>• Wie wirkt sich der Energieeintrag (durch Wellenschlag, durch Wellenreflexion) auf die Ufer- und Flachwasserstrukturen aus?</li> <li>• Wie verändern sich die Wasser-Land-Strukturelemente über die Zeit?</li> <li>• Welche Veränderungen sind natürlich, welche anthropogen, welche klimabedingt und welche durch die strukturierende Wirkungen von Neobiota wie Muschelkolonien und Makrophyten verursacht?</li> <li>• Wie wirkt sich der Einfluss anthropogener (Uferverbau, Stoffeinträge) und klimabedingter Veränderungen in der Flachwasserzone und im Uferbereich auf das biologische Verhalten des Systems aus bzw. welche Prozesse werden dadurch in Gang gesetzt?</li> <li>• Welche Zusammenhänge bestehen zwischen einer veränderten Uferstruktur und der biozönotischen Struktur?</li> </ul>
<p><b>Wie</b> untersuche ich?</p>	<p><u>Datenerhebung:</u></p> <p>Die Datenerhebung (Kartierung, Bewertung) erfolgt – wie schon bei der IGKB-Seeuferbewertung – grundsätzlich vor Ort mittels Begehung und/oder uferparallelem Befahren mit einem Arbeitsboot. Die Daten werden in ein Feldprotokoll notiert und fotodokumentiert. Zur Optimierung des Arbeitseinsatzes vor Ort sind – sofern verfügbar – Informationen vorab aus Luftbildern, Fotos, Karten, diversen anderen Kartierungen (z.B. Makrophytenkartierungen) etc. beizuziehen. Die Erhebungen im Gelände lassen sich dadurch u.U. auf wenige Kriterien beschränken.</p> <p>Je nach Fragestellung sind detailliertere Erhebungen notwendig, insbesondere dann, wenn zusätzlich Lebensgemeinschaften zu berücksichtigen sind (z.B. bei Erfolgskontrollen im Rahmen von Renaturierungsprojekten).</p> <p>Eine präzise Bilanzierung des strukturellen Zustands und dessen Veränderungen auf Basis sog. Habitatflächenanalysen ist wie folgt möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die natürlichen und künstlichen Wasser-Land-Strukturelemente werden auf jeweils definierten Uferabschnitten mit der Drohne erfasst.</li> <li>• Zur Interpretation optisch unterscheidbarer Habitatflächen werden entsprechende Referenzuntersuchungen vor Ort im Flachwasserbereich durchgeführt.</li> <li>• Die definierbaren Struktur- und Habitatflächen werden im GIS räumlich unterschieden und in Flächen (Polygone) unterschiedlicher Struktur und Habitateigenschaften (z.B. hinsichtlich Benetzung, Substratzusammensetzung, Cover, Bewuchs, Totholz/Detritus sowie Verbauungs und Schadensflächen u.a.) sichtbar gemacht.</li> <li>• Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Erhebungen können die Flächen verschiedener Zeitpunkte direkt verglichen und bilanziert werden (z.B. Zunahme von Schilfflächen, Veränderung von Kies gegenüber Sandsubstrat u.a.).</li> </ul> <p><u>Indikations- und Bewertungssysteme:</u></p> <p>Neben der IGKB Bodensee-Uferbewertung gibt es noch verschiedene Ansätze der Seeufer- und Flachwasserbewertung. Diese sind im ausführlichen Datenblatt beschrieben. Es wird eine unterschiedliche Zahl hydromorphologischer und biologischer Einzelkriterien erfasst und bewertet. Die Bewertung erfolgt – entsprechend der WRRRL - nach dem Maß ihrer Abweichung von einem definierten Referenzzustand.</p>
<p><b>Wann</b> untersuche ich?</p>	<p>Hauptuntersuchung: zur Vegetationsperiode der Wasserpflanzen Referenzuntersuchung: Winterverhältnisse ohne Vegetation</p>

<b>Wie oft</b> untersuche ich?	Die WRRL sieht für den Zeitraum der überblicksweisen Überwachung ein Intervall von 6 Jahren vor. Für die Wirkungs-/Erfolgskontrolle von Seeufer-Renaturierungen werden Nachuntersuchungen aller relevanten Parameter nach 1, 2 und 5 Jahren vorgeschlagen.
<b>Wo</b> führe ich die Untersuchungen durch?	An repräsentativen Standorten können Probestellen eingerichtet werden, die übertragbare Aussagen für den Bodensee zulassen. Gerade für die Praxis, für die Planung von Renaturierungen, sind Kenntnisse über dynamische Prozesse und Entwicklungen hilfreich. Die Auswahl der Probestellen erfolgt auf Basis der Kenntnisse aus der IGKB-Seeuferbewertung und der Unterscheidung von Ufertypen. Die Untersuchungsstellen werden so gewählt, dass sie einen entsprechenden Ufertyp repräsentieren, die jeweilige Untersuchungsstelle steht repräsentativ für vergleichbare Uferabschnitte (Basis-Messstellen).

**Probeabschnitte Wasser-Land-Strukturelemente**

50m-Abschnitte der IGKB-Seeuferbewertung - Sonderuntersuchung.


**Basis-Messstellen**

**Fachliche Querverbindungen**
**Phytobenthos, Makrophyten, Makrozoobenthos, Fische:**

- Siedlungssubstrat, Lebensraum, Reproduktionsraum/-substrat

**Uferchemie:**

- Stoffsenken mit unterschiedlichen Parameterwerten
- Umsatz von POM (partikuläres, organisches Material), Remineralisierung

**Physik/Energieeintrag:**

- Temperatur, Strömung, Wellenschlag

## 4.2 Physikalische Parameter

### Beschreibung

Unter «Physikalische Parameter» sind alle abiotischen Wirkgrößen subsumiert, die von außen und innen auf die Wasserqualität, die Wassermenge und die Lebensraumverhältnisse des Bodensees einwirken. Hierzu gehören unter anderem hydrologische Parameter (Zufluss/Abfluss, Wasserstand), klimatische Parameter (Wind, Wellenenergie Niederschläge/Verdunstung, Globalstrahlung), der physikalische Zustand des Wassers und des Sediments (Temperatur, Feststofftransport, Trübung, Redox) sowie physikalische Prozesse (Zirkulation, Schichtung, Strömung). Zwischen physikalischen und chemischen Parametern gibt es keine klare Trennlinie.

### Ökologische Bedeutung

Physikalische Parameter prägen und bestimmen die meisten Prozesse im Bodensee. Der physikalische Kontext des Sees bestimmt durch die thermodynamischen und hydrodynamischen Prozesse und Parameterfelder die im See ablaufenden chemischen und biologischen Prozesse. Damit beeinflusst er auch wesentlich die Entwicklung des Ökosystems See.

Die physikalischen Außeneinflüsse Wind, Lufttemperatur und Globalstrahlung steuern die seeinternen Prozesse wie die Zirkulation, den Wasseraustausch und die Schichtung. Auch die hydrologischen Parameter und der Feststoffumsatz werden unter diesem Themenbereich abgehandelt und spielen eine entscheidende Rolle im See. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel gewinnen mehr und mehr die physikalischen Prozesse in der Ufer- und Flachwasserzone an Bedeutung.

Vor allem in der Ufer- und Flachwasserzone mit ihren meist sehr großen räumlichen Gradienten der limnologischen Größen (z.B.: Sedimentverteilungen, Makrophyten, Algen, Trübung etc.) und den häufig schnell ablaufenden zeitlichen Fluktuationen der gemessenen Parameter, ist die kontinuierliche Erfassung von physikalischen Parametern eine wichtige Voraussetzung, um die vor Ort erhobenen Daten und limnologischen Kenngrößen besser interpretieren und in ihren zeitlichen Kontext einordnen zu können.

### Was untersuche ich?

#### Außeneinflüsse:

- Wind
- Lufttemperatur
- Niederschlag
- Globalstrahlung
- Zufluss und Abfluss
- Feststoffein- und austrag

#### Systemparameter:

- Wasserstände
- Wassertemperatur (vor Ort und mittels Ferndaten)
- Leitfähigkeit → einfacher Indikator für Wasserkörper z.B. Flusswasserfahnen
- Trübung → Parameter, der Resuspensionsereignisse anzeigen kann aber auch Indikationen auf starke Algenblüten gibt

#### Parameter mit Überschneidung zu Themenbereichen Plankton und Chemie:

- Chlorophyll a → allgemeiner Parameter zur Beschreibung der Algenentwicklung
- Algendetektion mit Fluoreszenz-Sonden, Bestimmung von Algenklassen
- pH-Wert + Redoxpotenzial → wasserchemische Charakterisierung des Wasserkörpers

#### Strömungsdynamik - ADCP:

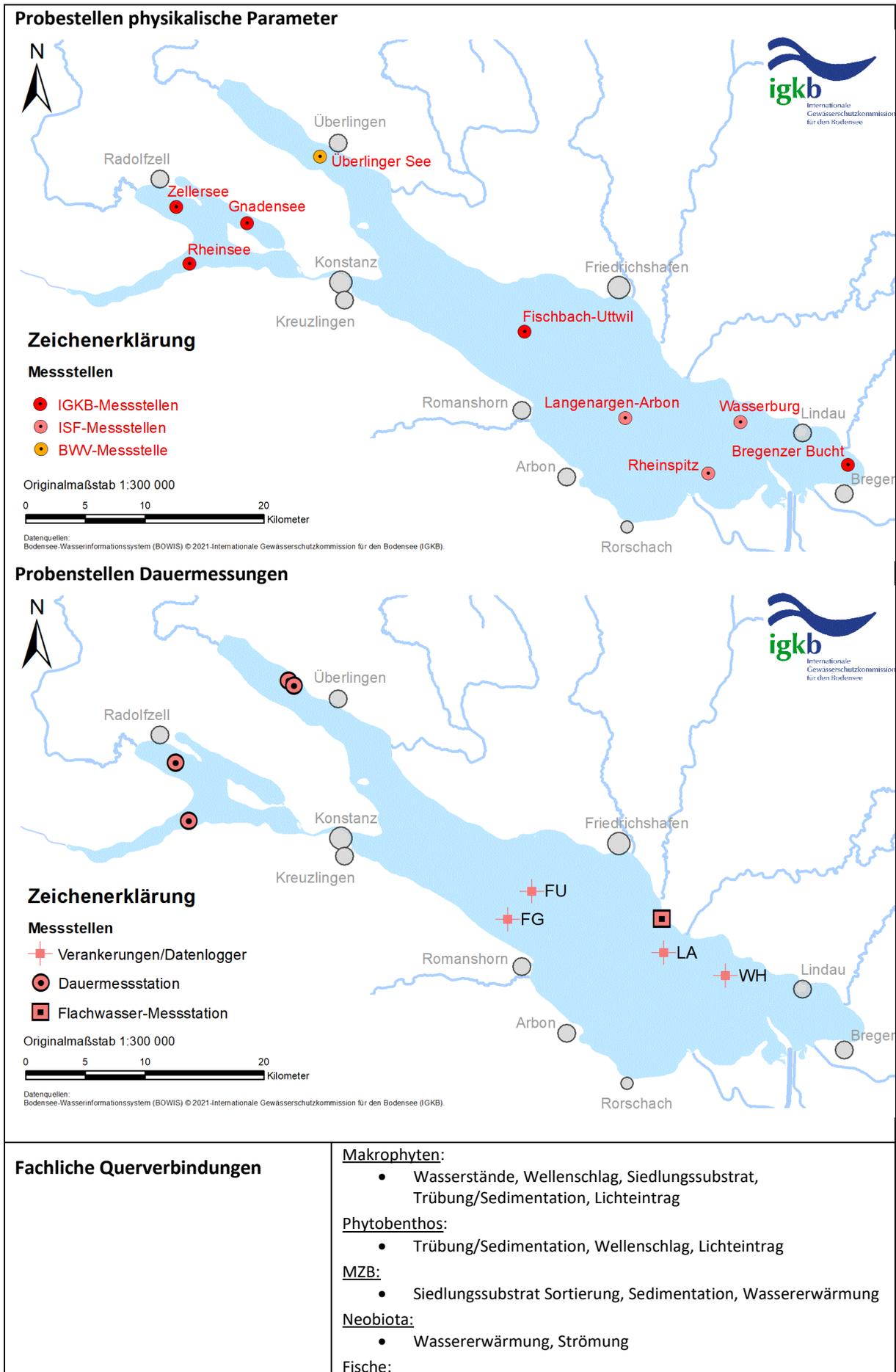
- Hochaufgelöste Strömungsprofile → Transportprozesse
- Wellen → wesentlich für Sedimenttransportprozesse
- Backscatter „Akustische Trübung“ → Indikation für Schwebstoffe und Algen

Zukünftige Anwendungen von Fernerkundungsverfahren stellen eine weitere unabhängige potenzielle Informationsquelle für ein Monitoring der Flachwasserzone dar.

Die Daten der aktuell für den Bodensee betriebenen numerischen Modelle, können die mit verschiedenen Methoden gewonnen Messdaten ergänzen und bilden die dynamischen Prozesse im Bodensee 3-dimensional räumlich

	<p>hochauflösend, seeweit und zeitlich kontinuierlich ab. Sie liefern somit wesentliche Informationen zur Interpretation und Einordnung der gewonnenen Messdaten.</p>
<p><b>Warum</b> untersuche ich?</p>	<p>Die Kenntnis physikalischer Rahmenbedingungen ist die Grundvoraussetzung dafür, Zustände der limnologischen Komponenten (abiotisch und biotisch) erklären und Veränderungen dieser Komponenten richtig einordnen zu können.</p> <p>Physikalische Prozesse beeinflussen die biologischen und chemischen Komponenten stark und weisen eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität auf, unter anderem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erwärmungs- und Abkühlungsprozesse</li> <li>• Eintrag und Verteilungsmuster von Flusswasserfahnen und deren mitgeführten spezifischen Wasserinhaltsstoffen</li> <li>• Eintrag und Ablagerung von Sedimentfrachten</li> <li>• Wellen und -strömungsbedingte Resuspensions- und Sedimenttransportprozesse</li> </ul>
<p><b>Wie</b> untersuche ich?</p>	<p>Die Messungen physikalischer Parameter greifen eine große Palette von Messmethoden mit speziellen Messgeräten ab, die hier nicht im Einzelnen aufgeführt werden. Überschneidungen gibt es zwischen dem physikalischen, dem chemischen und dem biologischen Themenbereich. Chemische (O<sub>2</sub>, Redox-Potenzial, H<sub>2</sub>S u.a.) und biologische Parameter wie Chlorophyll werden z.B. erfasst, indem die physikalische Komponente des Parameters gemessen wird (z.B. biol. Aktivität mit Infrarot oder Fluoreszenzsonden oder organische Trübung mit Extinktionsmessung). Eine grundsätzliche Unterscheidung ist zu treffen zwischen Methoden der Fernerkundung und der Vor-Ort Messung.</p> <p>Einzelne Messkampagnen, die in größerem zeitlichen Abstand durchgeführt werden, haben ihren Stellenwert im Kontext der Untersuchung anderer Themenbereiche/Komponenten, können aber z.B. die schnellen Parameterfluktuationen in der Flachwasserzone nur episodisch erfassen und kein umfassendes Bild der zeitlichen Dynamik der Umgebungsbedingungen liefern.</p> <p>An Dauermessstationen kann die Gesamtheit der zeitlichen Dynamik erfasst und können die tatsächlich am Standort auftretenden Parameter-Impakte und Variationsbandbreiten der Umweltparameter erfasst werden. Zum einen können anhand der kontinuierlichen Messungen der Monitoringstationen einzelne Messkampagnen in den Kontext der zeitlich hochdynamischen Prozesse im See eingeordnet werden und Fernerkundungsdaten anhand zeitlich synchroner Messdaten validiert werden.</p> <p>Zum anderen dienen Messstationen als Validationsstationen für numerische Modelle, mit deren Messungen überhaupt erst eine detaillierte Bewertung der Güte und Aussagekraft der numerischen Modelle in diesen extrem variablen Kompartimenten des Bodensees möglich wird.</p> <p>Durch die synergistische Zusammenschau der verschiedenen physikalischen Datenquellen – einzelne episodische Messkampagnen, kontinuierliche Messung mit einer Messstation und Simulation mit numerischen Modellen sowie den Gewässerqualitätsdaten der satellitenbasierten Fernerkundung - kann man ein umfassendes Bild der Umweltbedingungen im gesamten See erhalten.</p>
<p><b>Wann</b> untersuche ich?</p>	<p>ganzjährig</p>
<p><b>Wie oft</b> untersuche ich?</p>	<p>Standard-Parameter des IGKB-Monitorings: 14-täglich</p>

	<p>ISF-Messstellen, Obersee: in der Regel 14-täglich</p> <p>Fluoreszenzoptische Messung der Algenklassen: 14-täglich bis monatlich</p> <p>Dauermessstationen: kontinuierliche Messungen z.B. alle 15 min</p>
<p><b>Wo</b> führe ich die Untersuchungen durch?</p>	<p>Messungen der physikalischen Parameter erfolgen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• an den Probestellen des Freiwassermonitorings (5 IGKB Messstellen, eine Messstelle der BWV)</li> <li>• an physikalisch-chemisch interessanten Standorten der Flachwasserzone (z.B. in Flusswasserfahnen, an besonders wellenexponierten und im Wellenschatten befindlichen Orten),</li> <li>• in Bereichen mit besonderen Schichtungs- und Zirkulationphänomenen wie der Bregenzer Bucht und dem Konstanzer Trichter,</li> <li>• gesonderte Trübungsmessungen erfolgen in Quell- und Auswirkungsbereichen permanenter oder künftiger Trübungsquellen (v.a. Alpenrhein).</li> <li>• Autonome Dauermessstationen werden aktuell an 4 Standorten eingesetzt (davon jeweils zwei von der BWV und der LUBW). Ein weiterer Standort im Rheinsee ist in Planung (Amt für Umwelt, Kanton Thurgau). Für eine optimale kontinuierliche Dauerbeobachtung physikalischer Parameter wären noch 3 weitere Dauermessstationen zweckmässig.</li> <li>• Im Obersee sind an 4 Stellen im Tiefenbereich (&gt; 50 m Wassertiefe) Datenlogger verankert</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wassererwärmung, Zirkulation, O<sub>2</sub>-Regime (Eientwicklung), Wellenschlag (Deckungsstrukturen)</li> </ul> <p><u>Phytoplankton:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wassererwärmung, Zirkulation, Schichtung, Strömung, Globalstrahlung /UV-Belastung</li> </ul> <p><u>Chemie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Einträge über Zuflüsse, Wassererwärmung, Zirkulation, Resuspension von Nährstoffen aus Sedimenten, O<sub>2</sub>-Regime, pH-Wert, Co<sub>2</sub>, Nährstoffe: Phosphor und Stickstoff, Umsatz von POM (partikuläres, organisches Material)</li> </ul>
--	---

### 4.3 Wasserchemie

<p><b>Beschreibung</b></p> <p>Zur Erfassung des chemisch-stofflichen Zustands des Bodensees werden vor allem die Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Silikat), wichtige Anionen und Kationen sowie Sauerstoff und bestimmte redoxsensitive Parameter (Eisen, Mangan) gemessen. Daneben werden auch Basisparameter wie Härte, Säurebindungsvermögen und pH-Wert regelmäßig bestimmt. Jede Probenahme beinhaltet auch die Aufnahme eines Tiefenprofils der physikalischen Parameter Druck, Temperatur und Leitfähigkeit sowie ggf. Sauerstoff mittels Sonde. Spurenstoffe (Arzneimittel, Umwelttoxine, Pestizide, hormonaktive Stoffe, Schwermetalle u.a.) werden erst seit 2008 intensiver durch die IGKB untersucht.</p> <p><b>Ökologische Bedeutung</b></p> <p>Die Stoffflüsse chemischer Parameter und der Eintrag von Nährstoffen und Mikroverunreinigungen sind – ähnlich wie die physikalischen Wirkgrößen – entscheidende Stellschrauben für alle biologischen Prozesse im Bodensee. Seit den 1960er Jahren werden im Rahmen des «Freiwassermonitorings» regelmäßig wichtige chemische Parameter zur Erfassung der stofflichen Belastung im Wasser des Bodensees und seinen Zuflüssen gemessen. Im Fokus stand schon in den ersten Jahren der IGKB-Arbeit das Problem der Phosphatbelastung, die in der Folge zur Eutrophierung des Bodensees mit all ihren Folgen für die Seebiozönosen geführt hat. Erkenntnisse aus den regelmäßigen Messungen der chemischen Belastungen des Sees bilden noch immer die Grundlage für die Empfehlung von Maßnahmen durch die IGKB an die Mitgliedsländer, um das Ökosystem Bodensee wieder in einem guten, intakten Zustand zu halten. Ein Meilenstein dieser Arbeit war der flächendeckende Ausbau von Kläranlagen.</p> <p>Im Bodensee kommt neben dem Standard-Monitoring Wasserchemie außerdem dem Thema Spurenstoffe eine hohe Bedeutung zu.</p>	
<p><b>Was untersuche ich?</b></p>	<p><u>Außeneinflüsse:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nährstoffeintrag/Eintrag von Mikroverunreinigungen aus dem Einzugsgebiet</li> </ul> <p><u>Systemparameter (BOWIS-Parameterliste):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Härte, Säurebindungsvermögen, pH-Wert</li> <li>Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Silikat)</li> <li>Anionen und Kationen (Chlorid, Magnesium, Calcium, etc....)</li> <li>Redoxsensitive Parameter (z.B. Eisen, Mangan)</li> <li>Sauerstoffkonzentration</li> <li>Pigmente, z.B. Chlorophyll a (werden ebenfalls als physikalisch-chemische Parameter geführt)</li> </ul> <p><u>Spurenstoffe (Messprogramm wird entsprechend neuer Erkenntnisse angepasst):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pflanzenschutzmittel</li> <li>Arzneimittel</li> <li>Röntgenkontrastmittel</li> <li>Hormone</li> <li>Industriechemikalien</li> <li>Transformationsprodukte</li> </ul>

	<p>Spurenstoffuntersuchungen, die zur Umsetzung der EG-WRRL erfolgen, umfassen auch Biotabeprobungen und die entsprechende Analytik.</p> <p>Die <u>Indikations- und Bewertungssysteme</u> werden in der ausführlichen Fassung des Datenblatts vorgestellt.</p>
<b>Warum</b> untersuche ich?	<p>Der gute chemische Zustand des Bodenseewassers mit Trinkwasserqualität muss erhalten bleiben. Hierzu sind regelmäßige Untersuchungen geeigneter Belastungsparameter und Spurenstoffe unverzichtbar. Die Monitoringdaten werden darüber hinaus auch zur Beurteilung aktueller Themen des Gewässerschutzes/der Gewässerökologie im Bodensee herangezogen.</p> <p>Im Hinblick auf den Klimawandel sind verschiedene Fragestellungen (erweiterbar) von Bedeutung, für die sich anhand von Modellrechnungen und auch Monitoringdaten bereits bestimmte Entwicklungen zeigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie beeinflussen veränderte Wassertemperaturen die Zirkulation im Frühjahr?</li> <li>• Wie wirkt sich eine abgeschwächte Zirkulation auf den Sauerstoffgehalt im Tiefenwasserbereich aus?</li> <li>• Wie wirken sich möglicherweise abnehmende Sauerstoffkonzentrationen auf bestimmte Lebensgemeinschaften (z.B. Fische) aus?</li> <li>• Wie beeinflussen abnehmende Sauerstoffkonzentrationen Zersetzungs- und Rücklöseprozesse?</li> <li>• Wie wirkt sich eine verstärkte Freisetzung von Phosphor auf die Entwicklung von Blaualgenblüten aus?</li> <li>• Könnten Blaualgenblüten mit toxischen Arten Auswirkungen auf die Wasserqualität haben?</li> <li>• Wie wirken sich zunehmende Extremereignisse auf die Wasserqualität aus?</li> </ul> <p>Auch Neobiota könnten die Chemie des Freiwasser wesentlich beeinflussen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie wirkt sich die dichte Besiedlung des Seebodens mit der Quaggamuschel auf den Nährstoffkreislauf, insbesondere von Phosphor aus?</li> </ul>
<b>Wie</b> untersuche ich?	<p>Eine IGKB-Probenahme umfasst standardmäßig die Entnahme von Wasserproben aus definierten Tiefen (Tiefenprofil). Die Proben werden mittels Wasserschöpfer entnommen, in Probengefäße abgefüllt, ggf. vorbehandelt (z.B. fixiert, angesäuert) und zur weiteren Aufbereitung und chemischen Analytik ins Labor gebracht. Jede Probenahme beinhaltet auch die Aufnahme eines Tiefenprofils der physikalischen Parameter Druck, Temperatur, Leitfähigkeit sowie ggf. Sauerstoff mittels Sonde. Zusätzlich wird die Sichttiefe mit einer Secchi-Scheibe bestimmt.</p>
<b>Wann</b> untersuche ich?	<p>ganzjährig</p>
<b>Wie oft</b> untersuche ich?	<p>Standard-Parameter des IGKB-Monitorings: monatlich          Sondermessstellen ISF: monatlich          Pigmente: 14-täglich bis monatlich          Spurenstoffe:          2/3 x im jeweiligen Messjahr (IGKB-Monitoring mit 35 Stoffen)          12 x im jeweiligen Messjahr (WRRL-Monitoring ISF)          3 x pro Jahr (Pestizide ISF), monatlich bis 2-monatlich (Messprogramme Bodensee-Wasserversorgung)</p> <p>Biota ISF: 1 x jährlich</p>

<p><b>Wo</b> führe ich die Untersuchungen durch?</p>	<p>Die physikalischen und chemischen Daten werden an denselben Stellen erhoben, da sie eng miteinander verknüpft sind (z.B. Temperatur-, O<sub>2</sub>- und pH-Abhängigkeit chemischer Prozesse) und einige chemische Parameter zusätzlich mit physikalischen Methoden gemessen werden. Die Messstellen sind dabei so im See verteilt, dass die einzelnen Teilbecken vollständig charakterisiert werden können (Bregenzer Bucht, Seemitte, Überlinger See, Seerhein, Gnadensee, Zellersee, Rheinsee).</p>
<p><b>Probestellen Wasserchemie</b></p>  <p><b>Zeichenerklärung</b></p> <p><b>Messstellen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● IGKB-Messstellen</li> </ul> <p>Originalmaßstab 1:300 000</p> <p>Datenquellen: Bodensee-Wasserinformationssystem (BOWIS) © 2021-Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)</p>	
<p><b>Fachliche Querverbindungen</b></p>	<p><u>Phytobenthos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe, Wachstum, Photosynthese, beeinflusst Parameter CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, pH-Wert</li> </ul> <p><u>Makrophyten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe, Wachstum, Photosynthese, beeinflusst Parameter CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, pH-Wert, Sedimentchemie</li> </ul> <p><u>Makrozoobenthos, Zooplankton, Fische, Wasservögel:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Akkumulation von Umweltgiften, Beeinflussung Reproduktion</li> </ul> <p><u>Neozoische Muschelarten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beeinflussung von Stoffflüssen (Phosphor), Thiaminasebelastung, Akkumulation von Umweltgiften</li> </ul> <p><u>Phytoplankton:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe, Produktion, Sauerstoffzehrung auf dem Seeboden</li> </ul> <p><u>Physik/Energieeintrag:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatur (stoffliche Verteilung durch Strömungen, Zirkulations- und Schichtungsprozesse, temperaturabhängige Reaktionen und Stoffabbau, Löslichkeiten von CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>, pH-Wert), Energieeintrag (Resuspension von Nährstoffen aus Sediment)</li> </ul>

## 4.4 Phyto- und Zooplankton

### Beschreibung

Unter Plankton versteht man Organismen bis zu einer Größe von wenigen Millimetern, deren Eigenbewegung als gering relativ zu Wasserströmungen angesehen wird. Zudem wird unterschieden zwischen dem Holoplankton, Arten die während ihres gesamten aktiver Lebenszyklus eine planktische Lebensweise aufweisen, und dem Meroplankton, welches nur in einem bestimmten Lebensabschnitt planktisch lebt. Zu letzteren Planktern gehören z.B. die Larven der Dreissena Muscheln oder auch Fischlarven.

### Ökologische Bedeutung

Das Phyto- und Zooplankton stellt zusammen mit den Fischen das Nahrungsnetz des Pelagials und bildet in einem großen See wie dem Bodensee die wichtigste Produktionsquelle und somit die Ernährungsgrundlage der pelagischen Fische. Auf Grund ihrer geringen Größe reagieren planktische Organismen schnell auf Umweltveränderungen und stellen somit geeignete Indikatoren für Umweltveränderungen dar.

Durch das Monitoring des Phytoplanktons konnte der Einfluss der Eutrophierung und der Re-Oligotrophierung des Sees eindeutig dokumentiert werden. So konnte z.B. die Abnahme des Anteils toxischer Blaualgen an der Phytoplanktonbiomasse im Laufe der Oligotrophierung dokumentiert werden. Auch im Crustaceenzooplankton und Rotatorienzooplankton konnten entsprechende Veränderungen beobachtet werden. Vor allem das Crustaceenzooplankton reagiert sehr sensitiv auf Veränderungen der Wassertemperatur und des Fraßdruckes durch Fische. Es ist auch ein hervorragender Indikator für Veränderungen in der Fischlebensgemeinschaft, z.B. hervorgerufen in den letzten Jahren durch die Einwanderung der Stichlinge ins Pelagial.

Die Indikations- und Bewertungssysteme werden in der ausführlichen Fassung des Datenblatts vorgestellt.

<p><b>Was</b> untersuche ich?</p>	<p><u>Vollständiges Arteninventar von:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Phytoplankton (&amp; Pigmente des Phytoplanktons (Chlorophyll a))</li> <li>• Crustaceen-Zooplankton</li> <li>• Rotatorien-Zooplankton</li> <li>• Ciliaten-Plankton</li> </ul> <p><u>Bislang noch nicht ausreichend erfasst:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Populationsschwankungen des Ciliatenplanktons, obwohl diese einen wesentlichen Anteil des Fraßdruckes auf das Phytoplankton ausüben</li> <li>• Planktisches Vorkomme von Phytobenthos in der Flachwasserzone (Diatomeen u.a. Gruppen)</li> <li>• Episodisches Auftreten von Blaualgenblüten und/oder generell durch Planktonorganismen verursachte Wasserfärbungen</li> </ul> <p>Die <u>Indikations- und Bewertungssysteme</u> werden in der ausführlichen Fassung des Datenblatts vorgestellt.</p>
<p><b>Warum</b> untersuche ich?</p>	<p>Mit einem Monitoring des Planktons sollen grundsätzliche Veränderungen biologischer Prozesse im See erkannt und auch Fragestellungen, die heute noch nicht absehbar sind, später bearbeitet werden können.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überblick über das Arteninventar und die relativen Häufigkeiten von Arten bzw. Artengruppen</li> <li>• Einwanderung wärmeliebender Arten (Klimawandel), Aussterben von Arten</li> <li>• Einwanderung von Neozoen und die Auswirkung auf die ursprüngliche Biozönose</li> <li>• Naturschutzfachliche Bewertung (Diversität)</li> <li>• Versauerung</li> <li>• Veränderungen im Fischfraßdruck</li> </ul>
<p><b>Wie</b> untersuche ich?</p>	<p><u>Methoden:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserschöpfer (Bakterioplankton, Phytoplankton, Ciliatenplankton)</li> <li>• Netzzüge (Maschenweite; 55 µm) für Rotatorien- und Crustaceenzooplankton</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artnachweise durch e-DNA/Metabarcoding (noch in Entwicklung)</li> <li>• Pigmente mit HPLC, Fernerkundung (Pigmente)</li> <li>• Räumliche Erfassung des Zooplanktons mittels ADCP</li> </ul> <p>Je nach Größe der Organismengruppen werden entweder die Organismen einer Wasserprobe direkt unter dem Mikroskop analysiert oder müssen durch Netzzüge angereichert werden. Für bestimmte Fragestellungen kann es sinnvoll sein, verschieden tiefe Wasserschichten separat zu beproben, da einzelne Arten des Phyto- und Zooplanktons eine ausgeprägte vertikale Zonierung aufweisen können.</p>
<b>Wann</b> untersuche ich?	ganzjährig
<b>Wie oft</b> untersuche ich?	<p>Aufgrund der hohen Wachstumsraten ist eine regelmäßige hochfrequente Probenahme erforderlich. Die Probenahme erfolgt:</p> <p>Stellen im Bodensee-Obersee: 14-täglich</p> <p>Stellen im Bodensee-Untersee: monatlich</p>
<b>Wo</b> führe ich die Untersuchungen durch?	Regelmäßige Probenahmen finden an den Probestellen des IGKB-Freiwassermonitorings statt .

### Probestellen Phyto- und Zooplankton



### Fachliche Querverbindungen

- Phytoplankton wichtigste Primärproduzenten des Sees, damit Auswirkungen auf alle Kompartimente (Pelagial, Flachwasser, und Profundal) im See und Ökosystemdienstleistungen des Sees
- Nahrungsbeziehungen zwischen Bakterio-, Phyto- und Zooplankton
- Absedimentiertes Plankton ist Nahrungsgrundlage für Organismen des Profundals (Destruenten)

#### Fische:

- Zooplankton Nahrungsgrundlage planktivorer Fische

#### Physik/Energieeintrag:

- Temperatur
- Mischungsverhältnisse

#### Wasserchemie:

- Sauerstoffproduktion und -verbrauch
- Co<sub>2</sub>-Produktion und -verbrauch

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe: Aufnahme und Freisetzung</li> <li>• Stellen einen Großteil des POM (partikuläres, organisches Material)</li> </ul> <p><u>Makrophyten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plankton beeinflusst Lichtverfügbarkeit für Makrophyten</li> </ul> <p><u>Makrozoobenthos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtrierende Vertreter dezimieren v.a. Phytoplankton</li> </ul> <p><u>Neobiota:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderung der Plankton-Biozönose</li> </ul> <p><u>Benthische Diatomeen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verdriftung benthischer Algen ins Plankton</li> </ul>
--	--

## 4.5 Makrozoobenthos

<p><b>Beschreibung</b></p> <p>Unter Makrozoobenthos (MZB) versteht man mit bloßem Auge erkennbare, tierische, wirbellose Organismen, die an ein Substrat gebunden sind. In der Regel werden Tiere &gt; 0,5 - 1 mm zum Makrozoobenthos gezählt. Kleinere Organismen werden dem Meio- und Mikrobenthos (&lt; 0,1 mm) zugeordnet. 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.</p> <p><b>Ökologische Bedeutung</b></p> <p>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, Makrophytenreste) oder leben räuberisch von anderen Wirbellosen. Zusammen mit bakteriellem Abbau sorgen sie für die Remineralisation. Gleichzeitig dienen MZB-Organismen als Nahrung für Amphibien, Wasservögel, Krebse und Fische. MZB ist theoretisch in der Lage, den gesamten Seeboden zu besiedeln, so lange noch Sauerstoff über dem Seeboden vorhanden ist und die Wassertiefe nicht limitierend für die Art ist.</p> <p>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.</p> <p>Die Zusammensetzung des MZB wird einerseits von den vorhandenen Habitaten und andererseits von den Nahrungsgrundlagen bestimmt. Makrophyten, Detritus und Totholz spielen sowohl als Strukturelement als auch als Nahrungslieferanten eine wichtige Rolle. Äußere Faktoren wie Wind- und Wellenexposition, Landnutzung sowie Wasserchemismus beeinflussen die Lebensgrundlagen für das MZB entscheidend.</p> <p>Die Indikations- und Bewertungssysteme werden in der ausführlichen Fassung des Datenblatts vorgestellt.</p>	
<p><b>Was untersuche ich?</b></p>	<p>Die Untersuchung umfasst die qualitative Zusammensetzung, die Besiedlungsdichte und die relativen Häufigkeiten (Dominanzen) der verschiedenen Arten im Makrozoobenthos. Hierzu ist es notwendig, neben dem möglichst vollständigen Arteninventar auch die abiotischen Faktoren mit zu erfassen. Die Untersuchung steht im direkten Zusammenhang mit den Erfassungen aus dem Neobiotamonitoring und dem Monitoring der Wasser-Land-Strukturelemente (als Habitate für MZB).</p> <p>Die <u>Indikations- und Bewertungssysteme</u> werden in der ausführlichen Fassung des Datenblatts vorgestellt.</p>

<p><b>Warum</b> untersuche ich?</p>	<p>Grundsätzlich sollten mit einem Monitoring des MZB Veränderungen im Lebensraum Seeboden erkannt werden. Die Zusammensetzung des Makrozoobenthos ist ein geeigneter, lokal unterschiedlich reagierender Indikator für die Wirkung abiotischer und biotischer Faktoren – v.a. in der Flachwasserzone - und damit auch ein Indikator für den Klimawandels und den Einfluss von Neobiota. Untersuchungen liefern:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einen Überblick über das Arteninventar einer Probestelle, des Sees</li> <li>• Informationen und Effekte der Einwanderung wärmeliebender Arten (Klimawandel), des Aussterbens von Arten</li> <li>• Informationen und Effekte der Einwanderung von Neozoen und deren Auswirkung auf die ursprüngliche Biozönose</li> <li>• Indizien für die stoffliche Belastung des Seebodens</li> <li>• Naturschutzfachliche Bewertung (Diversität, wertgebende Arten, Biotopqualität)</li> <li>• Wellenschlag</li> </ul>
<p><b>Wie</b> untersuche ich?</p>	<p>Bei der Erfassung des MZB kommen unterschiedliche Ansätze 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.</p> <p>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 einen vollständigen Überblick über das Arteninventar zu gewinnen, ist es wichtig, dass alle für das MZB besiedelbaren Habitate in ausreichender Zahl erfasst werden. Folgende Methoden können zum Einsatz kommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• Absammeln von Steinen, Totholz, Wasserpflanzen und den daran anhaftenden Organismen.</li> <li>• Saug-Sammler: hier wird ein Rahmen (definierte Fläche) über das zu beprobende Substrat gestellt und dann werden nach dem Prinzip „Staubsauger“ Organismen „aufgesaugt“, indem eine starke Strömung erzeugt wird.</li> <li>• Bodengreifer: nur für Feinsubstrat (Seeboden in größerer Wassertiefe) geeignet.</li> <li>• Stechrohre: nur für Feinsubstrat geeignet, sticht eine definierte Fläche Sediment aus. Kann auch zur Tiefenverteilung von Benthosorganismen innerhalb des Sediments herangezogen werden</li> <li>• 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.</li> <li>• Ergänzend: Emergenzfänge mit Lichtfallen, da zahlreiche Insekten im Adultstadium einfacher bestimmt werden können als die Larven.</li> </ul> <p>An einer Probestelle vorhandene Substrate können entweder einzeln beprobt und separat ausgewertet werden oder es kann eine Mischprobe entnommen werden, indem die vorhandenen Substrate anteilmäßig beprobt werden (Multi-Habitat-Sampling).</p>

	Methoden, die sich noch in der Entwicklung befinden, sind Artbestimmungen durch genetische Methoden und e-DNA.
<b>Wann</b> untersuche ich?	Aufgrund saisonaler Besiedlungsunterschiede (Schlüpfen von Insektenlarven, Ortswechsel bei Änderungen von Wasserständen und Wassertemperaturen) erfolgen auch die Untersuchungen bestenfalls saisonal. Nach WRRL wird zumindest eine einmalige Beprobung zwischen März und Mai - vor dem Schlupf der Insekten - vorgegeben. Zur Untersuchung der Benthosbesiedlung im Profundal gibt es noch keine Vorgaben
<b>Wie oft</b> untersuche ich?	Die Intervalle zwischen saisonalen Untersuchungen können in mehrjährigen Abständen erfolgen. Nach Vorgabe der WRRL ist eine dreijährliche Beprobung notwendig, mindestens jedoch eine Beprobung alle sechs Jahre.  Durch Koordination der Probenahme des MZB- und Neozoen-Monitorings kann mit geringem Mehraufwand WRRL-konform das gesamte MZB erfasst werden, so dass zumindest derzeit noch für 12 Stellen, ab 2024 für ca. 26 Stellen <u>zweimal</u> jährlich Daten vorliegen werden, solange das Neozoenmonitoring weiterläuft. Somit dürfte ein 6-jährliches Untersuchungsintervall der weiteren WRRL-Stellen ausreichen. Beprobung und Auswertung nach WRRL: beprobt werden einmal jährlich 33 Stellen.
<b>Wo</b> führe ich die Untersuchungen durch?	Bezogen auf den See soll beim MZB-Monitoring das gesamte Spektrum verschiedener typischer Habitats untersucht werden (Substrate mit überwiegendem Anteil von Fels, Steinen, Kies, Sand, Schlamm, Detritus sowie typische Mischsubstrate).  Die Untersuchungsstellen werden so gewählt, dass sie einen dazugehörigen Ufertyp und Flachwasserbereich/Seebodenbereich hinsichtlich ihrer Benthosbesiedlung optimal repräsentieren. Da für das MZB und das Neobiota-Monitoring dieselben Benthosproben genommen werden, berücksichtigt die Probestellenwahl auch die Aspekte beider Themenbereiche.

### Probestellen Makrozoobenthos



<b>Fachliche Querverbindungen</b>	<p><u>Phytobenthos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>als Nahrungsquelle</li> </ul> <p><u>Makrophyten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Siedlungssubstrat (lebende Makrophyten, Detritus), Nahrung (lebende Makrophyten, Detritus, anhaftendes Periphyton), Stömungs-/Brandungsschutz</li> </ul> <p><u>Neozoische Muschelarten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Siedlungssubstrat</li> </ul> <p><u>Fische:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fraßfeind, Lebensraum in speziellen Lebensabschnitten (z.B. Großmuscheln als Laichplatz für Bitterling)</li> </ul> <p><u>Wasservögel:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fraßfeind, Möglichkeit der Ausbreitung in andere Gewässer</li> </ul> <p><u>Phytoplankton:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nahrungsquelle</li> </ul> <p><u>Uferchemie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pH-Wert, CO<sub>2</sub>, Nährstoffe: Phosphor und Stickstoff, Umsatz von POM (partikuläres, organisches Material)</li> </ul> <p><u>Physik/Energieeintrag:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatur, Strömung, Brandung</li> </ul>
---------------------------------------	---

## 4.6 Makrophyten

<p><b>Beschreibung</b></p> <p>Unter Makrophyten versteht man alle mit bloßem Auge erkennbaren Pflanzen, die dauerhaft im Wasser wurzeln oder auch untergetaucht leben. Dazu gehören höhere Wasserpflanzen (Blütenpflanzen), Wassermoose, Wasserfarne sowie Algen der Familie Characeae. Die Wuchsformen enthalten Helophyten (Sumpfpflanzen), Pleustophyten (Wasserschwember), Hydrophyten (untergetauchte Wasserpflanzen) und Haptophyten (anhaftende Wasserpflanzen).</p> <p><b>Ökologische Bedeutung</b></p> <p>Der Makrophytengürtel eines Sees bildet eine ökologische Nische für spezialisierte Flora- und Faunaarten. Als dauerhafter oder temporärer Rückzugsraum ist der mit Makrophyten besiedelte Litoralbereich eines Sees unverzichtbar und ist essentieller Bestandteil eines funktionierenden Seeökosystems. Das Vorhandensein oder Fehlen von Makrophyten beeinflusst die biotischen und abiotischen Prozesse eines Standorts maßgeblich. Schilfbewuchs beeinflusst die Sedi- mentchemie und damit die Bedingungen für andere bodengebundene Organismen erheblich. Die dreidimensionalen Strukturen, die durch den Pflanzengürtel gebildet werden, verändern die Strömungs- und Wellenenergien, die auf die Litoralzone einwirken. Die im Vergleich zum Sediment stark vergrößerte Oberfläche bildet ein Besiedlungshabitat für verschiedene Tier- und Pflanzenarten sowie für Mikroorganismen. Die abgestorbenen Teile der Makrophyten intensivieren Abbauprozesse und die Wiederverfügbarkeit von Nähr- und Spurenstoffen.</p> <p>Verschiedenste Makrozoobenthosarten nutzen Makrophyten als Lebensraum und sind z.T. auch an spezielle Wirtspflanzen gebunden. Submerse Pflanzen dienen als Rückzugshabitat und Laichhabitat für Fische. Der Bereich zwischen den Wasserpflanzen bietet Jungfischen Schutz vor Fraßfeinden, ebenso dem Zooplankton vor planktivoren Fischen. Die Filtrierleistung des Zooplanktons trägt wiederum zu einer höheren Transparenz des Wassers bei und fördert somit das durch die Lichteindringtiefe limitierte Makrophytenwachstum.</p> <p>Die Indikations- und Bewertungssysteme werden in der ausführlichen Fassung des Datenblatts vorgestellt.</p>	
<b>Was untersuche ich?</b>	<p>Die Untersuchung steht im Zusammenhang mit</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>den Erfassungen der Wasser-Land-Strukturelemente</li> <li>den Erfassungen aus dem Neobiotamonitoring</li> </ul> <p>Die Indikations- und Bewertungssysteme werden in der ausführlichen Fassung des Datenblatts vorgestellt.</p>

<p><b>Warum</b> untersuche ich?</p>	<p>Kenntnisse der Makrophyten-Vegetation liefern wichtige Informationen über den Lebensraum Ufer- und Flachwasserzone. Makrophytenuntersuchungen zeigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung der Artenzusammensetzung und der Artenvielfalt</li> <li>• Makrophyten integrieren Umwelteinflüsse großräumig und langfristig, kurzfristige natürliche Schwankungen werden dadurch abgepuffert.</li> <li>• Flächige detaillierte Aussagen über die Verhältnisse des makrophytenbestandenen Litorals können getroffen werden.</li> <li>• Änderungen bedingt durch lokale Einflüsse können abschnittsscharf erkannt werden, die hochaufgelöste Identifizierung natürlicher Unterschiede sowie von Störungen und/oder Veränderungen ist möglich.</li> <li>• Makrophyten reagieren auf verschiedene Einflüsse und deswegen können die biozönotischen Daten u.a. für folgende Fragestellungen genutzt werden:       <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nährstoffeintrag/Nährstoffgehalt sowohl von Wasser als auch vom Substrat</li> <li>○ Schwebstoffeintrag, Trübung, Sichttiefe</li> <li>○ pH-Wert (für große Gewässer eher weniger relevant)</li> <li>○ Substratbeschaffenheit</li> <li>○ physikalische Einwirkungen (Strömung, Wellenschlag, Wasserstandsschwankungen)</li> <li>○ Fraßdruck (Fische, Wasservögel)</li> <li>○ Neophyten und deren Einfluss auf die heimische Biozönose</li> </ul> </li> <li>• Aussagen zu Belastungsquellen und/oder Veränderungen, z.B. auch über Grundwasserzeiger oder Eutrophierungszeiger sind möglich.</li> <li>• Klimaveränderungen können über Makrophyten abgebildet werden:       <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Temperaturregime (Veränderungen der Artenzusammensetzung und Abundanzen)</li> <li>○ Förderung wärmeliebender Arten (heimische und Neophyten)</li> <li>○ Reaktion auf veränderte Wasserstände           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verlust von Litorallebensräumen sowie Wasser-Land-Übergangsbereichen und damit deren ökologischen Funktionalität durch Trockenfallen von Uferstreifen</li> <li>▪ Verdrängung der Makrophyten-Biozönose in tiefere, ständig überstaute Bereiche</li> <li>▪ Durch erhöhte Erosion verminderte Transparenz des Wassers verringert die untere Verbreitungsgrenze der Makrophyten</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Wie</b> untersuche ich?</p>	<p>Für die Erhebung von Makrophytendaten haben sich verschiedene Methoden etabliert, die für unterschiedliche Zielrichtungen angewendet werden können:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mit Hilfe von Rechen oder sogenannten Makrophytenankern und Sichtkästen werden Wasserpflanzen von einem Boot an die Oberfläche geholt, die Arten bestimmt sowie die Häufigkeit des Vorkommens abgeschätzt.</li> <li>• Bei hartem, grobem Substrat sind Greifer effektiver, ebenso bei niedrigwüchsigen Pflanzen.</li> <li>• Eine weitere Methode ist der Einsatz von Tauchern, die unter Wasser vor Ort Makrophytenarten bestimmen und deren Häufigkeiten abschätzen. Ausgewählte Transekte können mit beiden Erhebungsmethoden beprobt werden.</li> <li>• Die Einrichtung von Transekten in einer für den Zweck der Untersuchung ausreichenden Zahl und an geeigneten Stellen erlaubt eine überblicksartige gezielte Erhebung. Sie eignen sich als Dauerbeobachtungsflächen für die zeitlich engmaschige Beobachtung bestimmter Veränderungen in den Biozönosen oder Standortfaktoren.</li> <li>• Die seeweite und flächige Untersuchung der gesamten Uferhalde bietet die Möglichkeit, ein Bild der ganzen Litoralzone zu bekommen. Neben den stellenscharfen Änderungen der Makrophytenbiozönose und damit stellenscharfen Informationen über die Standortbedingungen und deren Unterschiede im Uferbereich können auch bedarfsbezogen weitere Parameter und Phänomene kartiert werden. Beispielsweise die Erhebung von</li> </ul>

	<p>Muschelbänke könnte von Makrophytentauchern miterhoben werden. Unabhängig von Substrat, Wuchsformen und sonstigen Standortbedingungen können Taucher eingesetzt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methoden, die sich noch in der Entwicklung befinden, sind der Einsatz von Unterwasserrobotern, luftbildgestützten Erhebungen sowie zur Artbestimmung der Einsatz genetischer Analysen, eDNA.</li> </ul>
<b>Wann</b> untersuche ich?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Während der jeweiligen Vegetationsperiode</li> </ul>
<b>Wie oft</b> untersuche ich?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sechsjährlich, einmalige Beprobung im Sommer während der Hauptentwicklung der Makrophytenvegetation</li> <li>• Dauerbeobachtungsflächen je nach Fragestellung öfter, z.B. ein- bis dreimal pro Jahr</li> </ul>
<b>Wo</b> führe ich die Untersuchungen durch?	<p>Die Untersuchungsstellen werden so gewählt, dass sie einen dazugehörigen Ufertyp und Flachwasserbereich/Seebodenbereich repräsentieren. Interessante Abschnitte können aus den Kenntnissen der seeweiten Untersuchungen lokalisiert werden.</p>

### Probestellen Makrophyten



### Fachliche Querverbindungen

#### Phytobenthos:

- als Substrat/Besiedelungsfläche, Allelopathie gegen Periphyton, Beschattung durch Periphyton/Nahrungskonkurrenz

#### Makrozoobenthos:

- Siedlungssubstrat (lebende Makrophyten, Detritus), Nahrung (lebende Makrophyten, Detritus, anhaftendes Periphyton), Stömungs-/Brandungsschutz, Beschattung

#### Fische:

- Nahrungshabitat, Unterstand/Schutz, Substrat für Eiablage (Krautlaicher), Lebensraum in speziellen Lebensabschnitten

#### Phytoplankton:

- Nahrungskonkurrenz, Beschattung des PP, Allelopathie, Beschattung und mechanische Belastung der Makrophyten durch angetriebene aufräumende (Blau-) Algenblüten

#### Wasservögel:

- Nistmöglichkeit, Nistmaterial, Fraßfeind, Schutz

	<u>Physik/Energieeintrag:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wellen, Erosion, Sedimentation, Temperatur, Trübung</li> </ul> <u>Wasserchemie/Nährstoffe/Zuflüsse:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Produktion, Artenzusammensetzung</li> </ul>
--	---

## 4.7 Phytobenthos

<p><b>Beschreibung</b></p> <p>Das Phytobenthos (Aufwuchsalgen) wird von mikroskopisch kleinen Algen gebildet, die an einem geeigneten Substrat anhaften. Dabei bilden diese Algen in größeren Individuenzahlen oft makroskopisch sichtbare Überzüge auf dem jeweiligen Substrat und können auch, abhängig von der Art, fädige Formen annehmen. Bei Massenentwicklungen entstehen sogenannte Algenwatten oder Algenmatten.</p> <p><b>Ökologische Bedeutung</b></p> <p>Die auf verschiedenstem Substrat (Steine, Sand, Schlamm, Pflanzen) aufwachsend lebenden Algen bilden eine wichtige Nahrungsgrundlage für wasserlebende weidende Insektenlarven, Kleinkrebse und andere Organismen. Auf Pflanzen aufwachsende (epiphytische) Algen stellen für dieses Substrat eine Konkurrenz um die Lichtverfügbarkeit dar, indem sie die Wirtspflanzen beschatten. Unter diesen wiederum gibt es Arten, die durch den Ausstoß allelopathisch wirksamer Stoffe den Bewuchs minimieren können.</p> <p>Die Photosyntheseleistung der Aufwuchsalgen trägt zum Stoffumsatz und der Sauerstoffverfügbarkeit in ihrem Umfeld bei und kann kleinräumig den pH-Wert beeinflussen. Innerhalb weniger Wochen kann sich eine existierende Biozönose an neue Umweltbedingungen anpassen und somit indizieren. In erster Linie reagiert die Gruppe auf stoffliche Veränderungen ihres Habitats. Kieselalgen kommen in nahezu jedem Ökosystem vor, es existieren auch auf extreme Standorte spezialisierte Gesellschaften.</p> <p>Die Indikations- und Bewertungssysteme werden in der ausführlichen Fassung des Datenblatts vorgestellt.</p>	
<b>Was</b> untersuche ich?	<p>Aus dem artenreichen Spektrum des Phytobenthos werden die dominierenden einzelligen und Kolonien bildenden benthischen Diatomeen (substratgebundene Kieselalgen) untersucht. Jedes Individuum bildet eine zweischalige Hülle aus Kieselsäure, anhand derer lichtmikroskopisch Arten, Unterarten und andere taxonomische Gruppen unterschieden werden können. Die kleinsten bekannten benthischen Arten sind ca. 4 - 6µm groß.</p>
<b>Warum</b> untersuche ich?	<p>Phytobenthos ist die Nahrungsgrundlage sogenannter «Weidegänger» unter den Makroinvertebraten und den Fischen.</p> <p>Die kurze Generationszeit dieser Einzeller verbunden mit der ubiquitären Verbreitung und der langen Forschungstradition ermöglichen die Erfassung und Bewertung kurzfristiger Änderungen und Entwicklungen vor allem in stofflicher Hinsicht. Benthische Diatomeen sind gute Indikatoren für die Trophie des Gewässers und die Ungestörtheit der Substratoberfläche im Flachwasserbereich.</p>
<b>Wie</b> untersuche ich?	<p>Die Beprobung benthischer Diatomeen erfolgt je nach Fragestellung durch die Entnahme des Biofilms von standorttypischem oder auch künstlich eingebrachtem Substrat. Es kann auch zwischen Substrattypen unterschieden werden, z.B. Pflanzen oder Bodensubstrat. Für die Vergleichbarkeit von Erhebungen sollte eine Vorgabe für die Substratwahl erfolgen, da die Arten unterschiedliche Präferenzen diesbezüglich haben können.</p> <p>Nach der Reinigung der Proben werden lichtmikroskopische oder rasterelektronenmikroskopische Dauerpräparate erstellt. In der Regel wird eine vorgegebene Anzahl (meist 500) von Schalenhälften innerhalb eines Präparates bestimmt und ausgezählt.</p>

	<p>Eine Methode, die sich noch in der Entwicklung befindet, ist der Einsatz genetischer Analysen, eDNA zur Artbestimmung.</p> <p>Eine Beprobung und Bestimmung anderer Artgruppen der Phytobenthosalgen (ohne Characeen und Diatomeen) findet in größerem Umfang in Routinemessprogrammen nur in Fließgewässern statt. Dementsprechend existieren auch keine etablierten Methoden für die Beprobung in Seen.</p>
<b>Wann</b> untersuche ich?	In der Hauptvegetationszeit Sommer bis Herbst
<b>Wie oft</b> untersuche ich?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sechsjährlich, einmalige Beprobung im Sommer gleichzeitig mit der Makrophytenkartierung</li> <li>• Dauerbeobachtungsflächen je nach Fragestellung öfter, z.B. ein- bis dreimal pro Jahr</li> </ul>
<b>Wo</b> führe ich die Untersuchungen durch?	Um Aussagen über einen größeren Bereich oder einen kompletten Seewasserkörper machen zu können, müssen gezielt der Fragestellung angepasst eine ausreichende Anzahl Probestellen untersucht werden. Beispielsweise werden nach den Vorgaben des deutschen Verfahrens nach EG-WRRL 87 Probestellen untersucht (27 Untersee, 60 Obersee).

### Probestellen Phytobenthos



### Fachliche Querverbindungen zu anderen Themenbereichen

#### Makrophyten:

- als Substrat/Besiedelungsfläche, Allelopathie gegen Periphyton, Nahrungskonkurrenz

#### Makrozoobenthos:

- Beweidung von Phytobenthos

#### Fische:

- Beweidung von Phytobenthos

#### Phytoplankton:

- Nahrungskonkurrenz, Allelopathie, Beschattung des Phytobenthos durch angetriebene aufruhende (Blau-) Algenblüten

#### Uferchemie:

- pH-Wert, Co<sub>2</sub>, Nährstoffe: Phosphor und Stickstoff

#### Physik/Energieeintrag:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wellen, Erosion, Sedimentation, Temperatur, Trübung</li> </ul> <u>Sediment:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Feinsedimentbildung, biogene Kalkablagerungen</li> </ul>
--	--

## 4.8 Neobiota

### Beschreibung

Zu den Neobiota zählen Tier- (Neozoen) und Pflanzenarten (Neophyten - Pilze und Mikroorganismen werden zur Vereinfachung zu den Pflanzen gerechnet), die durch direkten oder indirekten Einfluss des Menschen (mittels Verschleppungs- und Verbreitungsmechanismen = Vektoren) in den Bodensee gelangt sind und sich dort ausbreiten. Arten, die sich selbstständig reproduzieren und über mehrere Generationen erhalten können, gelten als etabliert.

Invasiv werden Neobiota (in der Schweiz: invasive gebietsfremde Organismen (igO)), wenn sie sich massenhaft vermehren und/oder aufgrund eines aggressiven Ausbreitungs- oder Fressverhaltens sowie einer Massenentwicklung Schaden an den heimischen Biozöosen, wirtschaftlichen Schaden oder Schaden an der menschlichen Gesundheit anrichten können.

### Ökologische Bedeutung

Neobiota haben einen unterschiedlichen Einfluss auf bereits bestehende Biozöosen und das Nahrungsnetz des Sees. Dieser Einfluss ist abhängig von den artspezifischen Interaktionen mit angestammten Lebensgemeinschaften und untereinander. Direkte Interaktionen sind v.a. Habitatkonkurrenz oder Prädation.

Ein oft schnell ablaufender Prozess ist die gegenseitige Verdrängung von Neobiota und heimischen Arten aber auch von Neobiota untereinander. Oft gehören sie zu derselben taxonomischen Gruppe, haben gleiche oder ähnliche Habitatansprüche und besetzen deshalb auch dieselben Nischen; auf der anderen Seite zeigen sie aber unterschiedliche Vermehrungs- und Verbreitungsstrategien.

Sehr bedeutend können aber auch indirekte Einflüsse durch lebensraumgestaltende Arten (*ecosystem engineers*) sein. Solche Arten können durch ihre Massenvermehrung und Kolonienbildung komplette Lebensraumzonen verändern. So überzieht die im Bodensee eingeschleppte Quagga-Muschel auch das schwer besiedelbare Weichsubstrat des Seebodens in konglomerierten Kolonien und mit Schalenresten und bietet damit neue lückige Hartsubstrate als Siedlungsraum für weitere Neozoen, aber auch für heimische Arten an. Hierdurch kommt es zu einem massiven Biomasseanstieg auf Böden (z.B. Sand, Schluff, nackter Fels), die zuvor nur durch Spezialisten (meist Destruenten) besiedelt werden konnten.

Wenige invasive Arten haben die Zusammensetzung der Biozöosen und das Nahrungsnetz im Bodensee bereits erheblich verändert. Am stärksten betroffen sind bisher das Makrozoobenthos und die Wasserpflanzengesellschaften der Flachwasserzone – hier besteht schon seit Jahren bis über 90% der Biomasse des Makrozoobenthos aus Neozoen. Das Spektrum potenziell invasiver Neobiota erweitert sich mit der Erhöhung der Wassertemperaturen im Zuge des Klimawandels. Da die Vektoren nur eingeschränkt kontrollierbar sind, könnten in absehbarer Zeit mediterrane, danach subtropische Faunen- und Florenelemente in den Bodensee verschleppt werden und sich dort vermehren.

### Sozio-ökonomische Bedeutung

Die Einschleppung von Neobiota hat auch eine ökonomische Bedeutung. Dies liegt vor allem an den zahlreichen Nutzungen des Bodensees und des teils enormen Veränderungspotenzials von Neobiota. Aktuell betrifft das die Ausbreitung der Quagga-Muschel, die zu anwachsenden Problemen bzw. Kosten vor allem für alle Wasserentnehmer aus dem Bodensee führt, indem sie sich in mehreren Schichten in den Saugrohren ansiedelt. Zur Aufrechterhaltung der Trinkwasserversorgung müssen die Rohre deshalb regelmäßig aufwändig gereinigt oder im Einzelfall sogar ersetzt werden.

Neobiota können auch die menschliche Gesundheit beeinflussen, indem sie sog. „wasserbürtige“ Krankheiten verursachen. In diesem Zusammenhang ist die im Bodensee durch Cerkarien-Larven verschiedener Pärchenegel verursachte Bader dermatitis zu nennen. Hier werden bereits neozoische Arten diskutiert (im Mittelmeerraum kam es bereits mehrfach zu Bilharziosen, die durch tropische Pärchenegel verursacht werden). Über autochthone (*Culex* und *Anopheles* spp.) und neozoische Mückenarten (Tigermücke, Schmetterlingsmücken), die sich v.a. in den

<p>Überschwemmungsbereichen des Sees entwickeln können, könnten Erreger von Denguefieber und Leishmaniose übertragen werden.</p> <p>Indikations- und Bewertungssysteme existieren lediglich für die einzelne taxonomischen Gruppen Makrophyten, Phytobenthos, MZB, Plankton.</p>	
<p><b>Was</b> untersuche ich?</p>	<p>Das Neobiota-Monitoring erstreckt sich auf alle Organismengruppen, für die bereits Monitoringprogramme existieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Makrozoobenthos</li> <li>• Makrophyten</li> <li>• Phytobenthos</li> <li>• Phyto- und Zooplankton</li> <li>• Fische (nicht Inhalt des IGKB-Monitorings)</li> <li>• Mikroorganismen, Parasiten und Krankheitserreger</li> </ul> <p>Dies bedingt auch eine Untersuchung aller drei Seekompartimente, da neobiotische Vertreter einzelner Organismengruppen teilweise eine weitere Verbreitung im See zeigen (z.B. Schwebegarnelen als Vertreter des MZB im Freiwasser, Quaggamuschel auf dem tiefen Seeboden).</p>
<p><b>Warum</b> untersuche ich?</p>	<p>Die Notwendigkeit eines Neobiota-Monitorings leitet sich von der vermuteten ökologischen Schädigung verschiedener bereits etablierter und noch erwartbarer Arten ab. Hierzu soll es die Veränderungen in den jeweiligen Biozöosen und deren Ausmaß und Geschwindigkeit dokumentieren. Fragen des Neobiota-Monitorings sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welche Neobiota kommen im Bodensee vor?</li> <li>• Verhalten sich die Neobiota invasiv oder nicht, wie entwickeln sich deren Bestände?</li> <li>• In welcher Geschwindigkeit, auf welcher Fläche und welcher Tiefe breiten sich Neobiota im Bodensee aus?</li> <li>• Welche Auswirkungen haben sie auf die einheimischen Biozöosen und auf andere Neobiota?</li> <li>• Welche Auswirkungen haben sie auf das Nahrungsnetz und die stofflichen Prozesse des Bodensees?</li> <li>• Welche Auswirkungen haben sie auf den Menschen?</li> </ul>
<p><b>Wie</b> untersuche ich?</p>	<p>Zur Erfassung der Neobiota in den Themebereichen MZB, Makrophyten, Phytobenthos und Plankton kann auf die dort vorgestellten Methoden zurückgegriffen werden. Das Spektrum etablierter und prospektiver Neobiota zeigt, dass so nicht alle Gruppen adäquat erfasst werden können. Zumindest für gezielte Nachweise und die Untersuchung invasiver Ausbreitung müssen gesonderte Probenahmen im Flachwasserbereich des Sees, im Freiwasser und am Seeboden durchgeführt werden.</p> <p><u>Quagga-Monitoring:</u> Die Sammelproben werden im Flachwasserbereich (bis ca. 10 m Wassertiefe) mit dem Taucher und einem UW-Sampler, in größeren Tiefen in Transekten mit einem Greifer oder einer Dredge genommen. Die Flächenausdehnung der Kolonien kann mit einem ROV dokumentiert werden.</p> <p><u>Mysiden-Monitoring:</u> Echolotfahrten – kombiniert mit Kontrollzügen mit einem Schleppnetz – geben dabei Hinweise über die Verteilung von Garnelenschwärmen. Dichteabschätzungen erfolgen mittels großer Planktonnetze mit definierter, runder Öffnung (Metallring) und Maschenweite &lt; 0,3 cm. Die Netze werden über eine definierte Strecke hinter dem Boot hergezogen.</p>

<b>Wann</b> untersuche ich?	Die Vorgabe des Untersuchungszeitpunkts richtet sich nach der optimalen Erfassbarkeit der jeweiligen Organismen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neophyten in der sommerlichen Vegetationsperiode</li> <li>• MZB-Neozoen im Frühjahr bzw. im Frühjahr und im Herbst</li> <li>• Mysiden während des winterlichen Entwicklungsmaximums (aber: artspezifische Unterschiede)</li> <li>• Großkrebse im Spätsommer/Herbst</li> </ul>
<b>Wie oft</b> untersuche ich?	Für die meisten Neobiotagruppen/-arten genügt ein jährliches bis 3-jährliches Untersuchungsintervall, um die Langzeiteinflüsse auf heimische Lebensgemeinschaften zu erfassen.  Zur zeitnahen Erfassung von Einschleppungsereignissen und zur Dokumentation der Ausbreitungsgeschwindigkeiten müssen zumindest saisonale Untersuchungskampagnen durchgeführt werden. Diese werden durch das qualitative Monitoring abgedeckt.  Ähnlich wie beim Klimawandel, der sich auch in Einzelereignissen mit seeweiten Effekten zeigt, muss auch das Neobiota-Monitoring auf episodische Szenarien reagieren können. Sobald das Auftreten einer neuen Art bekannt wird, muss sie in einem engeren räumlichen und zeitlichen Muster verfolgt werden, um ihre Auswirkung auf bestehende Biozönosen dokumentieren und ihre Ausbreitung gegebenenfalls einschränken zu können.  <u>Quagga-Monitoring:</u> Untersuchungen in Intervallen von 1-3 Jahren  <u>Mysiden-Monitoring:</u> alle 3 Jahre Sommer- und Winteraspekt
<b>Wo</b> führe ich die Untersuchungen durch?	Die Untersuchungsstellen werden so gewählt, dass sie einen dazugehörigen Ufertyp und Flachwasserbereich/Seebodenbereich repräsentieren. Die 12 jährlich untersuchten Messstellen der halbquantitativen Probenahmen rekrutieren sich bestenfalls aus den Basis-Messstellen des MZB-Monitorings (26 Stellen). Die Probestellen für das qualitative Monitoring und weitere Organismengruppen orientieren sich an den Bereichen mit maximaler Auftretenswahrscheinlichkeit.

**Probestellen Neobiota**


Die 12 quantitativen und 41 qualitativen Stellen werden einmal jährlich beprobt. Alle drei Jahre erfolgt die quantitative Beprobung an den Basismessstellen.

**Fachliche  
Querverbindungen**

<p><b>Fachliche Querverbindungen</b></p>	<p><u>Wasser-Land-Strukturelemente:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konkurrenz um Siedlungssubstrat,</li> <li>• <i>ecosystem engeneering</i> (Quagga) aus dem Seeboden</li> </ul> <p><u>Phytobenthos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderungen der heimischen Makrophytenflora, als Nahrungsquelle für neozoische MZB und Mikroorganismen</li> </ul> <p><u>Makrophyten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderungen der heimischen Makrophytenflora, Siedlungssubstrat für neozoische MZB und Mikroorganismen (lebende Makrophyten, Detritus), Nahrung (lebende Makrophyten, Detritus, anhaftendes Periphyton), Stömungs- /Brandungsschutz</li> </ul> <p><u>Makrozoobenthos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderungen der heimischen MZB-Fauna Habitatkonkurrenz, Krankheiten, Nahrungsquelle</li> </ul> <p><u>Fische:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderungen der heimischen Fischfauna, Habitatkonkurrenz, Krankheiten, Fraßfeind und Nahrungsquelle</li> <li>• Beeinflussung der Fisch-Fertilität durch Konsumption neozoischer Nahrungsorganismen (Quagga → Thiaminase)</li> </ul> <p><u>Plankton:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderungen der heimischen Phyto- und Zooplanktonbiozönose, Algenblüten, Algentoxine, Nahrungsquelle für planktivore Fischfauna</li> </ul> <p><u>Chemie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderung von Stoffflüssen (v.a. Nährstoffe) durch Substratbildung und Filtrieraktivität und Verlagerung</li> </ul> <p><u>Physik/Energieeintrag:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatur, Strömung, Brandung, Verbesserung der Reproduktionsbedingungen für wärmeliebende Arten und Krankheitserreger durch Erhöhung der Wassertemperatur im Klimawandel</li> </ul>
--	--

## 4.9 Seeboden und Seebodenbesiedlung (Destruenten)

### Beschreibung

Der tiefe Seeboden (Profundal) ist eines der drei großräumigen Kompartimente des Sees. Seine Grenze zum Flachwasserbereich ist fließend und vor allem durch das Vorhandensein von Sedimentschichten geprägt, die vom Wellengang unbeeinflusst sind. Diese Seesedimente sind meist geschichtet und sozusagen das «Gedächtnis» des Bodensees in seiner von der letzten Eiszeit vorgegebenen Form. In den Sedimenten des Bodensees sind allochthone, aus dem Einzugsgebiet stammende und autochthone, durch biologisch-chemische Prozesse im See selbst gebildete Anteile zu unterscheiden. Der größte Teil der Sedimente des Bodensee-Obersees besteht aus Einschwemmungen der Zuflüsse, ca. 75% davon aus dem Alpenrhein.

### Limnologische und ökologische Bedeutung

Die einzelnen Sedimentschichten lassen sich durch verschiedene Methoden der Altersbestimmung zeitlichen Perioden und/oder Ereignissen zuordnen (wie z.B. Wärmezeiten im Mittelalter oder der Eutrophierungsperiode 1960 bis 1990). Das Sediment wird physikalisch (Sedimentationsraten, Korngröße, Redox-Potenzial, pH u.a.), chemisch (Gehalt an Nähr- und Schadstoffen, Spurenstoffen, Oxidationsschicht, Mangan-Exfiltration u.a.), paläolimnologisch (zeitliche Zuordnung von Ablagerungen von Pflanzen und Tierresten zu einzelnen in ihrem Alter bekannten Schichten) und biologisch (z.B. Besiedlung der Sedimentoberfläche mit Destruenten) untersucht.

Die am Seeboden lebende Konsumenten- und Destruentengemeinschaft ist abhängig von der Energie- und Stoffzufuhr aus dem Pelagial und Litoral. Im Profundal wird absinkende Biomasse zersetzt und mineralisiert. Der Seeboden dient als temporärer Entwicklungsraum von Dauer- und Jugendstadien (Planktonkrebsechen, Felcheneier) und als dauernder Lebensraum einer charakteristischen Fauna: Larven von Zuckmücken, Büschelmücken und Schlammfliegen, Erbsenmuscheln, Strudelwürmer, Wenigborster (Oligochaeten) und Fadenwürmer (Nematoden). Die Zusammensetzung der Profundal-Lebensgemeinschaft erlaubt Rückschlüsse auf den Belastungszustand bzw. den Trophiezustand des Sees. Insbesondere die Oligochaetenfauna (Würmer) dient als biologischer Indikator der Belastung mit abbaubaren organischen Stoffen.

Im Zusammenhang mit den aktuellen Ausbreitungen verschiedener Neobiota (v.a. Quaggamuschel, Körbchenmuschel) müssen Benthosuntersuchungen vom Flachwasserbereich auf lange Transekte des Seebodens ausgedehnt werden.

Der tiefe Seeboden wird auch durch klimatisch determinierte Faktoren und damit durch den Klimawandel beeinflusst. So kommt es z.B. bei fehlender Zirkulation zu Sauerstoffdefiziten im Tiefenwasser, die sich auf die Besiedelbarkeit durch Destruenten des aeroben Stoffabbaus, zum anderen auf die Oxidationsschicht des Seebodens und die Rücklösung von Nährstoffen auswirkt, die im Sediment abgelagert wurden. Die Messung des Sauerstoffgehalts und der Nährstoffkonzentration über Grund sowie die Untersuchung der Destruenten (Bakterien, Pilze, Einzeller, Röhrenwürmer u.a.) auf dem Tiefenboden sind somit im Zusammenhang mit dem Klimawandel von besonderer Bedeutung.

### Was untersuche ich?

Schwerpunkte der Seebodenuntersuchungen sind

- paläolimnologische und physikalisch-chemische Analysen von Sedimentkernen
- Messung des Sauerstoffgehalts und der Nährstoffkonzentration über Grund
- Untersuchung verschiedener Gruppen von Destruenten (Bakterien, Pilze, Einzeller, Röhrenwürmer u.a.)
- Untersuchung der Besiedlung des Seebodens mit kolonienbildenden Neobiota (v.a. Quaggamuschel)
- Untersuchung des Makrozoobenthos auf der neuen Siedlungsstruktur Muschelkolonie

### Warum untersuche ich?

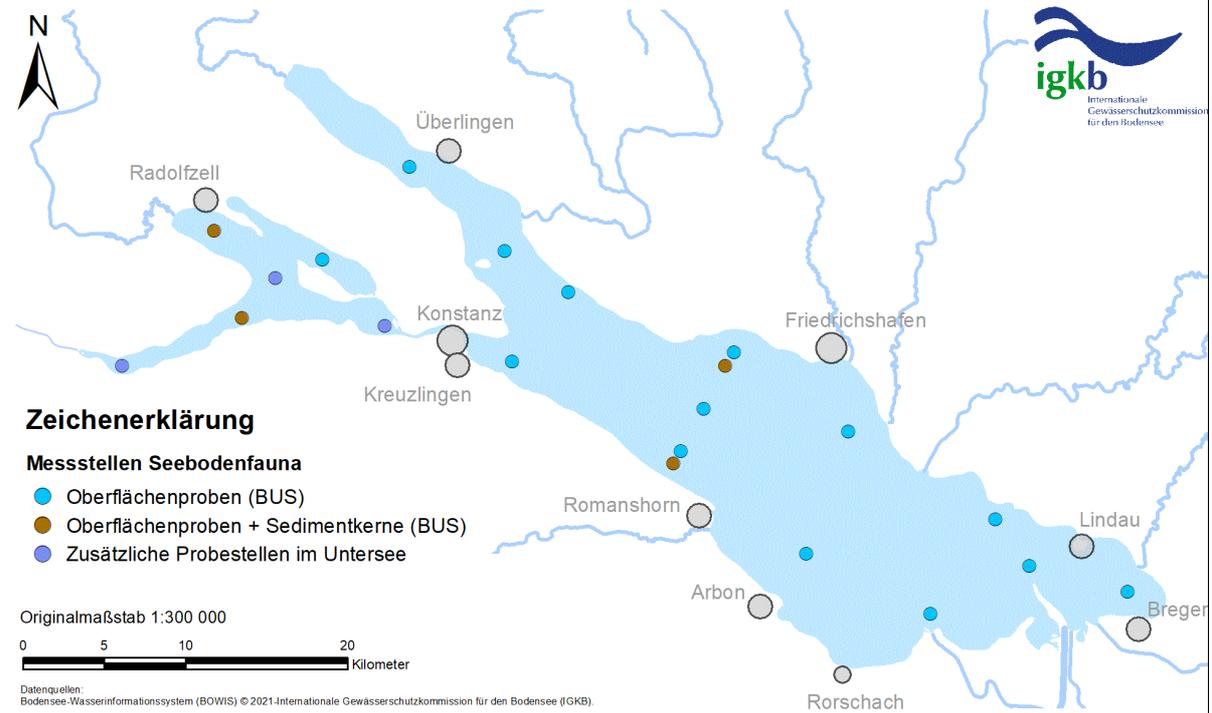
#### Seesedimente:

Die Seesedimente liefern uns ein Kalendarium der Entwicklungs- und Belastungsgeschichte des Bodensees. Die O<sub>2</sub>-Werte im Tiefenwasser und die Oxidationsschicht des Substrats liefern Informationen über die Belüftung der Sauerstoffverhältnisse und die Rücklösungsprozesse in bodennahen Wasserschichten.

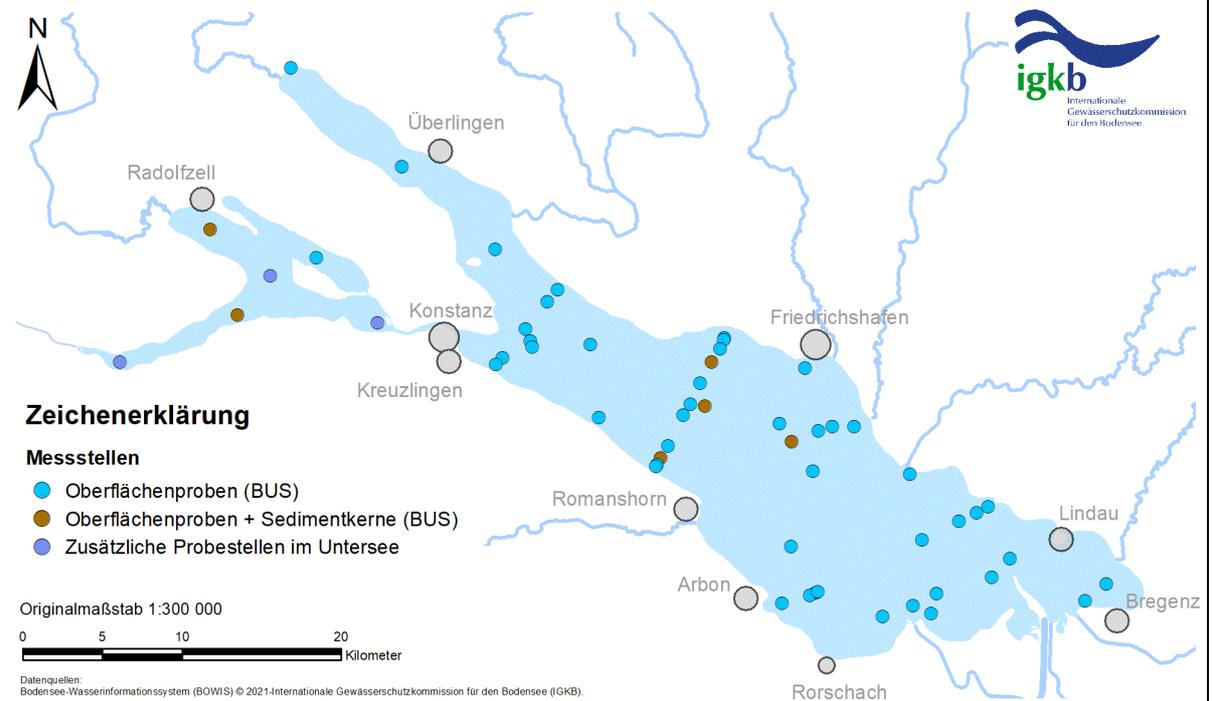
#### Biozönose des Seebodens:

	<p>Destruenten, Arteninventar, Zusammensetzung, trophische Belastung des Seegrunds. Tiefenausbreitung der Quaggamuschel, neuer Siedlungsraum Quagga-Kolonien</p>
<p><b>Wie</b> untersuche ich?</p>	<p><u>Seesedimente:</u> Sedimentprofile mit Sedimentstecher. Jeweils mit Parallelproben.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redoxmessungen in Oberflächenschicht</li> <li>• schichtspezifische physikalisch-chemische Analysen</li> <li>• schichtspezifische Sieb- und Schlämmprouben</li> <li>• paläolimnologische Analysen</li> </ul> <p><u>Biozönose des Seebodens:</u> Je nach Organimengruppe Probenahme mit Sedimentstecher, Greifer oder Dredge</p> <p><u>Biozönose des Seebodens, Destruenten-Gemeinschaft:</u> Untersuchung der Oligochaetenfauna als Indikator für trophische Seebodenbelastung. Bakterien/Pilze mittels Greiferproben – Bestimmungen und Zählungen</p> <p><u>Physikalisch-chemisch Messungen:</u> Tiefenproben im Rahmen der Komponente Wasserchemie</p>
<p><b>Wann</b> untersuche ich?</p>	<p><u>Seesedimente:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ganzjährig möglich</li> </ul> <p><u>Biozönose des Seebodens, Destruenten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ganzjährig möglich</li> </ul>
<p><b>Wie oft</b> untersuche ich?</p>	<p><u>Seesedimente:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einmal jährlich an Referenzstelle, restliche Stellen im Rahmen eines Projektes alle 20 Jahre, bei starkem Sedimenteintrag episodische Messkampagnen ausgewählter Bereiche</li> </ul> <p><u>Biozönose des Seebodens, Destruenten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Im Intervall von 6 Jahren an ausgewählten Stellen</li> </ul>
<p><b>Wo</b> führe ich die Untersuchungen durch?</p>	<p><u>Seesedimente:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchungen im Tiefenboden nach BUS, zusätzliche Untersuchungsstellen im Untersee</li> </ul> <p><u>Biozönose des Seebodens, Destruenten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biologische Proben von der Oberfläche des Seesediments alle 20 Jahre an den BUS-Messstellen, t-jährlich an 15 Stellen im Obersee und 6 Stellen im Untersee</li> <li>• Sedimente bis in 1 cm Sedimenttiefe</li> </ul>

### Probstellen Seebodenbesiedlung im 6-Jahresturnus



### Probstellen Seesedimente und Seebodenbesiedlung (BUS-Untersuchung Seeboden) projektbezogen



#### Fachliche Querverbindungen

MZB:

- Siedlungssubstrat von Destruenten (z.B. Röhrenwürmer)

Bakterien, Pilze:

- Siedlungssubstrat von Destruenten

Neozoen:

- Neozoische Muscheln: Siedlungssubstrat, Bildung neuer Substratflächen
- Vorkommen neozoischer Arten

Fische:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebensraum, Entwicklungsort von Felcheneiern, Leichen als Nahrungsquelle für Destruenten</li> </ul> <p><u>Phyto- und Zooplankton:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deposition, Leichen als Nahrungsquelle für Destruenten</li> </ul> <p><u>Wasserchemie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH-Wert, CO<sub>2</sub>, Deposition und Resuspension von Nährstoffen, Umsatz von POM</li> </ul> <p><u>Physik/Energieeintrag:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatur, Strömung, Zirkulation beeinflussen O<sub>2</sub>-Verhältnisse über dem Seeboden</li> </ul>
--	---

## 5 Fazit und Konzept IGKB-Basismonitoring 2023 bis 2028

Die neuen Herausforderungen, denen das Ökosystem durch den Klimawandel und die Ausbreitung aquatischer Neobiota unterworfen ist, machen auch eine Anpassung des bisherigen Bodenseemonitorings der IGKB und seiner internationalen Partner nötig. Dabei sollen im Sinne der Kontinuität und Daten-Vergleichbarkeit bisherige Monitoringkomponenten beibehalten werden. Hinsichtlich ihrer Untersuchungsperioden und -intervalle müssen sie jedoch dem sich schnell verändernden Zustand des Ökosystems Bodensee Rechnung tragen können. Hinzu kommen weitere Untersuchungsinhalte – vor allem im Flachwasserbereich –, in dem sich solche Veränderungen bereits heute in besonderem Maße zeigen. Zu ihnen zählen auch die neuen Monitoringkomponenten Makrozoobenthos, Neobiota und Wasser-Land-Strukturelemente.

Die empfohlene Vorgehensweise bei der Untersuchung aller alten und neuen Monitoringkomponenten ist in separaten Datenblättern ausgearbeitet und in Kurzform auch in diesem Synthesebericht enthalten.

Daraus ergibt sich für die kommenden Jahre (6-Jahresperiode 2023 bis 2028) das in den Tabellen 5.1-5.3 aufgeführte Monitoringkonzept mit Angabe der erwartbaren Kosten. Sie sind differenziert in

- Investitionskosten
- Detaillierte Gesamtkosten
- Kosten für die IGKB-Kostenliste

Die Kostentabellen wurden, da sie interne Inhalte darstellen, aus der online-Version dieses Berichts entfernt.

