

INFORMATIONEN RUND UM DEN BODENSEE

«SeeWandel-Klima».....Seite 2
Evolutionenbiologin Joana Santos

Felchen.....Seite 3
Neues Faktenblatt

Monitoring.....Seite 4
Multiparametersonden

Umweltbildung.....Seite 5
Schwimmende Seminare



Winter auf dem Bodensee: Genügend lange Kältephasen sind für die Umwälzung des Wassers im See unabdingbar. (Bild: Kerstin Bittner)

FRISCHE LUFT FÜR DAS TIEFENWASSER

Sauerstoff ist für die meisten Organismen überlebenswichtig. Und auch für den Bodensee ist eine gute Sauerstoffversorgung bis in die tiefsten Regionen elementar. Als in den 1970er Jahren auf dem Höhepunkt der Eutrophierung – der übermäßigen Anreicherung des Sees mit Nährstoffen – viel organische Materie auf den Seegrund gelangte, drohte der Sauerstoff knapp zu werden.

Denn viele Mikroorganismen, die den Abbau von Tier- und Pflanzenresten in der Tiefe des Sees bewerkstelligen, benötigen dazu Sauerstoff. Diese Gefahr ist mittlerweile gebannt, da die

Zufuhr von Nährstoffen massiv gesenkt werden konnte.

Seezirkulation ist gefährdet

Allerdings macht dem See nun der Klimawandel zu schaffen. Er hat zur Folge, dass sich das Wasser im Frühjahr früher erwärmt und im Herbst später abkühlt. Dadurch verkleinert sich das Zeitfenster im Winter, in dem Sauerstoff durch die Zirkulation des Wasserkörpers bis in große Tiefe gelangen kann. Dazu muss die Dichte des gesamten Wasserkörpers ungefähr gleich sein. Wenn sich der See Ende Winter deutlich abgekühlt hat, kann sich das Wasser bis in große Tiefen umwälzen. Allerdings werden diese Voraussetzungen immer seltener erfüllt. Seit Ende der 1980er Jahre mehren sich

unvollständige Zirkulationen. Noch bis in die 2000er Jahre waren in den meisten Jahren gute Durchmischungen zu verzeichnen. Doch nach 2006 kam es nur noch 2018 zu einer zufriedenstellenden Zirkulation. Auch im vergangenen Winter konnte das Wasser nicht ausreichend bis zur tiefsten Stelle des Sees zirkulieren.

Geht dem Bodensee die Luft aus?

Doch immerhin ist das Tiefenwasser bisher noch gut mit Sauerstoff versorgt. Allerdings stellt sich für die Seenforschung die Frage, wie viele Jahre in Folge der See mangelnde Zirkulationen tolerieren kann, bevor ihm im wahren Sinne des Wortes die Luft ausgeht. Diese Frage wird im aktuellen Interreg Projekt «SeeWandel-Klima» behandelt.



Die Evolutionsbiologin Joana Santos erforscht, wie sich der Klimawandel auf die Quaggamuschel auswirkt. (Bild: LUBW)

GROSSVERSUCH MIT INVASIVER MUSCHEL

Das Leuchtturm-Projekt «SeeWandel-Klima», das die IGKB 2023 lanciert hat, erkundet das Ökosystem Bodensee. Der «Seespiegel» stellt Fachleute vor, die in diesem Projekt mitarbeiten. Joana Santos leitet ein Teilprojekt, das sich mit Quaggamuscheln befasst.

Die Evolutionsbiologin Joana Santos ist ihrer wissenschaftlichen Neugier wegen in der Schweiz gelandet. Nach ihrem Masterabschluss in Porto ist sie für eine Doktorarbeit an die Universität Basel gekommen. Heute arbeitet sie als Postdoktorandin an der Eawag, dem Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, wo sie sich mit Quaggamuscheln befasst. Santos ist Teil eines Teilprojekts von «SeeWandel-Klima». Sein Titel: «Wie entwickeln sich die invasiven Quaggamuscheln in einem sich verändernden See?».

Zu Lösungen beitragen

Die Evolutionsbiologin erklärt ihr Interesse an diesem Projekt so: «Die massive Verbreitung der Quagga stellt uns vor große Herausforderungen. Ich möchte nicht nur das wissenschaftliche Verständnis vorantreiben, sondern auch zu Lösungen beitragen, die helfen, die Biodiversität auf unserem Planeten zu schützen.»

Das besondere Interesse von Santos' Team gilt den Auswirkungen des Klimawandels auf die invasive Muschel. Dazu betreiben die Forschenden ein großes Experiment: Quaggas aus unterschiedlichen Tiefen des Bodensees werden an der Eawag in einem Labor Extrembedingungen ausgesetzt: erhöhte Temperaturen, tiefer Sauerstoffgehalt und keine Nahrung. Dabei zeigte sich, dass die Muscheln äußerst resistent sind. Mehr als 80 Prozent von ihnen überlebten auch bei sehr tiefem Sauerstoffgehalt und Null Futter. «Das ist ein erstaunliches Resultat», erklärt die Evolutionsbiologin, «unter diesen extremen Bedingungen würden die meisten anderen Arten sterben.»

Was genau diese Anpassungsfähigkeit für die weitere Verbreitung der Muschel im Bodensee bedeutet, lässt sich noch nicht sagen. Als nächstes werden nun Ökosystemmodelle mit den Laborergebnissen sowie mit im See gemessenen Daten gefüttert. Das soll Vorhersagen ermöglichen, wie sich die Quagga in Zukunft entwickeln und mit anderen Arten interagieren wird. Klar ist: Ihre starke Verbreitung stört das Gleichgewicht des Ökosystems – so unter anderem durch ihren Einfluss auf die Nahrungskette. Die Muschel ernährt sich von Algen, auf die auch andere Arten angewiesen sind. «Die Quagga setzt andere Arten unter Druck», betont Joana Santos, «wenn

diese nicht in der Lage sind, sich schnell an die neuen Bedingungen anzupassen, könnten sie aussterben oder stark zurückgehen.» Noch lässt sich allerdings der spezifische Zusammenhang zwischen dem Vorrücken der Muschel und der Zukunft anderer Arten im See nicht wissenschaftlich zeigen.

Verschiedene Invasionsrouten

Ebenfalls Teil des Projekts ist die Untersuchung des Erbguts unterschiedlicher Quagga-Populationen. Dabei zeigte sich unter anderem, dass sich das Genom von Muscheln aus dem Bodensee von solchen aus dem Genfersee unterscheidet, was auf unterschiedliche Invasionsrouten hindeutet.

Die Arbeit bei «SeeWandel-Klima» ist facettenreich – nicht nur der wissenschaftliche Teil des Projektes. Um Versuchstiere zu sammeln, war die Evolutionsbiologin beispielsweise mit Maske und Schnorchel im Flachwasser des Bodensees unterwegs. Und sie legte beim Bau der Labortanks mit Hand an. Denn um den Sauerstoffgehalt des Wassers genau kontrollieren zu können, müssen diese absolut luftdicht sein – eine knifflige Aufgabe, die rund ein halbes Jahr in Anspruch nahm. «Genau diese Vielfaltigkeit ist es, was ich an meinem Job als Forscherin liebe», sagt Joana Santos, «ich will nicht bloß vor dem Computer sitzen und Daten analysieren.»

DIE ZUKUNFT DER BODENSEEFELCHEN

Der Felchen war bisher der wichtigste Brotfisch der Berufsfischer im Bodensee. Doch die Bestände sind massiv eingebrochen. Ein neues Faktenblatt diskutiert mögliche Ursachen und blickt nach vorne.

Die Felchen, wissenschaftlich Coregonen genannt, gehören zu den Lachsartigen Fischen. Seit Jahrhunderten sind sie als schmackhafte Speisefische begehrt. Im Bodensee kommen heute drei Felchenarten vor. Am häufigsten ist der Blaufelchen (*Coregonus wartmanni*). Er lebt im Freiwasser bis in 60 Meter Tiefe und ernährt sich weitestgehend von Zooplankton. Der Laich wird im Freiwasser abgegeben. Die Eier sinken dann auf den Seeboden, wo sie sich bei gutem Sauerstoffangebot weiterentwickeln.

Demgegenüber hält sich der Gangfisch (*Coregonus macrophthalmus*) eher in der Nähe des Seegrunds in mittlerer Tiefe auf. Er laicht an der Halde in 5 bis 30 Meter Tiefe, also dort, wo der Uferbereich mehr oder weniger steil in die Tiefe abfällt. Der Sandfelchen (*Coregonus arenicolus*) wiederum ist größer und mit bis zu vier Kilogramm auch schwerer als die beiden anderen Felchen. Er laicht im ufernahen Flachwasser. Die vierte Felchenart, der Bodensee-Kilch (*Coregonus gutturosus*), gilt seit 1970 als ausgestorben.

Abnehmende genetische Vielfalt

Im Rahmen der Forschungsprojekte «SeeWandel» und «SeeWandel-Klima» wurde vor kurzem das Faktenblatt «Der Brotfisch des Bodensees – Besonderheiten und Gefährdung des Bodenseefelchens» veröffentlicht. Darin wird unter anderem der Verlust an genetischer Vielfalt bei den Coregonen beklagt, der darauf hinweist, dass die Anpassungsfähigkeit der Felchenarten abnimmt. Der Hintergrund: Populationen mit einer großen genetischen Vielfalt können sich besser an Umweltveränderungen und Klimawandel anpassen, zudem sind sie resistenter gegenüber Krankheiten.

Die Felchen haben derzeit mit einer Reihe von Problemen zu kämpfen. Ab 2012 erwuchs ihnen Konkurrenz durch die Stichlinge, die sich stark vermehrten und ihnen vermutlich die Nahrung streitig machten. Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass Stichlinge Eier und kleine Larven der Felchen erbeuten. Auch die sich massenhaft vermehrende Quaggamuschel hat die Felchenbestände möglicherweise beeinflusst: Weil die Muscheln enorme Mengen an Planktonalgen konsumieren, ist zu befürchten, dass das Algenangebot für

noch statt, wenn auch nur in geringem Ausmaß. So soll der Bestand durch die zusätzliche Erbrütung und Aufzucht von Jungfelchen gestützt werden.

Rückgang der Stichlinge im Freiwasser seit 2024

Die Bedeutung der Stichlinge als Konkurrenten und Prädatoren im Nahrungsnetz der Felchen hat abgenommen, da ihr Bestand im Freiwasser seit 2024 deutlich zurückgegangen ist. Bei der Fangaktion im Herbst 2025 wurde nur noch ein Bruchteil der frü-



Die drei Felchenarten im Bodensee stehen unter Druck. (Bild: Peter Rey)

das Zooplankton leidet, von dem sich ihrerseits die Felchen ernähren. Kommt dazu, dass der Klimawandel die Lebensbedingungen für die Felchen erschwert, weil sie höchstwahrscheinlich künftig gezwungen werden, in tiefere und damit kühlere Wasserschichten auszuweichen.

Zusätzliche Aufzucht von Jungfelchen

Wie also geht es mit den Felchen weiter? Im Jahr 2022 erließ die Internationale Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodenseefischerei (IBKF) ein Fangmoratorium für den Obersee, das bis 2026 gilt. Der alljährliche Laichfang im frühen Winter findet allerdings

heren Stichlingsfänge verzeichnet, wie Alexander Brinker berichtet, der Leiter der baden-württembergischen Fischereiforschungsstelle in Langenargen.

Erfreulich sind auch die weiteren jüngsten Erkenntnisse: «Den wenigen Felchen, die noch da sind, geht es gut. Sie stehen gut im Futter und wachsen toll», so Brinker. «Das liegt sicher auch daran, dass weniger Stichlinge als Nahrungskonkurrenten vorhanden sind. Und dass die Felchen derzeit vollständig geschont werden.»

Das Faktenblatt im Internet:

<https://seewandel-klima.org> > Publikationen > Falt- und Faktenblätter

HIGH-TECH UNTER WASSER

Das Monitoring des Bodensees ist eines der zentralen Projekte der IGKB. Dabei spielt auch die Messtechnologie eine wichtige Rolle, zum Beispiel eine Messboje, die im Untersee verschiedene Parameter automatisch aufzeichnet.

Noch nie wurde die Wasserqualität des Bodensees so genau beobachtet, wie heute. Zwar werden im See schon seit Jahrzehnten unterschiedliche Messgrößen ermittelt, doch neuerdings sind auch diverse Messstationen im Einsatz, welche die verschiedenen gemessenen Daten automatisch erheben und an Umweltämter und Forschungseinrichtungen übermitteln. Hintergrund der intensivierten Beobachtung sind die Veränderungen, die im Bodensee unter anderem durch den Klimawandel ausgelöst werden.

«Wir brauchen hochaufgelöste Daten, zum Beispiel um abzuschätzen, wie sich die steigenden Wassertemperaturen auf die jahreszeitliche Durchmischung im Untersee auswirken», sagt Heinz Ehmann, der Leiter der Abteilung Gewässerqualität und -nutzung im Amt für Umwelt des Kantons Thurgau. «Ein besonderes Augenmerk richten wir zurzeit auf den Sauerstoffgehalt, der sich vor allem in trockenen, heißen Sommern verändert hat.» Um diese Prozesse besser zu verstehen, seien hochaufgelöste Messungen nötig.

Gesteigerte Messhäufigkeit

Gemessen wird der Sauerstoffgehalt mit einer über der tiefsten Stelle des Untersees schwimmenden Messstation. Sie besteht aus einer fest installierten Boje, von der aus eine sogenannte Multiparametersonde abgesenkt wird. Diese nimmt in regelmässigen Abständen Messungen vor, bis sie auf einer Tiefe von 45 Metern knapp über dem Seegrund angelangt ist. Der Tauchgang dauert eine Stunde und liefert ein Profil der gemessenen Größen über die ganze Tiefe des Sees.

Die Sonde ist mit Sensoren vollgepackt. Sie messen nicht nur physikalische Einflussgrößen wie Temperatur und Trübung, sondern auch chemische Parameter – neben dem Sauerstoffgehalt etwa den pH-Wert – oder biologische Größen, beispielsweise die Konzentrationen von Chlorophyll-a. Die unterschiedlichen Parameter werden automatisch alle sechs Stunden gemessen. Das ist ein Quantensprung verglichen mit traditionellen Messungen im Rahmen des IGKB-Monitorings, die lediglich einmal pro Monat erfolgten. «In dieser Zeit kann im See viel passieren», sagt Heinz Ehmann.



Die automatisierte Messboje im Untersee ist mit einer Multiparametersonde ausgerüstet. (Bild: Amt für Umwelt, Kanton Thurgau)

Die automatischen Messungen, die regelmässig an die Fachstelle Hydrometrie des Amtes für Umwelt übermitteln werden, ergänzen bestehende Messreihen, die seit Mitte der 1970er-Jahre an genau derselben Stelle zwischen Schweizerland bei Steckborn (CH) und Gaienhofen (D) erstellt wurden. Im Vordergrund standen dabei chemische Inhaltsstoffe wie beispielsweise Phosphor.

Hundert Jahre alte Messungen

Vor allem aber ist die Bojenstation Teil eines Messnetzes, über welches das IGKB-Monitoring den ganzen

Bodensee abdeckt. Eine Pionierrolle spielte dabei das Institut für Seenforschung Langenargen (ISF). Bereits in den 1920er Jahren wurden dort bei ersten Seemonitoring-Programmen die Wassertemperaturen im See ermittelt. Im Lauf der Zeit wurden die Messungen stark ausgebaut.

Messungen im Flachwasser

Im Unterschied zu ihren Schweizer Kollegen machen die deutschen Forschenden ihre kontinuierlichen Messungen nicht mitten im See, sondern in Ufernähe. An der Flachwassermessstation Langenargen werden nicht zuletzt meteorologische Parameter wie Wind-

geschwindigkeit und Windrichtung, sowie Lufttemperatur, Luftdruck und Niederschlag gemessen. Dazu kommen die Messungen zur Wasserqualität – vergleichbar mit jenen der Bojenstation im Untersee. In Langenargen wurde die erste kontinuierlich messende Seestation bereits vor über 15 Jahren in Betrieb genommen. «Der große Vorteil dieser Stationen besteht darin», sagt Thomas Wolf vom ISF, «dass die Messwerte in kurzen Abständen erhoben werden und dadurch ein sehr gutes Bild der zeitlichen Veränderungen und Dynamik für die gemessenen Parameter entsteht.»

SCHWIMMENDE SEMINARE

Eine Schifffahrt und Wissen miteinander verbinden: Das ist das Motto der Schwimmenden Seminare, bei denen während einer Fahrt über den Bodensee spannend und unterhaltsam interessante Informationen über dessen Ökosystem vermittelt werden. Die Vorträge sind im regulären Fahrpreis enthalten. Angeboten werden diese Naturerlebnis-seminare auf dem See seit fast vierzig Jahren in den Sommermonaten von der baden-württembergischen Akademie für Natur- und Umweltschutz in Zusammenarbeit mit dem Seenforschungsinstitut und den Bodensee-Schifffahrtsbetrieben.

Die Seminare stoßen auf Interesse und halten für viele Teilnehmende einige Überraschungen bereit, so Carina Dambacher, die Seminar-Referentin. Allgemein bekannt sei, dass der Bodensee rund fünf Millionen Menschen mit Trinkwasser versorge. Weniger verbreitet sei hingegen das Wissen

über die negativen Auswirkungen des Klimawandels: «Darüber haben sich viele Gäste der Schwimmenden Seminare noch keine Gedanken gemacht.» Sie freuten sich eher über die angenehmen Badetemperaturen und die längere Badesaison. Doch diese Entwicklung hat eine Kehrseite:



Carina Dambacher spricht über die Folgen des Klimawandels. (Bild: Kerstin Bittner)

So ist unter anderem das Zeitfenster kürzer geworden, das dem See im Winterhalbjahr zur Verfügung steht, um seine Sauerstoffreserven in der Tiefe aufzufüllen.

Der Klimawandel hat zahlreiche weitere Auswirkungen, die dem See zu

schaffen machen: von niedrigen Wasserständen bei Dürreperioden bis zu Hochwasser nach Starkregenfällen. Weitere Folgen sind unter anderem neu eingewanderte fremde Arten wie die Quaggamuschel. «Bei den Vorträgen wird vielen bewusst, dass es im See derzeit zu unumkehrbaren Verände-

rungen kommt, mit denen wir leben müssen», sagt Carina Dambacher. Zum Schluss gibt sie dem Publikum jeweils eine wichtige Botschaft mit auf den Weg: «Die beste Voraussetzung für den langfristigen Schutz des Bodensees ist sein möglichst naturnaher Zustand – nur so ist er fit für die Zukunft.»

EDITORIAL



Der Bodensee ist ein Geschenk – ökologisch, wirtschaftlich und kulturell. Gleichzeitig steht er vor großen Herausforderungen: Invasive Arten, Klimawandel, aber auch die vielfältigen Ansprüche von Land- und Forstwirtschaft setzen ihn unter Druck. Nicht zu vergessen sind auch die Folgen von Tourismus, Industrie und Wärmenutzung. Vor allem aber gilt es, die Trinkwasserversorgung zu sichern. Diese vielschichtigen Aufgaben ver-

langen gemeinsame, vorausschauende Lösungen.

Durch die IGKB setzt Bayern auch weiterhin auf eine vertrauensvolle und enge Zusammenarbeit mit seinen Nachbarregionen. Nur im partnerschaftlichen Dialog lassen sich nachhaltige Antworten entwickeln – von präventiven Maßnahmen gegen invasive Arten bis zu klugen Strategien im Umgang mit wärmeren Sommern und veränderten Niederschlagsmustern. Zusammen möchten wir deshalb:

- weitere Maßnahmen zur Eindämmung invasiver Arten forcieren, um das empfindliche Ökosystem zu schützen und die biologische Vielfalt des Sees zu bewahren,
- mit der Land- und Forstwirtschaft sowie dem Tourismus naturverträgliche Nutzungen erarbeiten, ergänzt durch innovationsfreundliche Ansätze für die Industrie und zur Wärmenutzung,

- die (Not-)Verbundsysteme für die öffentliche Wasserversorgung über Grenzen hinweg weiterentwickeln, um mögliche Versorgungslücken schnell und sicher zu schließen.

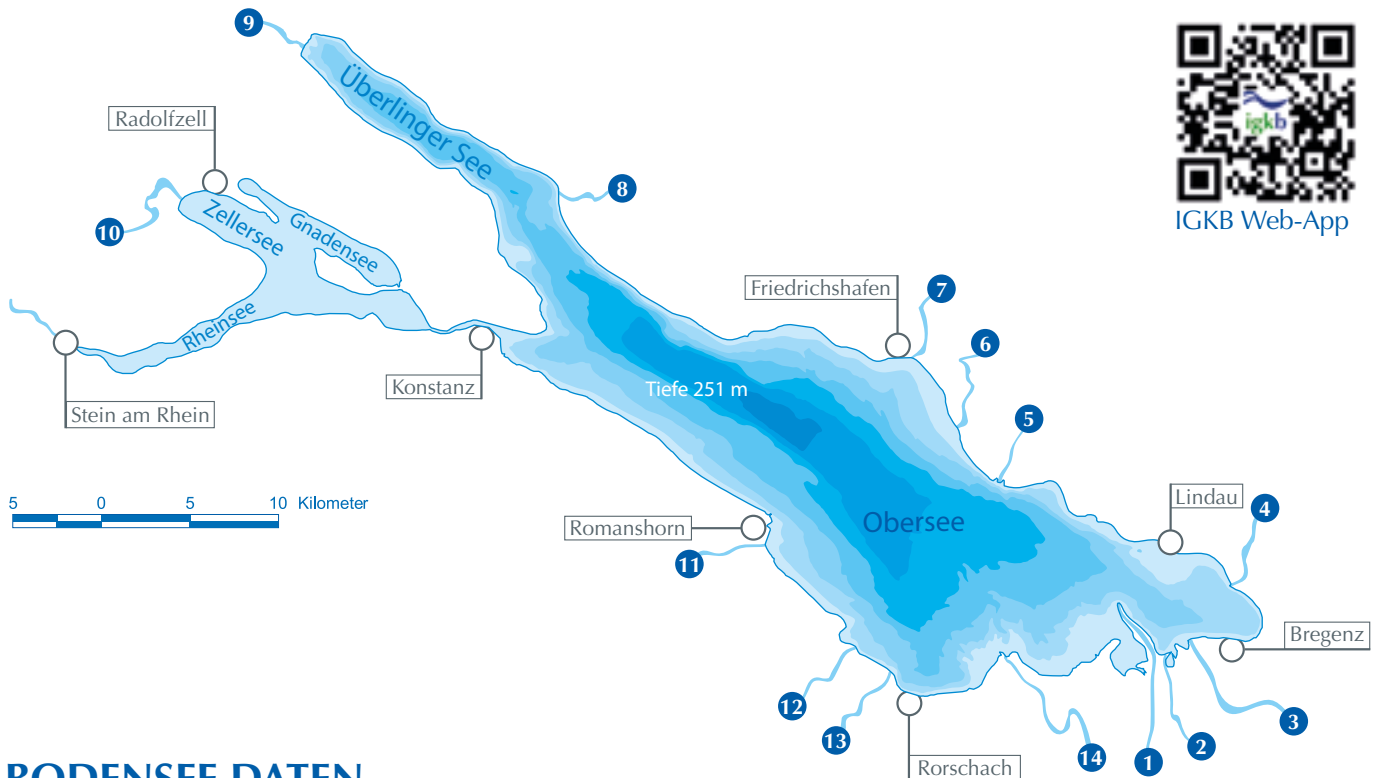
Das bayerische Projekt SüSWasser wird ohne die Variante einer Bodenseewasserentnahme weiterbetrachtet. Das Ziel, die Versorgungssicherheit Nordbayerns künftig durch leistungsfähige Verbundleitungen sicherzustellen, verfolgen wir mit vier Varianten weiter. Mit Offenheit, Knowhow und partnerschaftlichem Miteinander können wir den Bodensee als Lebensraum und Ressource für kommende Generationen bewahren und gleichzeitig zukunftsfähig nutzen.

Dr. Christian Mikulla

Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft und Geologie im Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz



IGKB Web-App



BODENSEE DATEN

Seebecken: (Ober- und Untersee)		Bodenseezuflüsse:		Uferlängen:	
				in km	in %
Meereshöhe ü. NN:	395 m	➊ Rhein	➋ Seefelder Aach	insgesamt	273 100
Oberfläche gesamt:	536 km ²	➌ Dornbirnerach	➍ Stockacher Aach	Baden-Württemberg	155 57
Obersee:	473 km ²	➎ Bregenzerach	➏ Radolfzeller Aach	Bayern	18 7
Untersee:	63 km ²	➐ Leiblach	➑ Salmsach	Österreich	28 10
tiefste Stelle:	251 m	➒ Argen	➓ Steinach	Schweiz	72 26
Rauminhalt:	48 km ³	➔ Schussen	➕ Goldach		
Uferlänge:	273 km	➖ Rotach	➖ Alter Rhein		
größte Länge im See:	63 km				
größte Breite im See:	14 km				

Der Bodensee ist nach dem Plattensee und dem Genfersee flächenmäßig der drittgrößte See in Mitteleuropa.

SEELEXIKON

BLAUALGEN

Der Name trügt: Blaualgen sind keine Algen, sondern Bakterien. Wissenschaftlich heißen sie Cyanobakterien. Sie kommen auf der ganzen Welt vor, meist in stehenden oder fließenden Gewässern aber auch an feuchten Standorten. Unter bestimmten Bedingungen können sie sich massenhaft vermehren und sogenannte Blüten bilden, was auch schon am Bodensee beobachtet wurde. Dann können sie dem Gewässer eine unna-

türliche Färbung verleihen, etwa rot oder blaugrün. Besonders bekannt ist die Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*), die ihren Namen völlig zu Recht trägt.

Während die Burgunderblutalge wie viele andere Cyanobakterienarten im freien Wasser, also pelagisch, vorkommt, leben die benthischen Cyanobakterien am Grund des Gewässers. Dort können sie zusammen mit anderen Aufwuchsalgen ganze Matten bilden. Unter besonderen Um-

ständen können diese Matten durch Gasblasen auftreiben und dann an der Wasseroberfläche als unangenehme Klumpen in Erscheinung treten. Etwa 40 Arten der Cyanobakterien können teilweise sehr giftige Stoffe produzieren. Diese Cyanotoxine können insbesondere für Hunde gefährlich werden, wenn sie verseuchtes Wasser trinken oder aufgetriebene Algenwatten oder Holzstückchen mit benthischen Cyanobakterien fressen. Aber auch Kleinkinder sollte man unbedingt von diesen Gefahrenquellen fernhalten.

IMPRESSUM

Herausgeber:

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

Redaktion und Gesamtherstellung:

Petra Nowak, Harald Hetzenauer & Benjamin Reiff, IGKB. Druckhaus Zanker e.K., Markdorf

Kontakt und Bezug:

E-Mail: bodensee@igkb.org
www.seespiegel.org