



SeeWandel

## SeeWandel Faktenblatt No. 04 | Mai 2023

Leben im Bodensee –  
gestern, heute und morgen



Bild: © Andreas Hartl



## Ist der Dreistachlige Stichling im Bodensee ein langfristiges Problem für Fische und Fischer?

Der Dreistachlige Stichling (*Gasterosteus aculeatus*) wurde vermutlich ab dem späten 19. Jahrhundert in das Bodenseesystem eingeführt und erstmals 1951 im See nachgewiesen. Seit 2012 besiedelt die zuvor nur in der Uferzone vorkommende Art das Freiwasser des Sees und ist dort mittlerweile der an Zahl dominierende Fisch. Die ökologischen und ökonomischen Folgen sind Gegenstand intensiv geführter Diskurse. Aktuell vorliegende Beobachtungen und Schlussfolgerungen bedürfen teilweise weitere Abklärungen, um v.a. kausale Zusammenhänge im komplexen Ökosystem ganzheitlich verstehen zu können. Mutmaßlich verstärkte Nahrungskonkurrenz und situationsbedingter Fraß von Eiern und Larven anderer Fischarten werden als eine der mögliche Ursachen für den Rückgang des Wachstums, der Rekrutierung und der Dichten insbesondere der fischereiwirtschaftlich bedeutenden Felchen (vorrangig Blaufelchen und Gangfisch) diskutiert.



## Der Dreistachlige Stichling: erst nur im Uferbereich, heute die zahlenmäßig dominierende Fischart im Freiwasser des Bodensees

Neobiota<sup>1</sup>, die sich in neuen Lebensräumen etablieren und unerwünschte Auswirkungen verursachen (ökologisch, ökonomisch, gesundheitlich), werden als invasive Arten bezeichnet. Weltweit zählen invasive Arten zu den wichtigsten Treibern für Veränderungen in der Artenvielfalt [1]. Durch Interaktionen wie Konkurrenz um Ressourcen (Nahrung, Lebensraum, etc.) oder die Verbreitung von Krankheitserregern (Pathogene) sowie als Parasiten und Fressfeinde können sie einheimische Arten gefährden. Dies kann negative Folgen für die Biodiversität haben, z.B. lokaler Verlust von Artenvielfalt oder Homogenisierung von Artengemeinschaften. Zudem beeinflussen invasive Arten Eigenschaften und Prozesse von Ökosystemen und somit deren Nutzung durch den Menschen. Der Dreistachlige Stichling (*Gasterosteus aculeatus*) gehört nicht zum heimischen Fischarteninventar des Bodensees. Dessen unvermittelte und massive Ausbreitung im offenen Wasser (Freiwasser) des Bodensees ist ein eher seltenes Verhalten für diese Fischart.

Die Einschleppung des Dreistachligen Stichlings in das Bodenseesystem durch den Menschen erfolgte vermutlich ab Ende des 19. Jahrhunderts [rezensiert von 2]. Im Bodensee selbst wurde die Art erstmals 1951/52 nachgewiesen [3]. Nach seiner Einführung expandierte und vermehrte sich die Population im See, wobei die Dichte in den letzten 50 Jahren Schwankungen unterlag. Die Art lebte zunächst nahezu ausschließlich im Uferbereich des Sees, wo sie erstmals in den 1960-70er Jahren als übermäßig häufig beschrieben wurde [3]. 2013 wurden Stichlinge als Beifang in freitreibenden Netzen im Freiwasser festgestellt [4]. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Befischung bestand dann 2014 der Fang im Freiwasser zu 96 % aus Stichlingen, die Biomasse machte 28 % vom Gesamtfang aus (Abb. 1) [5]. Die hohen Bestandesdichten im Freiwasser halten bis heute an, wobei deren Ursachen nach wie vor ungeklärt sind (Abb. 1) [6, 7]. Negative ökologische und ökonomische Folgen dieser Bestandsexplosion im Freiwasser für das Ökosystem Bodensee und die Gewässernutzenden werden erörtert, die ursächlichen komplexen Zusammenhänge sind jedoch noch nicht vollumfänglich verstanden.

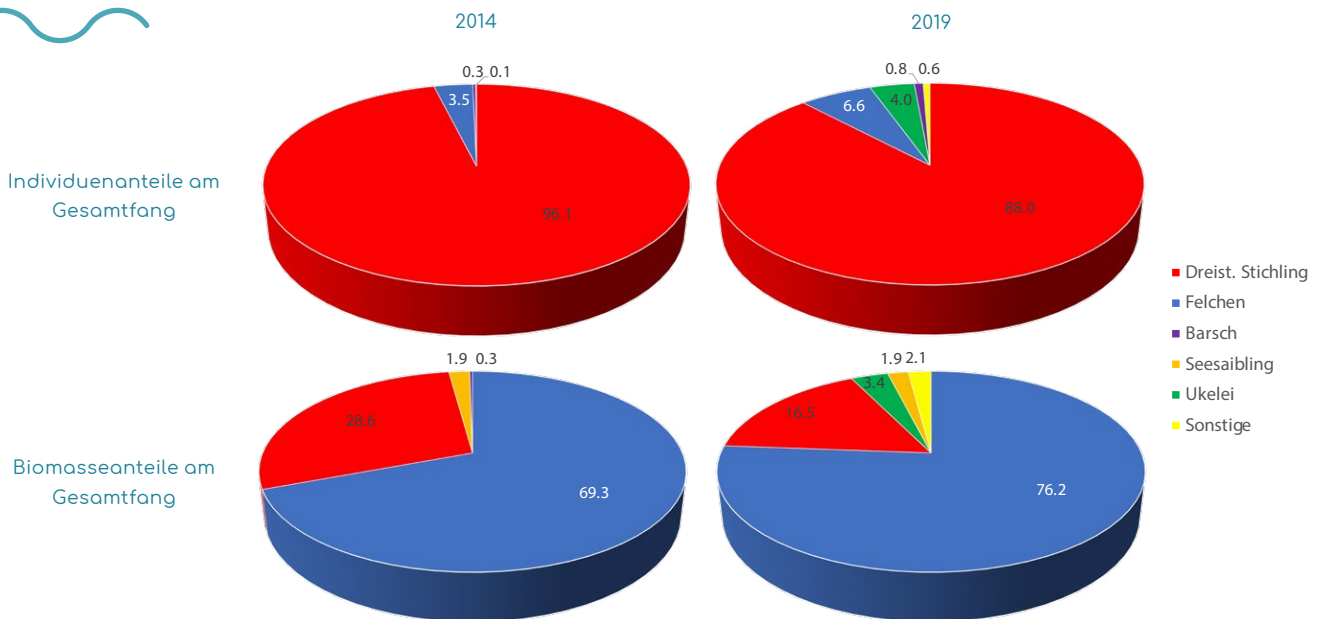


Abb. 1: Anteil gefangener Individuen und Anteil der Biomasse (Prozentangaben) am Gesamtfang der im Rahmen von wissenschaftlichen Befischungen im Freiwasser des Bodensee-Obersees gefangenen Fischarten in den Jahren 2014 [5] und 2019 [6].

<sup>1</sup> In Europa beschreibt dieser Begriff Tiere (Neozoen) oder Pflanzen (Neophyten), die sich nach 1492 (Landung von C. Kolumbus in Amerika) mit menschlicher Einflussnahme in einem Gebiet etabliert haben, in dem sie von Natur aus nicht vorkamen.



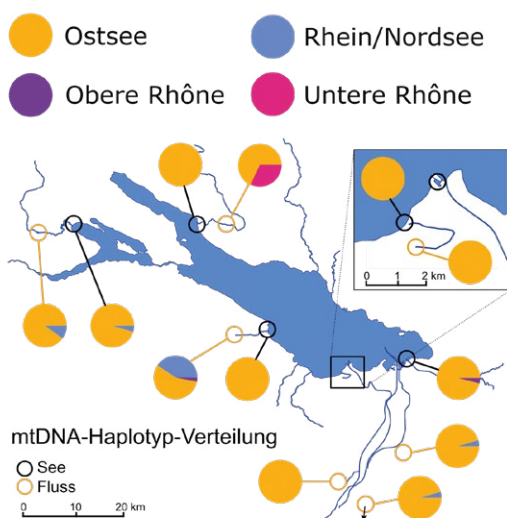
## Wo leben Dreistachlige Stichlinge heute und wo kommen sie her?

Der Dreistachlige Stichling ist in den gemäßigten und borealen (nördlichen) Regionen der Nordhalbkugel sowie an den nördlichen Rändern des Atlantiks und des Pazifiks weit verbreitet [8, 9]. Er bewohnt neben Stillgewässern aller Art auch ruhige Fließgewässerbereiche. Die Meerespopulationen bewohnen weite Bereiche der Meeresküsten und Brackgewässer und ziehen in einigen Fällen zur Fortpflanzung ins Süßwasser. Es wird angenommen, dass die Art ursprünglich aus dem Pazifik stammt und im Spätpleistozän<sup>2</sup> über den Arktischen Ozean den Atlantik besiedelt hat [10]. Wahrscheinlich etablierte sich der Stichling früh und ausgehend vom Atlantik im Mittelmeerraum [11] und nach dem letzten Gletschermaximum (das etwa 20.000 Jahre vor unserer Zeitrechnung endete) ebenso in Nord- und Westeuropa [12]. Im Laufe der Erdgeschichte sind Stichlinge aus dem Meer immer wieder in Süßgewässer eingewandert und haben sich dort angesiedelt. Heute findet man die Art in kleinen und großen Fließ- und Stehgewässern Mitteleuropas, neben dem Bodensee z.B. im Genfer- und Vierwaldstättersee, in der oberen Rhône und in der Donau [2 und darin aufgeführte Nachweise].



## Wie gelangte der Stichling in den Bodensee?

Die Geschichte der Stichlinge im Bodensee in Bezug auf den Zeitpunkt ihrer Ankunft, die Quelle der Kolonisierung und die Art der Diversifizierung<sup>3</sup> in See- und Flusstichlinge ist Gegenstand einer laufenden wissenschaftlichen Debatte [rezensiert von 2]. Die wiederholte Freisetzung von Stichlingen durch Aquarianer oder Fischer ab dem späten 19. Jahrhundert in das Bodenseesystem gilt derzeit als das plausibelste Szenario [2]. Der erste belegte Fund im Bodensee wird auf 1951 datiert [3]. Genetische Untersuchungen belegen, dass die heute im Bodensee vorkommenden Stichlinge aus unterschiedlichen Quellen stammen und mindestens drei verschiedene europäische Abstammungslinien und Einführungen repräsentieren: je eine Linie aus dem Rhein, der Rhône und der Ostseeregion [13]. Im Hauptsee dominieren Nachkommen osteuropäischer Stichlinge (Ostsee-Linie), während das Erbgut der Populationen in den umliegenden Bächen und Flüssen (Bodenseezuflüsse) eine vielfältigere Repräsentation westeuropäischer Süßwasserquellen (mehrere Abstammungslinien) aufweist (Abb. 2) [2, 13].



**Abb. 2:** Genetische Zusammensetzung (Mitochondriale DNA-Haplotyp Verteilung) der Stichlingspopulationen des Bodensees in Bezug auf die wichtigsten europäischen Abstammungslinien [13, verändert].

<sup>2</sup> Erdgeschichtlich umfasst das Spätpleistozän den jüngsten Abschnitt des Pleistozäns. Es begann vor rund 126.000 (+/- 50.000) Jahren und endete vor 11.784 (+/- 69) Jahren mit einer globalen Erwärmung, dem Holozän, das bis heute andauert.

<sup>3</sup> Die Entwicklung von Unterschieden bei der evolutionsbiologischen Artbildung.



## Was macht die Bodenseestichlinge so einzigartig und erfolgreich?

Im Bodenseeraum unterscheidet man verschiedene Stichlings-Ökotypen mit unterschiedlichen Merkmalen und Anpassungen. Einer lebt ausschließlich in den umliegenden Bächen/Flüssen oder in der Uferzone, einen anderen findet man im Freiwasser bis in 50 m Tiefe [5-7]. Ein Großteil der im Bodensee ansässigen Jungfische wandert ab Juli ins Freiwasser. Auch die älteren Tiere ziehen ins Freiwasser und nur ein Teil der Stichlinge verbleibt am Ufer. Im November/Dezember sind Stichlinge in hoher Zahl im Freiwasser, und auch im Uferbereich zu finden. Im Frühjahr kehren die Tiere dann zum Laichen in das Flachwasser des Sees oder in dessen Zuflüssen zurück [14]. Die Laichwanderung einiger Bestände des Seeökotyps flussaufwärts in die Zuflüsse ist ähnlich der von anadromen<sup>4</sup> Meeresstichlingen. Obwohl diese Seestichlinge zeitgleich mit den Flusstichlingen laichen, sind sie genetisch differenziert [15].

Bodenseestichlinge werden im Durchschnitt 6-7 cm lang. Einige Exemplare erreichen bis 10 cm Länge und zählen damit zu den weltweit größten Süßwasserstichlingen [2]. Dies könnte u.a. auf eine marine Ursprungspopulation zurückzuführen sein, die schnell gewachsen ist und deren erwachsene Tiere ein reichhaltiges Nahrungsangebot vorfanden. Bodenseestichlinge (auch diejenigen, die im Uferbereich vorkommen) zeichnen sich durch eine vermehrt phänotypische<sup>5</sup> Anpassung an eine Lebensweise im Freiwasser aus (Abb. 3). Diese ist gekennzeichnet durch längere Kiemenrechen, eine ausgeprägte Kopfform und einen ausgebildeten Verteidigungskomplex (lange Stacheln und nahezu vollständige Plattenbedeckung des Körpers) [2].

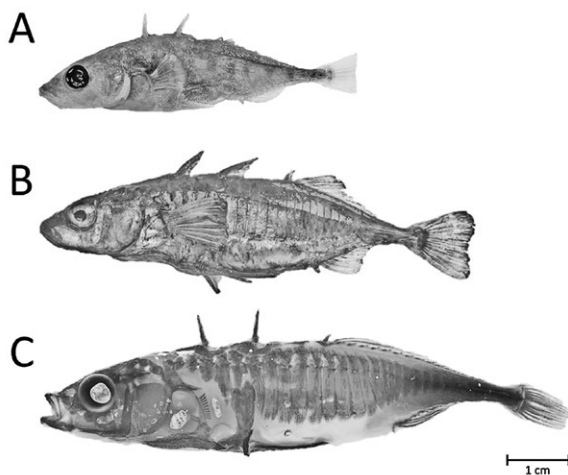


Abb. 3: (A) Exemplar der westeuropäischen Abstammungslinie, gefangen 1935 im Rhein bei Basel, (B) vollständig plattiertes Exemplar, gefangen 1963 im Bodensee bei Langenargen, (C) großes, voll plattiertes Weibchen aus dem Freiwasser im Bodensee, gefangen 2014 im Rahmen der Projekt Lac Befischung bei Meersburg [2, verändert].

### Dreistachliger Stichling - allgemeine Merkmale

- Dreistachlige Stichlinge sind phänotypisch sehr variabel [8]
- im Gegensatz zu allen anderen heimischen Süßwasserfischarten ist die erste Rückenflosse zu drei, selten auch zwei oder vier beweglichen Stacheln umgebildet
- statt Schuppen besitzen sie eine variable Anzahl von zwei bis über 30 Knochenplatten, die die Körperflanken bedecken
- Größe im Süßwasser meist zwischen 3 bis 8 cm [9, 16]
- durchschnittliche Lebenserwartung 2-4 Jahre [17]
- Fortpflanzung zwischen März und Juli
- Männchen entwickeln zur Laichzeit ihre Hochzeitsfärbung, werden territorial und bauen ein Nest
- laichbereite Weibchen werden mit Balztanz umworben
- nach Abschluss der Paarungsaktivitäten wird das Nest vom Männchen bewacht, verteidigt, laufend gereinigt und die Eier mit Frischwasser befächelt
- Männchen kümmern sich etwa eine Woche lang um den geschlüpften Nachwuchs und holen die Jungtiere zurück, falls sich diese zu weit vom Nest entfernen [9]

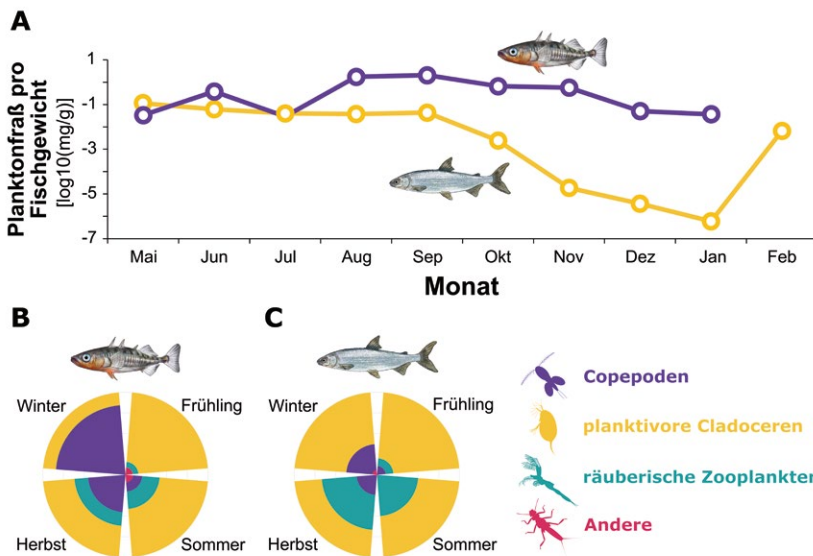
Bodenseestichlinge ernähren sich, wie auch die fischereiwirtschaftlich bedeutenden Felchen (Blaufelchen und Gangfisch), im Freiwasser von Zooplankton<sup>6</sup> [2, 18]. Nur wenige der im Freiwasser gefangenen Stichlinge weisen in ihren Mägen Beutetiere die typisch für die Ufer- oder Bodenzonen sind (wie Zuckmückenlarven oder Flohkrebse) auf [18]. Ein größerer Kiefervorsprung trägt möglicherweise dazu bei, dass Bodenseestichlinge - im Vergleich zu anderen Seestichlingen (z.B. im Genfer See) - effizienter verschiedene Zoo-

<sup>4</sup> Anadrome Fische wandern aus dem Meer in Süßgewässer, wo sie laichen.

<sup>5</sup> Der Phänotyp beschreibt das von der genetischen Konstitution eines Organismus sowie endogenen und exogenen (Umwelt-) Faktoren hervorgerufene Erscheinungsbild (z.B. morphologische Merkmale, physiologische, biochemische Prozesse, Verhalten).

<sup>6</sup> Tierische, im freien Wasser schwebende Kleinstorganismen (z.B. Kleinkrebse oder Larven vieler Wasserbewohner).

planktonarten fangen können, wobei es saisonale Unterschiede bei der Wahl der Beute und Unterschiede innerhalb des Sees gibt [2, 18]. Mageninhaltsanalysen von Felchen und Stichlingen im Bodensee zeigen eine ähnliche Beutepräferenz der Fischarten, v.a. im Sommer und insbesondere größere Zooplanktonarten betreffend, wie *Bythotrephes longimanus*, *Leptodora kindtii* und *Daphnia longispina* (Abb. 4) [18]. Kleinere Zooplanktonarten wie *Bosmina* werden dann gefressen, wenn diese Arten jahreszeitlich bedingt häufig auftreten und die bevorzugten Beutearten selten sind [18]. Im Vergleich zu den Felchen weisen Stichlinge einen höheren Nahrungsverbrauch pro Körpergewicht auf [18]. Zudem zeigen Aquarierversuche, dass junge Stichlinge die sieben häufigsten Zooplanktonarten des Bodensees mit gleichem oder größerem Erfolg fressen wie gleich große Felchen [19].



Wenn sich die Gelegenheit bietet, zählen auch Fischlaich und -brut zur Beute von Stichlingen, z.B. wenn Felchen in der Nähe von Stichlingsschwärmen ablaichen oder diese auf größere Mengen an Felchenlarven während des Besatzes treffen [20].

**Abb. 4:** (A) Saisonaler Zooplanktonfraß pro Gramm Fischgewicht bei Stichlingen (violett) und Felchen (gelb), und saisonaler Beitrag der Krebstier-Zooplanktonarten des Bodensees zur Ernährung einzelner (B) Stichlinge und (C) Felchen. Planktivore Cladoceren umfassen die verschiedenen *Daphnia*-Arten und *Bosmina*, räuberische Zooplankter *Leptodora* und *Bythotrephes* [Daten aus 18, vereinfacht; weiterführende Details in 18].



## Folgen für ein Ökosystem bei Massenvorkommen

### Verstärkte Konkurrenz um Nahrung:

Wie Felchen fressen Bodenseestichlinge v.a. großes Zooplankton im Freiwasser, wodurch es möglicherweise zur Nahrungskonkurrenz zwischen den Fischarten kommen kann, wenn die Ressourcen begrenzt sind [18]. Auch während der Dämmerung und in der Nacht fressen Stichlinge [21, 22]. Dies könnte ihnen einen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Fischarten, wie z.B. Jungbarschen verschaffen [22]. Zudem fressen Stichlinge das ganze Jahr über, während z.B. größere Felchen im Winter während der Laichzeit die Nahrungsaufnahme reduzieren und von ihren Reserven zehren [18]. Diese Faktoren könnten zur zahlenmäßigen Dominanz und zum Erfolg des Stichlings im Freiwasser des Bodensees beitragen [22].

### Rückläufige Dichten bei Fischbeständen:

Die durch die Stichlingsinvasion im Freiwasser mutmaßlich verstärkte Nahrungskonkurrenz wird als

Erklärung für das weiterhin rückläufige Wachstum und die schwindenden Bestandsdichten beim Felchen diskutiert [4, 23]. Inwieweit sich der im Freiland und Labor beobachtete Fraß von Felchenlaich und -brut durch Stichlinge [4, 20] auf die Rekrutierung der Felchen im Bodensee auswirkt ist noch unklar. Weiterführende Studien sind nötig, um kausale Zusammenhänge eindeutig belegen zu können.

### Veränderungen des Nahrungsnetzes:

Die phänotypischen Anpassungen an das Leben im Freiwasser erleichtern möglicherweise den Bodenseestichlingen eine effektivere Nutzung der dortigen Zooplanktonressourcen. Auch im Winter, wenn die Zooplanktondichte im Bodensee vergleichsweise gering ist, fressen Stichlinge große Mengen Zooplankton [18]. Einhergehend mit der massiven Ausbreitung des Stichlings im Freiwasser nahm die durchschnittliche Zooplanktongröße ab und kleinere, als Beute weniger bevorzugte Zoo-

planktonarten nahmen in ihrer Häufigkeit zu [24]. Diese Verschiebung hin zu kleineren Zooplanktonarten tritt v.a. im Hochsommer auf. So dominiert z.B. die kleine, eingewanderte und normalerweise in nährstoffreichen Seen vorkommende Wasserflohart *Daphnia cucullata* seit 2016 die Wasserflohgemeinschaft [24, 25]. Diese wird - im Vergleich zur bis dahin dominanten Wasserflohart *D. longispina* - weitaus weniger von Felchen gefressen [18, 19]. Überdies ist das Frühjahrspopulationswachstum des Zooplanktons verzögert und der Höhepunkt in der Häufigkeit wird später im Jahr erreicht [24]. Dadurch beeinflussen Stichlinge möglicherweise die Nahrungsverfügbarkeit, auch für andere Fische.

### Wechselwirkungen mit weiteren gebietsfremden Arten:

Mit der seit 2016 nachgewiesenen Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) breitet sich eine weitere gebietsfremde Art flächendeckend im Bodensee aus. Gesicherte Ergebnisse zu ökologischen Folgen für den Bodensee liegen noch nicht vor. Jüngere Beobachtungen belegen, dass Stichlinge ihre Nester auch in Zwischenräumen innerhalb von Quaggamuschel-Kolonien oder an deren Übergang zum Weichboden anlegen [26]. Es wird befürchtet, dass eine hohe Besiedlungsdichte einhergehend mit der Filteraktivität der Muschel u.a. die Häufigkeit und die Zusammensetzung des Phyto<sup>7</sup>- und Zooplanktons im Bodensee sowie der Kleinstorganismen am Seegrund verändern könnte. Somit beeinflusst eine weitere gebietsfremde invasive Art u.U. die Futtermittelverfügbarkeit für andere Arten, mit potenziell negativen Auswirkungen auch auf die Fischbestände und die Ertragsfähigkeit des Sees [27].



## Folgen für die Nutzung eines Sees bei Massenvorkommen

### Sinkende Fischereierträge:

Seit 2005 liegt der Phosphorgehalt ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) des Bodensees unter  $10 \mu\text{g/L}$ . Basierend auf Fischereierträgen in der letzten oligotrophen Phase vor der Eutrophierung (1910-1955), schätzte man 2015 die Ertragsfähigkeit des Bodensee-Obersees auf 400 t Fisch/Jahr (ca. 300 t Felchen, 100 t Nebenfischarten, wie Barsch, Hecht und Aal) [28]. Die Erträge der letzten Jahre sind jedoch deutlich niedriger (Abb. 5) und 2022 nochmalig eingebrochen.

Neben Auswirkungen des Klimawandels, wird die massive Ausbreitung des Stichlings im Freiwasser als mögliche Ursache für rückläufige Bestandsdichten fischereilich relevanter Fischarten wie der Felchen, und damit einhergehend abnehmende Fischfangerträge, diskutiert [4, 23]. Bei den Felchen liegt der mittlere Fangertag für die Jahre 2013-2021 mit 189 t ca. 35 % unter dem Erwartungswert [29]. Zudem sind 4-jährige Felchen mit einem Durchschnittsgewicht von knappen 270 g deutlich leichter als vor der Stichlingsinvasion (340 g). Modellrechnungen bestätigen Gewichtsverluste bei Felchen seit der Stichlings-Expansion ins Freiwasser [30]. Diese treten neu in den Sommermonaten auf. Dem Modell zufolge stellen ältere Felchen ihr Wachstum ein und junge Felchen verlieren in den Folgejahren bis zu 10 % ihres Körpergewichts während der normalen Wachstumsperiode [30].

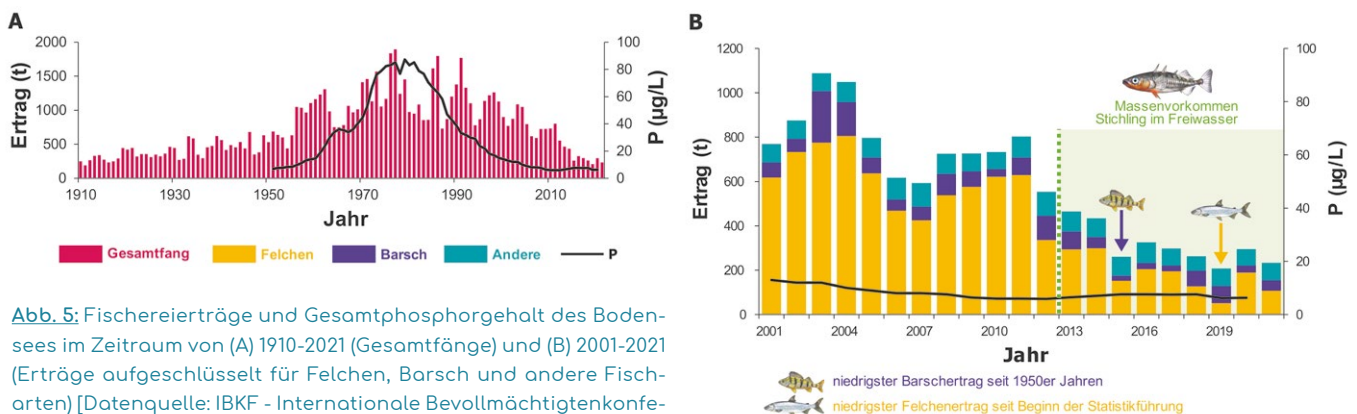


Abb. 5: Fischereierträge und Gesamtphosphorgehalt des Bodensees im Zeitraum von (A) 1910-2021 (Gesamtfänge) und (B) 2001-2021 (Erträge aufgeschlüsselt für Felchen, Barsch und andere Fischarten) [Datenquelle: IBKF - Internationale Bevollmächtigtgenkonferenz für die Bodenseefischerei].

<sup>7</sup> Pflanzliche, im freien Wasser schwebende Kleinstlebewesen (z.B. Kieselalgen, Grünalgen etc.).

Darüber hinaus deuten Wachstumsstudien mit Stichlingen darauf hin, dass sie mit steigenden Temperaturen in einem größeren Temperaturbereich leistungsfähiger sind als z.B. die meisten ihrer Fressfeinde [31]. Im Zuge der Klimaerwärmung werden demzufolge und aufgrund der angenommenen verstärkten Nahrungskonkurrenz zusätzliche Wachstumseinbußen bei den Felchen prognostiziert [30]. Der erhöhte Prädationsdruck könnte die Verfügbarkeit von Zooplanktonnahrung weiter verändern und zusammen mit den prognostizierten Wachstumseinbußen die ohnehin schon geringen Fischereierträge weiter senken [30].



## Management und Maßnahmen

Mit den sinkenden Fischereierträgen nimmt auch die Zahl an aktiven Berufsfischern am Bodensee ab [29]. Diese Entwicklung kann mit derzeitigen fischereilichen Managementansätzen nicht aufgehalten werden [29].

### Erfassung des Stichlingbestandes:

Für große Seen wie dem Bodensee ist eine regelmäßige Abschätzung des Stichlingbestandes mit hydroakustischen Methoden möglich [7] und u.U. im Vergleich mit anderen Methoden mit weniger Aufwand verbunden. 2021 gelang die Entwicklung eines Verfahrens, welches die Differenzierung von Stichlingen und Felchen mit Echolot mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit möglich macht [32]. Dies galt bisher als nahezu unmöglich. Zudem wurde mittels Schleppnetzfisherei nachgewiesen, dass es sich bei den durch Echolot detektierten Kleinfischen auch wirklich um Stichlinge handelt [14]. Bei dieser Untersuchung wurden die höchsten Dichten im September, mit bis zu 20.000 Stichlingen/ha im Freiwasser, beobachtet [14].

### Ansätze zur fischereilichen Eindämmung:

Der fischereiliche Aufwand zur Eindämmung des Stichlingbestandes im Bodensee durch Abfischung wurde theoretisch abgeschätzt [14]. Unter sehr hohem Aufwand und bei Einhaltung gewisser Vorgaben (Methode, Einsatztiefe der Fischereigeräte und Einsatzzeit) wäre es wahrscheinlich möglich, Stichlinge intensiv zu befischen ohne einen relevanten Beifang zu erzielen. Dennoch bleibt unklar wie stark die Bestände im Bodensee dezimiert werden müssten, um einen positiven Effekt im Hinblick auf Fischereierträge v.a. der Felchen zu erzielen. Auch die langfristige Wirksamkeit solch einer fischereilichen Maßnahme ist unsicher. Zudem war die Abschätzung möglicher Risiken für das Ökosystem im Gesamten bei einer praktischen Umsetzung nicht Gegenstand der Untersuchung.

Stichlinge im Bodensee konnten in ungewöhnlich großer Zahl in einen Lebensraum eindringen, in dem sie in anderen Gewässern in der Regel nicht vorkommen. Die explosionsartige Ausbreitung im Freiwasser erfolgt seit 2012. Veränderungen in den Nahrungsnetzen und den fischereilich relevanten Fischbeständen werden mit der Stichlingsinvasion in Zusammenhang gebracht. Alle vorliegenden, aktuellen Daten und Erkenntnisse deuten darauf hin, dass sich derzeit kein natürlicher Populationszusammenbruch abzeichnet und sich der Stichling auch im Freiwasser dauerhaft etabliert. Es ist das Zusammenwirken mehrerer Veränderungen wie Klimawandel, invasive Arten und Nährstoffänderungen, die das Nahrungsnetz und die Funktionen des Ökosystems Bodensee sowie dessen Ökosystemleistungen wie den Fischereiertrag beeinflussen. Das Verständnis dieses Zusammenspiels und der ursächlichen Beziehungen ist essenziell um den Bodensee nachhaltig bewirtschaften zu können. Für die Berufsfischerei ist mit möglicherweise weiterem Nahrungsentzug infolge der jüngsten Einschleppung der Quaggamuschel und dem am Bodensee beobachteten steigenden Prädationsdruck durch Kormorane ein weiterer Ertragseinbruch zu befürchten.



## Literaturverzeichnis

- [1] Pyšek P, Hulme PE, Simberloff D, Bacher S, Blackburn TM, Carlton JT, Dawson W, Essl F, Foxcroft LC, Genovesi P, Jeschke JM (2020) Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews* 95(6):1511-34
- [2] Hudson CM, Lucek K, Marques DA, Alexander TJ, Moosmann M, Spaak P, Seehausen O, Matthews B (2021) Threespine stickleback in Lake Constance: the ecology and genomic substrate of a recent invasion. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8:611672
- [3] Muckle R (1972) Der Dreistachlige Stichling (*Gasterosteus aculeatus* L.) im Bodensee. *Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung* 90:249-257
- [4] Rösch R, Baer J, Brinker A (2018) Impact of the invasive three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) on relative abundance and growth of native pelagic whitefish (*Coregonus wartmanni*) in Upper Lake Constance. *Hydrobiologia* 824:243-254
- [5] Alexander TJ, Vonlanthen P, Périat G, Raymond JC, Degiorgi F, Seehausen O (2016) Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Bodensee. *Projet Lac, Eawag, Kastanienbaum*
- [6] Bader S, Vonlanthen P, Scholz B, Brinker A (2021) SeeWandel Projekt L12 - Entwicklung und Anwendung einer Methode zur Erfassung der Fischbestände im Bodensee - Bericht für die IBKF. SeeWandel, LAZBW, Langenargen
- [7] Eckmann R, Engesser B (2019) Reconstructing the build-up of a pelagic stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) population using hydroacoustics. *Fisheries Research* 210:189-192
- [8] Wootton RJ (1984) *A Functional Biology of Sticklebacks*. Functional Biology Series. Springer US
- [9] Bell MA, Foster SA (1994) *The Evolutionary Biology of the Threespine Stickleback*. Oxford University Press
- [10] Fang B, Merilä J, Ribeiro F, Alexandre CM, Momigliano P (2018) Worldwide phylogeny of three-spined sticklebacks. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 127:613-625
- [11] Sanz N, Araguas RM, Vidal O, Viñas J (2015) Glacial refuges for three-spined stickleback in the Iberian Peninsula: mitochondrial DNA phylogeography. *Freshwater Biology* 60(9):1794-1809
- [12] Mäkinen HS, Cano JM, Merilä J (2006) Genetic relationships among marine and freshwater populations of the European three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) revealed by microsatellites. *Molecular Ecology* 15(6):1519-1534
- [13] Marques DA, Lucek K, Sousa VC, Excoffier L, Seehausen O (2019) Admixture between old lineages facilitated contemporary ecological speciation in Lake Constance stickleback. *Nature Communications* 10(1):4240
- [14] Gugele SM, Baer J, Brinker A (2020) The spatiotemporal dynamics of invasive three-spined sticklebacks in a large, deep lake and possible options for stock reduction. *Fisheries Research* 232: 105746
- [15] Marques DA, Lucek K, Meier JI, Mwaiko S, Wagner CE, Excoffier L, Seehausen O (2016) Genomics of rapid incipient speciation in sympatric threespine stickleback. *PLoS Genetics* 12(2): e1005887
- [16] Wootton RJ (1976) *The Biology of the Sticklebacks*. Academic Press
- [17] Baker JA (1994) Life History Variation in Female Threespine Stickleback. *The Evolutionary Biology of the Threespine Stickleback*. Available online at: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10015006230/> (accessed December 9, 2019)
- [18] Ogorelec Ž, Brinker A, Straile D (2022) Small but voracious: invasive generalist consumes more zooplankton in winter than native planktivore. *NeoBiota* 78:71-97
- [19] Ogorelec Ž, Rudstam LG, Straile D (2022) Can young-of-the-year invasive fish keep up with young-of-the-year native fish? A comparison of feeding rates between invasive stickleback and whitefish. *Ecology and Evolution* 12, e8486
- [20] Roch S, von Ammon L, Geist J, Brinker A (2018) Foraging habits of invasive three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) - impacts on fisheries yield in Upper Lake Constance. *Fisheries Research* 204:172-180
- [21] Baer J, Gugele SM, Bretzel J, DeWeber JT, Brinker A (2021) All day-long: Sticklebacks effectively forage on whitefish eggs during all light conditions. *PLoS ONE* 16(8): e0255497
- [22] Bretzel JB, Geist J, Gugele SM, Baer J, Brinker A (2021) Feeding ecology of invasive three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in relation to native juvenile Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) in the pelagic zone of Upper Lake Constance. *Frontiers in Environmental Science* 9: 670125
- [23] Kugler M (2021) Felchenfischerei, Monitoring der Blaufelchen sowie Felchen-Laichfischfang im Jahr 2020
- [24] Ogorelec Ž (2021) Effects of re-oligotrophication and invasive species on fish-zooplankton interactions [Dissertation]. Konstanz: University of Konstanz
- [25] IGKB (2020) Bericht Nr. 43: Limnologischer Zustand des Bodensees
- [26] HYDRA Konstanz (2022) Beobachtungen zum Nestbau von Bodensee-Stichlingen (*Gasterosteus aculeatus*) in *Dreissena*-Kolonien (*Dreissena rostriformis* und *D. polymorpha*)
- [27] SeeWandel Faktenblatt No. 2 | Dezember 2021. Die gebietsfremde Quaggamuschel erobert den Bodensee - drohen massive Folgen für das Ökosystem?
- [28] Baer J, Eckmann R, Rösch R, Arlinghaus R, Brinker A (2017) Managing Upper Lake Constance fishery in a multi-sector policy landscape: beneficiary and victim of a century of anthropogenic trophic change. In: Song AM, Bower SD, Onyango P, Cooke SJ, Chuenpagdee R (Eds) *Too Big To Ignore-WorldFish, Inter-Sectoral Governance of Inland Fisheries*, St. John's Canada: TBTI Publication Series, E-01/2017, 32-45
- [29] Baer J, Brinker A (2022) Wieviel weniger darf's denn sein? Düstere Zukunftsaussichten für die Bodenseefischerei, eine der größten Binnenfischereien Europas. *Zeitschrift für Fischerei* 2: Artikel 1:1-13
- [30] DeWeber JT, Baer J, Rösch R, Brinker A (2022) Turning summer into winter: nutrient dynamics, temperature, density dependence and invasive species drive bioenergetic processes and growth of a keystone coldwater fish. *Oikos* 2022: e09316
- [31] Lefébure R, Larsson S, Byström P (2011) A temperature-dependent growth model for the three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus*. *Journal of Fish Biology* 79(7):1815-1827
- [32] Gugele SM, Widmer M, Baer J, DeWeber JT, Balk H, Brinker A (2021) Differentiation of two swim bladdered fish species using next generation wideband hydroacoustics. *Scientific Reports* 11, 10520





# Impressum

Im Rahmen verschiedener SeeWandel Forschungsprojekte wird zum Dreistachligen Stichling geforscht. Im Projekt „P1: Der Stichling im Bodensee-Obersee“ wird v.a. die Autökologie des Stichlings im Bodensee untersucht, während das Projekt „L13: Ökologie und Diversität von Stichlingen im Bodensee“ beleuchtet welche ökologischen und evolutionären Prozesse die Häufigkeit, Verteilung und den Phänotyp des Stichlings im Bodensee erklären. Die Nahrungspräferenzen von Stichlingen und Felchen und deren Auswirkungen auf die Zooplanktongemeinschaft werden im Projekt „P3: Auswirkungen von Re-Oligotrophierung, Klimawandel und invasiver Arten auf Fisch-Zooplankton Interaktionen und die Populationsdynamik der Felchen“ untersucht. Die aus den Forschungsprojekten gewonnenen Erkenntnisse sind Grundlage des SeeWandel-Faktenblatts #4: „Ist der Dreistachlige Stichling im Bodensee ein langfristiges Problem für Fische und Fischer?“ Weiterführende Informationen sind verfügbar auf: [www.seewandel.org](http://www.seewandel.org).

„SeeWandel: Leben im Bodensee – gestern, heute und morgen“ untersucht den Einfluss von Nährstoffrückgang, Klimawandel, gebietsfremder Arten und anderer Stressfaktoren auf das Ökosystem Bodensee, seine Biodiversität und Funktionsweise, sowie die menschliche Nutzung am See.

### Herausgeber

SeeWandel  
PD Dr. Piet Spaak  
Überlandstrasse 133 | CH-8600 Dübendorf  
E-Mail: [seewandel@seewandel.org](mailto:seewandel@seewandel.org)

### Auskunft und Kontakt

Eawag, Aquatische Ökologie  
PD Dr. Piet Spaak  
Überlandstrasse 133 | CH-8600 Dübendorf  
E-Mail: [piet.spaak@eawag.ch](mailto:piet.spaak@eawag.ch)

### Autorinnen und Autoren

- Josephine Alexander, Aquatische Ökologie, Eawag
- Alexander Brinker, Fischereiforschungsstelle (FFS)
- Žiga Ogorelec, National Institute of Biology (NBI)
- Piet Spaak, Aquatische Ökologie, Eawag
- Dietmar Straile, Universität Konstanz

In den SeeWandel Faktenblättern werden die Einschätzungen der Autorinnen und Autoren und des Herausgebers vertreten.

### Mit Unterstützung von

- Sarah Gugele, Landesfischereizentrum Vorarlberg
- Cameron Hudson, Aquatische Ökologie, Eawag
- Blake Matthews, Fischökologie und Evolution, Eawag
- Ole Seehausen, Fischökologie und Evolution, Eawag
- Bänz Lundsgaard-Hansen, BAFU
- Nikolaus Schotzko, Landesfischereizentrum Vorarlberg
- Dominik Thiel, Amt für Natur, Jagd und Fischerei St.Gallen



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

