

FISCHLEBENSRÄUME IN FLACHWASSERZONEN VON SEEN

MODELLIERUNG DES FISCHÖKOLOGISCHEN POTENZIALS

Flachwasserzonen in Seen dienen als Geburtsstätten und Lebensräume für Jungfische. Die Habitatqualität dieser Zonen lässt sich durch das fischökologische Potenzial (FÖP) bewerten – ein Modell, das Wassertiefe, Untergrund, Pflanzenarten und deren Dynamik berücksichtigt. Das FÖP hilft, die Eignung von Lebensräumen für Laich- und Jungfische zu bestimmen und Veränderungen durch menschliche Eingriffe abzuschätzen.

Lukas Boller, AquaPlus AG

Matthias Sturzenegger, AquaPlus AG

Klemens Niederberger, AquaPlus AG

RÉSUMÉ

MODÉLISATION DU POTENTIEL ICHTYOÉCOLOGIQUE DANS LES ZONES PEU PROFONDES DES LACS

Les zones peu profondes des lacs offrent une grande biodiversité et de la structure, notamment grâce aux plantes aquatiques, qui font office de substrat pour le frai et de cachette pour les juvéniles. Les poissons comme le brochet ou la perche ont besoin de structures de plantes spécifiques pour frayer, alors que les juvéniles trouvent refuge dans les denses tapis de plantes. En complément aux études standardisées, la qualité de l'habitat dans les zones peu profondes des lacs peut être évaluée grâce au potentiel ichtyoécologique, un modèle qui tient compte de la profondeur de l'eau, du substrat, des espèces de plantes et des dynamiques. Le potentiel ichtyoécologique aide à déterminer si les biotopes conviennent au frai et aux juvéniles, et à évaluer les modifications dues aux interventions humaines. Il se base sur la cartographie des plantes aquatiques selon la méthode MESAV+ [2] et évalue les structures des habitats des guildes de poissons ayant des besoins différents. Le modèle tient compte des préférences des poissons au cours de leurs différentes phases de vie et constitue une méthode d'analyse non invasive des habitats piscicoles qui peut être mise en œuvre dans une étude d'impact sur l'environnement, etc.

EINLEITUNG

Flachwasserzonen in Seen bilden für viele Fische sowohl Geburtsstätte als auch Kinderstube und sind daher von grosser Bedeutung für ihre Bestandesentwicklung (z. B. [1]). Viele See-fischarten, auch solche des Freiwassers, weisen bei den Laicharealen und der Jungfischentwicklung einen starken Bezug zur Flachwasserzone und zu Wasserpflanzen auf. Naturnahe Ufer und Flachwasserzonen sind demnach für viele Fischarten besonders wichtige Lebensräume [2]. Darüber hinaus tragen sie zu einer hohen und meist seespezifischen Biodiversität bei. So sind im Uferbereich und in Flachwasserzonen von Seen häufig hohe Fischdichten und -biomassen zu finden (z. B. [3]).

Durch ihre strukturbildende Funktion zählen Wasserpflanzen innerhalb der Flachwasserzone zu den wichtigsten Habitaten für viele Fische und ihre Entwicklungsstadien. Fische wie Hecht und Egli sind für das erfolgreiche Ablegen ihrer Eier auf Strukturen angewiesen, die sich vom Seeboden abheben und eine optimale Sauerstoffversorgung des Laichs ermöglichen. Der Hecht bevorzugt es, seine Eier an Schilfhalmen in der Nähe der Wasseroberfläche zu befestigen. Im Gegensatz dazu wählt der Flussbarsch tiefere Gewässerzonen und nutzt dort Vegetationsstreifen oder Totholz in mehreren Metern Tiefe, um seine netz-

Kontakt: L. Boller, lukas.boller@aqua-plus.ch

artigen Laichbänder zu verankern (z. B. [4]). Diese Vorliebe für Pflanzenstrukturen hat dazu geführt, dass hochwüchsige Wasserpflanzen der Gattung *Potamogeton* umgangssprachlich als «Laichkräuter» bezeichnet werden. Auch für Fischarten wie die Grossfelchen, die ihren Laich frei ins Wasser abgeben, sind Wasserpflanzen von Bedeutung. Es wird vermutet, dass Eier, die auf Armleuchteralgen landen, bessere Überlebenschancen haben als solche, die direkt auf den Seeboden sinken.

Sind die Fischlarven geschlüpft, suchen sie rasch das dichte Netz aus Wasserpflanzen auf, das ihnen guten Schutz vor Fressfeinden bietet, um hier zu wachsen und sich weiterzuentwickeln. Mit zunehmender Körpergrösse sind sie auf immer grössere Zwischenräume zwischen den

Pflanzen respektive den Sprossen und Blättern angewiesen. Entsprechend müssen sie laufend ein neues «optimales» Habitat aufsuchen.

Die Strukturen an der Vegetationsgrenze oder zwischen einzelnen Sprossen, welche die dichte Vegetationsdecke überragen, bieten nicht nur Deckung (Fig. 1), sondern sind auch beliebte Stand- und Jagdplätze adulter (Raub-)Fische. Hier wartet zum Beispiel der Hecht geduldig und gut getarnt auf seine Beute (Fig. 2). Neben den reinen Strukturfunktion dienen die Vegetationsbestände auch als Nahrungsgrundlage sehr vieler Fischarten. Die Pflanzen selbst, aber auch darauf lebende Wasserwirbellose wie Schnecken, Insektenlarven oder Asseln sowie das in den Wasserpflanzenbeständen häufig vorkommende Zooplankton

werden sehr gerne als proteinreiche Nahrungsquelle genutzt.

Für viele im Uferbereich lebende Fischarten sind mosaikartige, reich strukturierte Vegetationsgemeinschaften mit Arten unterschiedlicher Wuchshöhe und -form als Lebensraum ideal. Mit dem Wissen über die Funktionen der Wasserpflanzen für verschiedene Fischarten und den jeweiligen Vorlieben während unterschiedlicher Lebensstadien lässt sich auf Basis der vorhandenen Vegetation die Lebensraumqualität abschätzen. Für die Beurteilung dieser Habitatqualität in Flachwasserzonen von Seen wurde die Methode des fischökologischen Potenzials entwickelt, die im Folgenden genauer vorgestellt wird.

MODELLIERUNG DES FISCHÖKLOGISCHEN POTENZIALS

Fischvorkommen in Flachwasserzonen von Seen räumlich und zeitlich zu erfassen, ist nicht einfach. Netzfänge, wie sie im Rahmen von standardisierten Erhebungen (z. B. *Projet Lac*) in vielen Schweizer Seen schon verschiedentlich durchgeführt wurden [3, 5], liefern zwar sehr gute und vergleichbare Ergebnisse zu Fischbeständen von ganzen Seen oder Seebereichen. Gleichzeitig sind sie aber methodisch anspruchsvoll, bedingen die Entnahme von Fischen (invasive Methode) und sind mit entsprechenden Kosten verbunden. In der Praxis sind häufig auch Aussagen zur lokalen Eignung eines Standortes als Fischlebensraum gefragt, um z. B. Eingriffe, Bauten oder Aufwertungen und ihre Auswirkungen auf die Fischfauna zu beurteilen. In solchen Fällen sind grossangelegte Untersuchungskampagnen nicht immer verhältnismässig, weshalb alternative Methoden respektive eine bestmögliche Nutzung vorhandener Daten Sinn ergeben.

Wird versucht Fische anlässlich von Tauchgängen zu erheben, stellen sich weitere Herausforderungen. Mit dieser Herangehensweise kann das tatsächliche Fischvorkommen bzw. die Bedeutung eines Standortes für Fische nur unzureichend wiedergegeben werden, da Störungen – und als solche werden Untersuchungsaktivitäten (mit Boot und Tauchpersonal) wahrgenommen – in der Regel zu «grossräumigem» Ausweichverhalten von Fischen führen. Jungfischbestände können so jedoch als punktuelle Momentaufnahme detektiert werden. Da diese aber



Fig. 1 Alet suchen Deckung zwischen dichten Wasserpflanzenbeständen.



Fig. 2 Geduldig lauert ein Junghecht zwischen Wasserpflanzen auf Beute.

meist in Form von «wandernden» kleineren oder grösseren Schwärmen auftreten, kann keine quantitative Angabe über den Gesamtbestand im untersuchten Perimeter und seine Aufenthaltspräferenzen gemacht werden. Auch eine systematische Zuordnung (Korrelation) zum Auftreten in potenziell geeigneten Habitaten bzw. dem Fehlen in ungeeigneten Habitaten ist so nur bedingt möglich.

Spezifische Fischuntersuchungen wiederum sind aufwändig und stark abhängig vom geeigneten Zeitpunkt. So ist das Laichpotenzial eines Gebietes durch Direktbeobachtung nur dann aussagekräftig, wenn der Laichzeitpunkt räumlich und zeitlich sehr gut festgelegt werden kann. Dies ist oft nicht möglich oder bedingt mehrere Untersuchungen über einen längeren Zeitraum. Die Untersuchung von Jungfischen in der Flachwasserzone und deren Nutzung vorhandener Strukturen ist noch um ein Vielfaches komplexer, nicht zuletzt aufgrund der mobilen Lebensweise der Fische. Insbesondere die Erfassung von grösseren Flächen stösst daher sehr schnell an die Grenzen des Machbaren. Ergänzend wurde deshalb der Modellansatz des fischökologischen Potenzials (FÖP) als nicht invasive Methodik entwickelt.

FÖP – AUFBAU, DATEN, METHODE

Beim FÖP handelt es sich um einen modellbasierten Ansatz zur Erfassung des potenziellen Habitatangebotes für Fische in Flachwasserzonen von Seen. In das Modell fliessen Informationen zur Wassertiefe, zur Untergrundbeschaffenheit sowie zu Artzusammensetzung, Wuchshöhe, Wuchsdichte, Wuchsform und zur jahreszeitlichen Dynamik der Vegetation ein. Die Grundlage dazu bildet die differenzierte Kartierung von Wasserpflanzenbeständen nach der Methode MESAV+ [6].

Aufgrund der Zusammensetzung und Ausprägung der kartierten Werte berechnet das Modell, wie gut sich der beurteilte Lebensraum als Laich- oder Jungfischhabitat eignet. Dabei lassen sich sowohl qualitative als auch quantitative Beurteilungen vornehmen. Zur Quantifizierung des FÖP als Laich- oder Jungfischhabitat kommen Habitateignungsmodelle zur Anwendung. Die Bewertung der Habitateignung basiert dabei auf so genannten Präferenzkurven (*suitability curves*). Diese beschreiben mit Hilfe eines Eignungswerts (Werte von

0 = ungeeignet bis 1 = optimal), wie gut die Ansprüche bezüglich eines einzelnen Habitatparameters erfüllt sind.

Es handelt sich um ein generalisiertes Vorgehen, das auf die gesamte Flachwasserzone bis zur unteren Verbreitungsgrenze der Vegetation angewendet werden kann. Die Vorteile dieses methodischen Ansatzes liegen in den folgenden Zusammenhängen begründet:

- Veränderungen in der Flachwasserzone wirken sich in erster Linie auf die Qualität und die Quantität von Strukturen aus. Diese Strukturen bilden einen wichtigen Teil des Lebensraumes für viele Seefischarten hinsichtlich ihrer verschiedenen Bedürfnisse, insbesondere als Laichhabitat und während des Jungfischstadiums.
- Habitateignungsmodelle erlauben den Einfluss von Strukturänderungen auf Fische vorauszusagen (Prognosemöglichkeit).
- Der quantitative Bezug zwischen Struktur und Habitatangebot erlaubt

eine fischökologische Bewertung der Flachwasserzone.

LAICHHABITAT

Da nur für die wenigsten Fischarten und deren Entwicklungsstadien die Lebensraumbedürfnisse hinreichend bekannt sind, erfolgt die Abschätzung und Bewertung der potenziellen Habitateignung auf Stufe von sogenannten «Gilden», d. h. von Fischartengruppen mit ähnlichen Präferenzen in der Nutzung von Ressourcen. Dazu steht für die Laichgilden «Sandlaicher», «Kieslaicher» und «Krautlaicher» je ein generalisiertes Habitatmodell zur Verfügung.

Der wichtigste Laichhabitatparameter in der Flachwasserzone bildet das Substrat. Die verschiedenen Gilden lassen sich (gemäß [7]) bezüglich ihrer Fortpflanzungspräferenzen gewissen Substrattypen wie Hartsubstraten (Sand oder Kies) bzw. organischen Substraten wie Wasserpflanzen zuordnen (*Tab. 1*). Viele Arten sind jedoch Opportunisten mit geringen Ansprü-

Art	Laichsubstrat	Gilde	Laichzeit
Sandlaicher			
Schmerle	Sand/Feinkies	psammophil	März–Mai
Gründling	Sand/Feinkies	psammophil	Mai–Juni
Kieslaicher			
Felchen *	Grobkies/Steine	litho-pelagophil	Mitte Nov–Mitte Dez
Groppe	Steine	speleophil	Februar–Mai
Trüsche *	Grobkies	litho-pelagophil	November–März
Krautlaicher			
Hecht	Pflanzen	phytophil	März–Mitte Mai
Rotfeder	Pflanzen	phytophil	April–Mai
Blöcke	Pflanzen	phytophil	Mai–Juni
Karpfen	Pflanzen	phytophil	Mai–Juli
Schleie	Pflanzen	phytophil	Juni–Juli
Fische mit gemischten oder anderen Substratpräferenzen			
Hasel	Pflanzen/Grobkies	phyto-lithophil	März–Mai
Zander **	Totholz/Wurzeln	phytophil	April–Mai
Alet	Pflanzen/Grobkies/Steine	phyto-lithophil	April–Juni
Brachsme	Pflanzen/Grobkies	phyto-lithophil	Mai–Juli
Laube	Pflanzen/Grobkies/Totholz	phyto-lithophil	April–Juni
Flussbarsch (Egli)	Pflanzen/Steine/Totholz	phyto-lithophil	April–Juni
Rotauge	Pflanzen/Grobkies/Totholz	phyto-lithophil	April–Juni
Laichzeit vor vollständiger Ausprägung der Vegetation beendet			
Laichzeit sowohl vor als auch nach vollständiger Ausprägung der Vegetation			
Laichzeit beginnt nach vollständiger Ausprägung der Vegetation			

* Felchen und Trüschen laichen zum Teil auch ausserhalb der Wasserpflanzenzone im Pelagial. In der Habitateignungsmodellierung ist nur die Eignung für die Uferzone enthalten.

** Der Zander laicht bevorzugt auf untergetauchten Totholz- und Wurzelstrukturen. Dieses Substrat wurde nicht spezifisch ausgewertet, die Habitateignung dieser Fischart ist in der Modellierung nicht berücksichtigt.

Tab. 1 Klassierung der wichtigsten in der Flachwasserzone laichenden Fischarten. Aufteilung gemäss dem bevorzugten Laichsubstrat, gemäss ihrer Zugehörigkeit zu einer Fortpflanzungsgilde [7] und gemäss ihrer Laichzeit (nach [8–10] und eigenen Angaben).

Zeitpunkt	Parameter	Einheit und Um- schreibung	Eignungsklasse (EK)				Bemerkung
			0	0,2	0,6	1	
vor vollständiger Ausprägung der Vegetation	Substrat- häufigkeit (SH)	Anteile [%] Sandaicher: Sand/Feinkies Kieslaicher: Grobkies/Steine	0-25	26-50	51-75	76-100	Klassifizierung der Unter- grundbeschaffenheit in Choriotopanteile.
		Bewuchsdichte winterharte Makrophyten [%]	>75	51-75	26-50	0-25	Häufigkeit der winterharten Vegetation (im Wesentlichen <i>Characeen</i> und <i>Elodea</i>).
	Substrat- verfügbarkeit (SVKorr)	Wassertiefe Vor- kommen winter- harte Arten [m]	Anpassung Eignungsklasse betreffend Häufigkeit der winterharten Arten: - wenn Tiefe > 4m: Keine Änderung - wenn Tiefe 2,1-4m: Erhöhung um 1 Klasse - wenn Tiefe 0-2m: Erhöhung um 2 Klassen				Mass für den Frassdruck der Wasservögel. Dieser nimmt mit der Wassertiefe ab, wodurch sich die Substratverfügbar- keit in seichten Bereichen verbessert
	Wassertiefe (WT)	Wassertiefe [m]	0,00-0,04 und > Grenze Makrophyten	0,05-0,19 und 0,70-Grenze Makrophyten	0,20-0,29 und 0,50-0,69	0,30-0,49	
nach vollständiger Ausprägung der Vegetation	Substrat- häufigkeit (SH)	Anteile [%] Sandaicher: Sand/Feinkies Kieslaicher: Grobkies/Steine	0-25	26-50	51-75	76-100	Klassifizierung der Unter- grundbeschaffenheit in Choriotopanteile.
	Substrat- verfügbarkeit (SV)	Bewuchsdichte Makrophyten [%]	>75	51-75	26-50	0-25	Aufnahme der Vegetation in Bewuchsdichtestufen, siehe unten.
	Wassertiefe (WT)	Wassertiefe [m]	0,00-0,04 und > Grenze Makrophyten	0,05-0,19 und 0,70-Grenze Makrophyten	0,20-0,29 und 0,50-0,69	0,30-0,49	

Bewuchsdichtestufen:
0 = <1% bewachsen; 1 = 1-10%; 2 = 11-25%; 3 = 26-50%; 4 = 51-75%; 5 = 76-100%; 6 = 101-125%; 7 = 126-150%

Tab. 2 Habitatbewertung für Sand- und Kieslaicher. Zuweisung von Eignungsklassen in Abhängigkeit der Substrathäufigkeit, der Substratverfügbarkeit und der Wassertiefe in ihrer jahreszeitlichen Veränderung durch das Aufkommen der Wasserpflanzen (vor und nach vollständiger Ausbildung der Vegetation).
Nach: [8-13] und eigenen Erkenntnissen.

Zeitpunkt	Parameter	Einheit und Um- schreibung	Eignungsklasse (EK)				Bemerkung
			0	0,2	0,6	1	
vor vollständiger Ausprägung der Vegetation	Substrat verfügbarkeit korrigiert (SVKorr)	Bewuchsdichte Makrophyten [%]	0-25	26-50	51-75	>75	Bewuchsdichte der winter- harten Vegetation (im Wesent- lichen <i>Characeen</i> und <i>Elodea</i>).
		Wassertiefe Vor- kommen winter- harte Arten [m]	Anpassung Eignungsklasse betreffend Häufigkeit der winterharten Arten: - wenn Tiefe > 4m: Keine Änderung - wenn Tiefe 2,1-4m: Reduktion um 1 Klasse - wenn Tiefe 0-2m: Reduktion um 2 Klassen				Mass für den Frassdruck der Wasservögel. Dieser nimmt mit der Wassertiefe ab, wodurch sich die Substratverfügbar- keit in seichten Bereichen ver- schlechtert.
		Wassertiefe [m]	0,00-0,04 und > Grenze Makrophyten	0,05-0,19 und 0,70-Grenze Makrophyten	0,20-0,29 und 0,50-0,69	0,30-0,49	
nach vollständiger Ausprägung der Vegetation	Substrat- verfügbarkeit (SV)	Bewuchsdichte Makrophyten [%]	0-25	26-50	51-75	>75	Aufnahme der Vegetation in Bewuchsdichtestufen, siehe unten.
	Wassertiefe (WT)	Wassertiefe [m]	0,00-0,04 und > Grenze Makrophyten	0,05-0,19 und 0,70-Grenze Makrophyten	0,20-0,29 und 0,50-0,69	0,30-0,49	

Bewuchsdichtestufen:
0 = <1% bewachsen; 1 = 1-10%; 2 = 11-25%; 3 = 26-50%; 4 = 51-75%; 5 = 76-100%; 6 = 101-125%; 7 = 126-150%

Tab. 3 Habitatbewertung für Krautlaicher. Zuweisung von Eignungsklassen in Abhängigkeit der Substrathäufigkeit, der Substratverfügbarkeit und der Wassertiefe in ihrer jahreszeitlichen Veränderung durch das Aufkommen der Wasserpflanzen (vor und nach vollständiger Ausbildung der Vegetation). Nach: [8-13] und eigenen Erkenntnissen.

chen an den Substrattyp (z. B. Alet) oder können verschiedene Untergrundbeschaffenheiten nutzen (z. B. Egli: sowohl Steine als auch Wasserpflanzen und Totholz). Für solche «Generalisten» können entsprechend verschiedene Habitatmodelle herangezogen werden. Die Eignung als Laichsubstrat wird primär durch das vorhandene Substrat (Untergrund und pflanzlicher Bewuchs) sowie die Wassertiefe bestimmt. Sand- und Kieslaicher sind beispielsweise auf das Vorkommen des jeweiligen Substrats in genügender Verfügbarkeit (Ausdehnung, Häufigkeit) angewiesen. So sollte für gut geeignete Verhältnisse einerseits ein Anteil von >50% des Untergrundes aus dem präferierten Substrat bestehen. Andererseits darf der sandig-kiesige Bereich nicht zu stark überwachsen sein, die Bewuchsdichte sollte also für optimale Verhältnisse 25% bzw. für gute geeignete Verhältnisse 50% nicht überschreiten. Die Berechnung der Habitateignung erfolgt auf Basis von Eignungsklassen für jede einzelne Teilfläche. In einem ersten Schritt wird dazu die Eignungsklasse bezüglich Substrathäufigkeit (E_{SH}) für Sand- und Kieslaicher eruiert (Tab. 2). Für krautlaichende Arten bilden Wasserpflanzen das bevorzugte Laichsubstrat. Sie benötigen aber nicht nur Wasserpflanzenbestände als solches, diese müssen auch in einer bestimmten Dichte vorhanden sein. Um als gutes Laichsubstrat zu dienen, wird von einer Bewuchsdichte grösser als 50% ausgegangen. Als optimal werden Dichten >75% angesehen. Analog zu den Hartsubstratlaichern erfolgt die Berechnung der Substrathäufigkeit auch bei den Krautlaichern anhand von Eignungsklassen. Dabei wird jeder Bewuchsdichteklasse eine bestimmte Eignung zugewiesen (Tab. 3).

Das Angebot an geeignetem Laichsubstrat unterliegt saisonalen Abhängigkeiten, insbesondere aufgrund der jahreszeitlichen Dynamik der Unterwasservegetation. Mit der Zunahme des Pflanzenbewuchses im Laufe des Sommerhalbjahres verkleinern sich beispielsweise die freien Sand- oder Kiesflächen. Winterharte Vegetation bietet den im Frühling laichenden, sogenannten phytophilien Fischarten hingegen bereits von März bis Mai geeignetes Laichsubstrat. In den Modellen für das Laichhabitat werden daher für alle Laichgilden unterschiedliche Laichzeiten und Korrekturfaktoren der Substratverfügbarkeit (E_{SVKorr}) im Frühjahr berücksichtigt (Tab. 2 und 3). Die Substrat-eignung wird je nach Saison, vor (Gl. 1 und 3) oder nach (Gl. 2 und 4) der vollständigen Entwicklung der Vegetation, gemäss folgenden Formeln als ungewichtetes Produkt berechnet:

VOR vollständiger Vegetationsentwicklung

Sand-/Kieslaicher:
 $E_s = E_{SH} * E_{SVKorr}$

Gl. 1

Krautlaicher:
 $E_s = E_{SVKorr}$

Gl. 2

NACH vollständiger Vegetationsentwicklung

Sand-/Kieslaicher:
 $E_s = E_{SH} * E_{SV}$

Gl. 3

Krautlaicher:
 $E_s = E_{SV}$

Gl. 4

Wobei E_S der Substrateignung entspricht, E_{SH} die Häufigkeit des Laichsubstrates darstellt und E_{SV} bzw. E_{SVKorr} die effektive Verfügbarkeit ausdrückt, im Winterhalbjahr korrigiert in Abhängigkeit des Frassdrucks durch Wasservögel.

Ebenfalls von Bedeutung für die Eignung als Laichhabitat (aber weniger wichtig als der Substrattyp) ist die Wassertiefe. Grundsätzlich werden sehr seichte Zonen bevorzugt, weil sich dort die Eier aufgrund höherer Wassertemperaturen rascher entwickeln. Die Tiefe darf aber auch nicht zu gering sein, da sonst die Eier bei einem Absinken des Seepegels trockenfallen können. Zudem besteht in seichten Zonen erhöhter hydraulischer Stress durch Wellen (Wind und Schifffahrt), wodurch eine erfolgreiche Entwicklung beeinträchtigt werden kann. Demgegenüber nutzen einige Fischarten auch deutlich grössere Wassertiefen in der Flachwasserzone zum Laichen (>12 m), wie beispielsweise vom Egli bekannt ist [14]. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, im Modell eine untere Grenze festzulegen. Im Modell zur Potenzialabschätzung ist die Annahme enthalten, dass ein Ablaichen in der gesamten Flachwasserzone bis zur Ausbreitungs-grenze der Wasserpflanzen zumindest mit einer Resteignung möglich ist (vgl. Tab. 2 und Tab. 3). Da die Wassertiefe (E_{WT}) gegenüber dem Substrat von untergeordneter Bedeutung ist, wurde sie im Modell weniger stark gewichtet. Die Gesamteignung als Laichhabitat wird für beide Laichgilden mit folgender Formel als gewichtetes Produkt berechnet:

$$E = E_s * E_{WT}^{1/3}$$

Gl. 5

E = Gesamteignung Laichhabitat
 E_s = Substrateignung
 E_{WT} = Eignung Wassertiefe

In den Modellen für das Frühjahr wird für Wassertiefe der Referenzpegel aus dem langjährigen April-Monatsmittel des betreffenden Gewässers verwendet. Für die späteren Laichhabitatmodelle wird auf das Juni-Monatsmittel zurückgegriffen. Entsprechend müssen die erhobenen Daten der Wasserpflanzenuntersuchungen (Wassertiefe, bewachsene Flächen direkt am Ufer) bei der Modellierung auf den jeweiligen Referenzpegel korrigiert werden. Daher kann die Wassertiefe im Modell geringer sein als am Tauchtag oder bei sehr flachen Ufern können Abschnitte im Frühling im Modell als trocken gewertet werden.

Jungfischhabitat

Der wichtigste Habitatparameter für Jungfische (Larval- und Juvenilstadium) ist die Strukturierung der Flachwasserzone, die in erster Linie durch die räumliche Anordnung der Wasserpflanzen (Vorkommen, Dichte, Wuchshöhe und Wuchsform) geprägt ist. Im Weiteren können auch Totholz oder eingetauchtes Gehölz eine Rolle spielen [15].

Viele Jungfische halten sich gerne am Rand von Wasserpflanzenbeständen auf. Hier ist das Nahrungsangebot grösser und die Jagd auf Beute (v.a. Zooplankton) aufgrund der besseren Erreichbarkeit leichter als im Inneren der Bestände oder im Freiwasser. Je nach Art, Futterspektrum und Räubervorkommen finden im Tagesverlauf Wechsel zwischen bewachsenen Bereichen und dem seichten Offenwasser statt [15]. Zu dichten Makrophytenbeständen schränken die Schwimmfähigkeit der Fische



Fig. 3 Jungfische suchen Deckung innerhalb der Vegetationsstruktur und an deren Rändern. Je strukturreicher (= hohe Randliniendichte) die Vegetation ausgebildet ist, desto höher ihre Eignung als Jungfischlebensraum.

Bewuchsdichte	Randliniendichte	Eignungsklasse Randlinienfaktor Dichte (RF_{D})
51–75%	gross	1
26–50% und >75%	mittel	0,6
1–25%	gering	0,2
<1%	keine	0

Bewuchsdichtestufen:

0 = <1% bewachsen; 1 = 1–10%; 2 = 11–25%; 3 = 26–50%; 4 = 51–75%; 5 = 76–100%; 6 = 101–125%; 7 = 126–150%

Tab. 4 Eignungsklassen des Randlinienfaktors Dichte.

Wuchshöhe	Randliniendichte	Eignungsklasse Randlinienfaktor Wuchshöhe (RF_{WH})
>100 cm	gross	1
51–100 cm	mittel	0,6
11–50 cm	gering	0,2
0–10 cm	keine	0

Tab. 5 Eignungsklassen des Randlinienfaktors Wuchsform, Teilfaktor Wuchshöhe.

allerdings wieder ein, was zusammen mit einem allenfalls limitierten Angebot den Beuteerfolg reduzieren kann [16, 17]. Eine zu spärliche Vegetation erhöht hingegen das Prädationsrisiko und kann das Nahrungsangebot limitieren. Bei Gefahr

fliehen die Jungfische vieler Arten in die Makrophytenbestände.

Insgesamt bildet die Struktur der Wasserpflanzen bzw. die räumliche Verteilung der Wasserpflanzenoberflächen den entscheidenden Faktor für die Eignung

der Flachwasserzone als Larval- und Juvenilhabitat (Fig. 3). Das Mass dieser strukturellen Verfügbarkeit geht als «Randliniendichte» (Edge Density) in die Modellierung ein.

Die Randliniendichte berechnet sich einerseits aus der Dichte der Wasserpflanzen (Randlinienfaktor-Dichte RF_D , Tab. 4) und andererseits aus der Wuchsform (Randlinienfaktor Wuchsform, RF_W) der einzelnen Wasserpflanzenarten. Mit dem Randlinienfaktor Wuchsform wird die räumliche Struktur berücksichtigt, die von den Teilkosten Wuchshöhe (RF_{WH}) und Wuchstyp (RF_{WT}) abhängig ist. Bei der Wuchshöhe nimmt die Eignung mit der Grösse der Pflanzen zu, ab 1 m Höhe wird sie als optimal eingestuft (Tab. 5). Für die Bestimmung des Wuchstyps wurde jeder Wasserpflanzenart ein Eignungswert zugewiesen. So besitzen beispielsweise die meisten Laichkräuter (*Potamogeton* sp.) eine ideale Wuchsform mit einer optimalen Randliniendichte, da sie genügend grosse Zwischenräume in hoher räumlicher Dichte bieten (Fig. 4). Andere Artengruppen wie *Characeen*

weisen durch ihre sehr dichte Struktur eine deutlich weniger geeignete Wuchsform auf.

Die Eignung des Randlinienfaktors für die Wuchsform ergibt sich durch Bildung des gewichteten Mittelwerts aus Wuchshöhe und Wuchstyp für jede einzelne Art innerhalb einer Teilfläche:

$$RF_W = \sum_{i=1}^n (RF_{WTi} * RF_{WHi} * k_i) \quad Gl. 6$$

RF_W = Randlinienfaktor Wuchsform
 n = Anzahl Wasserpflanzen pro Teilfläche
 k_i = relative Häufigkeit der i -ten Art
 RF_{WTi} = Randlinienfaktor Wuchstyp der i -ten Art
 RF_{WHi} = Randlinienfaktor Wuchshöhe der i -ten Art

Die Gesamteignung des Jungfischhabitats wird anschliessend durch das geometrische Mittel der beiden Randlinienfaktoren Dichte und Wuchsform gebildet:

$$E = (RF_D * RF_W)^{1/2} \quad Gl. 7$$

E = Gesamteignung Jungfischhabitat
 RF_D = Subrateignung
 RF_W = Eignung Wassertiefe

In Gleichung 7 steckt einerseits die Annahme einer Kompensation zwischen den einzelnen Faktoren, andererseits wird der Gesamtwert 0, wenn einer der Faktoren 0 ist. Beispielsweise kann eine eher geringe Bewuchsdichte vorliegen und der Eignungsindex dennoch relativ hoch werden, wenn gleichzeitig die Artenzusammensetzung von hochgewachsenen *Potamogeton*-Arten dominiert wird.

Die Wassertiefe scheint im Vergleich zur strukturbildenden Rolle der Wasserpflanzen für Jungfische nur von untergeordneter Bedeutung zu sein. Allerdings liegen hierzu nur von wenigen Arten der stehenden Gewässer entsprechende Kenntnisse vor (v. a. Hecht, Brachsme und Flussbarsch). Zumindest bei einigen Arten ist bekannt, dass sich die bevorzugte Tiefe bzw. die Distanz zum Ufer mit dem Alter der Jungfische ändert [18]. Mangels genauerer Angaben und der vermutlich eher geringen Relevanz, wird die Wassertiefe im Modell für das Jungfischhabitat nicht berücksichtigt. Das Gleiche gilt für die Untergrundbeschaffenheit (Sand, Kies etc.), die für Jungfische keine erkennbare Rolle spielt.

EINSATZBEREICHE VON FÖP – NUTZEN DER METHODE

Mit dem vorgestellten Instrument des fischökologischen Potenzials lässt sich in erster Linie der Lebensraum für Fische in der Flachwasserzone von Seen bewerten. Als räumliche Information mit qualitativer Eignung kann das fischökologisch Potenzial auf verschiedene Art und Weise als Planungsgrundlage verwendet werden. Dies kann dienlich sein, um den Einfluss von Vorhaben mit baulichen Gewässereingriffen auf Fische beurteilen zu können, z. B. im Rahmen eines Umweltverträglichkeitsverfahrens (UVP). Prognosen von Auswirkung oder Veränderungen der

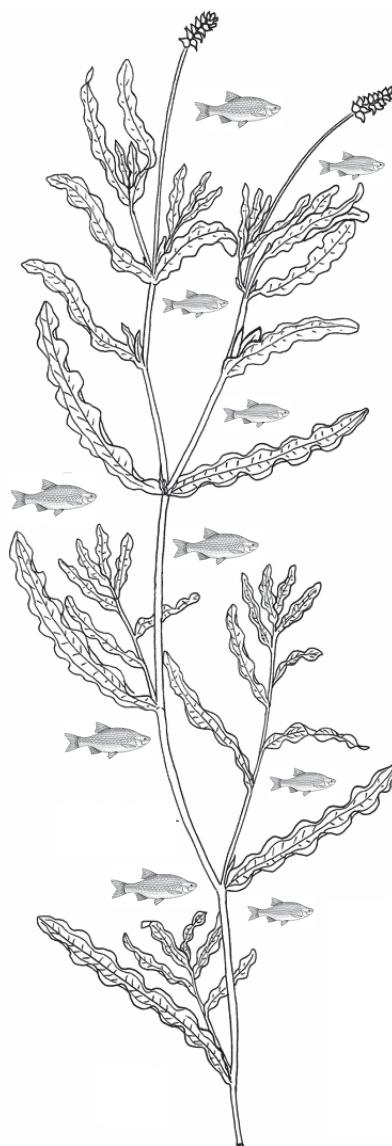


Fig. 4 Schematische Darstellung der Funktionsweise von Wasserpflanzen als Lebensraum und Deckungsstruktur für Jungfische. Das Prinzip der Randliniendichte beschreibt die nutzbare Oberfläche sowie die Zwischenräume einer räumlichen Struktur.

Habitatstrukturen im Zusammenhang mit Bauvorhaben lassen sich somit besser durchführen.

Zur Erfassung qualitativ «guter» Habitatstrukturen für Fische und zur Erkennung wertvoller oder sensibler Bereiche mit einem erhöhten Schutz- bzw. Schonungsanspruch bildet die Methode ein wertvolles Hilfsmittel. Dadurch besteht die Möglichkeit, fischökologisch besser abgestimmte Projektoptimierungen vorzunehmen oder Vorgaben für adäquate Schutzmassnahmen spezifischer Strukturen zu entwickeln. Ebenfalls dient die Methode als Basis zur Berechnung von allfälligen Ersatzmassnahmen. Das fischökologische Potenzial kann in Kombination mit den Wasserpflanzenaufnahmen auch als Monitoringinstrument zur Beobachtung der Entwicklung in einem See über einen längeren Zeitraum benutzt werden. Auch können so verschiedene Flachwasserzonen innerhalb eines Sees untereinander verglichen und wertvolle «Hotspots» eruiert werden.

Durch die hochaufgelöste räumliche Information kann das fischökologische Potenzial ebenfalls als Teil eines fischereilichen

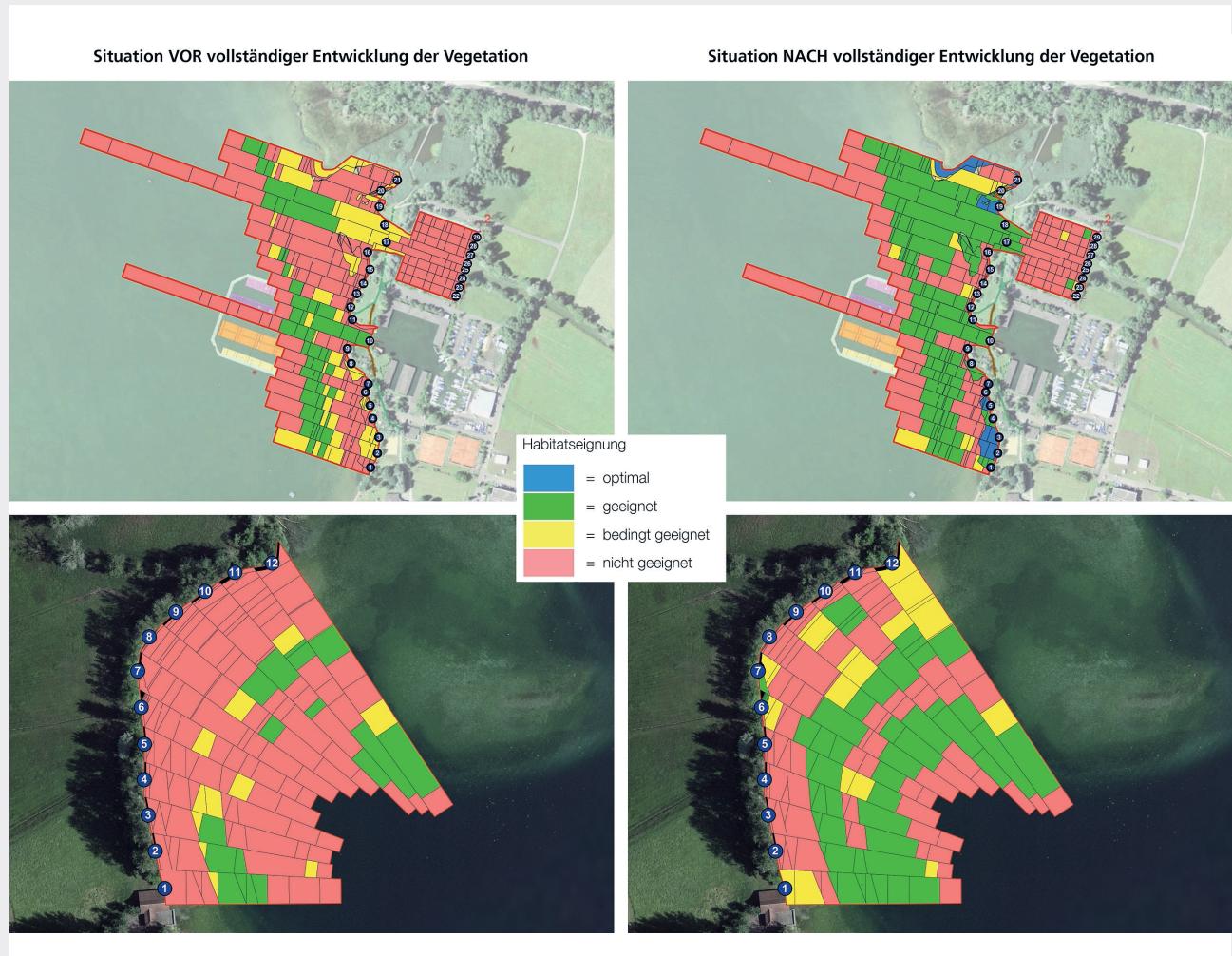


Fig. 5 Modellierte Habitateignung «Krautlaicher» zweier Standorte, jeweils für die Situation vor und nach vollständiger Ausbildung der Vegetation.

Mit zunehmendem Aufkommen der einjährigen Arten nimmt die Habitateignung in Abhängigkeit der Vegetationsstruktur (Artzusammensetzung, Wuchshöhe, Wuchsdichte, Wuchsformen etc.) zu. Besonders wertvolle Bereiche können lokalisiert und entsprechend berücksichtigt werden. Standorte mit grössererem Anteil an mehrjährigen Arten (z. B. Armleuchteralgen) weisen dabei bereits früher im Jahresverlauf gut geeignete Laichhabitale auf wie Standorte, an welchen primär einjährige Arten vorkommen.

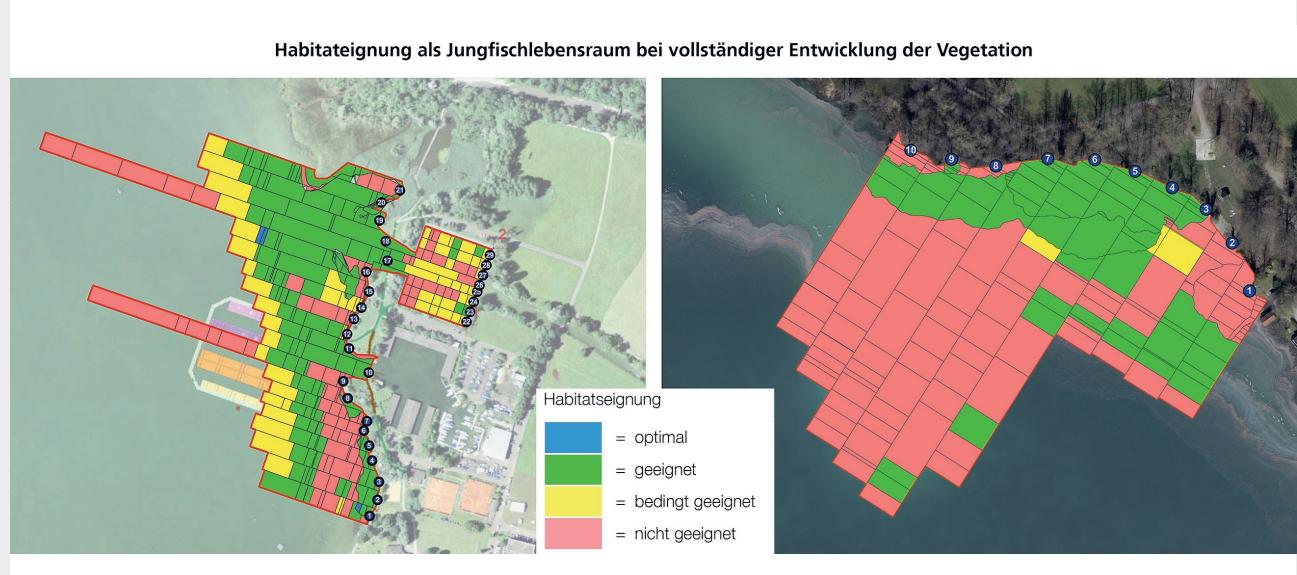


Fig. 6 Modellierte Eignung des «Jungfischhabitats» zweier Standorte. Besonders wertvolle Bereiche liegen zum Beispiel in Zonen mit dichten, strukturreichen Wasserpflanzenbeständen in mittleren Wassertiefen (Zone mit Armleuchteralgen und hochwachsenden Laichkrautarten) oder in ufernahen Zonen mit Röhricht- oder Schwimmblattbeständen.

Managements verwendet werden, um beispielsweise besonders sensible oder schützenswerte Zonen festlegen zu können. Ein weiteres Einsatzgebiet für das fischökologische Potenzial anerbietet sich im Rahmen von Wirkungskontrollen zur Überprüfung von Ufer- und Mündungsrevitalisierungen, Schüttungen von Flachwasserzonen oder bei baulichen Eingriffen. Idealweise wird das fischökologische Potenzial zusammen mit standardisierten Befischungen erhoben. Es bietet Zusatzinformationen zu Laich- und Jungfischhabitat, insbesondere in Bereichen mit dichten Wasserpflanzenbeständen, die sich elektrisch oder mit Netzen nur erschwert befischen lassen (Fig. 5 und 6).

AUSSICHTEN

Durch gezielte Tauchbeobachtungen in den Wasserpflanzenbeständen (z.B. Schwimmblattvegetation) sollen Wissenslücken geschlossen werden, z.B. bzgl. spezifischer Habitatnutzung durch Hechte im Frühjahr, und dadurch artspezifische Modelle entwickelt werden. Hierzu ist aber eine weitere Grundlagenerarbeitung (Forschung) notwendig.

Mit einer Verknüpfung der standardisierten Befischungsdaten aus Seen (*Projet Lac*) soll versucht werden, eine Verbindung herzustellen zwischen effektivem Fischvorkommen und dem Eignungspotenzial aus der Modellierung. Dies dient insbesondere der Plausibilisierung des fischökologischen Potenzials anhand der Befischungsergebnisse. Umgekehrt

kann ausgehend vom Habitatpotenzial ein besserer Bezug zum Fangort von Fischen hergestellt werden. Sinnvollerweise wird das fischökologische Potenzial als Indikator in eine standardisierte Wirkungskontrolle von Seeuferrevitalisierungen integriert.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Walz, N. et al. (2003): *Die ökologische Bewertung von Seeufern in Deutschland*. UWSF – Z Umweltchem. Ökotox. 15: 1–8
- [2] Sturzenegger, M.; Niederberger, K. (2017): *Wasserpflanzen – Der artenreichste Lebensraum stehender Gewässer*. Fauna Focus. Nr. 37. Herausgeber: Wildtier Schweiz. 12 S.
- [3] Alexander, T.; Seehausen, O. (2021): *Diversity, distribution and community composition of fish in perialpine lakes – «Projet Lac» synthesis report*. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. 283 S.
- [4] Muggli, J. (2019): *Seelisbergersee – Fischereifachliche Beurteilung der Eglisituation*. Kurzgutachten im Auftrag der Fischereiverwaltung Kanton Uri, 17 S.
- [5] Vonlanthen, P.; Périat, G.; Seehausen, O. (2022): *Standardisierte Befischung. Methode zu Erhebung des Fischbestands in stehenden Gewässern*. Aqua & Gas 4: 22–29
- [6] AquaPlus (2014): *Wasserpflanzenerhebungen – Methodik zur Erfassung der Wasser- und Seegrundverhältnisse*. Aqua & Gas 7/8: 66–77
- [7] Balon, E. (1975): *Reproductive guilds of fishes: a proposal and definition*. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 32, 821–864
- [8] Gerstmaier, R.; Romig, T. (2003): *Die Süßwasserfische Europas*. Kosmos Verlag, 368 S.
- [9] Hauer, W. (2007): *Fische Krebse Muschel in heimischen Seen und Flüssen*. Leopold Stocker Verlag, Graz, 231 S.
- [10] Maitland, P.; Linsell, K. (2007): *Süßwasserfische. Alle Arten Europas gezeichnet*. Kosmos Verlag, 272 S.
- [11] Bry, W. (1996): *Role of vegetation in the life cycle of pike*. In: Craig, J. F. *Pike – Biology and exploitation. Fish and Fisheries Series 19*, Chapman & Hall, London, 45–67
- [12] Casselman, J.; Lewis, C. (1996): *Habitat requirements of northern pike*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 53 (Suppl. 1) 161–174
- [13] Werner, S. (2004): *Einfluss überwinternder Wasservögel auf Chara-Arten und Dreissena polymorpha am westlichen Bodensee*. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 73 S
- [14] Cech, M. et al. (2012): *The use of artificial spawning substrates in order to understand the factors influencing the spawning site selection, depth of egg strands deposition and hatching time of perch (Perca fluviatilis L.)*. Journal of Limnology Nr. 71.1. S. 170–179
- [15] Lewin, W.; Okun, N.; Mehner, T. (2004): *Determinants of the distribution of juvenile fish in the littoral area of a shallow lake*. Freshw. Biol., 49: 410–424
- [16] De Nie, H.; Backx, J. (1994): *Interactions between aquatic macrophytes and fish in Lake Veluwe, direct and indirect effects*. In: van Vierssen, Wim; Hootsmans, Michiel; Vermaat Jan. *Lake Veluwe, a Macrophyte-dominated System under Eutrophication Stress*. Kluwer Academic Publishers, Geobotany 21, 287–295
- [17] Jeppesen, E. et al. (1998): *Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton interactions in Lakes*. In: Jeppesen, E., Søndergaard, M., Søndergaard, M., Christoffersen, K. *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. Springer, Ecological Studies 131, 91–114
- [18] Fischer, P. (1994): *Litorale Fischbiozönosen in einem grossen See – der Bodensee*. Dissertation. Christian-Albrecht Universität Kiel, 102 S.