

Das Teilmodell „Fische“

Die Beschreibung dieses Teilmodells ist zum grossen Teil aus Mürner (2005a) entnommen.

Nähere Angaben zu den Definitionen der Begriffe und zum Hintergrund der Methoden finden Sie in der Diplomarbeit von A. Mürner (2005b) im Kapitel 4.4 oder in Borsuk et al (2006). Zusätzlich wird für ausgewählte Einflussfaktoren erklärt, warum sie wichtig sind, und wie sie die Resultate beeinflussen. Die wichtigsten Informationen zu den jeweiligen Eingabewerten können Sie auch direkt im Computermodell nachlesen. Klicken Sie dazu zuerst auf das Symbol links unten im Fenster (Schlüssel-Symbol) und dann auf den Eingabewert (Knoten), der Sie interessiert und anschliessend unten am Fenster „Description“ wählen. Durch erneutes Klicken auf das Schlüssel-Symbol können Sie die Informationen wieder ausblenden. Alternativ können Sie auch auf den interessierenden Knoten doppelklicken.

Anwendungsbereiche

Die Anwendung dieses Teilmodells beschränkt sich auf Fliessgewässer, die bezüglich Grösse und Ökotyp vergleichbar sind mit denjenigen, die zur Entwicklung des Modells verwendet wurden. Konkret sind dies Fliessgewässer des Mittellands und des Prä-alpinen-Gebiets auf einer Höhe zwischen 400 und 1500 Metern über Meer, einem Gefälle von 0.5 bis 10% und einer durchschnittlichen Breite von 2 bis 30 Metern. Solche Flüsse werden im Allgemeinen der Bachforellenregion zugeordnet, auch wenn sie zum Teil Äschen oder sogar Barben enthalten. Das Modell kann zwar auch auf andere Fischregionen angewandt werden (siehe Eingabewert Fischregion), die Genauigkeit der Resultate nimmt dann aber ab.

Sollte die Artenzusammensetzung in einem Flussabschnitt aber durch intensiven Nicht-Bachforellen-Besatz oder systematische Vertreibung von unerwünschten Fischarten künstlich verändert sein, kann dieses Teilmodell nicht mehr angewandt werden.

Vorsicht ist auch bei Strecken geboten, die von Schwall-Sunk, systematischer Ein- resp. Abwanderung von Regenbogenforellen beeinflusst sind. Diese Faktoren werden im Modell nicht berücksichtigt.

Modell-Inputs

Folgende flussabschnittsspezifischen Inputs werden benötigt

- Mittlerer Abfluss (m^3/s)
- Mittlere Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
- Maximale Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
- Tag im Jahr mit maximaler Wassertemperatur (Julianischer Tag, z.B. entspricht der 3. Februar dem Julianischen Tag 34)
- PKD Vorkommen (ja-nein)

- Fischregion (Bachforelle, Äsche, Barbe, Brasse)

Folgende flussabschnittsspezifischen Eingangsgrößen werden vom Teilmodell “Morphologie & Hydraulik ” automatisch generiert:

- Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Winterhochwasserereignissen (-)
- Kolmation der Sohle (% Feinmaterial)
- durchschnittliche Flussbreite (m)
- Anteil Riffel im Flussabschnitt (%)
- Substratgröße (cm) (automatische Umrechnung von m auf cm)
- Breitenvariabilität (anhand der prognostizierten Morphologie) (%)
- Tiefenvariabilität bei mittlerem Abfluss (%)

Folgende flussabschnittsspezifischen Eingangsgrößen werden vom Teilmodell “Benthos” (Total MZB) automatisch generiert:

- Nahrungsangebot (Dichte der vorhandenen Nahrung für Bachforellen im Flussabschnitt - wird im Teilmodell “Benthos” (MZB) automatisch berechnet und von Trockengewicht auf Frischgewicht umgerechnet (nach Ricciardi & Bourget 1998))

Ausserdem sind folgende Management-Optionen zu definieren:

- Brütlingsbesatz (Anzahl der eingesetzten Bachforellen-Brütlinge pro Hektar und Jahr)
- Sömmerlingsbesatz (Anzahl der eingesetzten Bachforellen-Sömmerlinge pro Hektar und Jahr)
- Fischentnahme durch Angler (Anzahl der gefangenen und nicht zurückgesetzten Bachforellen pro Hektar und Jahr)
- Schatten (%)
- Verzahnung der Ufer (-)

Im Folgenden werden ausgewählte Modelleingangsgrößen und Management Optionen nochmals näher erklärt.

Abfluss Faktoren

Bei der Bestimmung der Abflussfaktoren (Mittlerer Abfluss, Wassertemperaturangaben, Wahrscheinlichkeit von Winterhochwasserereignissen) ist es entscheidend, möglichst durchschnittliche Werte anzugeben. Wählen Sie darum jeweils ein Jahr aus, das nicht zu lange zurück liegt und dessen klimatischen Bedingungen normal waren. Für die Temperatur ist es zum Beispiel nicht sinnvoll, Daten von 2003 zu nehmen, da die Hitzewelle im Sommer aussergewöhnlich war.

Mittlerer Abfluss

Setzen Sie den Wert für den „typischen Abfluss“ auf den Wert des mittleren Abflusses.

Wahrscheinlichkeit für Winterhochwasser

Die Wahrscheinlichkeit für Winterhochwasserereignisse wird in Prozent ausgedrückt und wie oben beschrieben im Teilmodell „Morphologie & Hydraulik“ automatisch generiert. Für das Fischmodell sind diejenigen Winterhochwasserereignisse entscheidend, die während der Laichperiode auftreten und stark genug sind, die Flusssohle in Bewegung zu bringen. Dadurch werden die Eier, die sich in der Sohle befinden, zerstört. Dies führt im Modell zu einer reduzierten Naturverlaichung.

Lebensraumfaktoren

Wie viele Bachforellen nebeneinander leben können - die so genannte maximale Kapazität - wird hauptsächlich durch diese Faktoren bestimmt. Einzig Kolmation und PKD haben keinen Einfluss darauf. Je mehr Fische in einem Fließgewässer leben, desto weniger Raum, Nahrung und Unterstände stehen dem einzelnen Individuum zur Verfügung. Dies wirkt sich sowohl direkt wie auch indirekt über die Überlebensraten auf die Dichten der Bachforellen aus.

PKD

PKD ist die Abkürzung für „proliferative Nierenkrankheit“. In vielen Gewässern wurden Untersuchungen an Fischen durchgeführt. Sie können dies auf der PKD-Karte (Karte PKD 2005.pdf) für den für Sie interessierenden Flussabschnitt ablesen. Wurde PKD nachgewiesen und übersteigt der Temperaturverlauf den kritischen Wert von 15°C während mehr als zwei Wochen (am Stück), wird im Modell eine PKD-Mortalität von 10-70% prognostiziert.

Fischregion

Die Fischregion wird in der Wissenschaft anhand von Gefälle und Flussbreite bestimmt (Abb. 1). In der jeweiligen Fischregion dominiert natürlicherweise die für diese Region typische Fischart. Für die Bachforellenregion bleibt die maximale Kapazität der Bachforellen unverändert, in der Äschenregion ist die max. Kapazität nur noch halb so gross und in der Barbenregion entspricht sie noch einem Viertel. Der Fischatlas oder kantonale Ämter für Jagd und Fischerei können über die Fischregion Auskunft geben.

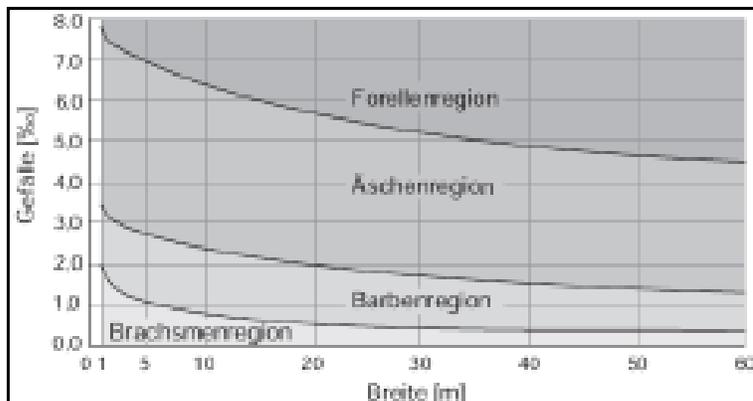


Abb. 1: Einteilung der Fischregionen in der Wissenschaft

Management Optionen

Verzahnung

Sie beschreibt die Ufergestaltung, bzw. die Trennlinie zwischen dem terrestrischen und dem aquatischen Ökosystem. Für gerade Uferlinien sollte eine „schlechte“ Verzahnung gewählt werden. Treten einige Einbuchtungen auf, ist die Verzahnung als „mittel“ zu betrachten, bei vielen Einbuchtungen als „gut“.

Schatten

Dies entspricht dem Anteil der beschatteten Fläche an der gesamten Wasseroberfläche in Prozent (bei der Eingabe „10%“ liegt ein Zehntel der Wasseroberfläche im Schatten). Das IFRM unterscheidet drei Kategorien (<10%, 10-50%, > 50%).

Brütlingsbesatz

Anzahl der eingesetzten Bachforellen-Brütlinge pro Hektar und Jahr (Auskunft geben kantonale Fachstellen). Der Brütlingsbesatz wirkt sich auf die Sömmerlingsdichte aus. Das Modell geht davon aus, dass die Sömmerlingsdichte zunächst mit steigendem Brütlingsbesatz zunimmt. Aufgrund der dichteabhängigen Phase nimmt sie ab einem gewissen Besatzwert aber wieder ab. Es gibt also eine optimale Besatzmenge.

Sömmerlingsbesatz

Anzahl der eingesetzten Bachforellen-Sömmerlinge pro Hektar und Jahr (Auskunft geben kantonale Fachstellen). Der Sömmerlingsbesatz wirkt sich auf die Dichte der Jungfische aus. Auch hier steigt die Dichte der Jungfische zunächst mit zunehmendem Besatz an. Ab einer gewissen Besatzmenge bleibt sie dann aber konstant.

Fischartnahme durch Angler

Dies entspricht der Anzahl gefangener und nicht zurückgesetzter Bachforellen pro Hektar und Jahr (Auskunft geben kantonale Fachstellen). Die gefangenen Bachforellen werden den erwachsenen Fischen im Verhältnis zur Dichte der jeweiligen Altersklasse abgezogen.

Kurze Erläuterung der Theorie

Dieses Teilmodell simuliert die Bachforellendichte (Brütlinge, Sömmerlinge, Jungfische, Erwachsene) über den Zeitraum von 120 Jahren (in den ersten 20 Jahren pendeln sich die Modellergebnisse ein, die weiteren 100 Jahre können dann als zu erwartende Fischdichten angesehen werden). Allerdings ist dies kein konkretes Vorhersagemodell wie z.B. die kurzfristige Wettervorhersage - sondern soll vielmehr einen Einblick in die zu erwartende Grössenordnung an Bachforellendichten geben.

Die natürliche Variabilität der Modellresultate (Dichte der Sömmerling (0^+), Jungfische ($1^+, 2^+$) und der erwachsenen Bachforellen ($3^+, 4^+, \dots, 10^+$)) entsteht durch den Einfluss, der

die Dichte eines Lebensstadiums auf die Dichte des nächsten Lebensstadiums hat. Durch diesen geschlossenen Kreislauf im Modell wird der natürliche Kreislauf simuliert. Die Dichten der Bachforellen eines Lebensstadiums können zwischenzeitlich zwar (zu) gross sein, dies wirkt sich im nächsten Jahr aber auf die maximale Kapazität der Population aus. Als Folge wird die Dichte (zu) klein werden und sich anschliessend auf einem Wert stabilisieren, der von der Population getragen werden kann.

Im Zusammenhang mit der Dynamik rechnet das Modell häufig mit Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten gewisser Ereignisse. Wenn wir zum Beispiel eine 20prozentige Wahrscheinlichkeit für Winterhochwasser betrachten, ist es offensichtlich, dass sich die Population unterschiedlich entwickeln wird, je nach dem, ob das Hochwasser im Simulationsjahr 20 oder 25 der Berechnung auftritt. Der Wert der dynamischen Einflussgrössen ändert sich also von Jahr zu Jahr aufgrund der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Eingabewerte.

Die natürliche Variabilität und die Dynamik sind die Ursachen für die Schwankungen, die bei den Dichten der Bachforellen während der 120 Jahre zu sehen sind (Abb. 2). Während der ersten 20 Jahre pendelt sich das Modell ein, sie werden bei den Resultaten nicht dargestellt. Die Jahre 20 bis 120 aber werden auf der waagerechten Achse wiedergegeben. Dabei handelt es sich nicht (!) um eine echte Prognose für die nächsten 120 Jahre! Die Simulation gibt lediglich an, wie sich die die Population etwa entwickeln würde, wenn alle Eingabewerte unverändert bleiben würden. In der Realität verändern sich aber viele Faktoren – wie zum Beispiel die Fischentnahme durch Angler während dieses Zeitraums. Die gewählte Dauer von 120 Jahren hat keine spezielle Bedeutung. Man könnte auch 80 oder 200 Jahre simulieren.

Zusätzlich kommt die Unsicherheit des Modells zum Tragen. Ihre Bedeutung soll am Beispiel der Lebensraumvariabilität erklärt werden. Sie wird aus den Eingabewerte Breiten- und Tiefenvariabilität, Verzahnung, Substratgrösse, Anteil Riffel und Anteil Schatten berechnet. Das Modell entscheidet sich im Jahr Null aufgrund der definierten Eingabewerte für je einen Wert, um die Lebensraumvariabilität zu berechnen. Während der 120 simulierten Jahre werden die Eingabewerte (und damit auch die Lebensraumvariabilität) dann konstant gehalten. Um die Unsicherheit in den Eingangsgrössen zu berücksichtigen, werden die 120 Simulationsjahre je nach Wahl der Samplegrösse mehrfach durchgerechnet (jeweils mit einem neuen Satz an Eingabewerten).

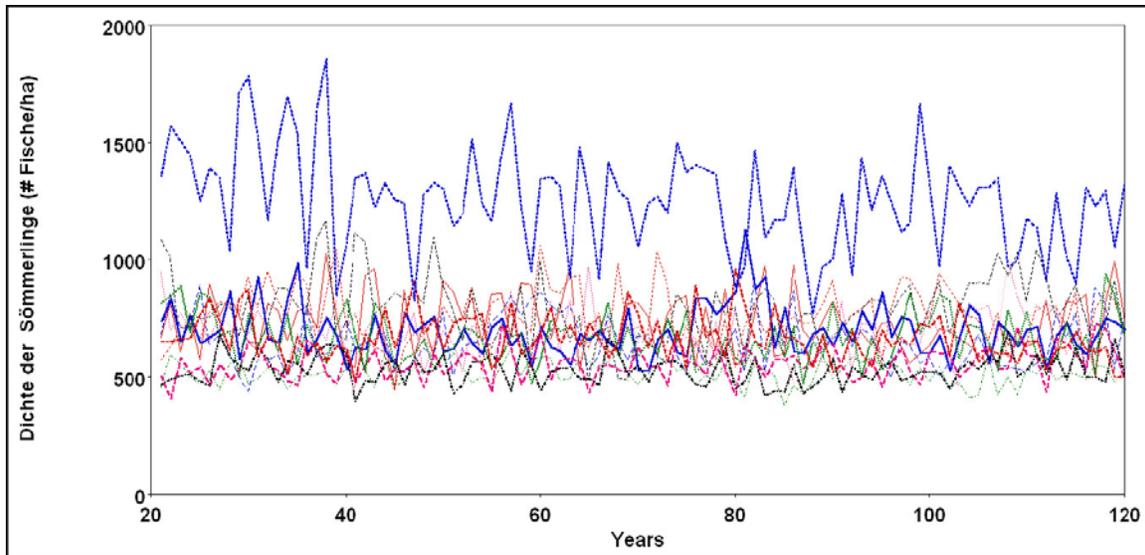


Abb. 2: Beispiel einer Simulationsrechnung zur Bestimmung der dichte der Sömmerlinge

Interpretation der Resultate

Die Modellberechnung ist mit vielen Annahmen, Vereinfachungen und Unsicherheiten verbunden. Auch die Eingabewerte sind zwangsläufig mit einem gewissen Fehler behaftet, da die erforderlichen Daten nur in den seltensten Fällen mit hinreichender Genauigkeit verfügbar sind und die direkte Bestimmung im Feld meistens zu aufwändig ist. Sie dürfen die Resultate darum nicht als exakte oder gar belegte Werte interpretieren. Es wird nie möglich sein, die Natur vollständig abzubilden und zu berechnen. Ebenso wenig kann Ihnen das Modell Entscheidungen abnehmen oder die Erfahrung von Fachleuten ersetzen. Dies ist aber auch nicht der Anspruch dieses Teilmodells. Vielmehr wurde zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren ein Netz geknüpft und ihre Dynamik mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsrechnungen wiedergegeben. Somit dürfen Sie davon ausgehen, dass die Resultate – als Grössenordnungen interpretiert – doch einen Hinweis auf die zu erwartenden Bachforellenpopulationen geben können. Dies umso mehr, da die Anwendung des Modells auf die 12 Teststrecken des Projekts Fischnetz zu einer vernünftigen Übereinstimmung mit den Beobachtungen führte – speziell bei den Jungfischen.

Die grösste und unbestrittenste Chance dieses Teilmodells liegt aber in der Verknüpfung der Einflussfaktoren miteinander. Die verwendeten Beziehungen stammen grösstenteils aus der Literatur und sind somit belegt. Dies erlaubt Ihnen, verschiedene Eingabewerte auszuprobieren und zu beobachten, welche qualitativen Änderungen der Modellresultate auftreten. Dadurch können Sie ein Gefühl für die Wichtigkeit der einzelnen Einflussfaktoren auf die Bachforellendichten bekommen und die Chancen und Grenzen Ihres Handelns abschätzen. Dies gilt speziell für die Management Faktoren.

Das Variieren der Lebensraum Faktoren kann auch interessante Einblicke geben - aufgrund der Resultate können Sie dann wünschenswerte Veränderungen am Lebensraum ableiten.

Berücksichtige Unsicherheiten im Teilmodell „Fische“

Tabelle 1 zeigt die in diesem Teilmodell verwendeten Unsicherheiten.

Tabelle 1: Berücksichtigung der Unsicherheiten im IFRM

Knoten	Status oder Beschreibung	Verteilung	Einheiten	Median	Standardabweichung
Laicherfolg	Kolmation<10%	Dreieck (0.8, 0.9, 1.0)*	-	0.9	0.04
Laicherfolg	10%<Kolmation <30%	Dreieck(0.55, 0.8, 0.9)*	-	0.76	0.07
Laicherfolg	Kolmation>30%	Dreieck(0.2, 0.45, 0.7)*	-	0.45	0.10
Überlebensrate der Inkubation	Kolmation<10%	Dreieck(0.7, 0.85, 1.0)*	-	0.85	0.06
Überlebensrate der Inkubation	10%<Kolmation <30%	Dreieck(0.2, 0.6, 1.0)*	-	0.6	0.16
Überlebensrate der Inkubation	Kolmation>30%	Dreieck(0.05, 0.2, 0.4)*	-	0.21	0.07
PKD-Mortalität	PKD Sterberate wenn die Wassertemperatur < 15 C	Gleichverteilung(0, 0.2)		0.1	0.06
PKD-Mortalität	Zusätzliche PKD Sterberate wenn Wassertemperatur > 15C	Gleichverteilung(0.1, 0.5)*	-	0.3	0.12
Überlebensrate Brütlinge	-	Dreieckig(0.08, 0.09, 0.1)*	-	0.09	0.004
Kapazität Sömmerlinge	Maximale Kapazität der Sömmerlinge	Normal	ind/ha	38950	2700
natürliche Überlebensrate	Minimale Überlebensrate (unter schlechtesten Habitatsbedingungen)	Dreieck(0.15, 0.25, 0.35)*	-	0.25	0.04
Fischartnahme mit Unsicherheit	-	Lognormal	ind/ha	Input Value	Geo. SD = 1.2
Fischbrut und Brütlingsbesatz	Brütlingsbesatz mit Unsicherheit	Lognormal	ind/ha	Input Value	Geo. SD = 1.1
Post Sömmerlingsdichte 1	Sömmerlingsbesatz mit Unsicherheit	Lognormal	ind/ha	Input Value	Geo. SD = 1.1
Wegschwemmen der Eier	-	Exponential	-	0.12	0.12
g	Wachstumsrate von	Normal	-	2.8	0.02

	lg Bachforelle bei optimaler Wassertemperatur				
h	Exponent im Wachstumsmodell	Normal	-	0.308	0.002
Tl	Untere Temperaturgrenze für Wachstum	Normal	deg C	3.56	0.04
Tm	Temperatur für optimales Wachstum	Normal	deg C	13.11	0.03
Tu	Obere Temperaturgrenze für Wachstum	Normal	deg C	19.48	0.04
Maximalgewicht	Maximalgewicht	Normal	g	1250	250
Unsicherheit Umrechnung TG --> FG	Umrechnung von Trockengewicht in Frischgewicht	Dreieck(0.15, 0.175, 0.2)*	-	0.175	0.04

*Dreieck-Verteilung wird durch Minimal, Modal und Maximalwert definiert.

Literatur

Borsuk M.E., Reichert P., Peter A., Schager E., Burkhardt-Holm P. (2006): Assessing the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss rivers using a Bayesian probability network. *Ecological Modelling* **192**: 224-244.

Mürner A. (2005a): Benutzerhandbuch CATCH-NET. Eawag Dübendorf. Siehe auch unter www.fischnetz.ch

Mürner A. (2005b): Fischmodell praxistauglich. Diplomarbeit an der Eawag Dübendorf, ETH Zürich.

Ricciardi A. & Bourget E. (1998): Weight to weight conversion factors for marine benthic macroinvertebrates. *Marine Ecology Progress Series* **163**: 245-251.