

11 Anhang

Literaturrecherche und Wissenstransfer

11.1 Erfolg von Besatzmassnahmen mit Lachsen

11.1.1 Besatzstadien

11.1.1.1 Zusammenfassung

- Lachse aus Wildfischpopulationen weisen nahezu doppelt so hohe Rückkehrraten auf als Besatzlachse mit Zuchterfahrung. Ausserdem sind besetzte Brütlinge hinsichtlich Rückkehrraten erfolgreicher als besetzte Smolts.
- Untersucht man verschiedene Besatzstadien noch im Ursprungsgewässer (noch vor Migration ins Meer), scheinen Vorsommerlinge die Besten Überlebenschancen zu haben. Brütlinge haben jedoch vergleichbare Überlebensraten wie Vorsommerlinge (Versuche aus dem Möhlinbach). Eier eignen sich hingegen nicht für den Besatz.
- Ob die Brut kurz angefüttert ist oder nicht, hat eher wenig Einfluss auf die Überlebensrate von Junglachsen.
- Je früher ein Fisch ausgesetzt wird, desto mehr ist sein äusseres Erscheinungsbild (Phänotyp) an die Wildnis angepasst. Je länger jedoch ein Fisch in der Zucht gehalten wird, desto mehr passt er sich an diese Bedingungen an (Domestikation).
- Schon die schwimmfähige Brut verändert sich durch die Zuchtbedingungen auf genetischer Ebene.

11.1.1.2 Fazit

- Brütlinge sind als Besatzfische hinsichtlich Rückkehrraten erfolgreicher als besetzte Smolts.
- Vorsommerlinge haben eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit als besetzte Brütlinge.
- Brütlinge sind die kostengünstigeren Besatzfische als Vorsommerlinge. Zudem ist der Brütling weniger an die Zuchtbedingungen angepasst (Domestikation).
- Eier eignen sich nicht für die Wiederansiedlung. Die Verluste in der Natur sind zu hoch.

→ Bisherige Erkenntnisse suggerieren, dass bei der Wiederansiedlung des Lachses auf Besatz mit Brütlingen gesetzt werden sollte. Die weiteren Erkenntnisse aus dem genetischen Monitoring sollen aber noch einfließen.

11.1.1.3 Verschiedenes

- Durch naturnahe Zuchtbedingungen beispielsweise mit Kies, und mit Strömung kann der Brütlingsbesatz erfolgreicher gestaltet werden.

11.1.1.4 Besatzstadium, Rückkehreffizienz [46], *S. salar*:

In Kanada hat eine Studie die Anzahl der Rückkehrer, d.h. ins Meer abgewanderte und zum Laichen in ihr Heimatgewässer zurückgekehrte Lachse, der Besatzstadien Brütlinge und Smolts mit Wildfischen verglichen.

Die Resultate zeigen, dass Wildlinge am erfolgreichsten sind. Zuchtfische haben gegenüber Wildfischen eine relative Rückkehrerffizienz von 0.55. Werden Brütlinge und Smolts untereinander verglichen, zeigt sich, dass Brütlinge die erfolgreichereren Rückkehrer sind. Brütlinge haben eine relative Rückkehrerffizienz gegenüber Wildfischen von 0.71, Smolts eine relative Rückkehrerffizienz von 0.42.

11.1.1.5 Besatzstadium, Mortalität [47], *S. salar*:

In einer Studie aus der Schweiz wurden die Besatzstadien Eier, Brütlinge und Vorsommerlinge miteinander verglichen. Die entsprechenden Besatzstadien wurden im Frühjahr bis Frühsommer ausgesetzt. Untersucht wurde mittels elektrischer Abfischungen im Herbst desselben Jahres, welche Besatzstadien den Sommer am besten überlebt haben. Die Überlebensrate der Eier lag bei 0.5%, die Überlebensrate der Brütlinge bei 23.8% und die Überlebensrate der Vorsommerlinge bei 31.4%. Insgesamt war die Überlebensrate der Brütlinge überraschend hoch. Auf Besatz mit Eiern sollte hingegen verzichtet werden. Die Anzahl überlebender Lachse kann mit Brütlingen gegenüber Eiern um das 50-fache erhöht werden.

11.1.1.6 Besatzstadium, Mortalitäten [32]; *S. salar*:

Zwischen 1984 und 1991 wurden im Rahmen eines Wiederansiedlungsprogrammes in den West River, Vermont (USA), jährlich zwischen 40'000 und 543'000 Lachse ausgesetzt. Es wurden nicht angefütterte Brütlinge sowie angefütterte Brut ausgesetzt.

Es konnte kein grosser Unterschied zwischen der angefütterten Brut und den Brütlingen in Bezug auf Überlebensrate im ersten Sommer und Sommerlingsdichte festgestellt werden. Im Gegenteil, wurden die Dichten von 1+ Lachsen untersucht, zeigte sich, dass die Brütlinge höhere Bestandesdichten aufwiesen als die angefütterte Brut. Möglicherweise überleben Brütlinge den ersten Winter besser. Es kann jedoch auch sein, dass angefütterte Brütlinge schneller grösser werden und eher abwandern. In der Regel wandern nämlich grössere Fische mit mehr Fettgewebe früher ab. Dieser Zusammenhang konnte jedoch nicht untersucht werden.

11.1.1.7 Domestikation [48], *S. salar*:

Eine Studie aus Wales hat das äussere Erscheinungsbild (Phänotyp) von Fischen, die in der Zucht gehalten wurden mit jenem verglichen, die besetzte Brütlinge in der Natur aufwiesen. Bereits 20 Tage nach dem Besatz hatten die Brütlinge längere Köpfe, einen dickeren Schwanzstiel und stromlinienförmigeren Körper. Nach 55 Tagen waren die Unterschiede noch akzentuierter. Diese Veränderungen, die Zuchtfische gegenüber Wildfischen zeigen, erklärt möglicherweise die niedrigeren Erfolgsquoten von Besatzmassnahmen, die mit älteren Besatzstadien durchgeführt werden (vgl. Milot et al.). Je länger sich ein Fisch in der Zucht aufhält, je mehr passt er sich an die Zuchtbedingungen an (Domestikation).

11.1.1.8 Domestikation [49], *S. salar*:

Embryos und Dottersackbrütlinge werden in der Regel in der Fischzucht gehalten, bis sie ihren Dottersack aufgebraucht haben und zur schwimmfähigen Brut werden. Dies geschieht oft in Rundstrombecken ohne natürliche Strukturen. Forscher aus Kanada haben nun Dottersackbrütlinge in einer angereicherten Umwelt aufgezogen und die Effekte auf das Transkriptom studiert. Einige Zuchtbecken wurden mit Kiessubstrat angereichert, die der Kontrollgruppe nicht. Es hat sich gezeigt, dass in den verschiedenen Studiengruppen total 808 Gene verschieden transkribiert und 184 Gene unter- oder überrepräsentiert waren. Darunter waren beispielsweise Gene, die für die Muskel- oder Herzentwicklung codieren. Die Studie zeigt, dass durch die Zuchtbedingungen schon früh auf genetischer Ebene Unterschiede entstehen. Auch ausgesetzte Brütlinge

sind davon betroffen. Es könnte sein, dass durch die Anreicherung der Zuchtbedingungen mit natürlichen Strukturen der Brütlingsbesatz erfolgreicher wird. Dieser Zusammenhang ist bekannt und wird in einigen Zuchten bereits eingesetzt (z.B. Strömung, pers. Mitteilung Jörg Schneider).

11.1.1.9 Domestikation [50], *S. salar*:

Typischerweise haben Smolts aus der Zucht gegenüber Wildlachsen einen Nachteil. Die Überlebensraten von wilden Smolts gegenüber Zuchtsmolts haben über viele Studien gesehen ein Verhältnis von 1.2 bis 9.9.

11.1.2 Besatzdichten

11.1.2.1 Zusammenfassung

- Ausreichende Bestandesdichten von Sömmerlingen liegen gemäss Monitoring FFH (Deutschland) in «geeigneten Habitaten» über 0.3 Ind./m². An diese Besatzdichten halten sich offenbar deutsche Wiederansiedlungsprogramme.
- In einer grossen und über einen längeren Zeitraum durchgeführten Studie aus den USA kommt der Autor zum Schluss, dass die Besatzdichten mit Brütlingen und angefütterter Brut mit niedrigen Besatzdichten erfolgreicher ist als bei hohen Dichten (ca. 20 bis 50 Ind./100m², entspricht 0.2 bis 0.5 Ind./m²). Die Studie wurde nicht ausschliesslich in «geeigneten Jungfischhabitaten» durchgeführt (vgl. Monitoring FFH), sondern erstreckte sich über das gesamte Gewässereinzugssystem. Daher eignen sich diese Besatzdichten gut für Berechnung des tatsächlichen Brütlingsbedarfs pro Gewässer.
- Möglicherweise überleben nicht angefütterte Brütlinge den ersten Winter besser als angefütterte Brütlinge.

11.1.2.2 Fazit

- Eine nachhaltige Besatzdichte von Brütlingen liegt wahrscheinlich bei 0.2 bis 0.5 Ind./m².
- Setzt man die Brütlinge nur in «geeignete Habitate» ein, sind die deutschen Zahlen nicht unbedingt zu hoch (3 bis 5 Ind./m²). Genaue Zahlen müssten berechnet werden.

11.1.2.3 Dichten Sömmerlinge (0+ parr) [51], *S. salar*:

Das Bewertungsschema für das bundesweite FFH-Monitoring (Deutschland) weist Bestandesdichten von Sömmerlingen in Jungfischhabitaten in Abhängigkeit vom Populationszustand aus (siehe Tabelle 11-1). Ein guter Zustand wird mit dem ausreichenden reproduktiven Potential der Aufsteiger in Verbindung gebracht. Die Aufsteiger sind dann gemäss Definition in der Lage, potentielle Laichhabitats mit Nachwuchs zu versorgen. Ein guter Populationszustand wird mit Sömmerlingsdichten zwischen 0.3 und 0.5 Ind./m² angegeben (in Abschnitten mit geeigneten Junglachshabitaten -> siehe Kap. 3).

Übertragen auf Brütlingsbesatz würde diese Erkenntnisse bedeuten, dass im Idealfall in geeignete Junglachshabitats zwischen ca. 3 und 5 Ind./m² eingesetzt werden sollten.

Tabelle 11-1. Bestandesdichten von Sömmerlingen (0+ parrs) in Abhängigkeit des Populationszustandes (aus [51]).

Zustand der Population	Hervorragend	Gut	Mittel bis schlecht
Bestandsgröße/Abundanz: Juvenile (0+Parrs), nur Naturbrütlinge in geeigneten und erfassbaren Habitaten	≥ 0,5 Ind./m ²	≥ 0,3 bis < 0,5 Ind./m ²	< 0,3 Ind./m ²
Altersstruktur/Reproduktion: Adulte (Aufsteiger), zentral für jedes Bundesland zu beurteilen (Expertenvotum)	Reproduktives Potential der Aufsteiger ist ausreichend, um fast alle der oberhalb der Kontrollstation liegenden pot. Laich- und Larval- habitate mit Nachwuchs zu versorgen	Reproduktives Potential der Aufsteiger ist ausreichend, um einen großen Teil der oberhalb der Kontrollstation liegenden pot. Laich- und Larvalhabitate mit Nachwuchs zu versorgen	Reproduktives Potential der Aufsteiger versorgt höchstens einen geringen Teil der oberhalb der Kontrollstation liegenden Laich- und Larvalhabitate mit Nachwuchs

11.1.2.4 Besatzdichten, Entwicklung, Mortalitäten [32]; *S. salar*:

Zwischen 1984 und 1991 wurden im Rahmen eines Wiederansiedlungsprogrammes im West River, Vermont (USA), jährlich zwischen 40'000 und 543'000 Lachse eingesetzt (Besatzdichten variierten zwischen 31.3 und 184.3 Ind./100m²). Die Gewässerabschnitte wurden flächendeckend besetzt, ohne geeignete Jungfischhabitate auszuscheiden. Es wurden nicht angefütterte Brütlinge sowie angefütterte Brut ausgesetzt. Die beiden Besatzstadien sowie die Besatzdichten konnten so verglichen werden.

Es zeigte sich einerseits, dass mit lockeren Besatzdichten von durchschnittlich 20 bis 50 Ind./100m² am meisten Smolts generiert werden konnten. In Strecken mit höheren Besatzdichten (50 bis 215 Ind./100m²) konnten signifikant weniger Smolts nachgewiesen werden. Dies wird auch von einer französischen Studie bestätigt, lockere Besatzdichten führen zu schnellerer Entwicklung der Lachse (Prevost et al., 1992). Offenbar ist ausserdem die Länge des Winters (Fettpolster) und die Grösse der 0+ Fische entscheidend.

11.1.2.5 Natürliche Bestandesdichten [52], *S. salar*:

Kurz nach dem nächtlichen Verlassen der Laichgruben zeigt die schwimmfähige Brut über ca. 6 Wochen das typische Dispersionsverhalten. Dieses Verhalten führt dazu, dass sich die Brütlinge vor allem bachabwärts, aber wenn möglich auch bachaufwärts, rasch in geeignete Habitate ausbreiten. Kolke behindern die Ausbreitung (insbesondere stromaufwärts [53]) . Natürliche Bestandesdichten von Brütlingen oder Sömmerlingen sind in der Folge abhängig von den vorhandenen Habitaten und variieren deshalb stark.

11.1.2.6 Natürliche Bestandesdichten [31], *S. salar*:

Eine zitierte Studie der National Rivers Authority (NRA), England – die mittlerweile Environmental Agency heisst und deren alten Publikation offenbar nicht digitalisiert sind – hat über 600 Bestandeserhebungen zu natürlichen Junglachsdichten in England und Wales ausgewertet. Aufgrund dieser Daten haben sie eine Klassifizierung von Jungfischdichten von A (gut) bis E (schlecht) resp. F (nicht vorhanden) entworfen (Tabelle 11-2).

Ausserdem erwähnen auch die Autoren dieser Studie, dass natürliche Bestandesdichten stark variieren und vor allem von den verfügbaren Habitaten abhängen.

Tabelle 11-2. Lachs-Abundanzen in Anzahl Ind./100m² für Sömmerlinge (0+) und ältere Junglachse (>0+).

Species group	Class					
	A	B	C	D	E	F
0+ Salmon	>86	45–86	23–45	9–23	>0–9	0
>0+ Salmon	>19	10–19	5–10	3–5	>0–3	0

11.1.2.7 Effektive Besatzdichten (Sömmerlinge) [30], *S. salar*:

Bei der Wiederansiedlung des Lachses im System der Kinzig (Land Hessen, Deutschland) lag die Besatzfischdichte mit Sömmerlingen im Jahr 2015 bei 0.5 Ind./m². Dies deckt sich mit den vom FFH-Monitoring empfohlenen Besatzdichten.

11.1.2.8 Effektive Besatzdichten, Sömmerlingsdichten, alter Rhein [54], *S. salar*

Bei den Untersuchungen zu den Junglachshabitaten am französischen Rhein wurden 40 bis 110 Ind./100 m² besetzt. Die Sömmerlingsdichten von nicht angefügter Brut lagen zwischen 0 und 26 Ind./100 m². Sömmerlingsdichten von angefügter Brut lagen zwischen 22 und 77 Ind./100 m².

Roche hat auf der Basis von Luftbildern und mit einem Kanu alle Makrohabitate mehrerer Besatzgewässer flächendeckend kartiert. Das heisst: Messen von Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefe auf Rapid, Riffle, shallow/deep Run, Pool und Glide. Die kann auf einer Karte dargestellt werden und dazu genutzt werden, die Carrying Capacity zu berechnen, und so die ideale Besatzdichten.

11.2 Konkurrenz zwischen Lachs und anderen Fischarten

11.2.1.1 Zusammenfassung

- Die ökologischen Nischen von Lachssömmerlingen, 0+ Forellen, Groppen und Flusskrebse überlappen stark.
- Forellen sind in kleinen Gewässern konkurrenzstärker als Lachse und verdrängen diese im Sommer in schneller fließende Gewässerabschnitte. Im Winter führt die Konkurrenzsituation mit Forellen dazu, dass die Lachse weniger nachtaktiv sind als üblich, oder dass sie ihre angestammten Winterverstecke aufgeben.
- Falls Makrophyten vorhanden sind, nutzen 0+ Lachse in Konkurrenz zu Forellen diese als Nachthabitate.
- In Konkurrenz zu Äschen ändert sich für 0+ Lachse wenig, falls Forellen ebenfalls vorhanden sind.
- Groppen werden von Forellen in ähnliche Habitate abgedrängt wie Lachse.
- Groppen und Lachssömmerlinge haben im Sommer fast identische Ernährungsgewohnheiten. Ihre ökologischen Nischen (besonders Mikrohabitate) sind beinahe identisch. Die Prädation von großen Groppen kann insbesondere auf Lachsbrütlinge sehr erheblich sein [55].
- Im Labor verdrängen Flusskrebse die Lachse aus ihren potentiellen Winterhabitaten.

11.2.1.2 Fazit

- Es gibt keine für die Wiederansiedlung des Lachses geeigneten Gewässer, die keine Forellenpopulation beherbergen.
- Da Forellenbesatz zu erhöhten 0+ Forellendichten führen, soll wenn immer möglich von Forellenbesatz abgesehen werden.
- In Konkurrenz zu Forellen nutzen Lachse alternative Habitate wie Makrophyten oder Steine als Verstecke. Diese sind daher in Wiederansiedlungsgewässern zu erhalten, bzw. zu fördern.
- Fehlen Groppen, wird sich das positiv auf Lachse auswirken (weniger Frassdruck und Konkurrenz).
- In Gewässer mit einheimischen Krebsbestand sollte auf die Wiederansiedlung von Lachsen verzichtet werden.

11.2.1.3 Wissenslücken

- Die Konkurrenz zwischen Krebsen und Lachsen ist im Feld nicht untersucht.

11.2.1.4 Konkurrenz zu Forellen im Sommer [34], *S. salar*, *S. trutta*:

Durch Interaktion mit juvenilen Forellen im Sommer, diese sind während dieser Zeit aggressiver als Junglachse von vergleichbarer Grösse, verschieben Lachse ihre Habitate in seichtere Habitate (Riffles), wo das Wasser schneller fliesst. An diese Habitate sind sie besser angepasst als Forellen.

11.2.1.5 Konkurrenz zu Forellen im Winter [35], *S. salar*, *S. trutta*:

Im Herbst, wenn das Wasser kühler wird, wandern Junglachse in andere Habitate (siehe Kapitel XX). Im Winter sind Lachse dann in der Regel nachtaktiv. Stehen sie jedoch in Konkurrenz zu Forellen, werden sie entweder weniger nachtaktiv, das heisst sie verschieben ihre Aktivitäten zu Gunsten der Forellen, oder sie verbleiben in den schneller fliessenden und seichteren Habitaten.

11.2.1.6 Konkurrenz zu Forellen und Äschen [36], *S. salar*, *T. thymallus*, *S. trutta*:

In einer Studie wurden Jungfische der Arten Lachs, Forelle und Äsche mit PIT tags besendert. Danach wurden die Habitate untersucht, die die verschiedenen Arten besetzten (Habitats siehe nächstes Kapitel). Die Studie zeigt, dass 0+ Lachse ihre Lieblingshabitats in Konkurrenz zu Äsche und Forelle vor allem in schneller fliessenden Abschnitten finden. Die Wassertiefe unterscheidet sich nicht zu stark von den Äschen – allerdings sind die Gruppen von 0+ Äschen meist in langsamer fliessenden Abschnitten zu finden. Die konkurrenzstarken Forellen nutzen die besten der möglichen Verstecke (Wurzelstöcke) – während Lachse vor allem in Makrophyten sitzen. Äschen finden wenig Verstecke (sind möglicherweise nicht sehr konkurrenzstark).

11.2.1.7 Konkurrenz zu Forellen und Regenbogenforellen [37], *S. salar*, *S. trutta*, *O. mykiss*:

Forellen sowie Regenbogenforellen haben ähnliche ökologische Nischen wie der Lachs. Durch die Überlappung der Habitate kommt es daher zu starker Konkurrenz. Regenbogenforelle und Forelle sind ähnlich aggressiv und einiges aggressiver als Lachse. Leben Lachse in Konkurrenz zu diesen Arten, sinken ihre Überlebensraten.

11.2.1.8 Konkurrenz zu Groppen [56], *S. salar*, *C. gobio*:

Die ökologischen Nischen von Lachssömmerlingen und Groppen scheinen stark zu überlappen. Sie zeigen im Sommer das gleiche Fressverhalten und Beuteschema.

11.2.1.9 Konkurrenz und Prädation Groppen [55] *S. salar*, *C. gobio*:

Neben einer direkten Prädation durch Groppen auf Lachse wurden auch Konkurrenzeffekte um Habitat und Nahrung identifiziert. Bei hohen Dichten großer Groppen ist ein erheblicher Prädationsdruck auf Lachsbrut (Salmonidenbrut) gegeben. Die max. Beutefischgröße der Groppe beträgt ca. die Hälfte der eigenen Körperlänge.

11.2.1.10 Konkurrenz Forellen zu sibirischen Groppen [57], *S. trutta*, *C. poecilopus*:

Sibirische Groppen werden von 0+ Forellen in suboptimale Habitate abgedrängt. In der Studie verdrängten konkret die 1+ Forellen die 0+ Forellen in die optimalen Habitate der Groppen. Die Groppen wurden dann in Habitats mit schneller fließendem Wasser verdrängt. Es könnte folglich sein, dass in Bächen, die Forellen und Groppen beherbergen, ähnliche Mechanismen auftreten. Die Konkurrenz für Lachssömmerlinge mit Groppen um die Habitate mit schneller fließendem Wasser wäre dann sehr hoch.

11.2.1.11 Konkurrenz zu Krebsen [35], *S. salar*, *P. leniusculus*:

Lachse und Signalkrebse sind im Winter beide nachtaktiv. Stehen Junglachse nun im Winter in Konkurrenz um Verstecke mit Signalkrebsen, finden sie signifikant weniger Unterstände. Das führt dazu, dass die Lachse während dem Tag keine Unterschlüpfen finden und für Jäger leichte Beute sein könnten. Es handelt sich bei diesem Versuch um einen Laborversuch mit eingeschränkter Aussagekraft für natürliche Ökosysteme. Persönliche Erfahrungen bei Abfischungen zeigen jedoch, dass Fische und Krebse ihre Verstecke nicht oft teilen (e.g. Wyna).

Signalkrebse gelten zwar als sehr aggressiv, dennoch kann man davon ausgehen, dass einheimische Flusskrebse ähnlich konkurrenzstark gegenüber kleinen Fischen sind. Daher scheint es wenig sinnvoll, Gewässer, die einheimische Flusskrebspopulationen beherbergen, mit Lachsen zu besetzen.

11.3 Ideale biotische und abiotische Bedingungen in Gewässern

11.3.1.1 Zusammenfassung

- Die Habitatparameter sind abhängig vom Untersuchungsgewässer. Aus methodischen Gründen werden ausschliesslich kleine, kühle Fließgewässer untersucht. Schweizer Wiederansiedlungsgewässer, wie der Möhlinbach, passen jedoch sehr gut in dieses Schema.

11.3.1.2 Jungfischhabitate:

- Bevorzugte Fließgeschwindigkeiten von Sömmerlingen: 5-100 cm s⁻¹
- Bevorzugte Wassertiefen von Sömmerlingen: 5 bis 90 cm (bis zu 2 m)
- Bevorzugtes Substrat von Sömmerlingen: Steine bis Kies (16-256 mm), evtl. auch grösser
- Sobald die Wassertemperatur unter 8 bis 9°C sinkt, verlassen die 0+ Lachse im Herbst ihre gewohnten Habitate
- 0+ Lachse bevorzugen nun weniger stark fließendes Wasser und tiefere Pools. Hier können sie sich hinter grossen Steinen und Blöcken verstecken.
- In Konkurrenz zu Forellen müssen Lachse jedoch in den schneller fließenden Abschnitten verbleiben. In der Nacht ziehen sie sich, wenn möglich, in aquatische Makrophyten oder hinter Steinblöcke zurück.
- 1+ Lachse sind etwas kräftiger und können daher schneller fließende Abschnitte besser besiedeln.

11.3.1.3 Laichhabitate:

- Fließgeschwindigkeiten zwischen 15 und 180 cm s⁻¹
- Wassertiefen zwischen 17 und 100 (max. 200 cm)
- Die Substratgrösse zwischen 5.4 und 78 cm (Median)

- Maximaler Anteil an Feinsediment (<1 mm) 2.3-8%
- Gleich in der Nähe des Laichsubstrates braucht es grössere Pools, wo sich die laichreifen Tiere vor dem Akt sammeln können.

11.3.2 Junglachshabitate (0+, 1+) von potenziellen Besatzgewässern

11.3.2.1 Übersicht: Habitatsparameter Sommer/Herbst

Dargestellt sind in der Tabelle 11-3 verschiedene Habitatsparameter von Junglachsen, festgestellt durch verschiedene Autoren. Die Werte beziehen sich auf Sömmerlinge im Sommer/Herbst. Die Winterhabitate unterscheiden sich relativ stark (siehe unten). Die optimale Wassertiefe liegt in einem Bereich zwischen 5 und 90 cm. Im Rhein und in gewissen Gewässern Russlands wurden Laichgruben bis in Tiefen von 2m beobachtet. Die optimale Fließgeschwindigkeit liegt zwischen 5 und 100 cm s⁻¹ und das ideale Substrat scheint Kies und Steine zu sein (KD 16-256 mm). Allerdings wurden Sömmerlinge auch schon auf Blöcken gesichtet (>260 mm).

Tabelle 11-3: Habitatsbedingungen Sommer/Herbst (Stadium: Sömmerlinge). KD=Korngrössendurchmesser.

Studie	Bedingungen	Wassertiefe	Fließgeschwindigkeit	Substrat
Hendry und Cragg-Hine (2003), GB	Optimum	bis 20 cm	50 bis 65 cm s ⁻¹	Kies bis Steine KD 16-64 mm
Verspoor et al. (2008), EU	Optimum (alle Altersklassen)	5-90 cm	10-80 cm s ⁻¹	Kies bis Steine, KD 16-256 mm
Heggenes et al. (1999), NO	Optimum	20-70 cm	30-50 cm s ⁻¹	Kies bis Steine, KD 16-256 mm
Morantz et al. (1987), US	Optimum	30-60 cm max. 110 cm	5-35 cm s ⁻¹ max. 120 cm s ⁻¹	Kies bis Blöcke KD >16 mm
Rimmer et al. (1984), GB	Optimum	24-36 cm	10-30 cm s ⁻¹	
Riley et al. (2006), GB	in Konkurrenz	25-55 cm	40-100 cm s ⁻¹	Kies bis Steine, KD 16-256 mm

11.3.2.2 Habitate [58], *S. salar*:

Schneider präzisiert, dass vor allem die Grösse des studierten Gewässers die gemessenen Werte (wie oben zitiert) definiert. Kleine Gewässer verfügen oft nicht über grössere Wassertiefen in schnellfliessenden Gewässerbereichen, sind aber gute Studienobjekte. In grossen Flüssen leben Sömmerlinge jedoch beispielsweise auch in grossen Tiefen. Zudem darf nicht vergessen werden, dass die oben zitierten Werte oft Durchschnittswerte sind. Das heisst, dass Maximalwerte oft nicht abgedeckt sind (Bsp. Morantz et al. (1987)).

Schneider hat in einer eigenen Studie 1998 selbst die Habitatwahl von 355 juvenilen Lachsen studiert. Es konnten signifikante grössenabhängige Präferenzen bei der Habitatwahl, Substratwahl und einigen

physikalisch-hydrologischen Parametern festgestellt werden. Für größere Lachse wurden Präferenzen für tiefere Standorte, darunter häufig Kolke, geringere Strömungsgeschwindigkeiten und geringe Kiesanteile verzeichnet. Kleine Lachse besiedelten flache Riffle-Pool-Strecken mit variablen Strömungsgeschwindigkeiten und mieden Kolke. Um 75% der Parrs wurden nahe Deckungsstrukturen nachgewiesen. Unterstände im Uferbereich wurden aufgrund der Habitatnutzung koexistierender Forellen besonders von kleinen Parrs gemieden. Die unterstehende Grafik fasst die Mittelwerte der gemessenen Habitatparameter zusammen (Abbildung 11-1).

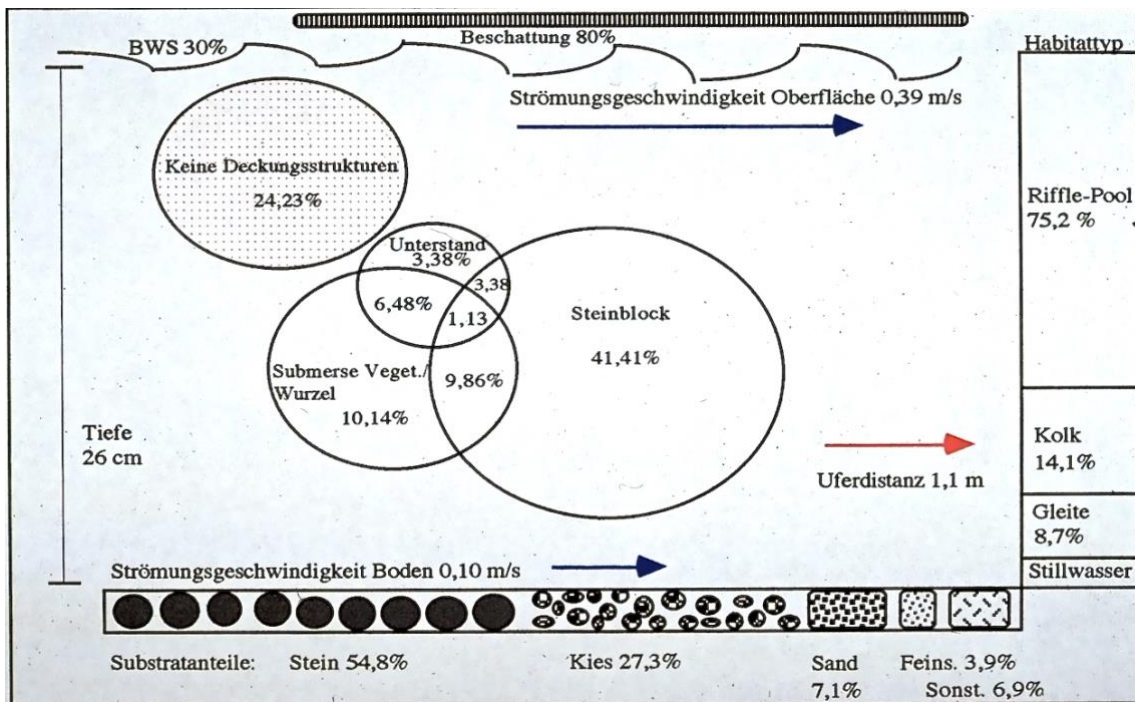


Abbildung 11-1: Untersuchungsergebnisse von Schneider.

11.3.2.3 Habitate Sommer und Winter [52], *S. salar*:

Während dem Sommer bevorzugen Sömmerlinge seichte Furten (riffles) und Läufe (runs). Diese haben eine Fließgeschwindigkeit zwischen 10 bis 80 cm s^{-1} (0.1-0.8 m s^{-1}). Der Untergrund ist kiesig bis steinig (Korngrössendurchmesser zwischen 0.2 und 20 cm).

Im Winter, wenn die Temperaturen unter 9°C sinken, wandern viele Fische in tieferes Wasser und verstecken sich hinter grösseren Steinen. Deshalb ist die Überlebensrate im Winter niedriger, wenn der Zugang zu Habitaten mit grobem Substrat oder Kolken eingeschränkt ist. Das könnte auch erklären, weshalb einige Populationen, beispielsweise in Island, Finnland oder Irland, den Winter in Seen verbringen.

11.3.2.4 Saisonale Nutzung Habitats [31], *S. salar*:

Die typischen vier Parameter, die die Eignung als Lachsgewässer vorgeben, sind Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Substrat und Deckung (cover). Im Weiteren sollte das Gefälle niedriger als 3% sein.

0+ Lachse bevorzugen schnellfließende (50 bis 65 cm s^{-1}) und seichte Gewässerabschnitte (bis 20 cm). 1+ Lachse bevorzugen Wassertiefen von 20 bis 40 cm und Fließgeschwindigkeiten zwischen 60 und 75 cm s^{-1} . Als Substrat bevorzugen 0+ Lachse im Sommer Kies und Stein zwischen 16 und 64 mm, im Winter Steine und Blöcke zwischen 64 und 256 mm. Im Herbst verlassen sie die seichten Furten und wechseln in tiefere Pools. Im Frühling kehren sie bei Temperaturen zwischen 6 und 7°C wieder auf ihre angestammten Habitats.

Fische bevorzugen generell Steine und Blöcke als Substrat. Diese Habitate sollten nicht zu weit von den Laichgruben entfernt liegen.

Tabelle 11-4: Saisonale Nutzung verschiedener Habitate durch Lachse in verschiedenen Altersklassen.

Studie	Bedingungen	Wassertiefe	Fliessgeschwindigkeit	Substrat
Hendry und Cragg-Hine (2003), GB	0+; Sommer/Herbst	bis 20 cm	50 bis 65 cm s ⁻¹	seichte Furten, Kies + Steine, KD 16-64 mm
Hendry und Cragg-Hine (2003), GB	0+ Winter (H ₂ O<8°C)	> 20 cm	< 50 cm s ⁻¹	tiefere Pools Steine + Blöcke, KD 64-256 mm
Hendry und Cragg-Hine (2003), GB	1+ ab Frühjahr (H ₂ O<6-7°C)	20-40 cm	60 bis 75 cm s ⁻¹	seichtere Furten, Steine + Blöcke, KD 64-256 mm

11.3.2.5 Saisonale Habitatsnutzung, Konkurrenz [36], *S. salar*, *T. thymallus*, *S. trutta*:

In einer Studie wurden Jungfische der Arten Lachs, Forelle und Äsche mit PIT Tags besendert. Danach wurden die Habitate untersucht, die die verschiedenen Arten besetzten.

Lachssömmerlinge bevorzugten Wassertiefen zwischen 25 und 55 cm bei einer Fliessgeschwindigkeit von 0.4 bis 1.0 ms⁻¹. Im Winter wie im Herbst fand man die 0+ Lachse primär auf kiesigem Substrat am Tag und in aquatischen Makrophyten in der Nacht.

Die 0+ Forellen standen während dem Herbst in 5 bis 10 cm tiefem Wasser bei Fliessgeschwindigkeiten von bis 0.4 ms⁻¹. Sie zeigten allgemein eine höhere Vielfalt bei der Habitatnutzung als Lachse. Im Herbst wie auch im Winter nutzten Forellen Siltsubstrate (wahrscheinlich die guten Verstecke > langsam fliessendes Wasser) und versteckten sich unter Wurzelstöcken.

Die Äschen nutzten als 0+ Fische vor allem kiesiges Substrat, im Herbst wie auch im Winter – Tag wie Nachts. Die 0+ Fische fand man primär in Wassertiefen von 46 bis 60 cm und Fliessgeschwindigkeiten von 0.3 bis 0.5 ms⁻¹. Im Winter zeigten die 0+ Äschen eine Präferenz für seichteres Wasser und niedrigere Fliessgeschwindigkeiten in der Nacht.

Die Studie zeigt, dass für Lachssömmerlinge die Vegetation (Makrophyten und Helophyten) gerade in Konkurrenz zur Forelle sehr wichtig ist. Gerade in strukturärmeren Gewässern im Mittelland können sie so wichtige Verstecke finden.

Tabelle 11-5: Saisonale Unterschiede in der Habitatnutzung in Konkurrenz.

Studie	Bedingungen	Wassertiefe	Fliessgeschwindigkeit	Substrat
Riley et al. (2006), GB	0+ in Konkurrenz Herbst: Tag	25-55 cm	40-100 cm s ⁻¹	Kies + Steine
Riley et al. (2006), GB	0+ in Konkurrenz Herbst: Nacht	10 cm	0 cm s ⁻¹	Kies + Steine
Riley et al. (2006), GB	0+ in Konkurrenz Winter: Tag	25-55 cm	40-100 cm s ⁻¹	Kies + Steine
Riley et al. (2006), GB	0+ in Konkurrenz Winter: Nacht		0 cm s ⁻¹	aquatische Makrophyten
Riley et al. (2006), GB	1+ in Konkurrenz Herbst	25-55 cm	40-100 cm s ⁻¹	Kies + Steine
Riley et al. (2006), GB	1+ in Konkurrenz Winter		90-100 cm s ⁻¹	Kies + Steine

11.3.2.6 Erhebung Makrohabitate, franz. Rhein [54], *S. salar*:

Roche hat auf der Basis von Luftbildern und mit einem Kanu alle Makrohabitate mehrerer Besatzgewässer flächendeckend kartiert. Das heisst: Messen von Fliessgeschwindigkeiten und Wassertiefe auf Rapid, Riffle, shallow/deep Run, Pool und Glide. Dies kann auf einer Karte dargestellt werden und dazu genutzt werden, die Carrying Capacity zu berechnen, und so die ideale Besatzdichten.

11.3.3 Laichhabitate von adulten Tieren

11.3.3.1 Laichhabitate [58], *S. salar*:

Eine Literaturübersicht von Schneider zeigt, dass Laichhabitate Fliessgeschwindigkeiten zwischen 15 und 180 cm s⁻¹ aufweisen können. Sie liegen im Mittel in Wassertiefen zwischen 17 und 73 cm. Die Substratgrösse bei den Laichgruben liegt zwischen 5.4 und 78 cm (Median) oder 20.7 und 100 mm (Mittelwert). Die Tiefe der Eitasche liegt etwa zwischen 15 und 25 cm. Der maximale Anteil an Feinsediment (<1 mm) soll zwischen 2.3 und 8% betragen (Mittelwert 5%).

Aus methodischen Gründen werden oft nur kleine Gewässer beprobt. Beispielsweise können nach Schneider Laichgruben in über 2 m Tiefe liegen, wenn das Gewässer genügend tief ist.

11.3.3.2 Laichhabitate [31], *S. salar*:

Laichhabitate liegen in einer Wassertiefe von 17 bis 76 cm und weisen Fliessgeschwindigkeiten zwischen 25 und 90 cm s⁻¹ auf. Die Laichgruben befinden sich auf den Erhebungen zwischen Kolk und Furten. Das Substrat ist locker und das Interstitial dank aufstossendem Wasser frei von Feinsedimenten. Ausserdem brauchen adulte Lachse gleich unterhalb von möglichen Laichsubstraten grössere Pools, wo sie sich vor dem Fortpflanzungsakt sammeln können.

11.3.4 Weitere abiotische Bedingungen von potentiellen Besatzgewässern

11.3.4.1 Wasserqualitätsstandards Lachsgewässer EU [31], S. salar:

Die Wasserqualität von Lachsgewässern definiert durch die EU Freshwater Fisheries Directive, NRA 1994:

Temperature (°C)	–	<25°C (98 %-ile)
Dissolved oxygen (mg l ⁻¹)	>9 (50 %-ile) >7 (100 %-ile)	>9 mg (50 %-ile)
pH	–	6–9
Suspended solids (mg l ⁻¹)	<25 (annual average)	–
Biochemical oxygen demand (mg O l ⁻¹)	<3 (95 %-ile)	–
Nitrites (mg l ⁻¹)	<0.01 (95 %-ile)	–
Non-ionised ammonia (mg l ⁻¹)	<0.005 (95 %-ile)	<0.025 (95 %-ile)
Total ammonia (mg l ⁻¹)	<0.04 (95 %-ile)	<1.0 (95 %-ile)

11.3.4.2 Klimawandel: Temperatur vs. Bestandesdichte [59], S. salar:

Die Bestandesdichte ist der wichtigere Faktor, wenn es um das Wachstum geht, als die Temperatur. Obwohl auch die Temperatur nicht unwichtig ist. Durch den Klimawandel ausgelöste Temperaturerhöhungen haben wahrscheinlich weniger Einfluss auf das Wachstum als Dichteeffekte. Es wurde ausschliesslich modelliert.

11.3.4.3 Klimawandel: Temperatur [60], S. salar:

Der Rhein wird tendenziell wärmer, dadurch wird er immer weniger attraktiv für Salmoniden. Besonders während den Sommermonaten, jedoch auch während der Laichwanderung scheint der Hochrhein immer weniger geeignet. Welchen Einfluss dies konkret auf eine mögliche Laichwanderung von Lachsen haben kann, ist nicht nachweisbar. Auch ist wenig bekannt über eine mögliche genetische Anpassung an höhere Temperaturen. Die Autoren streichen die Wichtigkeit thermischer Refugien und kühler Seitengewässer heraus – hier hat der Mensch viele Möglichkeiten, etwas zu bewegen (z.B. Beschattung durch Ufergehölze).

11.3.4.4 Klimawandel: Temperatur [9], S. salar:

Die Wassertemperatur ist vor allem hinsichtlich ihrer Maximalwerte wichtig. In Extremjahren (z.B. 2003) erhöht sich die Wassertemperatur des Rheins teilweise über 30°C. Auch in Zuflüssen können in solchen Jahren Temperaturen von knapp 28°C gemessen werden (z.B. Sieg, Wiese). Dies betrifft einerseits die aufsteigenden Adulttiere. Bei Temperaturen über 25°C stellen Salmoniden ihre Wanderung ein. Sie sind wahrscheinlich gestresst und sind anfälliger für Infektionen. Insgesamt halten adulte Lachse jedoch – je nach Adaptionszeit - Temperaturen von 30 bis 32°C aus. Andererseits betrifft dies die Jungtiere in den Seitengewässern. Die Letaltemperatur für Sömmerlinge (2 bis 3 Monate alt) liegt zwischen 28.7 und 29.2°C. Für Parrs der Altersklasse 0+ und 1+ zwischen 27.4 und 32.8°C. Die Smoltwanderung ist von zu hohen Wassertemperaturen mittelfristig nicht betroffen.

11.4 Effektivität von Fischaufstiegs- und Fischabstiegsanlagen

11.4.1 Allgemeines

11.4.1.1 Zusammenfassung

- Die Durchgängigkeit von Querbauwerken braucht eine Auswertung auf Ebene Flusseinzugsgebiet (Rhein, Rhone, Donau und Ticino).
- Die Durchgängigkeit sollte nicht nur für den Lachs betrachtet werden, sondern auch andere Wanderfische wie den Aal beinhalten. Deren Verhalten kann sich sehr stark von jenem des Lachses unterscheiden (z.B. in Stillgewässern, beim Abstieg, bei Auffinden der FAH, etc.).
- Es gibt Möglichkeiten zur Modellierung ganzer Einzugsgebiete.

11.4.1.2 Fazit

- Der Schweiz fehlt eine Durchgängigkeitsstrategie.
- Berechnungen für Durchgängigkeiten sollten die wichtigsten Wanderfische umfassen.

11.4.1.3 Analyse Durchgängigkeit flächendeckend DE [61]:

Fliessgewässer werden mit sehr viele Querbauwerken durchschnitten. Langdistanzwanderer wie der Lachs müssen daher viele Hindernisse überwinden, bis sie im Meer oder im Laichhabitat sind. Darum darf die Durchgängigkeit für Fische nicht nur für einzelne Kraftwerke bewertet werden, sondern muss zwangsläufig für das gesamte Flusseinzugsgebiet analysiert und aufbereitet werden. Das Strategiepapier aus Deutschland bietet ein Bewertungssystem, um die Durchgängigkeit eines Flusssystems zu analysieren. Ausserdem auch eine Bewertungsgrundlage für einzelne Querbauwerke.

In der Schweiz sollte daher erstens für den Rhein eine Durchgängigkeitsstrategie entwickelt werden. Zweitens sollte aufgrund dieser Erfahrungen weitere Flusseinzugsgebiete dazu genommen werden.

11.4.1.4 Analyse Durchgängigkeit flächendeckend NL [62]:

Niederländische Forscher haben ein Konzept entwickelt, um Schwachstellen für die Wanderung für verschiedene Fischarten zu untersuchen. Dazu haben sie zuerst die einzelnen Fischarten identifiziert, die wandern. Diese wurden dann in verschiedene Gilden eingeteilt. Danach haben sie für alle Gilden die Wanderrouten nachgezeichnet. Auf dieser Basis konnten dann für einzelne Arten die wichtigsten Barrieren (Querbauwerke) resp. Schwachstellen identifiziert werden.

Interessant ist, dass sie nicht ausschliesslich mit dem Lachs arbeiten, sondern das Feld für weitere Fischarten öffnen. Dies könnte auch für die Schweiz von Bedeutung sein. Wichtige Wanderfische wie der Aal, die ein ganz anderes Wanderverhalten zeigen wie Salmoniden, werden heute in der Schweiz wenig berücksichtigt, wenn es um Fischgängigkeit geht.

11.4.1.5 Modellierung Durchgängigkeit flächendeckend US [50]:

Mit einem wahren Strauss an Daten und Modellen haben Amerikaner eine Gesamtmodellierung von einem grösseren Einzugsgebiet mit Bezug auf Durchgängigkeit, Mortalität, Populationsdichten etc. erarbeitet. Grundsätzlich wäre dieses Model auch auf den Rhein übertragbar. Effektive Populationsdichten können nicht berechnet werden.

11.4.2 Fischaufstieg

Fischaufstiegshilfe = FAH

11.4.2.1 Zusammenfassung

- Auch funktionsfähige FAH können die Barrierewirkung von Querbauwerken nicht vollständig aufheben. So kommt es häufig zu Verzögerungen bei der Laichwanderung, da Lachse Zeit brauchen, die FAH aufzufinden. Auch der Abbruch von Wanderungen und Notlaichungen im Unterwasser werden beschrieben.
- Durch die Entfernung von 2 KW fand die Laichwanderung bspw. 1 ganzen Monat früher statt. In einer anderen Studie dauerte es durchschnittlich 47.8h pro Hindernis, um es zu überwinden.
- Eine amerikanische Studie geht minimal von Ausfallraten für Laichfische von 8% pro Damm und FAH aus.
- Am Rhein (alter Rhein) wurden die Ausfallraten pro FAH zwischen 5-7% geschätzt.
- Durch eine Kette von Wasserkraftwerken kommt es zu einer kumulativen Verzögerung der Fischwanderung. Auch die Ausfallraten addieren sich kumulativ.
- Lachse schwimmen Hindernisse (wie Dämme), um Kraft zu sparen, im Uferbereich an. Dabei wählen sie eine bestimmte Seite. Welche Seite sie primär wählen, muss vor dem Bau einer FAH untersucht werden. Ggf. sind 2 Fischaufstiegshilfen notwendig. Im Allgemeinen folgen die Lachse jedoch der Hauptströmung.
- Tritt die Hauptströmung am Auslauf aus der Turbine auf – was meistens der Fall ist – ist es bei Rohrturbinen bzw. horizontalen Kaplanturbinen möglich, dass die schwimmstarken Lachse von Unterwasser kommend in Kontakt mit Turbinenschaufeln geraten und verletzt oder getötet werden. Die Schwimmleistung im Sprint erreicht bei adulten Lachsen 4,3 – 6,0 m/s.
- Stauhaltungen wirken sich negativ auf Bestandesdichten an Laich- und Jungfischen aus.

11.4.2.2 Fazit

- Jedes KW führt zu einer Verzögerung der Fischwanderung und zu Ausfallraten. Die Effekte sind in einer KW-Kette kumulativ.
- Besonders geeignete Wiederansiedlungsgewässer in der Schweiz liegen darum nahe am Hochrhein bei Basel und haben keine/wenige Kleinwasserkraftwerke.

11.4.2.3 Effekte von Dämmen auf Wanderung und Habitate [63]:

Wanderhindernisse, wenn auch mit effizienten Fischtreppe ausgerüstet, verzögern die Laichwanderung signifikant. Nachdem in Norwegen zwei Wasserkraftwerke und ihre Dämme entfernt wurden, verschob sich die Wanderung der Lachse um einen ganzen Monat nach vorne. Wehre in kleinen Bächen mit geringen Abflussmengen haben einen starken Effekt auf Habitate. Die Dichten von Laichfischen und Junglachsen stieg durch die Wehrentfernung signifikant.

11.4.2.4 Verzögerung Laichwanderung an KW [64]:

Durchschnittlich verzögerte sich die Laichwanderung von Lachsen an einem Wanderhindernis in einem kleineren Fließgewässer in Schottland um 47.8h. Die Wanderung der Einzeltiere verzögerte sich zwischen 15 min und 31 Tagen. Kleine Fische mit wenig Fettreserven waren signifikant schneller als grosse Fische mit viel Fettreserven.

11.4.2.5 Auffindbarkeit, Ausfallraten pro Damm [50]:

Die Auffindbarkeit von FAH für Lachse variierten für 15 Kraftwerke zwischen 64.85% und max. 92%. Auf dieser Basis wurden dann Rückkehrerzahlen berechnet (in %). Die Ausfallraten werden hier also mit min. 8% pro Damm berechnet. Für ineffiziente FAH können diese Raten einiges höher sein.

11.4.2.6 Rückkehraten, Auffindbarkeit, Ausfallraten pro Damm, alter Rhin/III [54]:

Natürlicherweise haben Laichtiere eine Rückkehrate von 5 bis 10%. Durch die Länge der Wanderung, Dämme etc. ist jedoch die Wanderung am Rhein bis Iffezheim eingeschränkt. Roche berechnete letztlich eine Rückkehrerquote von 2% für das Gebiet um Iffezheim. Es wird mit 5 bis 7% Ausfallrate pro Damm gerechnet. Jedoch schätzt Roche die Rückkehraten einiges tiefer für Besatzfische, nämlich unter 1 Promille. Dies, weil Zuchtfische gegenüber Wildfischen einen grossen Nachteil haben (Domestikation). Während der Übergangszeit sollte also nicht zu viel erwartet werden.

11.4.2.7 Verhalten vor Damm/FAH [65]:

Radiotelemetrie mit Drucksensoren wurde eingesetzt, um das Verhalten von Lachsen vor KW zu erforschen. Die Lachse schwammen in der Regel in einer Tiefe zwischen 1-4 m und einem Abstand von 5-10 m vom Ufer. Die Schwimmtiefe wurde nicht angepasst, wenn die Lachse einen Damm anschwammen. Jedoch näherten sie sich jeweils dem Ufer, wenn sie ein Hindernis anschwammen. Dies hängt damit zusammen, dass Lachse versuchen, Energie zu sparen – sie schwimmen zwar in relativ starker Strömung, aber nicht in den am stärksten strömenden Bereichen. Sobald sie ein Hindernis erreichen, versuchen sie folglich Kraft zu sparen und nähern sich einem Ufer. Offenbar wählen nun gemäss der Studie viele Lachse dasselbe Ufer. Bei der Planung sollte das untersucht und berücksichtigt werden.

11.4.2.8 Auffindbarkeit von FAH, kumulative Wirkung Kleinwasserkraft [66]:

Larinier weist wie schon oben zitiert darauf hin, dass selbst die besten FAH zu einer Verzögerung der Fischwanderung führen. Gründe für ineffiziente FAH sind: schlechte Lockströmung, unzureichende Wartung der Anlage und zu wenig Durchfluss (deficient ecological flow). Er hebt vor allem den kumulativen Effekt einer Kette von Kleinwasserkraftwerke hervor. Es mache keinen Sinn, in Gewässern Lachse ansiedeln zu wollen, die über eine zu hohe Anzahl an KW verfügen. Die KW-Kette muss möglichst klein gehalten werden.

Dies ist für Wiederansiedlungsgewässer in der Schweiz von entscheidender Bedeutung: dass diese möglichst nah am Hochrhein gelegen sind. Das reduziert die Kette der Kraftwerke, kumulative Effekte können so auf dem kleinstmöglichen Niveau gehalten werden. KW sind ein Ausschlusskriterium.

11.4.3 Fischabstieg

11.4.3.1 Zusammenfassung

- Die direkte Turbinenmortalität liegt je nach KW(-Typ) zwischen 6-38% (ohne Extremwerte).
- Die kumulative Mortalität von mehreren KW liegt je nach Länge und KW-Typen zwischen 3 und 50%.
- KW führen zu einer Verzögerung der Smoltwanderung um mehrere Stunden (abh. von KW).
- In Gewässern mit Hochwassern wandern viele Smolts mit hohen Abflüssen. So könnten sie theoretisch den Turbinen teilweise entkommen.
- In (regulierten) Gewässern mit wenig/keinen Hochwassern wandern Smolts in der Hauptwanderzeit in der Abenddämmerung.

11.4.3.2 Fazit

- Jedes KW führt zu einer Verzögerung der Fischwanderung und zu Mortalitäten. Die Effekte sind in einer KW-Kette kumulativ.
- Geeignete Wiederansiedlungsgewässer in der Schweiz liegen darum nahe am Hochrhein bei Basel und haben keine/wenige Kraftwerke.

11.4.3.3 Smoltwanderung, Verluste Turbine, Verletzungen, Stauhaltung [67]:

Mit Radiotelemetrie wurden 54 Smolts markiert. Diese sollten ein KW passieren. 94% von den Smolts starben bei dem Versuch. Total 59% der Verluste fanden bereits in der Stauhaltung statt. Die Autorin führt das auf Prädation zurück – wie viel auf die Methode gehen, ist nicht klar. Radiotelemetrie ist sehr invasiv, es wird ein Sender reinoperiert, der Fisch muss genäht werden. Nicht optimal eingesetzt dürfte es zu hoher Mortalität kommen. Ausserdem hängt den Tieren danach eine Antenne aus dem Körper, was deren Verhalten beeinflussen dürfte. Anyway, von den überlebenden und wandernden Smolts (10) starben dann insgesamt 35% in der Turbine. Von jenen Smolts, die durch den Fischpass schwammen (11), starben 33%.

Ich finde die Studie wenig aussagekräftig, dazu ist die Anzahl getaggter Fische zu niedrig und die Methode etwas unsicher. Sie beinhaltet aber eine interessante Tabelle (Mortalitäten in Kaplan/Francis-Turbinen):

Table 1. Loss rates (direct and indirect mortalities) for smolts passing turbines. Direct loss represents direct mortality caused by turbine passage, while the total loss corresponds to the combined direct and indirect mortality for all fish passing the turbines.

Reference	River	Power station	Turbine	Flow (m ³ s ⁻¹)	Species	Direct loss	Total loss
This study	Åbyälven	Hednäs	Kaplan	10	Salmon	35%	96%
Calles et al. In review	Ätran	H1	Kaplan	39.1	Salmon	8%	10%
Calles et al. In review	Ätran	H2	Kaplan	39.1	Salmon	6%	10%
Rivinoja et al. 2005	Piteälven	Sikfors	Kaplan	200	Salmon/ Brown trout	12%	19%
Calles & Greenberg 2009	Emån	L. Finsjö	Kaplan	24.4	Brown trout	11%	34%
Engqvist 2008	Emån	L. Finsjö	Kaplan	17.4	Brown trout		31%
Montén 1985	Umeälven	Stornorrfors	Francis		Salmon	2.5-28%	25%
Serrano et al. 2009	Testeboån	Vävaren	Francis	10	Salmon	60-75%	
Palm et al. 2009	Sävarån	Sävarån	Francis	20	Salmon	0%	0%
Calles & Greenberg 2009	Emån	U. Finsjö	Francis	20	Brown trout	38%	36%
Engqvist 2008	Emån	U. Finsjö	Francis	17.4	Brown trout		68%

11.4.3.4 Smoltwanderung, Mortalität pro Damm, alter Rhein/III [54]:

Für die Studie am alten Rhein wurde eine Mortalität von 5% pro KW angenommen. Da es sich total um 6 KW bis nach Iffezheim handelt, wurde eine kumulative Mortalität von 26.5% angenommen. Dies, weil die Smoltwanderung am Rhein zumeist während Hochwassern im Frühjahr stattfindet. So entkommen einige Smolts den Turbinen, wenn sie übers Wehr gespült werden. Am III sind es rund 20% angenommene Mortalität für fünf Bauwerke. Roche korrigiert grosszügig runter.

11.4.3.5 Smoltwanderung, einzeln + kumulative Mortalität, Kleinwasserkraft [66]:

Die Studie zeigt die Vor- und Nachteile verschiedener FAH-Typen, zudem zeigt sie für verschiedene Ketten von Kleinwasserkraftwerken die (kumulierten) Mortalitäten.

Die Mortalitäten der einzelnen KW in den zitierten Beispielen liegen zwischen ganz niedrig bis 11%. Auf alle Fälle sind seine Berechnungen zur kumulativen Mortalität interessant:

Table 1 Estimation of cumulative mortality rates for juvenile salmon passing small-scale hydroplants on South-western rivers

River	Gave de Pau	Gave d'Oloron	Saison	Salat	Neste	Corrèze	Vézère
Basin	Adour	Adour	Adour	Garonne	Garonne	Dordogne	Dordogne
Number of small-scale hydroplants	20	7	8	23	10	5	4
Min/Mean/Max cumulative mortality rate (%)	9/19/30	1/3/8	10/18/25	31/50/64	16/28/38	9/15/22	2/6/9

Je nach Länge der Kleinwasserkraftkette schwankt die kumulative Mortalität zwischen 3 und 50%.

11.4.3.6 Fischabstieg über Bypass und Wehr, Unkelmühle [68]:

Das KW Unkelmühle verfügt über einen Bypass, die Smolts kommen nicht direkt in die Turbine. Indirekte Verluste durch die Stauhaltung (und evtl. Markierung der Tiere) lagen in Unkelmühle bei 2.9%. Die direkte Mortalität im Bypass und bei der Abwanderung über das Wehr lag zwischen 3.4 und 5.7%. Total lag die direkte und indirekte Mortalität zwischen 2014 und 2016 zwischen 4.4 und 17.1%.

11.4.3.7 Fischabstieg über Turbine, Verzögerung Smoltwanderung, Kinzig [69]:

An diesem Kraftwerk schwimmen 94% der Smolts durch den Turbinentrakt. Kurz vor den Turbinen gibt es eine Installation, die es die Fische erlauben könnte, über die Turbine zu schwimmen. Die Mortalität bei den Fischen, die durch diesen Trakt schwimmen, liegt zwischen 3-6%.

Es zeigt sich zudem, dass das Kraftwerk zu einer Verzögerung der Abwanderung führt. Im Mittel kam es zu einer Verzögerung von 8.6h (Median 1.3h).

11.4.3.8 Saisonalität der Smoltwanderung [70]:

Smolts wanderten zwischen März und Mai zum grössten Teil während dem Sonnenuntergang. Zwischen Juli und April wanderten die Fische aus anderen Gründen ab. Weshalb, ist unklar. Abfluss oder Temperatur waren nicht ausschlaggebend, da der Bach grundwassergespiesen ist und wenig/keine Hochwasser stattfinden.

11.5 Priorisierung der Besatzgewässer – Vorgehen

11.5.1 Einleitung

Das Ziel der Priorisierung ist es, Gewässerstrecken mit dem grössten Wiederansiedlungspotenzial zu identifizieren. Damit verschiedene Gewässerstrecken verglichen und priorisiert werden konnten, wurde die oft komplexe reale Situation auf eine Auswahl von Parametern heruntergebrochen, welche ein vereinfachtes Bild der Wirklichkeit widerspiegeln.

Priorisiert wurden die Gewässerstrecken zwischen zwei Kraftwerkanlagen, nachfolgend «Priorisierungsstrecken» genannt (ca. 60 Abschnitte). Für die Beurteilung der Erreichbarkeit (Auf- und Abstieg) wurden die flussabwärts gelegenen Strecken mitberücksichtigt. Die Landesgrenze bei Basel wurde als Systemgrenze angenommen. Den einzelnen Beurteilungsklassen wurden Faktoren zwischen 0 und 1 zugeordnet. Dabei ist 1 der beste Wert und 0 der schlechteste. Das Priorisierungsexcel, in welchem die Priorisierung gerechnet wird, ist flexibel aufgebaut, so dass einzelne Faktoren und Beurteilungen gut angepasst werden können.

Heute besetzte Priorisierungsstrecken müssen Habitat aufweisen und der Abstieg in Richtung Meer muss schadlos möglich sein. Bis die heute besetzten Lachse aus den Besatzgewässern ins Meer abgewandert und wieder zurückgekehrt sind, dauert es noch eine Weile. Daher muss der Aufstieg in die entsprechende Priorisierungsstrecke zum heutigen Zeitpunkt noch nicht zwingend möglich sein. Aus diesem Grund wurde die Priorisierung für den Zeitzustand «heutiger Zustand exklusiv Aufstieg» berechnet, d.h. es wurde das Habitat und die Mortalität beim Abstieg im heutigen Zustand berücksichtigt (Berechnung siehe Abbildung 11-2)

In Zukunft sollen Rückkehrer aber in die Priorisierungsstrecken aufsteigen können. Bis dahin werden diverse Sanierungen der Wasserkraftanlagen umgesetzt sein. Daher wurde als zweiter Zeitzustand der künftige «sanierte Zustand» (Sanierungshorizont Aufstieg 2024, Abstieg 2030) definiert und die Priorisierung unter Einbezug des Habitats, der Mortalität des Abstiegs und der Verluste des Aufstiegs gerechnet.

11.5.2 Priorität für Lachsbesatz

Die Priorität der einzelnen Priorisierungsstrecke wurde aus deren Erreichbarkeit und dem Angebot an Habitat bestimmt. Der resultierende Wert kann zwischen 0 (keine Priorität) und 1 (höchste Priorität) liegen. Um die verschiedenen Priorisierungsstrecken miteinander zu vergleichen, wurde eine Rangierung der Prioritäten bestimmt. Zudem wurde die Priorität klassifiziert. Das grösste Wiederansiedlungspotenzial haben Strecken der ersten Priorität.

Für die Berechnung der Priorität wurde ein arithmetisches Mittel aus den Faktoren «Erreichbarkeit» und «Habitat» gebildet. Falls kein oder kaum Habitat vorhanden ist, oder falls die Strecke nicht erreichbar ist, wurde sie als «keine Priorität» klassiert.

Klasse	Wert
1. Priorität	> 0.7
2. Priorität	0.3 – 0.7
3. Priorität	> 0 – 0.3
keine Priorität	0

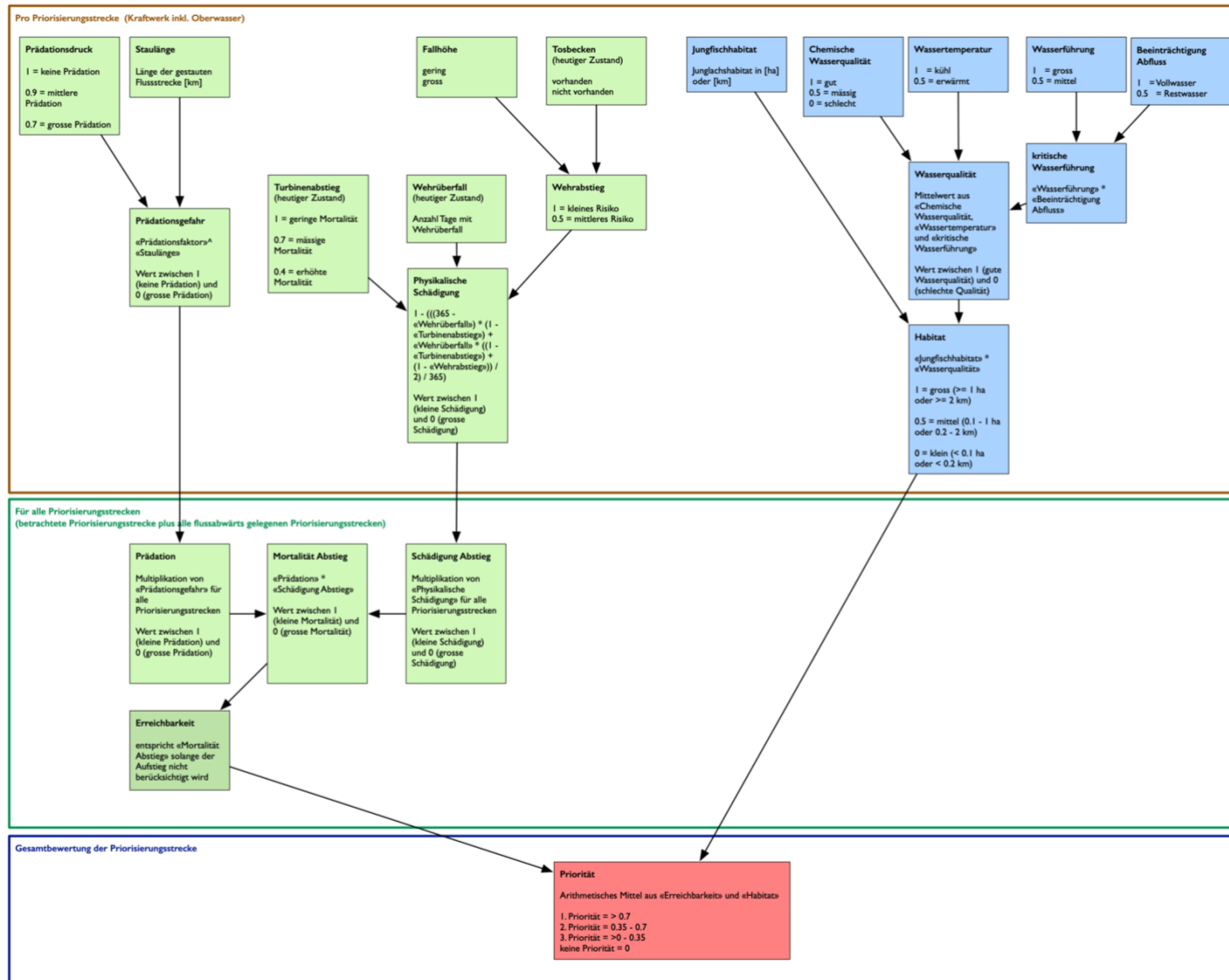


Abbildung 11-2. Vorgehen für die Berechnung der Priorisierung für den Zeitzustand «heutiger Zustand» exklusiv Aufstieg.

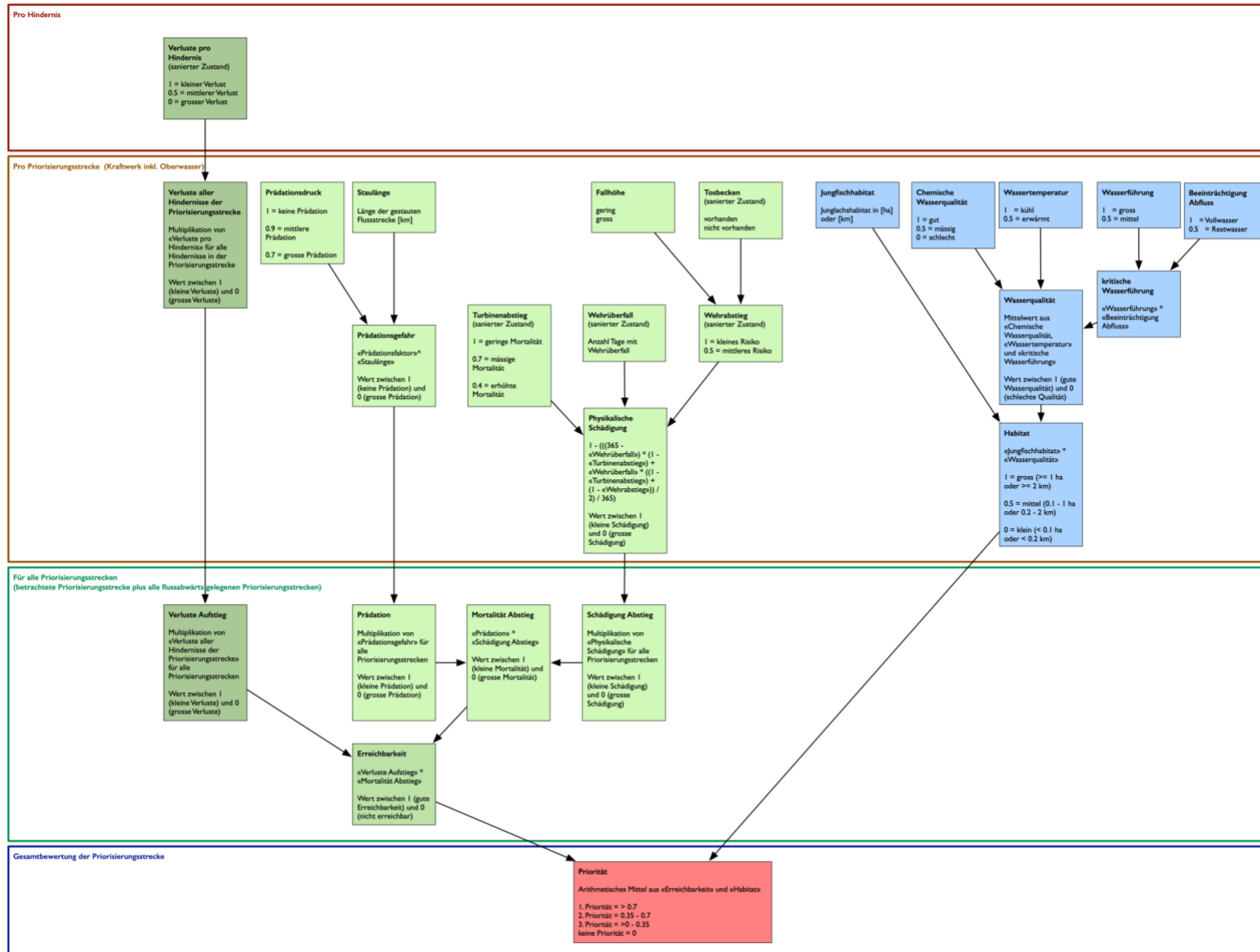


Abbildung 11-3. Vorgehen für die Berechnung der Priorisierung für den künftigen Zeitzustand «sanierter Zustand» (Sanierungshorizont Aufstieg 2024, Abstieg 2030).

11.5.3 Erreichbarkeit

Die Wahrscheinlichkeit den Lachs wieder etablieren zu können wird durch die Anzahl Wanderbarrieren beeinflusst [9]. Die Effekte mehrerer aufeinander folgender Barrieren kumulieren sich hierbei. Unter dem Aspekt Erreichbarkeit wird zum einen die Erreichbarkeit der Gewässerstrecke für aufsteigende Rückkehrer (laichbereite Adullachse) betrachtet (nur für den Zeitzustand «sanierter Zustand»). Zum anderen wird die Abwanderung der ins Meer wandernden Smolts berücksichtigt.

Für die Erreichbarkeit im «sanieren Zustand» wurde die Rate für den Aufstieg («Verluste Aufstieg») mit der Überlebensrate des Abstiegs («Mortalität Abstieg») multipliziert. Falls der Aufstieg nicht möglich ist, wurde die Strecke als «nicht erreichbar» klassiert. Bei problematischem Abstieg resultiert eine schlechtere Erreichbarkeit. Für den Zeitzustand «heutiger Zustand exklusiv Aufstieg» wurde nur die «Mortalität Abstieg» im heutigen Zustand berücksichtigt.

Klasse	Wert
gute Erreichbarkeit	> 0.7
mässige Erreichbarkeit	0.3 – 0.7
schlechte Erreichbarkeit	> 0 – 0.3
nicht erreichbar	0

11.5.3.1 Erreichbarkeit – Verluste Aufstieg (Rückkehrer) – sanierter Zustand

Dieser Faktor wurde nur für den «sanieren Zustand» berücksichtigt. Verluste bei den aufsteigenden Lachsen ergeben sich insbesondere an den Wanderhindernissen durch eine schlechte Auffindbarkeit & Passierbarkeit. Es kann zu einer Verzögerung oder einem Abbruch der Wanderung kommen. Für die Erreichbarkeit der Gewässerstrecke für aufsteigende Lachse wurde die Auffindbarkeit und die Passierbarkeit von Kraftwerkanlagen und nichtkraftwerkbedingten Hindernissen betrachtet.

Die Überlebensrate über mehrere Wanderhindernisse entspricht dem Produkt der einzelnen Überlebensraten (resp. Rate der Aufsteiger)⁷. Es wurden sowohl Kraftwerkanlagen als auch andere natürliche und künstliche Hindernisse (ab ca. 0.5 m Höhe) berücksichtigt.

In einem ersten Schritt wurden die Verluste pro Hindernis bestimmt, in einem zweiten Schritt die Verluste aller Hindernisse in der Priorisierungsstrecke und in einem dritten Schritt die Verluste durch Hindernisse in der Priorisierungsstrecke und den flussabwärts liegenden Strecken. Die Rate der Aufwärtswanderer für die ganze Strecke entspricht dem Produkt der Aufwärtswanderer-Rate der einzelnen Hindernisse. Falls keine Hindernisse vorkommen, so wurde der Faktor 1 gesetzt.

Verluste pro Hindernis – sanierter Zustand

Die Auffindbarkeit und Passierbarkeit von **Kraftwerkanlagen** wurde basierend auf der Anzahl Aufstiegshilfen im künftigen Zustand eingestuft⁸. Für Kraftwerkanlagen wurde der sanierte Zustand angenommen, sofern eine Sanierungspflicht besteht. Informationen der Kantone wurden berücksichtigt. Falls noch unklar ist, ob an einem grossen Fluss mit der Sanierung eine zweite Aufstiegshilfe gebaut wird, wurde angenommen, dass auch im sanierten Zustand nur eine Aufstiegshilfe vorhanden ist. Die Fristen für die Sanierung des Aufstiegs

⁷ In einer amerikanischen Studie wurde die Ausfallrate bedingt durch die Auffindbarkeit auf 8 – 35 % geschätzt [50].

⁸ Datenquelle: Sanierungsdaten, Guthruf et al. (Entwurf Bericht Hochrheinzählungen)

wurden mit spätestens 2022 angegeben. Es wurde zwischen grossen Flüssen (Rhein, Aare, Reuss) und kleinen Flüssen (alle anderen) unterschieden. Schleusen gelten nicht als Aufstiegshilfen.

Tabelle 11-6. Auffindbarkeit & Passierbarkeit von Kraftwerkenanlagen.

Klasse	Beschrieb	Faktor
1	kleiner Verlust <ul style="list-style-type: none"> • Grosse Flüsse: min. 2 sanierte resp. funktionierende Aufstiegshilfen • Kleine Flüsse: min. 1 sanierte resp. funktionierende Aufstiegshilfe oder • Hindernis zurückgebaut 	1
2	mittlerer Verlust <ul style="list-style-type: none"> • Grosse Flüsse: 1 sanierte resp. funktionierende Aufstiegshilfe 	0.5
3	grosser Verlust <ul style="list-style-type: none"> keine funktionierende Aufstiegshilfe 	0

Für **nichtkraftwerkbedingte Hindernisse** wurden die Kantone gefragt, ob diese saniert werden. Falls ja, wurde angenommen, dass sie im sanierten Zustand gut passierbar sind. Der Zeitraum für die Sanierung ist spätestens «ab 2024» resp. «sobald erste Lachsrückkehrer» im entsprechenden Gewässer sind. Falls nicht klar ist bis wann das Hindernis saniert wird, wurde der nicht sanierte Zustand angenommen. In diesem Fall wurde die Auffindbarkeit und Passierbarkeit basierend auf der Absturzhöhe und der Kolkentiefe beurteilt (Tabelle 11-7)⁹. Es wurde angenommen, dass die Auffindbarkeit gewährleistet ist.

Die Passierbarkeit der nichtkraftwerksbedingten Hindernisse, welche nicht saniert werden, wurde basierend auf der im Rahmen der Kartierung der Lachsjuvenilhabitate [21] im Feld vorgenommenen Einschätzung eingestuft. Im Rahmen der Kartierung der Lachshabitate wurde die Absturzhöhe tendenziell bei Niederwasser eingeschätzt. Bei grösserem Abfluss dürfte die Wasserspiegeldifferenz geringer sein.

Tabelle 11-7. Passierbarkeit nichtkraftwerkbedingter Hindernisse.

Klasse	Beschrieb	Faktor
1	kleiner Verlust <ul style="list-style-type: none"> Gut passierbar: Hindernis wird saniert oder Geringe Absturzhöhe d.h. < 0.5 m und Kolk im Unterwasser und ausreichende Wassertiefe im Oberwasser vorhanden 	1
2	kleiner Verlust <ul style="list-style-type: none"> Passierbar: Mittlere Absturzhöhe (0.5 – 1 m) und Kolk im Unterwasser und ausreichende Wassertiefe im Oberwasser vorhanden 	1
3	grosser Verlust <ul style="list-style-type: none"> Nicht passierbar: Grosse Absturzhöhe oder Kolk fehlt oder Zu seicht oder andere Einschränkungen 	0

11.5.4 Erreichbarkeit – Mortalität Abstieg (Smolts)

Wie viele absteigende Smolts das Meer erreichen, hängt insbesondere von der Prädation in der zu durchwandernden Strecke [16, 71] und von der physikalischen Schädigung bei der Passage von Kraftwerken

⁹ Datenquelle: Projekt Habitatangebot für juvenile Lachse [21] (Ninck & Dönni 2019). Falls eine Einschätzung fehlt: Ökomorphologiedaten (Absturzhöhe). Einschätzung basierend auf Rohdaten (Fotos) aus Ninck & Dönni 2019

ab. Bezüglich der physikalischen Schädigung wurden nur die Kraftwerke, nicht aber die anderen Hindernisse in der Priorisierungsstrecke, berücksichtigt¹⁰.

Die Mortalität beim Abstieg (resp. die Überlebensrate) wurde berechnet aus dem Produkt der Überlebensrate der Prädation und der physikalischen Schädigung.

11.5.4.1 Prädation

Der Prädationsdruck wird vor allem durch die Präsenz von Prädatoren beeinflusst¹¹. Gemäss Schneider (2009) [9] betrifft der Prädationsdruck im Wesentlichen die abwandernden Smolts. Zur Vereinfachung wurde daher nur die Prädation der abwandernden Smolts und nicht der Brütlinge in den Aufwuchsgewässern betrachtet¹². Insbesondere Kormorane haben es auf die oberflächennah abwandernden und auffällig silbrig schimmernden Lachssmolts abgesehen [9]. Der Prädationsdruck in Staubereichen ist gegenüber fliessenden Strecken deutlich erhöht [9]. Gründe hierfür sind Strukturarmut, verlängerte Aufenthaltsdauer der abwandernden Smolts und die teilweise hohe Prädatorendichte. Je länger der Staubereich ist, desto grösser ist die «Gefahrenzone», welche die jungen Lachse durchqueren müssen. Je mehr Staubereiche und Kraftwerkanlagen die Smolts durchqueren müssen, desto grösser ist die Gefahr, dass sie gefressen werden. Daher wurde die Länge der eingestauten Flussstrecke sowie der Prädationsdruck darin als Mass genommen. Die Prädation direkt unterhalb des Kraftwerks sowie in fliessenden Abschnitten wurde nicht berücksichtigt, da angenommen wird, dass sie bei jeder Anlage gleich ist. In Anlehnung an Literaturdaten zur Mortalität in Staubereichen¹³ wurden die in Tabelle 11-8 aufgeführten Überlebensraten (Faktor) verwendet.

Für die Bewertung der Prädation der einzelnen Priorisierungsstrecke wurde das am unteren Ende der Priorisierungsstrecke liegende Kraftwerk, respektive das Vorkommen der Prädatoren im Stau oberhalb der Kraftwerkanlage berücksichtigt. Die Bewertung der Prädation¹⁴ beruht auf einer subjektiven Einschätzung der kantonalen Fischereiverwaltungen.

Der «Prädationsdruck» (Faktor in Tabelle 11-8) wurde mit der Länge der gestauten Flussstrecke multipliziert um einen Wert für die «Prädationsgefahr» für jede Priorisierungsstrecke zu erhalten. Für jede Priorisierungsstrecke wurde die Länge [km] der gestauten Flussstrecke bestimmt. Für grosse Gewässer wurde der Staubereich aus Ninck & Dönni (2019) [21] übernommen, für kleine und mittelgrosse Gewässer wurde der Flieisstreckentyp F (gestaute Flieisstrecke oberhalb einer Wehranlage) aus Ninck & Dönni (2019) [21] mit

¹⁰ Eine Studie von Newton et al. (2019) [72] wies für Hindernisse mit geringer Höhe eine hohe Überlebensrate nach (>94 % über sieben Hindernisse).

¹¹ Das Angebot an anderen Beutefischen kann ebenfalls relevant sein [16], wurde hier aber nicht berücksichtigt.

¹² Gemäss Information des Kantons Basel-Stadt übt der ganzjährig vorkommende Gänsesäger einen Prädationsdruck auf die Brütlinge aus. Diese Prädation wurde nicht berücksichtigt.

¹³ Die natürliche Mortalität bei der Abwärts wandern der Smolts liegt im Bereich von 0.3 – 7.0 % km⁻¹ [16]. Jepsen et al. (1998) [17] beobachteten in einem 12 km langen Staubereich eine Mortalität von 90 %. In einer Studie von McLennan et al. (2018) [73] lag die Mortalität für einen 2.7 km langen Staubereich in Abhängigkeit von der Zeit der Wanderung zwischen 30 und 90 %.

¹⁴ Mögliche Prädatoren im Rheinsystem nach Schneider (2009) [9]: Vögel: Graureiher (*Ardea cinerea*; nur Seitengewässer), Kormoran (*Phalacrocorax carbo*), Gänsesäger (*Mergus merganser*). Fische: Hecht (*Esox lucius*), Zander (*Sander lucioperca*), Wels (*Silurus glanis*). Fische in Aufwuchshabitaten: Forelle (*Salmo trutta*), Alet (*Squalius cephalus*), Barbe (*Barbus barbus*), Groppe (*Cottus gobio*).

dem Staubereich gleichgesetzt. Für die übrigen Strecken wurde der Staubereich in einem Orthofoto gemessen.

Für die Bewertung der gesamten Prädation, welche die abwandernden Smolts erleben, wurde die Priorisierungsstrecke sowie sämtliche flussabwärts liegenden Priorisierungsstrecken berücksichtigt. Die Überlebensrate über mehrere Kilometer Staustrecke entspricht dem Produkt der einzelnen Überlebensraten, d.h. der einzelnen «Prädationsgefahren». Es wurde angenommen, dass die Prädation im sanierten und im nicht sanierten Zustand identisch ist.

Tabelle 11-8. Prädationsdruck.

Klasse	Beschrieb	Faktor
1	keine Prädation	Mortalität ca. 0 % pro km 1
2	mittlere Prädation	Mortalität ca. 10 % pro km 0.9
3	grosse Prädation	Mortalität ca. 30 % pro km 0.7

11.5.4.2 Physikalische Schädigung Abstieg – heutiger Zustand

Es wurde davon ausgegangen, dass ein Abstieg auch bei sanierungspflichtigen Kraftwerkanlagen möglich ist. Daher wurde nicht die Sanierungspflicht, sondern die potenzielle physikalische Schädigung beim Abstieg über die Turbinen und das Wehr berücksichtigt. Andere Abstiegswege (Z. B. Schleusen) wurden nicht betrachtet. Informationen der Kantone wurden berücksichtigt. Es wurde davon ausgegangen, dass der Abstieg über nicht kraftwerkbedingte Hindernisse ohne Schädigung möglich ist.

Zur Bewertung der physikalischen Schädigung für die einzelne Priorisierungsstrecke wurde davon ausgegangen, dass die Turbine immer, der Wehrabstieg nur bei Wehrüberfall als Wanderkorridor zur Verfügung stehen. Als Mass für das Vorhandensein des Wehrs als Wanderkorridor, dient die mittlere Anzahl Tage mit Wehrüberfall pro Jahr. Aufgrund der schlechteren Datenverfügbarkeit wurde nicht berücksichtigt, dass die Smolts nur während einer beschränkten Zeit im Jahr wandern¹⁵. Folglich wurde der mit dem «Wehrüberfall» gewichtete Mittelwert des «Turbinenabstiegs» und des «Wehrabstiegs» berechnet.

Alle flussabwärts gelegenen Anlagen müssen zur Berechnung der physikalischen Schädigung beim Abstieg berücksichtigt werden. Die Überlebensrate über mehrere Anlagen entspricht dem Produkt der einzelnen Überlebensraten, d.h. «Physikalischen Schädigungen».

Turbinenabstieg

Gemäss Thorstad et al. (2012) [16] sind folgende Faktoren mit einer höheren Mortalität verbunden: hohe Fallhöhe, hohe Drehgeschwindigkeit, kleine Turbinengrösse. Aufgrund der Datenverfügbarkeit wurde der Turbinenabstieg basierend auf dem Turbinentyp bewertet¹⁶. Bei der Kaplan-Turbine wurde zwischen Anlagen am Rhein und Anlagen an den anderen Flüssen unterschieden, da letztere tendenziell höhere Mortalitäten aufweisen.

¹⁵ Die Anzahl Tage mit Wehrüberfall für das ganze Jahr ist direkt aus den Sanierungsdaten verfügbar, die Anzahl Tage mit Wehrüberfall für einzelne Monate müsste zuerst berechnet werden.

¹⁶ Datenquelle: Sanierungsdaten. Die Drehgeschwindigkeit und die Turbinengrösse wurden nicht berücksichtigt, da diese Angaben nicht in den Sanierungsdaten vorhanden sind. Auch die Fallhöhe wurde nicht berücksichtigt.

Den verschiedenen Turbinentypen wurde ein Überlebensfaktor zugeordnet (Tabelle 11-9). Turbinentypen mit hoher Mortalität (z.B. Pelton-Turbine) sind in den untersuchten Priorisierungsstrecken keine in Betrieb. Falls vorhanden, wurden zusätzliche Informationen¹⁷ (z.B. Kraftwerk nicht mehr in Betrieb) mitberücksichtigt. Für Kraftwerke, welche nicht mehr in Betrieb sind, wurde angenommen, dass die Mortalität gering ist. Ein Wasserrad wurde aufgrund der Einschätzung in den Sanierungsdaten als «geringe Mortalität» eingestuft.

Tabelle 11-9. Turbinenabstieg: Mortalitäten und Schädigungsrate (alle Fischarten) von verschiedenen Turbinentypen.

Klasse	Beschrieb	Faktor
1	geringe Mortalität Turbinentyp mit geringer Mortalität: <ul style="list-style-type: none"> • Kaplan-Turbine¹⁸ (Rhein) • Wasserkraftschnecke¹⁹ 	1
2	mässige Mortalität Turbinentyp mit mässiger Mortalität: <ul style="list-style-type: none"> • Kaplan-Turbine (alle Gewässer ausser Rhein) 	0.7
3	erhöhte Mortalität Turbinentyp mit erhöhter Mortalität: <ul style="list-style-type: none"> • Francis-Turbine²⁰ 	0.4

Wehrabstieg

Um die Schädigungsgefahr der über das Wehr absteigenden Smolts zu beschreiben, wurden die Fallhöhe und das Tosbecken berücksichtigt²¹.

Gemäss Ebel 2018 ist bis zu einer Fallhöhe von 13 m für Salmoniden ein geringes Verletzungsrisiko zu erwarten (Tabelle 11-10). Es wurde das Vorhandensein eines Tosbeckens, nicht aber dessen Tiefe bewertet (Tabelle 11-11). Die Anzahl Tage pro Jahr mit Wehrüberfall gibt vor wie häufig dieser Wanderkorridor zur Verfügung steht («Wehrüberfall»).

Basierend auf der Fallhöhe und dem Vorhandensein eines Tosbeckens wurde das Verletzungsrisiko beim Wehrabstieg berechnet (Tabelle 11-12). Es wurde angenommen, dass die Mortalität bei Wehren mit grosser Fallhöhe mit Tosbecken oder geringer Fallhöhe ohne Tosbecken 50 % beträgt (Faktor 0.5). In den Priorisierungsstrecken gibt es keine Wehren mit grosser Fallhöhe ohne Tosbecken.

Tabelle 11-10. Fallhöhe.

Klasse	Beschrieb
1	gering <= 13 m Fallhöhe
2	gross > 13 m Fallhöhe

Tabelle 11-11. Tosbecken.

Klasse	Beschrieb
1	vorhanden mit Tosbecken
2	nicht vorhanden ohne Tosbecken

¹⁷ Datenquelle: Sanierungsdaten

¹⁸ Mortalität gemäss Reuter & Kohout 2014 [74] 9%; gemäss Ebel 2018 [71] für Salmoniden 1 – 42 % mit Mittelwert 12.8 %; gemäss Larinier 2008 [66] in Thorstad et al. 2012 [16] maximale Mortalität 46 %; gemäss Larinier 2008 [66] Mortalität 5 – 20 %. Rohrturbinen und Straflo-Turbinen sind Kaplan-Turbinen.

¹⁹ Mortalität gemäss Reuter & Kohout 2014 [74] 5 % resp. 0 – 32.7 %, Mittelwert 5.9 % resp. 8.5 %)

²⁰ Mortalität gemäss Reuter & Kohout 2014 [74] 37 %; gemäss Ebel 2018 für Salmoniden 0 – 90 % mit Mittelwert 33.7 %; maximale Mortalität gemäss Larinier 2008 [66] 100 %.

²¹ Datenquelle: Sanierungsdaten (Fallhöhe, d.h. Hindernishöhe bei Wehr; Tosbecken; Wehrüberfall). Falls Information zu Wehrüberfall fehlt: Ausbauwassermenge aus Sanierungsdaten plus Dauerkurve aus kantonaler oder nationaler Abflussmessstation. Allenfalls Einschätzung basierend auf Rohdaten (Fotos) aus Ninck & Dönni 2019

Tabelle 11-12. Wehrabstieg.

Klasse		Beschrieb	Faktor
1	kleines Risiko	geringe Fallhöhe und Tosbecken vorhanden	1
2	mittleres Risiko	grosse Fallhöhe <u>oder</u> kein Tosbecken	0.5

11.5.4.3 Physikalische Schädigung Abstieg – sanierter Zustand

Die Berechnung der physikalischen Schädigung erfolgt für den sanierten Zustand analog zum heutigen Zustand aus den Faktoren «Turbinenabstieg», «Wehrüberfall» und «Wehrabstieg».

Turbinenabstieg

Es wurde davon ausgegangen, dass in sanierten Kraftwerkanlagen die absteigenden Fische nicht in die Turbinen gelangen und daher bezüglich dem Turbinenabstieg eine geringe Mortalität aufweisen. Als Frist für die zu sanierenden Anlagen wurde spätestens 2022 angegeben. Nicht sanierungspflichtige Anlagen (resp. Sanierung zurückgestellt) wurden analog zum heutigen Zustand bewertet.

Wehrabstieg

Es wurde angenommen, dass das Wehr von sanierten Kraftwerkanlagen ein Tosbecken aufweist. Die Fallhöhe wurde als gleichbleibend angenommen. Falls das Kraftwerk aufgehoben wird aber das Wehr bestehen bleibt, wurde von 365 Tagen Wehrüberfall ausgegangen. Die Berechnung erfolgte analog zum heutigen Zustand. Als späteste Frist für die Sanierung wurde 2030 angegeben.

11.5.4.4 Sensitivität der Parameter für den Abstieg

Es wurde geprüft wie stark die Priorisierung der Gewässerstrecken durch die Parameter Prädation, Turbinenabstieg und Wehrabstieg beeinflusst wird.

Der Parameter **Prädation** hat einen grossen Einfluss auf die Priorisierung der Gewässerstrecken. Verändert man den Faktor des Prädationsdrucks um ein Viertel²² (d.h. man nimmt an, dass die Mortalität durch Prädation um $\frac{1}{4}$ grösser oder kleiner als angenommen ist), so verändert sich die Rangierung der Priorität für den «heutigen Zustand exklusiv Aufstieg» für circa 70 % der Gewässerabschnitte. Auch Gewässerabschnitte mit hoher Priorität sind betroffen. Beispielsweise hat der Rhein zwischen KW Augst-Wyhlen und KW Rheinfelden (Strecke Nr. 3) Rang 4 bezüglich der Priorität für den «heutigen Zustand exklusiv Aufstieg». Berechnet man die Priorität mit einem um ein Viertel erhöhten Faktor für den Prädationsdruck (d.h. es wird angenommen, dass die prädationsbedingte Mortalität kleiner ist), so landet derselbe Rheinabschnitt auf Rang 1. Bei einer Berechnung mit einem um ein Viertel verringerten Faktor (d.h. es wird angenommen, dass mehr Fische der Prädation zum Opfer fallen), so wird der Rheinabschnitt auf dem 5. Platz rangiert.

Auch der Parameter **Turbinenabstieg** hat einen relevanten Einfluss auf die Priorisierung der Gewässerstrecken. Verändert man den Faktor des Turbinenabstiegs um ein Viertel²³ (d.h. man nimmt an,

²² Den drei Prädationsklassen wurden ursprünglich folgende Faktoren zugeordnet: keine Prädation = 1, mittlere Prädation = 0.9, grosse Prädation = 0.7. Erhöht man die Faktoren um $\frac{1}{4}$, so ergeben sich folgende neue Faktoren: keine Prädation = 1, mittlere Prädation = 1, grosse Prädation = 0.875. Und bei einer Verringerung der Faktoren um $\frac{1}{4}$: keine Prädation = 0.75, mittlere Prädation = 0.675, grosse Prädation = 0.525. Der Faktor muss immer zwischen 0 und 1 liegen.

²³ Den drei Mortalitätsklassen wurden ursprünglich folgende Faktoren zugeordnet: geringe Mortalität = 1, mässige Mortalität = 0.7, erhöhte Mortalität = 0.4. Erhöhung des Faktors um $\frac{1}{4}$: geringe Mortalität = 1, mässige Mortalität =

dass die Mortalität beim Turbinenabstieg um ¼ grösser oder kleiner als angenommen ist), so verändert sich die Rangierung der Priorität für den «heutigen Zustand exklusiv Aufstieg» für circa 60 % der Gewässerabschnitte.

Einen geringeren Einfluss auf die Priorisierung der Gewässerstrecken hat der Parameter **Wehrabstieg**. Verändert man den Faktor für den Wehrabstieg um einen Viertel²⁴ (d.h. es wird angenommen, dass die Mortalität beim Wehrabstieg um ¼ grösser oder kleiner als angenommen ist), so verändert sich die Rangierung der Priorität für den «heutigen Zustand exklusiv Aufstieg» für circa einen Viertel bis einen Drittel der Gewässerabschnitte.

Der Parameter Prädation hat somit den grössten Einfluss auf die Priorisierung. Da die Prädation einen wesentlichen Einfluss auf die Mortalität der abwandernden Smolts hat [16], ist es gerechtfertigt, dass der Parameter Prädation ein sensibler Faktor bei der Bestimmung der Priorisierung darstellt. Im Wissen darum wurde versucht die Faktoren gemäss Tabelle 11-8 möglichst realistisch und basierend auf Literaturwerten festzulegen. Die effektive prädationsbedingte Mortalität in den priorisierten Gewässerstrecken ist jedoch unbekannt. Solange hierzu keine neueren Erkenntnisse vorliegen, wird die Einstufung beibehalten.

11.5.5 Habitat

Das Habitat wurde basierend auf der «Wasserqualität» und der Eignung als «Jungfischhabitat» bewertet. Nicht direkt berücksichtigt wurden Krankheiten und Parasiten sowie die Konkurrenz durch andere Arten. Es wurde angenommen, dass eine schlechtere Wasserqualität das Habitatangebot verringert. Gänzlich fehlendes Jungfischhabitat hat zur Folge, dass das Habitat als fehlend (kein Habitat) beurteilt wurde.

Tabelle 11-13. Habitat.

Klasse	Beschrieb	Faktor
1	gut >= 1 ha oder >= 2 km	1
2	mässig 0.1 – 1 ha oder 0.2 – 2 km	0.5
3	schlecht < 0.1 ha oder <0.2 km	0
4	kein 0 ha oder 0 km	0

11.5.6 Jungfischhabitat

Die Priorisierungsstrecke wurde bezüglich der Eignung des Sohlensubstrats und der Fliessverhältnisse für juvenile Lachse basierend auf den Angaben in Ninck & Dönni (2019) [21] beurteilt. Das Angebot an Junglachshabitat wurde darin für die bekannten Lachspotenzialstrecken quantitativ bestimmt. Ninck & Dönni [21] geben für kleine bis mittelgrosse Gewässer unter Berücksichtigung der Ökomorphologie eine gewichtete Fläche an geeignetem Junglachshabitat [ha] an (d.h. bei schlechterer ökomorphologischer Klassierung ist die effektive Gewässerfläche grösser als die gewichtete Fläche an geeignetem Junglachshabitat). Für grosse

0.875, erhöhte Mortalität = 0.5. Verringerung des Faktors um ¼: geringe Mortalität = 0.75, mässige Mortalität = 0.525, erhöhte Mortalität = 0.3, keine Turbine = 1. Der Faktor muss immer zwischen 0 und 1 liegen.

²⁴ Den zwei Wehrabstiegsklassen wurden ursprünglich folgende Faktoren zugeordnet: kleines Risiko = 1, mittleres Risiko = 0.5. Erhöhung des Faktors um ¼: kleines Risiko = 1, mittleres Risiko = 0.625. Verringerung des Faktors um ¼ = kleines Risiko = 0.75, mittleres Risiko = 0.375. Der Faktor muss immer zwischen 0 und 1 liegen.

Gewässer werden bezüglich Junglachshabitat geeignete oder eher geeignete Gewässerstrecken [km] angegeben (d.h. in diesen Gewässerstrecken ist Junglachshabitat potenziell vorhanden).

11.5.7 Wasserqualität

Bezüglich der Wasserqualität wurden die «Chemische Wasserqualität», die «Wassertemperatur» und die «kritische Wasserführung» betrachtet. Jeder einzelne dieser Faktoren kann zu Stress oder Mortalität der Lachse führen. Da die Wirkung der drei Faktoren kumulativ ist, wurde für die Bewertung der Wasserqualität der Mittelwert verwendet.

11.5.7.1 Chemische Wasserqualität

Bezüglich der chemischen Wasserqualität wurden Verunreinigung des Wassers durch Nährstoffe und organische Stoffe betrachtet. Die Bewertung des Parameters beruht auf einer integralen Betrachtung über die einzelnen Chemieparameter²⁵ (Tabelle 11-14). Die Beurteilung basiert in erster Linie auf den Werten von Nitrit und Ammonium. Nitrat, Phosphor, Gesamtphosphat und gelöster org. Kohlenstoff wurden miteinbezogen, falls deren Bewertung unbefriedigend oder schlecht ist. Bei fehlenden chemischen Daten wurden die Bewertungen der Kieselalgen und der Fische berücksichtigt²⁶. Für Priorisierungsstrecken ohne Daten zur chemischen Wasserqualität wurden Informationen aus flussauf- resp. flussabwärts gelegenen Strecken berücksichtigt.

Tabelle 11-14. Chemische Wasserqualität.

Klasse	Beschrieb	Faktor
1 gut	Ammonium und Nitrit «sehr gut» oder «gut»	1
	und	
	Nitrat, Phosphor, Gesamtphosphat und gelöster org. Kohlenstoff nicht schlechter als «mässig»	
	oder	
2 mässig	Kieselalgen und Fische «sehr gut» oder «gut»	0.5
	Ammonium und Nitrit «sehr gut» oder «gut»	
	und	
	Nitrat, Phosphor, Gesamtphosphat oder gelöster org. Kohlenstoff «unbefriedigend»	
3 schlecht	oder	0
	Ammonium und Nitrit «mässig»	
	Nitrat, Phosphor, Gesamtphosphat oder gelöster org. Kohlenstoff oder «schlecht»	

11.5.7.2 Wassertemperatur

Gemäss Dönni & Spalinger (2018) [60] könnten hohe sommerliche Wassertemperaturen ein Problem für junge Lachse sowie wandernde Laichtiere darstellen. Für Laichtiere beträgt der optimale Temperaturbereich bis 18 °C, für Juvenile bis 22 °C. Juvenilen Fischen droht ab 23 °C Hitzestress. Bei den Adulttieren ist ab 20 °C eine erhöhte Mortalität möglich.

Parameter

Betrachtet wurden die Tagesmittelwerte der Wassertemperatur in der Priorisierungsstrecke für die Jahre 2010 – 2017²⁷. Daraus wurde die mittlere jährliche Anzahl Tage mit Wassertemperaturen > 23 °C bestimmt.

²⁵ Datenquelle: NAWA Daten für 2015 (Ammonium, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Gesamtphosphor, gelöster org. Kohlenstoff. Bewertung nach MSK).

²⁶ Datenquelle: NAWA Daten für 2015 (Kieselalgen, Fische. Bewertung nach MSK).

²⁷ Datenquelle: Temperaturmessstationen von Bund und Kantonen

Sofern keine Temperaturmessstation in der Priorisierungsstrecke liegt, wurden die Daten der am ehesten vergleichbaren Messstationen verwendet (Entfernung entlang dem Gewässer, Zwischeneinzugsgebiet, ...). In keiner der Priorisierungsstrecken kamen über 100 Tage mit > 23 °C vor.

Klasse	Beschrieb	Faktor
1 kühl	<= 50 Tage mit > 23 °C	1
2 erwärmt	51 – 100 Tage mit > 23 °C	0.5

11.5.7.3 Kritische Wasserführung

Berücksichtigt wurde ob das Gewässer genügend Abfluss hat («Wasserführung») und ob der Abfluss stark verändert wird («Beeinträchtigung Abfluss»). Die beiden Parameter wurden multipliziert.

11.5.7.4 Wasserführung

Lachsgewässer sollten einen gewissen Abfluss aufweisen. Die Bewertung basiert auf dem langjährigen Q_{347} . Sofern keine Abflussmessstation²⁸ in der Priorisierungsstrecke liegt, wurden die Daten an der ehesten vergleichbaren Messstation genommen (Entfernung entlang dem Gewässer, Zwischeneinzugsgebiet, ...) oder der Abfluss basierend auf Fotos und dem Orthofoto geschätzt. In keiner Priorisierungsstrecke liegt der Abfluss < 0.01 m³/s.

Klasse	Beschrieb	Faktor
1 gross	>= 0.1 m ³ /s	1
2 mittel	0.01 - 0.1 m ³ /s	0.5

11.5.7.5 Beeinträchtigung Abfluss

Schwall-Sunk-Strecken und Restwasserstrecken können einen negativen Einfluss auf das Habitat haben. Keine der Priorisierungsstrecken wird wesentlich durch Schwall-Sunk beeinträchtigt²⁹. Restwasserstrecken wurden berücksichtigt, falls sie eine starke Reduktion des Abflusses bewirken (Entnahmemenge durch Wasserkraftnutzung oder andere Nutzungen und grösser als 50 % der Abflussmenge Q_{347})³⁰. Der Anteil der Priorisierungsstreckenlänge mit Vollwasser (d.h. ausserhalb der Restwasserstrecke) wurde berechnet.

Klasse	Beschrieb	Faktor
1 Vollwasser	>= 50 % der Strecke mit Vollwasser	1
2 Restwasser	< 50 % der Strecke mit Vollwasser	0.5

²⁸ Datenquelle: Abflussmessstationen von Bund und Kantonen

²⁹ Datenquelle: <https://plattform-renaturierung.ch/schwall-sunk/sanierungsumsetzung/strategischeplanung/>

³⁰ Datenquelle: Restwasserkarte BAFU (Stand Juli 2007;

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/daten/restwasserkarte--datenabfrage-zu-wasserentnahmen-und--rueckgaben.html>)

11.5.8 Nicht berücksichtigte Parameter

Die Priorisierung der Gewässerstrecken basiert auf vielen Vereinfachungen. Unter anderem wurden die folgenden Parameter bewusst nicht mitberücksichtigt: Laichhabitat, historisches Vorkommen und Konkurrenz durch Bachforellenbesatz.

11.5.8.1 Laichhabitat

Das Angebot an Lachs-Laichhabitat in der Priorisierungsstrecke wird zum heutigen Zeitpunkt als sekundär betrachtet. Es ist zudem damit zu rechnen, dass einige Veränderungen in den Gewässern stattgefunden haben (z.B. durch Sanierung Geschiebehalt) bis Rückkehrer bei uns laichen möchten.

11.5.8.2 Historisches Vorkommen

Das historische Vorkommen des Lachses in der Schweiz ist vor allem für die grösseren Gewässer belegt (Dönni & Spalinger 2016) [1]. Es wird aber davon ausgegangen, dass der Lachs in allen für die Priorisierung berücksichtigten Gewässersystemen historisch vorkam.

11.5.8.3 Konkurrenz durch Bachforellenbesatz

Gemäss Houde et al. (2015) [37] überlappen sich die ökologischen Nischen von Lachssömmerlingen und 0+ Forellen stark. Idealerweise wird in Lachsbesatzgewässern auf Bachforellenbesatz verzichtet, um allfällige negative Effekte durch die Konkurrenz zu verringern. Um die Auswahl an Besatzgewässern aber nicht weiter einzuschränken, wurde darauf verzichtet diesen Faktor in die Berechnung der Priorisierung einzubeziehen.

11.6 Modell SIMSALAR

11.6.1 Modellierungsprozess

Der Modellierungsprozesses folgt einem schrittweisen Verfahren:

1. Problemerkennung und Zieldefinition (Kap. 6.1)
2. Erstellen eines Wortmodells (Kap. 11.6.2)
3. Aufbau einer groben Wirkungsstruktur mit den wichtigsten Parametern (Kap. 11.6.3)
4. Versehen der einzelnen Parameter mit realistischen Anfangswerten (Parametrisierung, Kap. 11.6.4).
5. Abbildung und Verfeinerung der Wirkungsstruktur am Computer (Kap. 11.6.5)
6. Durchspielen, vergleichen und plausibilisieren verschiedener Simulationsvarianten (Kap. 6.3)
7. Modellkalibrierung anhand von Felddaten
8. Kondensation auf die essentielle Modellstruktur mittels Sensitivitätsanalysen
9. Erkenntnisgewinn hinsichtlich der relevanten Faktoren und Rückkoppelungen auf der Basis von Sensitivitätsanalysen

Die Schritte 1 bis 6 wurden bisher durchgeführt und werden nachfolgend erläutert. Sobald für einige Gewässer ausreichend Felddaten vorliegen, kann das Basismodell kalibriert und mit gewässerspezifischen Daten gefüttert werden.

11.6.2 Wortmodell

In Anlehnung an Modelle aus der Literatur [75–79] simuliert SIMSALAR die Entwicklung der Populationsgrösse verschiedener Altersstadien in der Schweiz, vom Erscheinen der Rückkehrer in Basel über die Eiablage bis zur Abwanderung der Smolts (Abbildung 11-4). Der Übergang zwischen den aufeinander folgenden Lebensstadien wird im Allgemeinen durch eine Mortalitätsrate beschrieben. Die Entwicklung der Populationsgrösse ausserhalb der Schweiz wird nicht modelliert, sondern mittels einer festlegbaren Rückkehrerrate berücksichtigt.

Das Modell startet die Berechnung mit dem Besatz von Brütlingen³¹. Von denen überlebt ein gewisser Anteil die Entwicklungsphase bis zum Smolt. Dieser Anteil ist derzeit unbekannt. Im Modell sind deshalb realistische Annahmen aus der Literatur implementiert. Hinsichtlich der Abwanderung der Smolts wird zwischen 1⁺ und 2⁺-Smolts unterschieden. Die Smolts wandern über die Wasserkraftanlagen zwischen dem Besatzgewässer und Basel ab. Die Verluste bei der Abwanderung werden durch das Abwanderungsmodul der Priorisierung («Mortalität Abstieg», Kap. 11.6.3) ausgedrückt. Sie bestimmen den Anteil der Smolts, der Basel erreicht. Von diesen Smolts überlebt ein gewisser Teil die Abwanderung ins Meer, die maritime Phase und die Aufwanderung bis Basel.

Die Rückkehrer wandern über die Querbauwerke und Wasserkraftanlagen oberhalb von Basel in ihre Laichgebiete auf, wobei nur ein Teil das Laichareal erreicht. Dieser wird über das Aufwanderungsmodul der Priorisierung («Verluste Aufstieg», Kap. 11.6.3) quantifiziert. Nicht alle Rückkehrer sind Laichfische, so dass

³¹ Der Besatz mit anderen Stadien kann problemlos eingebaut werden.

sich nur ein Teil an der Reproduktion beteiligen kann. Die Weibchen legen eine bestimmte Anzahl Eier, von denen ein Teil schlüpft und zu Brütlingen wird.

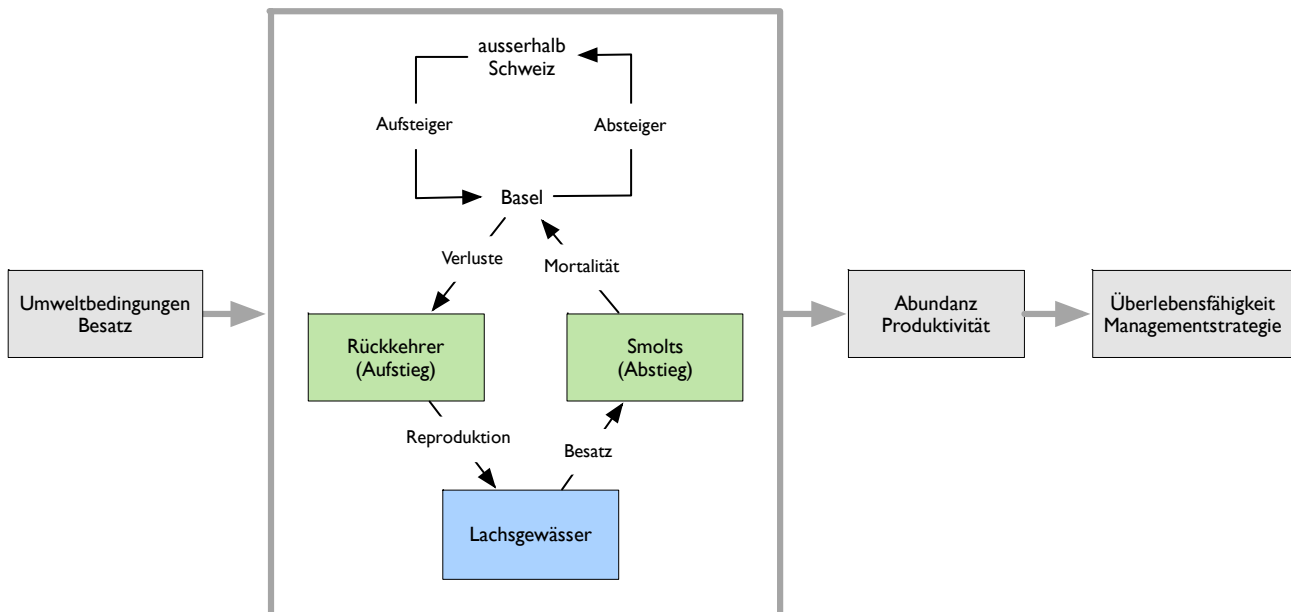


Abbildung 11-4: Illustration des Modells mit Lebenszyklus in der Schweiz (Mitte), Einflussfaktoren (rechts), Modellergebnisse (links) und Erkenntnisgewinn (ganz links). Details finden sich im Anhang 11.6.3.

Das Modell wurde bewusst so einfach wie möglich gehalten:

- Die Situation ausserhalb der Schweiz (v. a. die Ab- und Aufwärtswanderung über die Kraftwerke am Oberrhein und über die Schleusen in den Niederlanden sowie die Mortalität im Meer) liegen ausserhalb des betrachteten Perimeters³². Die Systemgrenze ist somit in erster Linie geografisch definiert.
- Die Erreichbarkeit von Basel für aus dem Lachsgewässer absteigende Smolts («Mortalität Smolts») bzw. ab Basel für ins Lachsgewässer aufsteigende Rückkehrer («Anteil verschwindender Rückkehrer») wird den Daten zur Priorisierung der Lachsgewässer entnommen. Sie wird mit einem Wert zwischen 0 (nicht erreichbar) und 1 (erreichbar) umschrieben. Dieser Wert fliesst als Prozentwert in die Modellrechnung ein.
- Die Mortalität ist vom Brütling- bis zum Smoltstadium stark dichteabhängig (bei Eiern und Dottersackbrütlingen dichteunabhängig). Das bedeutet, dass die Populationsdichte der Junglachse, die ihre Territorien festlegen und um Nahrung konkurrenzieren, vom Habitatangebot abhängt. Die Entwicklung während dieser Stadien wird meist mit der so genannten «Ricker-Kurve» beschrieben [77]. Diese Dichteabhängigkeit wird hier aber nicht berücksichtigt, da von einer generell geringen Dichte ausgegangen wird. Bei Dichten unter der Lebensraumkapazität eines Gewässers sind primär -dichteunabhängige Faktoren (z. B. Hochwasser, Prädation, Nahrungsangebot, Wasserqualität) von Bedeutung [80].
- Weitere nicht berücksichtigte Aspekte:
 - Unterschiedliche Mortalitäten zwischen Wild- und Besatzfischen
 - Mehrfachlaicher

³² Aufstiegszählungen von Rückkehrern am Oberrhein könnten zwar in das Modell einfließen. Wie viele der aufsteigenden Fische in die Oberrheinzuflüsse abwandern, ist aber nicht bekannt.

- Unterschiedliche Besatzalter
- Konkurrenz mit der Bachforelle

11.6.3 Wirkungsstruktur

SIMSALAR besteht aus mehreren nacheinander angeordneten Lebensstadien, die den Teil des Lebenszyklus des Lachses abbilden, der in der Schweiz durchlaufen wird (Abbildung 11-5).

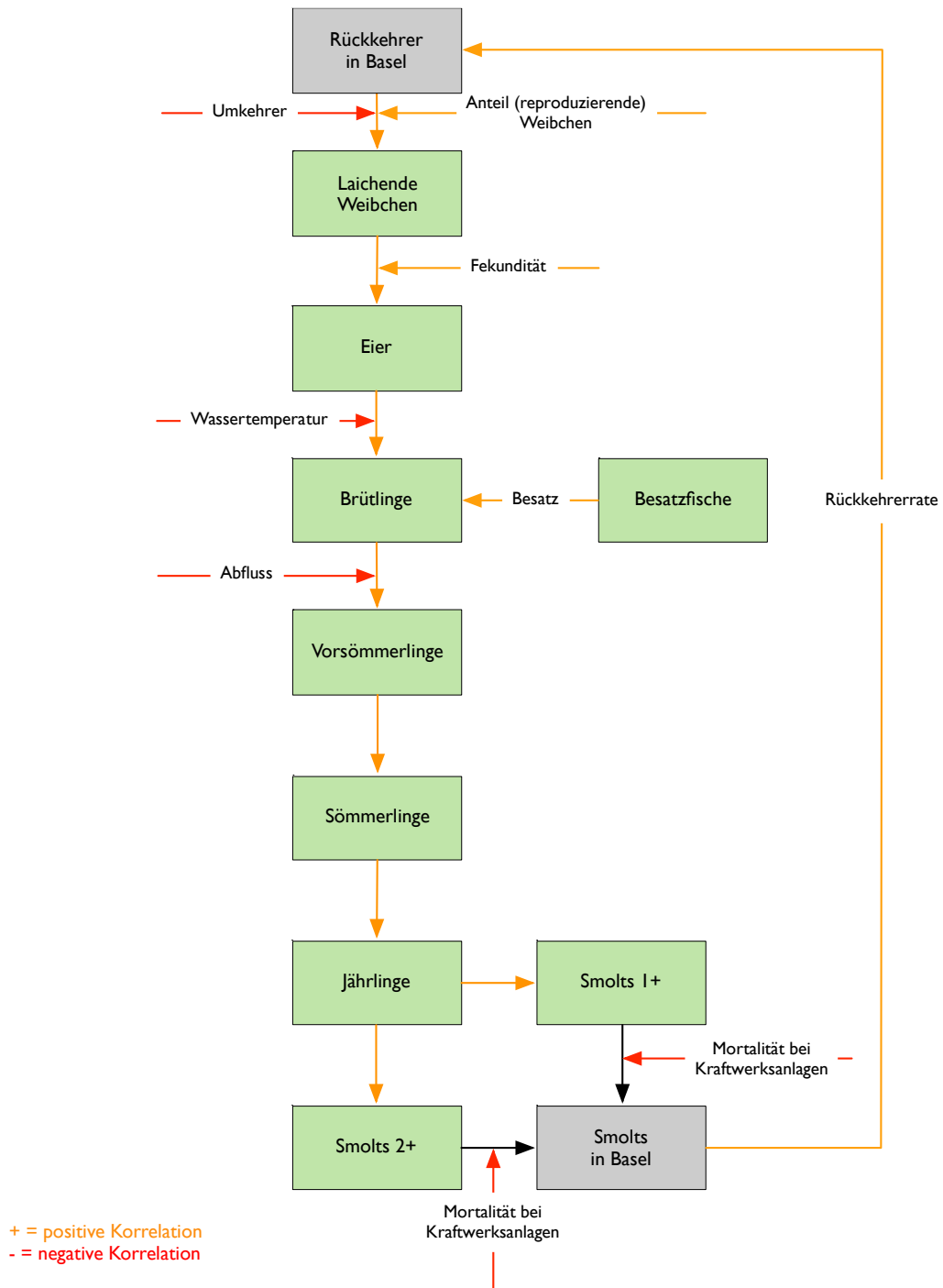


Abbildung 11-5: Wirkungsstruktur des Populationsmodells

11.6.4 Modellparameter

Speicher (Zustandsgrößen)

Parameter	Einheit	Anfangswert
Besatzfische	Individuen	0
Brütlinge	Individuen	0
Vorsömmerlinge	Individuen	0
Sömmerlinge	Individuen	0
Jährlinge	Individuen	0
Zweijährige	Individuen	0
Smolts oberhalb Basel	Individuen	0
ausserhalb Schweiz	Individuen	0
Rückkehrer oberhalb Basel	Individuen	0
Laichtiere	Individuen	0
Eier	Individuen	0

Flüsse (Regelgrößen)

Parameter	Einheit	Spender	Empfänger
Besatzproduktion	Individuen/Monat	–	
Besatz werden Vorsömmerlinge	Individuen/Monat	Besatzfische	Brütlinge
Verlust Vorsömmerlinge werden Sömmerlinge	Individuen/Monat	Brütlinge	Vorsömmerlinge
Verlust Sömmerlinge werden Jährlinge	Individuen/Monat	Laichtiere	–
Verlust Jährlinge werden Zweijährige	Individuen/Monat	Vorsömmerlinge	Sömmerlinge
Verlust Zweijährige werden Smolts 1+	Individuen/Monat	Sömmerlinge	–
Verlust Smolts 1+ werden Smolts 2+	Individuen/Monat	Jährlinge	Jährlinge
Verlust Smolts 2+ werden Smolts ausserhalb Schweiz	Individuen/Monat	Sömmerlinge	–
Verlust Smolts ausserhalb Schweiz werden Rückkehrer oberhalb Basel	Individuen/Monat	Jährlinge	Abwanderer unterhalb Basel
Verlust Rückkehrer werden Laichtiere	Individuen/Monat	Sömmerlinge	Zweijährige
Verlust Laichtiere werden Männchen	Individuen/Monat	Zweijährige	–
Verlust Männchen werden nichtfertile Weibchen	Individuen/Monat	Zweijährige	Abwanderer unterhalb Basel
Verlust nichtfertile Weibchen werden laichen	Individuen/Monat	Abwanderer unterhalb Basel	ausserhalb Schweiz
Verlust laichen werden Eier	Individuen/Monat	ausserhalb Schweiz	–
Verlust Eier werden Inkubation/Emergenz	Individuen/Monat	Rückkehrer oberhalb Basel	Rückkehrer oberhalb Basel
Verlust Inkubation/Emergenz	Individuen/Monat	Rückkehrer oberhalb Basel	–
		Laichtiere	Laichtiere
		Laichtiere	–
		Laichtiere	–
		Laichtiere	Eier
		Laichtiere	–
		Eier	Brütlinge

Konverter

Parameter	Einheit	Wert/Funktion	Quelle
Mortalität Eier	Prozent	0.4	Annahme
Besatzmenge	Individuen	10'000	Annahme
Mortalität Brütlinge	Prozent	0.75	Besatzäquivalente
Mortalität Vorsommerlinge	Prozent	0.17	Besatzäquivalente
Mortalität Sommerlinge	Prozent	0.2	Besatzäquivalente
Smoltifikationsrate	Prozent	0.5	Kunz 2014
Mortalität Jährlinge	Prozent	0.2	Besatzäquivalente
Mortalität Zweijährige	Prozent	0.0	Besatzäquivalente
Mortalität Smolts	Prozent	0.5	Annahme
Rückkehrerrate	Prozent	0.01	Annahme
Anteil verschwindender Rückkehrer	Prozent	0.5	Annahme
Anteil Männchen	Prozent	0.5	Annahme
Anteil nicht laichender Weibchen	Prozent	0.25	Thiel & Magath 2010
Fekundität	Eier/Weibchen	Funktion	Thiel & Magath 2010
Gewicht Weibchen	Gramm	Funktion	Cunjak 2000
Totallänge Weibchen	Meter	0.8	Daten Iffezheim Dumas & Marty 2006
Mortalität Eier/Dottersackbrütlinge	Prozent	0.4	[81]

Erläuterungen:

- Die Anfangswerte für die Speicher sind auf null gesetzt. Die Simulation startet die Berechnung mit dem Besatz von 10'000 Brütlingen im Jahr 1. Jährlicher Besatz hält die Populationsentwicklung aufrecht.
- Die eine Hälfte der Junglachse wandert als Jährlinge, die andere als Zweijährige ab. Die Abwanderung findet im April statt [15].
- Im besetzten Allier-Stamm dominieren die 3-Seewinter-Lachse. Die Lachse kommen also primär nach drei Jahren zurück [39].
- Als Zeitschritt wird 1 Monat gewählt mit Start im Januar (Abbildung 11-6).

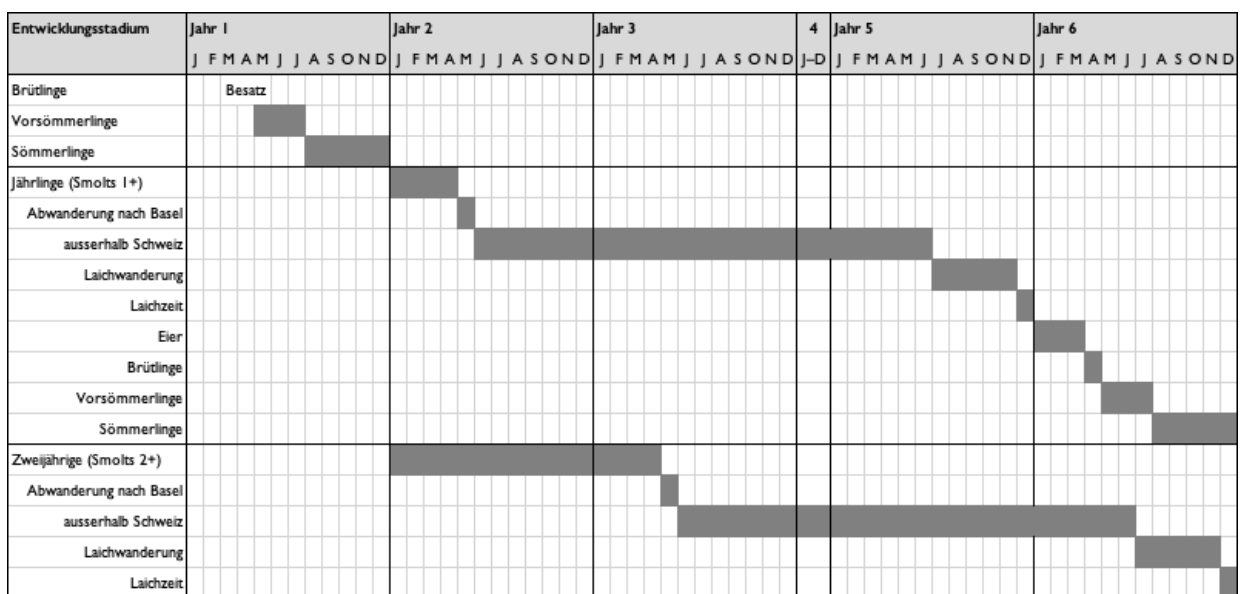


Abbildung 11-6: Im Modell verwendete Zeitlinie über 6 Jahre für im Jahr 1 als Brütlinge eingebrachte Besatzlachse.

Das Modell arbeitet derzeit *deterministisch*, d. h. mit fest definierten Mortalitäten für jede Simulation. In einem späteren Schritt ist ein stochastischer Aufbau denkbar, bei dem die Parameterwerte aus einer Verteilung (z. B. $\pm 20\%$) zufällig gewählt werden [78, 79, 82].

Das Modell ist derzeit *statisch* aufgebaut. Das heisst, dass sich dynamisch entwickelnde Parameter wie die Wassertemperatur (Hitzestress) oder der Abfluss (Verdriftung von Brütlingen durch Frühlingshochwasser, Ausräumen von Laichgruben durch Geschiebetransport, Niederwassereffekte), die sich von Jahr zu Jahr unterschiedlich auf die Mortalitätsraten auswirken, nicht inkorporiert sind. Sie können später für gewässerspezifische Modelle implementiert werden.

11.6.5 Umsetzung in Stella Architect

SIMSALAR wurde in der grafischen Modelloberfläche von Stelle Architect (Version 1.9) aufgebaut. Die Modellstruktur gleicht einem Flussdiagramm, weshalb sie nicht nur zur Simulation, sondern auch zur Visualisierung der Zusammenhänge verwendet werden kann (Abbildung 11-7). Die Schnittstelle zum Anwender erfolgt über eine frei gestaltbare Eingabeoberfläche (Abbildung 11-8). Mittels Schieberegler können Inputgrößen verändert und so verschiedene Szenarien durchgespielt werden.

Das Modell inkl. Interface kann bei Bedarf als vollständig lauffähige Webapplikation zur Verfügung gestellt werden. Für die Betrachtung der Modellstruktur und Abspielen von Simulationen mit den Anfangswerten steht zudem ein frei verfügbarer Player zur Verfügung. Er erlaubt aber keinen Zugriff auf das Interface (isee Player, <https://www.iseesystems.com/store/products/player.aspx>).

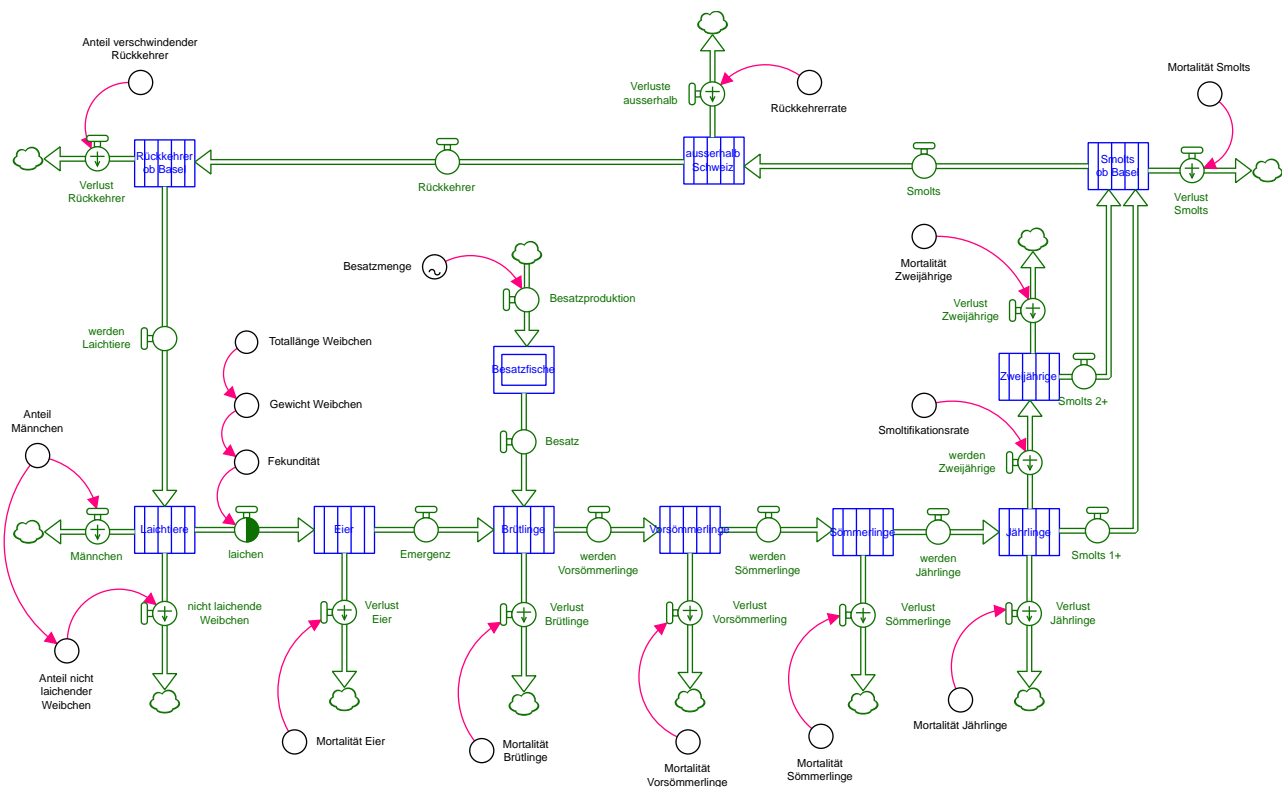


Abbildung 11-7: Modellstruktur in Stella Architect: Blau = Speicher, grün = Flüsse, schwarz = Konverter, rot = Informationsübertragung.

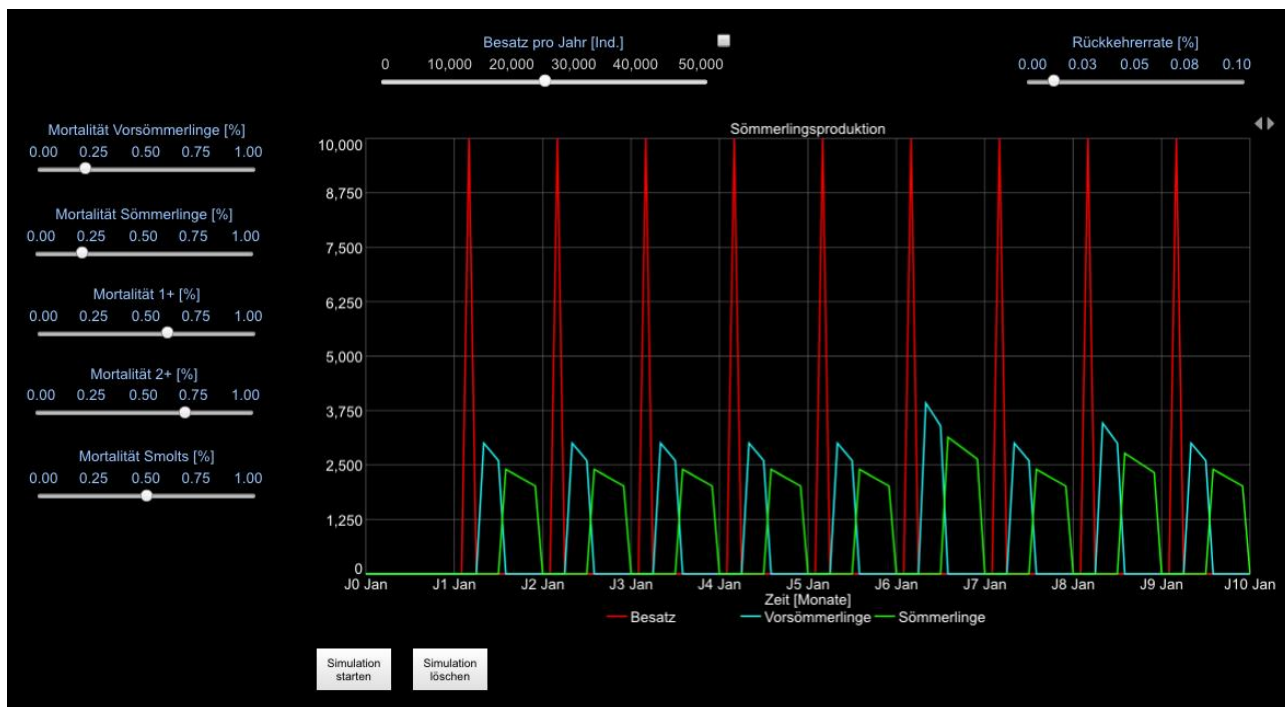


Abbildung 11-8: Interface für die Berechnung und Darstellung unterschiedlicher Simulationen.

Dem Modell zugrunde liegende Eingangswerte und mathematische Gleichungen:

Top-Level Model:

$$\text{ausserhalb_Schweiz}(t) = \text{ausserhalb_Schweiz}(t - dt) + (\text{Smolts} - \text{Rückkehrer} - \text{Verluste_ausserhalb}) * dt \{CONVEYOR\}$$

$$\text{INIT ausserhalb_Schweiz} = 0$$

$$\text{TRANSIT TIME} = 37$$

UNITS: Individuen

INFLOWS:

$$\text{Smolts} = \text{CONVEYOR OUTFLOW}$$

UNITS: Individuen/Monate

OUTFLOWS:

$$\text{Rückkehrer} = \text{CONVEYOR OUTFLOW}$$

UNITS: Individuen/Monate

$$\text{Verluste_ausserhalb} = \text{LEAKAGE OUTFLOW}$$

$$\text{LEAKAGE FRACTION} = 1 - \text{Rückkehrerrate}$$

UNITS: Individuen/Monate

$$\text{Besatzfische}(t) = \text{Besatzfische}(t - dt) + (\text{Besatzproduktion} - \text{Besatz}) * dt \{OVEN\}$$

$$\text{INIT Besatzfische} = 0$$

$$\text{COOK TIME} = 12$$

$$\text{CAPACITY} = \text{INF}$$

$$\text{FILL TIME} = 0$$

UNITS: Individuen

INFLOWS:

$$\text{Besatzproduktion} = \text{DELAY}(\text{Besatzmenge}, 2, 0) \{UNIFLOW\}$$

UNITS: Individuen/Monate

OUTFLOWS:

$$\text{Besatz} = \text{OVEN OUTFLOW}$$

UNITS: Individuen/Monate

$$\text{Brütlinge}(t) = \text{Brütlinge}(t - dt) + (\text{Emergenz} + \text{Besatz} - \text{werden_Vorsömmerlinge} - \text{Verlust_Brütlinge}) * dt \{CONVEYOR\}$$

$$\text{INIT Brütlinge} = 0$$

$$\text{TRANSIT TIME} = 1$$

UNITS: Individuen

INFLOWS:

$$\text{Emergenz} = \text{CONVEYOR OUTFLOW}$$

UNITS: Individuen/Monate
 Besatz = OVEN OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 OUTFLOWS:
 werden_Vorsommerlinge = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 Verlust_Brütlinge = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Mortalität_Brütlinge
 UNITS: Individuen/Monate
 $Eier(t) = Eier(t - dt) + (laichen - Emergenz - Verlust_Eier) * dt \{CONVEYOR\}$
 INIT Eier = 0
 TRANSIT TIME = 3
 UNITS: Individuen
 INFLOWS:
 laichen = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 OUTFLOWS:
 Emergenz = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 Verlust_Eier = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Mortalität_Eier
 UNITS: Individuen/Monate
 $Jährlinge(t) = Jährlinge(t - dt) + (werden_Jährlinge - "Smolts_1+" - Verlust_Jährlinge - werden_Zweijährige) * dt \{CONVEYOR\}$
 INIT Jährlinge = 0
 TRANSIT TIME = 4
 UNITS: Individuen
 INFLOWS:
 werden_Jährlinge = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 OUTFLOWS:
 "Smolts_1+" = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 Verlust_Jährlinge = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Mortalität_Jährlinge
 UNITS: Individuen/Monate
 werden_Zweijährige = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Smoltifikationsrate
 UNITS: Individuen/Monate
 $Laichtiere(t) = Laichtiere(t - dt) + (werden_Laichtiere - laichen - Männchen - nicht_laichende_Weibchen) * dt \{CONVEYOR\}$
 INIT Laichtiere = 0
 TRANSIT TIME = 1
 UNITS: Individuen
 INFLOWS:
 werden_Laichtiere = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 OUTFLOWS:
 laichen = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 Männchen = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Anteil_Männchen
 UNITS: Individuen/Monate
 nicht_laichende_Weibchen = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Anteil_nicht_laichender_Weibchen
 UNITS: Individuen/Monate
 $Rückkehrer_ob_Basel(t) = Rückkehrer_ob_Basel(t - dt) + (Rückkehrer - werden_Laichtiere - Verlust_Rückkehrer) * dt \{CONVEYOR\}$
 INIT Rückkehrer_ob_Basel = 0
 TRANSIT TIME = 5
 UNITS: Individuen
 INFLOWS:
 Rückkehrer = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 OUTFLOWS:
 werden_Laichtiere = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 Verlust_Rückkehrer = LEAKAGE OUTFLOW

LEAKAGE FRACTION = Anteil_verschwindender_Rückkehrer
 UNITS: Individuen/Monate
 $S\ddot{o}mmerlinge(t) = S\ddot{o}mmerlinge(t - dt) + (werden_S\ddot{o}mmerlinge - werden_J\ddot{a}hrlinge - Verlust_S\ddot{o}mmerlinge) * dt \{CONVEYOR\}$
 INIT S\ddot{o}mmerlinge = 0
 TRANSIT TIME = 5
 UNITS: Individuen
 INFLOWS:
 werden_S\ddot{o}mmerlinge = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 OUTFLOWS:
 werden_J\ddot{a}hrlinge = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 Verlust_S\ddot{o}mmerlinge = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Mortalit\ddot{a}t_S\ddot{o}mmerlinge
 UNITS: Individuen/Monate
 $Smolts_ob_Basel(t) = Smolts_ob_Basel(t - dt) + ("Smolts_2+" + "Smolts_1+" - Smolts - Verlust_Smolts) * dt \{CONVEYOR\}$
 INIT Smolts_ob_Basel = 0
 TRANSIT TIME = 1
 UNITS: Individuen
 INFLOWS:
 "Smolts_2+" = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 "Smolts_1+" = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 OUTFLOWS:
 Smolts = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 Verlust_Smolts = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Mortalit\ddot{a}t_Smolts
 UNITS: Individuen/Monate
 $Vors\ddot{o}mmerlinge(t) = Vors\ddot{o}mmerlinge(t - dt) + (werden_Vors\ddot{o}mmerlinge - werden_S\ddot{o}mmerlinge - Verlust_Vors\ddot{o}mmerling) * dt \{CONVEYOR\}$
 INIT Vors\ddot{o}mmerlinge = 0
 TRANSIT TIME = 3
 UNITS: Individuen
 INFLOWS:
 werden_Vors\ddot{o}mmerlinge = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 OUTFLOWS:
 werden_S\ddot{o}mmerlinge = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 Verlust_Vors\ddot{o}mmerling = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Mortalit\ddot{a}t_Vors\ddot{o}mmerlinge
 UNITS: Individuen/Monate
 $Zweij\ddot{a}hrige(t) = Zweij\ddot{a}hrige(t - dt) + (werden_Zweij\ddot{a}hrige - "Smolts_2+" - Verlust_Zweij\ddot{a}hrige) * dt \{CONVEYOR\}$
 INIT Zweij\ddot{a}hrige = 0
 TRANSIT TIME = 12
 UNITS: Individuen
 INFLOWS:
 werden_Zweij\ddot{a}hrige = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Smoltifikationsrate
 UNITS: Individuen/Monate
 OUTFLOWS:
 "Smolts_2+" = CONVEYOR OUTFLOW
 UNITS: Individuen/Monate
 Verlust_Zweij\ddot{a}hrige = LEAKAGE OUTFLOW
 LEAKAGE FRACTION = Mortalit\ddot{a}t_Zweij\ddot{a}hrige
 UNITS: Individuen/Monate
 Anteil_M\ddot{a}nnchen = 0.5
 UNITS: Prozent
 Anteil_nicht_laichender_Weibchen = 0.25*Anteil_M\ddot{a}nnchen
 UNITS: Prozent
 Anteil_verschwindender_R\ddot{u}ckkehrer = 0.5
 UNITS: Prozent
 Besatzmenge = GRAPH(TIME)

UNITS: Individuen

Fekundität = $\text{Gewicht_Weibchen}/1000*1800$

UNITS: Eier/Individuen

$\text{Gewicht_Weibchen} = 0.000007*((\text{Totallänge_Weibchen}*1000)^3.069)$

UNITS: Gramm

Mortalität_Brütlinge = 0.75

UNITS: Prozent

Mortalität_Eier = 0.4

UNITS: Prozent

Mortalität_Jährlinge = 0.2

UNITS: Prozent

Mortalität_Sömmerlinge = 0.2

UNITS: Prozent

Mortalität_Smolts = 0.5

UNITS: Prozent

Mortalität_Vorsömmerlinge = 0.17

UNITS: Prozent

Mortalität_Zweijährige = 0

UNITS: Prozent

Rückkehrerate = 0.01

UNITS: Prozent

Smoltifikationsrate = 0.3

UNITS: Prozent

Totallänge_Weibchen = 0.80

UNITS: Meter