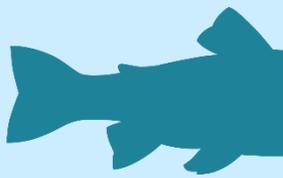


Kumulative Effekte an Kraftwerksketten – Möglichkeiten und Herausforderungen zur Zielableitung für den Populationsschutz



Armin Peter, Lisa Wilmsmeier, Nils Schölzel, Nicolas Achermann, Werner Dönni
FishConsulting GmbH, Hagmattstr. 7, 4600 Olten – Fischwerk Neustadtstr. 7, 6003 Luzern CH
e-mail: apeter@fishconsulting.ch

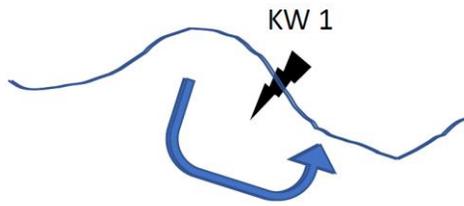
www.fishconsulting.ch – www.fischwerk.ch

Forum Fischschutz und Fischabstieg, 30.5.2022



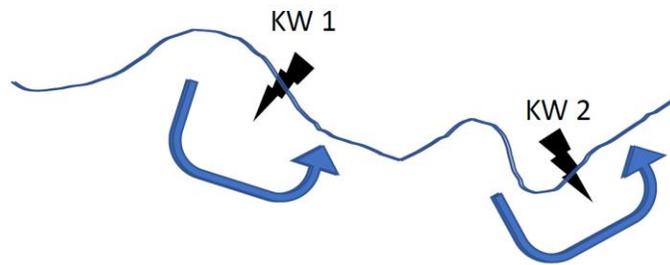


- Begriff kumulative Effekte
- Vorgehen für die Studie
- Resultate Literaturrecherche
- Erarbeitung von Zielvorgaben
- Modellbeispiel
- Weiteres Vorgehen



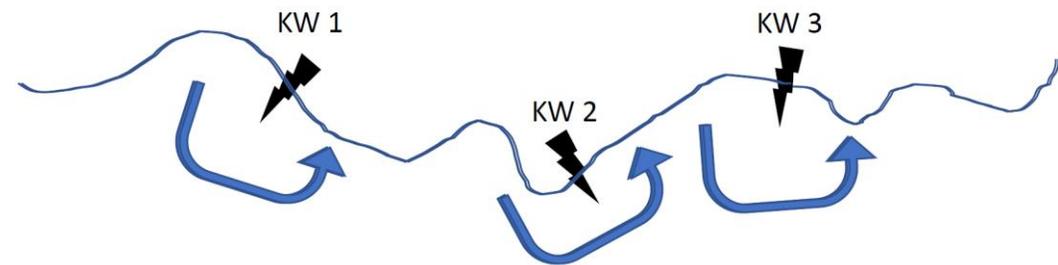
Multiple Effekte:

Kraftwerk plus Habitatdegradierung plus Abflussveränderung plus.....



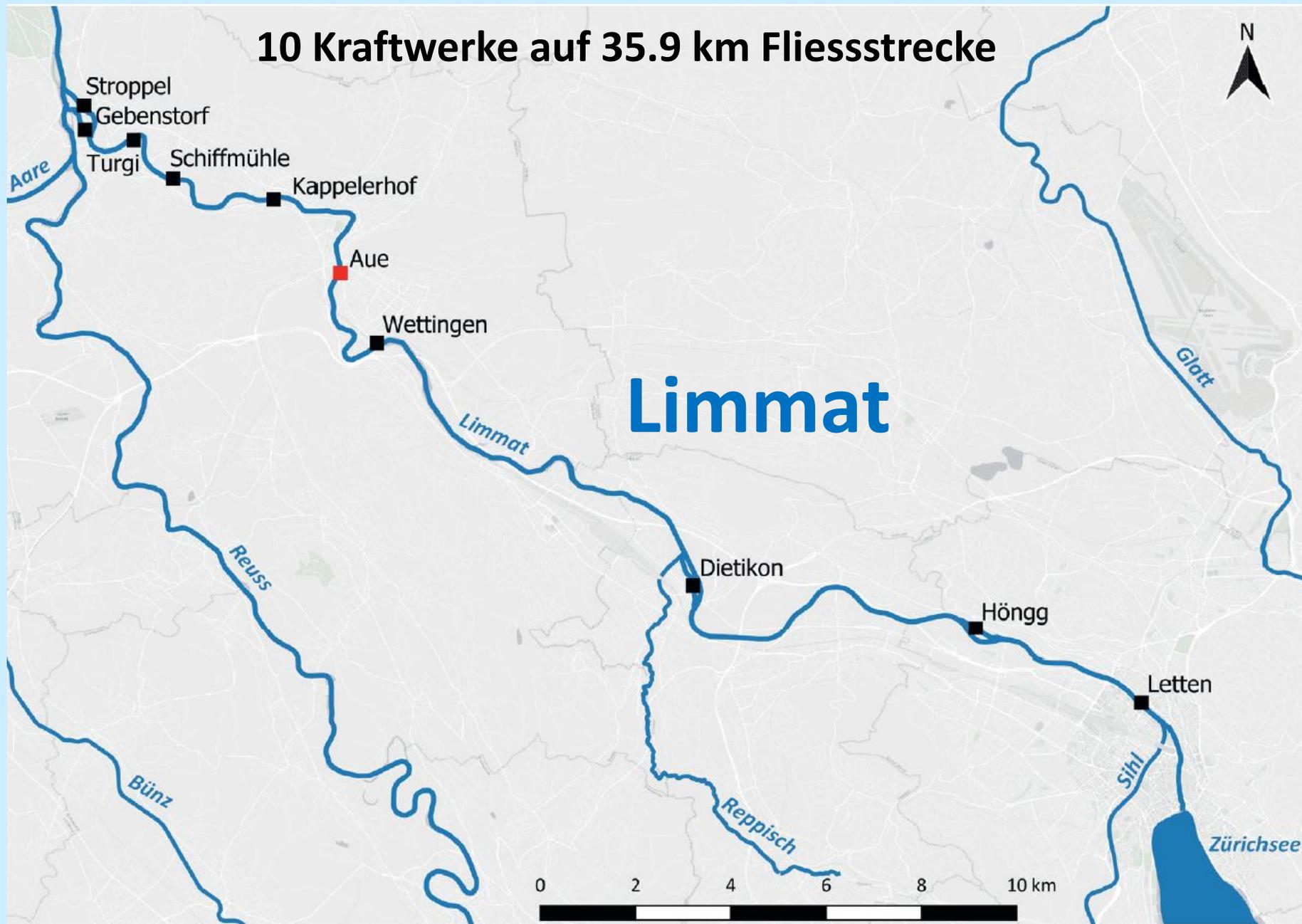
Kumulative Effekte:

Kraftwerk 1 plus Kraftwerk 2



Multiple und kumulative Effekte:

3 Kraftwerke plus Habitatdegradierungen plus Abflussveränderungen plus.....



Mögliche kumulative Effekte der Kraftwerks-passagen flussabwärts

| Ort / Route | Ursache für Mortalität | Gründe / besonders betroffene Gruppen |
|-------------------------|-------------------------|--|
| Stau-bereich | Prädation | Verzögerung der Wanderung / Jungfische |
| Wehr-passage | Kollisionen | Zu starke Strömung, Fallhöhe, Energie-dissipationsstrukturen |
| | Schürfungen | Zu geringe Wassertiefe |
| | Gasblasen-Krankheit | Gasübersättigung durch Lufteintrag |
| Turbinen-passage | Kollision mit Schaufeln | Turbinentyp und -drehzahl / Grosse Fische |
| | Scherkräfte | |
| | Turbulenzen | |
| | Druckunterschiede | Fallhöhe, Turbinenachse / Physoclisten |
| Unter-wasser | Prädation | Durch Kraftwerkpassage vorgeschädigte/desorientierte Fische |

Ziele des Gesamtprojekts:

- Aufzeigen der Bedeutung kumulativer Effekte (**Literaturanalyse**, fachliche Grundlagen)
- Vorschlag für die Erstellung quantitativer Zielvorgaben

Expertenworkshop:

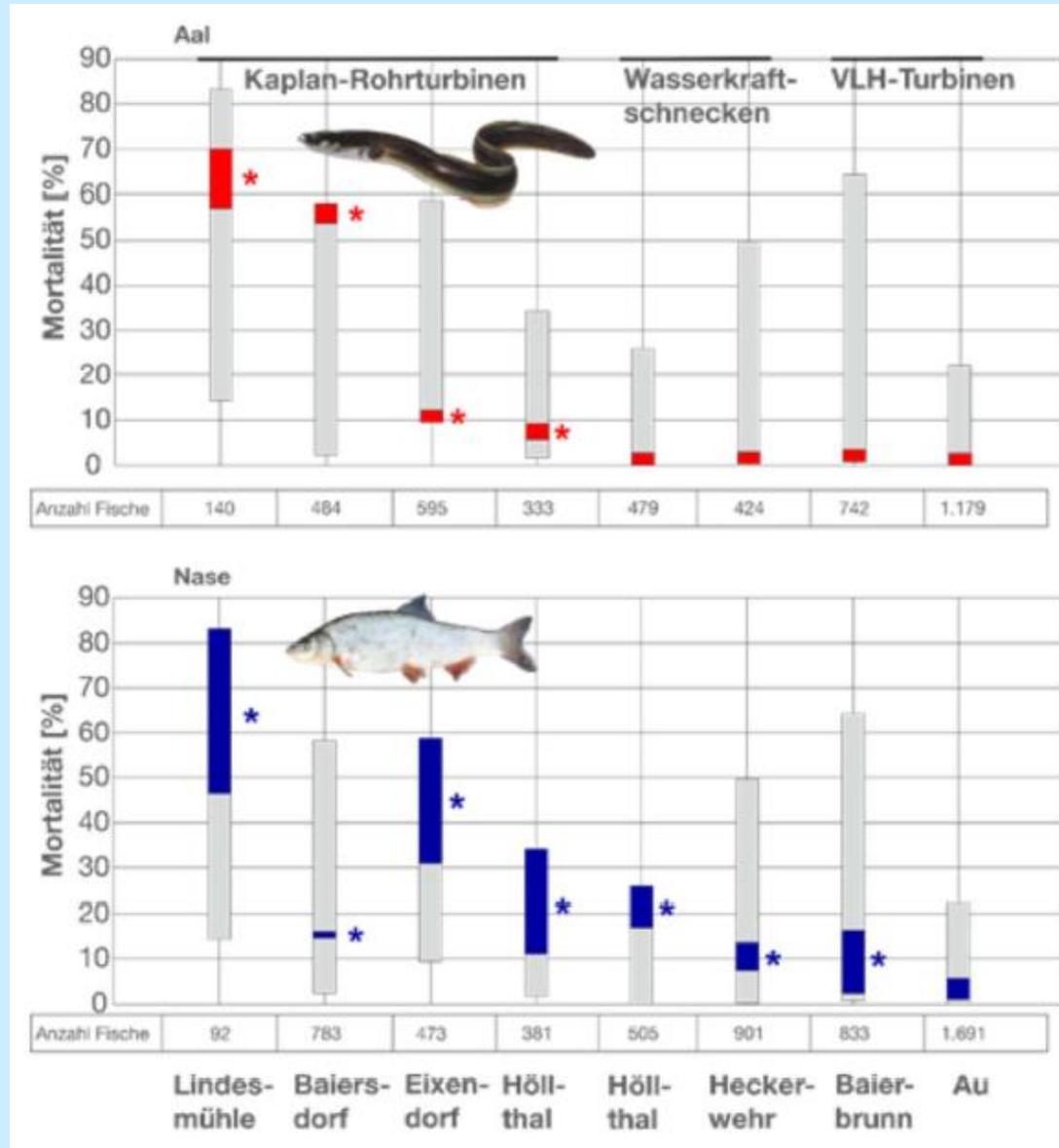
- Ansätze zur Berechnung von Zielvorgaben
- grobes Framework und einzelne Bausteine
- Diskussion zur Berechnung Ist-Zustand und Defizit -
Neue Inputs?
- ausreichend genaue Berechnung in der Praxis möglich?
- mögliche Alternativen

Literaturrecherche – verwendete Begriffe

| Themenbereich | Englische Suchbegriffe | Deutsche Suchbegriffe |
|--|--|--|
| Fische Fischarten Entwicklungsstadien | Fish | Fische |
| | Potamodromous (trout, barbel) Anadromous (atlantic salmon) | Potamodrome Arten (Forelle, Barbe) Anadrome Arten (atl. Lachs) |
| | Fecundity / stages | Fekundität / Entwicklungsstadien |
| | Population dynamics / stock recruitment | Populationsdynamiken / Rekrutierung |
| Kraftwerke | Hydropower / dam / reservoir / weir / turbine | Kraftwerk / Wehr / Turbine |
| | Cascade | - |
| Kumulative Effekte und damit verbundene Themen | Cumulative / additive effect | Kumulative / additive Effekte |
| | Mortality / delayed mortality / survival / injury / barotrauma | Mortalität / verzögerte Mortalität / Überlebensraten / Verletzungen / Barotrauma |
| | Downstream migration | Fischwanderung / Migration flussabwärts / Fischabstieg |
| | Carrying Capacity | - |

Resultate Literatur

- Die Mortalität bei Kraftwerkspassage ist sehr unterschiedlich
 - artspezifisch
 - anlagespezifisch



Literatur

- Durch Akkumulation über mehrere Kraftwerke können auch kleine Effekte eine grosse Wirkung haben

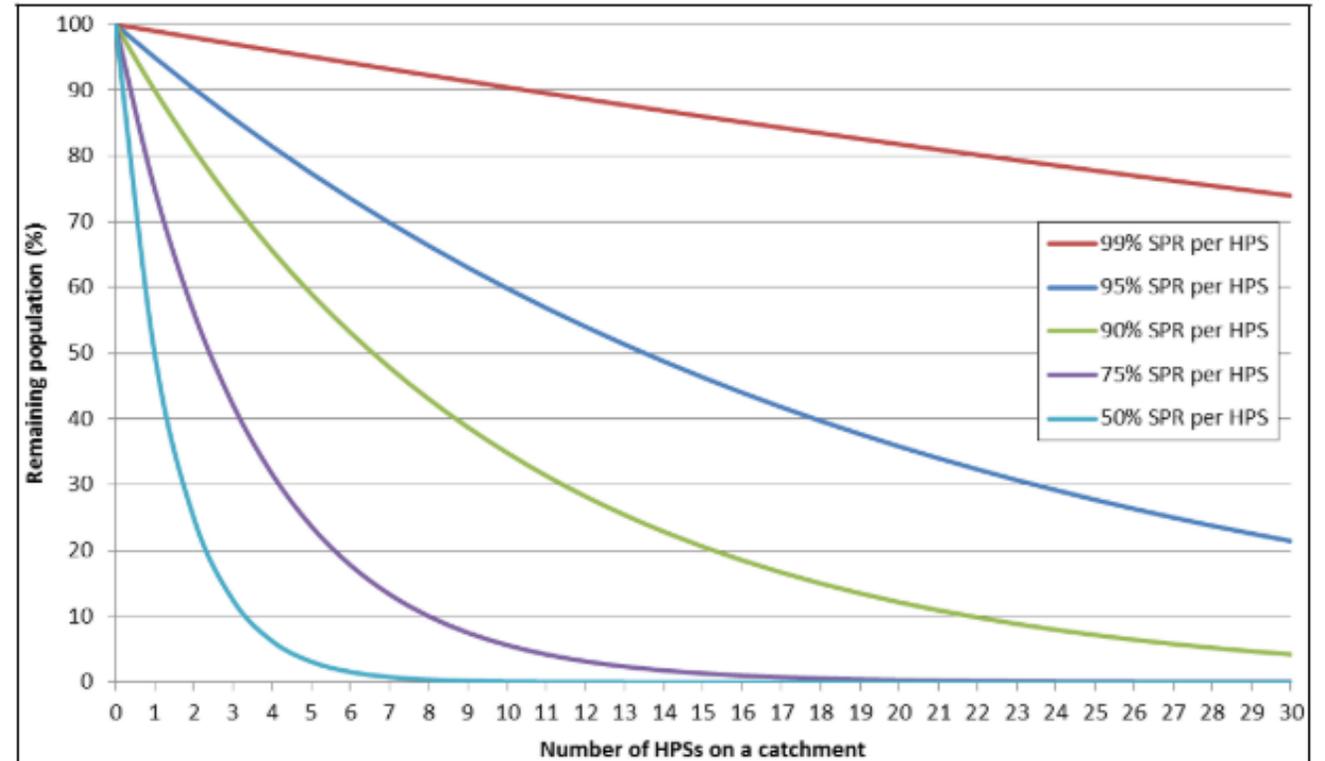


Figure 2.1 Cumulative effects of multiple hydropower schemes on a theoretical fish population, based on scheme passage rates (SPRs)

~~Literatur potamodrome Arten
Keine Studien zur kumulativen Mortalität
beim Fischabstieg~~

Literatur
Diadrome Arten
Norrgård et al. 2013
8 % Verlust in frei
fliessenden Strecken
75 % kraftwerk-
bedingt (Stau und
KW-Passage)

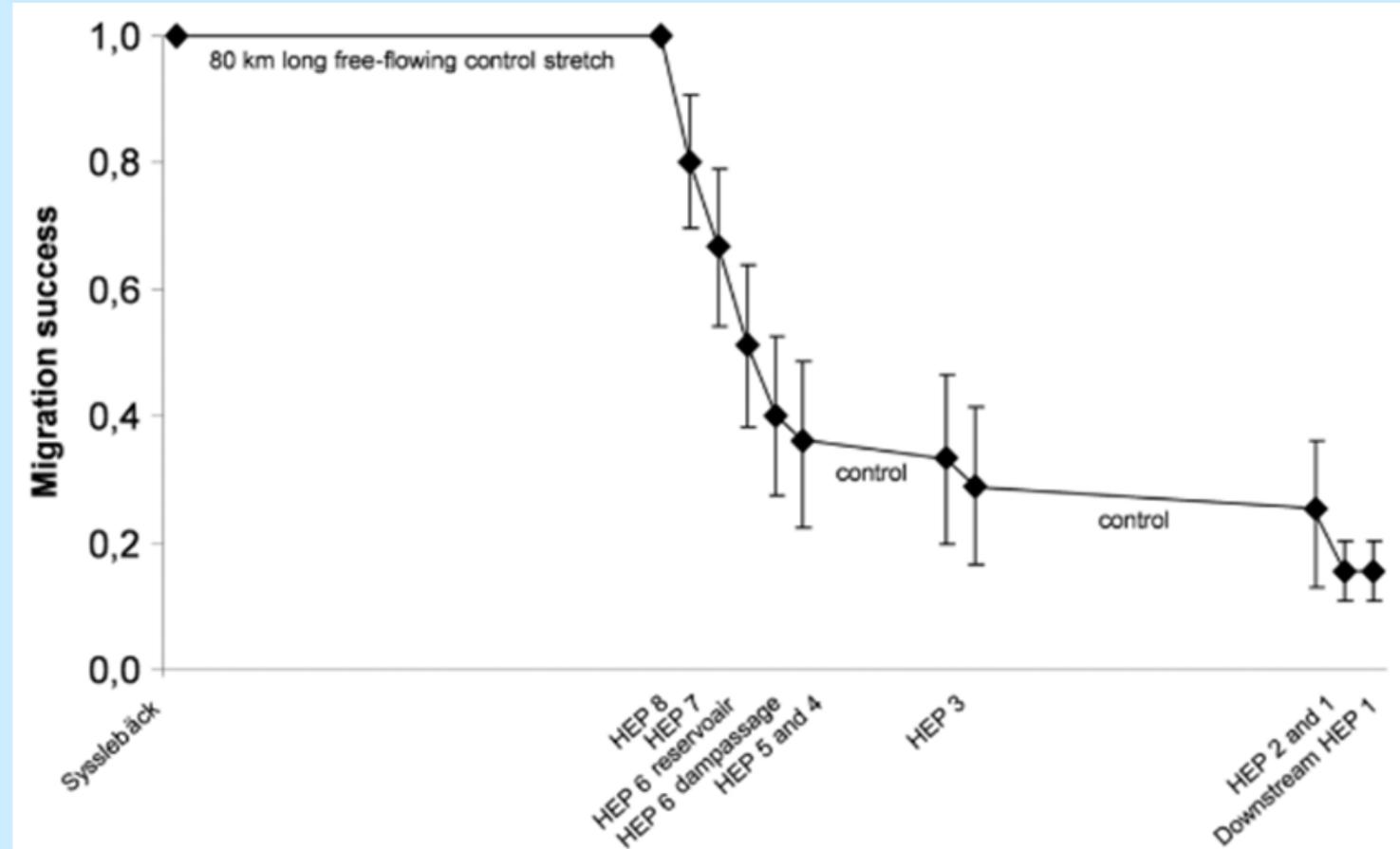


Abbildung 1: Geschätzte Überlebensrate entlang eines 180 km langen Untersuchungsabschnitts mit acht Kraftwerken. Fehlerbalken zeigen die 95 %-Konfidenzintervalle. HEP = Wasserkraftwerk. Aus Norrgård et al.

| Art | Gewässer | N KW | Gesamtverl. | weitere Angaben | Referenz |
|--|---------------------------|------|-------------|---|----------------------------|
| <i>S. salar</i> (<i>Smolts</i>) | Klarälven Schweden | 8 | 84 % | 8 % der Mortalität in freifliessenden Strecken, 76 % bei Kraftwerken | Norrgård et al. 2013 |
| <i>S. salar</i> (<i>Kelts</i>) | Klarälve Schweden | 8 | 94 % | | Nyqvist et al. 2017 |
| <i>S. salar</i> | Winooski River USA | 3 | 90 % | | Nyqvist et al. 2017 |
| <i>S. trutta</i> <i>trutta</i> | Emån Schweden | 2 | 51 % | 31.9 % Verlust durch Turbinenpassage, 25 % durch Prädation in Staubereichen, 12 % durch Desmoltifizierung | Calles & Greenberg 2009 |
|  <i>Anguilla</i> <i>anguilla</i> | Meuse Nieder- lande | 2 | 63 % | 16 - 26 % Verluste durch KW, 22 - 26 % durch Fischerei | Winter et al. 2006 |

Beispiele von Untersuchungen zur kumulativen Mortalität über Kraftwerksketten

Studien zur Auswirkung auf Populationen

- Verschiedene Studien haben kumulative Mortalität an Kraftwerksketten ermittelt, aber **die Auswirkung der Mortalität auf die Population bleibt unbekannt.**
- **Wie hoch ist die maximal zulässige Mortalität pro Kraftwerk oder pro Kraftwerkskette, um den nachhaltigen Fortbestand der Population zu gewährleisten?**

Literatur

Bestehende Konzepte - Cumulative Impact Assessment

Fraser et al. 2015: Cumulative effects of hydropower schemes on fish migration and populations. Environmental Agency UK

- Hilfstoel für Planung von Neuanlagen (Vergleich Referenz – Wasserkraftszenario)
- Konkretes Modell für diadrome Art (*Salmo salar*)

Lachssmolt



Literatur

Bestehende Konzepte - Cumulative Impact Assessment

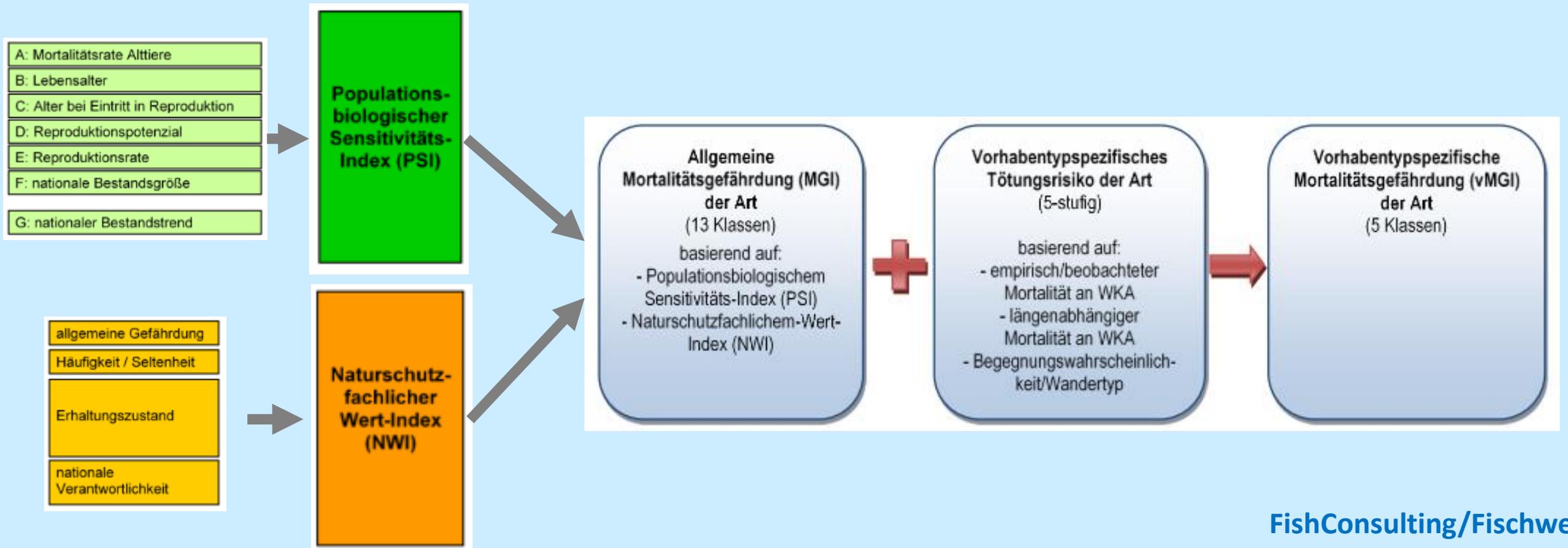
Cowx et al. 2020: FiThydro D 1.4 Cumulative Impact Assessment

- Hilfstool für Planung von Neuanlagen und Sanierungen
- **Ansätze** für diadrome Arten, potamodrome Arten und Habitatsverlust
 - Diadrome Arten: Modell analog zu Fraser et al. 2015
 - Startpunkt: count of original adult population abundance
 - Vorschlag: zusätzlich Habitatseignung aus Felderhebungen
 - Potamodrome Arten: Empirische Daten zur max. Wanderdistanz zur Bestimmung der Anzahl angetroffener Barrieren
 - Habitatsverlust: Anteil Staubeiche vs. freifliessende Strecke, Anzahl Barrieren/km

Literatur

Weitere Konzepte

Wolter et al. 2020: Fachplanerische Bewertung der Mortalität von Fischen an Wasserkraftanlagen



Literatur - Weitere Konzepte

Van Treeck et al. 2021. European Fish Hazard Index (EFHI)

- Inputparameter
 - Vorkommende Fischarten (Sensitivität)
 - Kraftwerksparameter (anlagespezifisch)
 - Abfluss und Änderungen (Schwall-Sunk, Restwasser)
 - Turbinen -> Anzahl, Typ, Dotierung, Fallhöhe, Durchmesser, Anzahl Schaufeln...
 - Fischschutz -> Rechentyp, Abstand, Neigung, Bypass
 - Fischaufstieg, Dotierung
- Output:
 - «Site-specific risk» eines Kraftwerks, als Zahl und Klasse
- Mögliche Verwendung
 - Festlegung Ist-Zustand und Massnahmen
 - Vergleich / Priorisierung von Anlagen

Literatur - Folgerungen

- Bisher keine Praxisanwendung der Konzepte
- Wichtige Inputgrößen oft unbekannt
- Vorgehen für potamodrome Arten?
 - Start-/ Zielpunkt der Wanderungen unbekannt
 - Iteroparität
 - Schlechte Datengrundlage Life history-Werte
- Wie kommt man von CIA zu Zielvorgaben? **CIA=cumulative impact analysis**
- Wie weiter?
 - Berechnung der Mortalität im Ist-Zustand

Framework

Erarbeiten von Zielvorgaben für die Überlebensrate bei Kraftwerkspassagen

- um kumulative Effekte zu quantifizieren
- um die Einflüsse auf eine Population zu simulieren

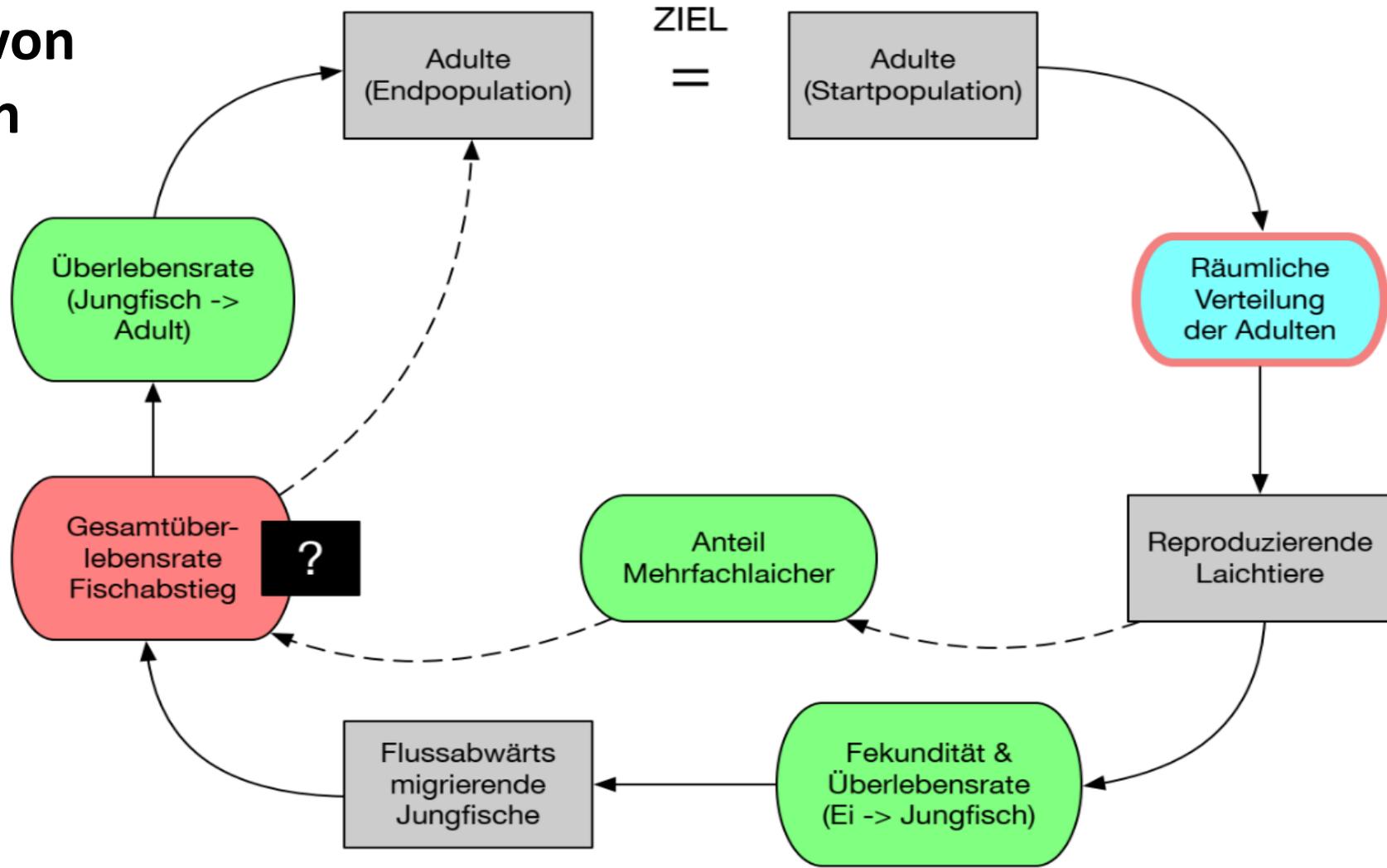
Drei Bausteine:

- **Lebenszyklus (Life history traits)**
- **Habitate**
- **Kraftwerkspassage**

Ziel:

Wie hoch muss Überlebensrate bei KW-passagen sein,
damit Populationserhalt gesichert ist? (Anfangspopulation = Endpopulation)

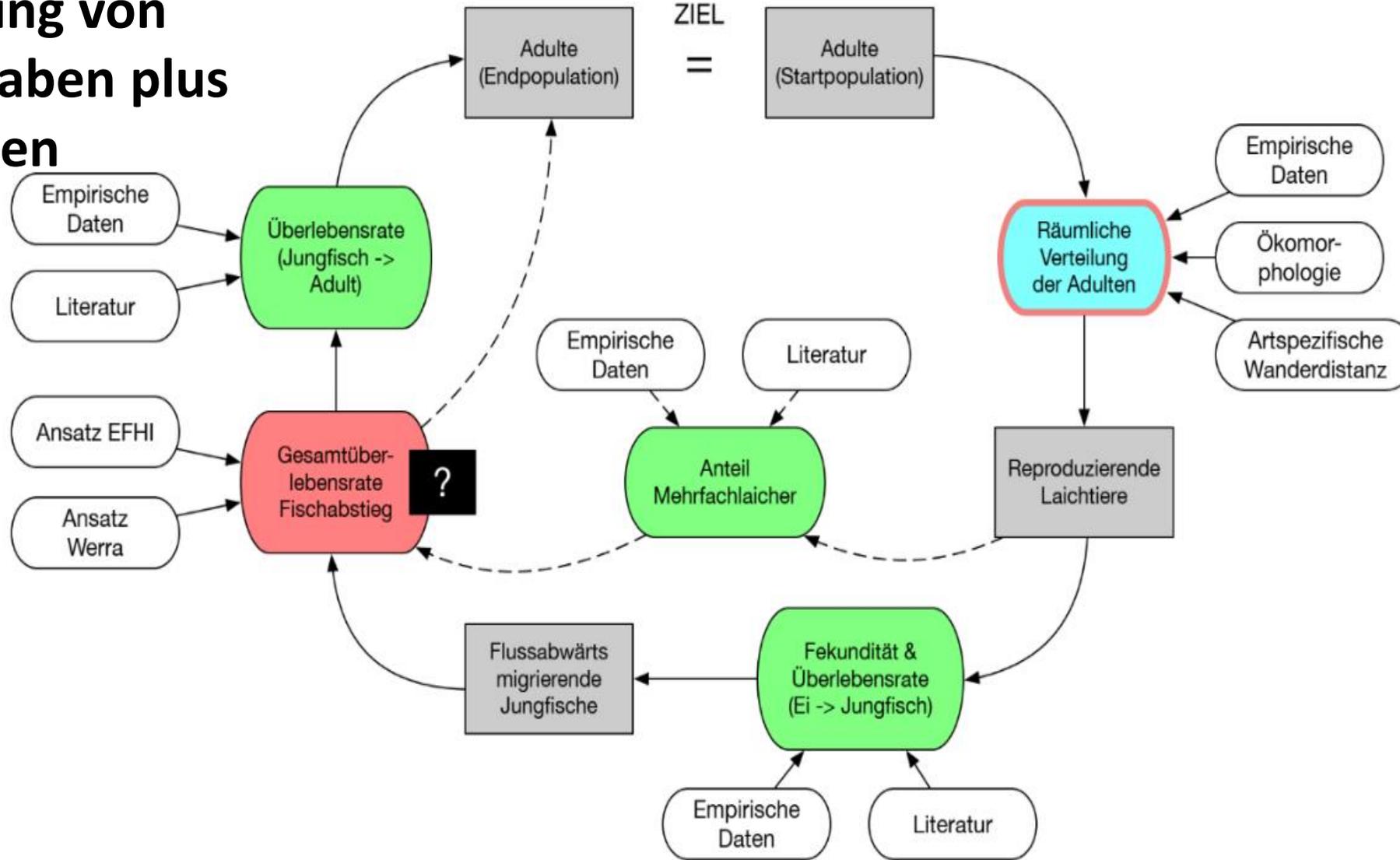
Festlegung von Zielvorgaben



Modellkomponenten:



Festlegung von Zielvorgaben plus Methoden



Modellkomponenten:

Anzahl Fische

Life history traits

Habitat

Kraftwerke

Methoden

Framework Teil A: Festlegung von Zielvorgaben

Quantifizierung

- **Lebenszyklus:**
 - Daten zu Life history traits pro Art (z. B. Wolter et al 2020) -> nicht gewässerspezifisch, daher besser mit Bandbreite für jeden Parameter rechnen.
 - Beispiel Lachs
 - **Beispiel Seeforelle**



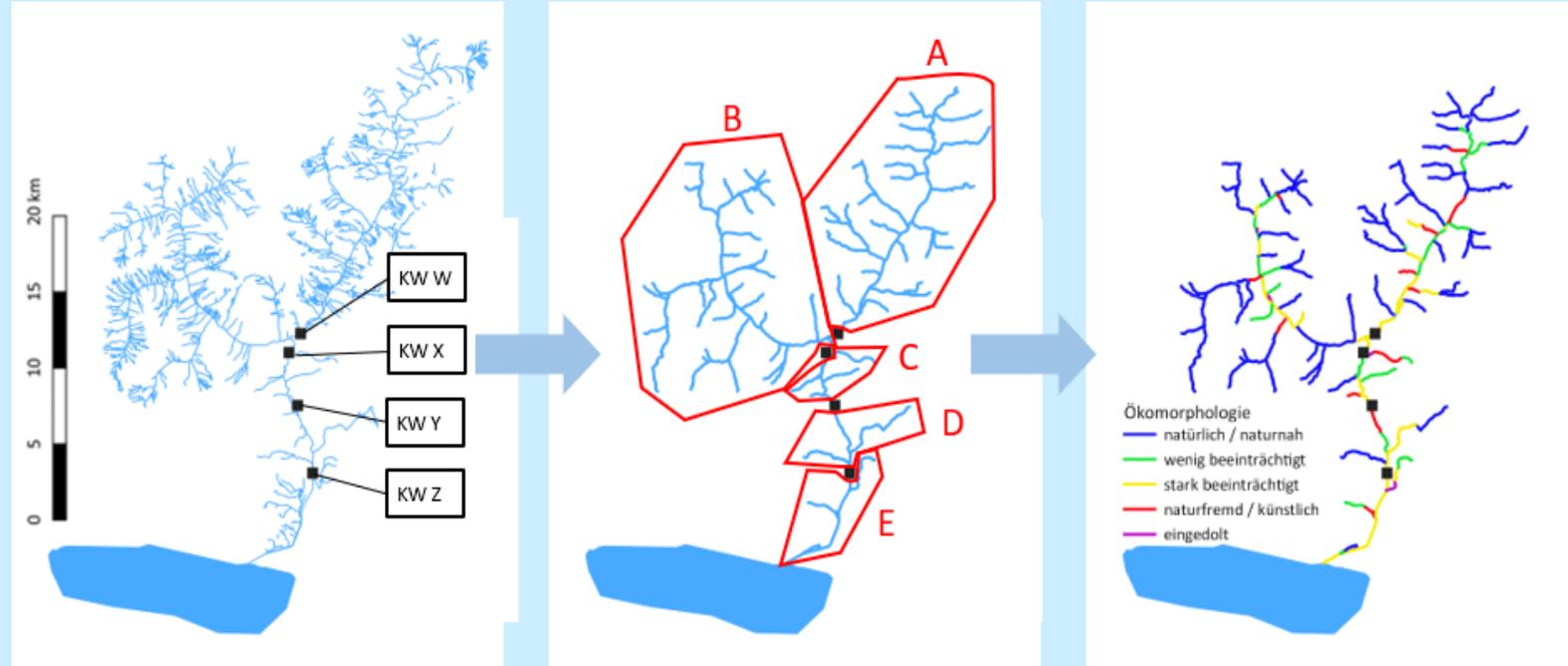
| <i>Life history trait</i> | Wert |
|--|-------------------|
| Anteil Weibchen | 0.5 |
| Anteil Laicher / Rückkehrer | 0.67 |
| Fekundität (Eier/Weibchen) | 3'500 |
| Überlebensrate Ei – Smolt | 0.0052 |
| Überlebensrate 0+ ⁴ – Smolt | 0.08 |
| Überlebensrate Smolt – Adult | 0.149 |
| Anteil Mehrfachlaicher | 0.06 ⁵ |

Framework Teil A: Festlegung von Zielvorgaben

Quantifizierung

- Habitate:**

- Grösse der Startpopulation:
Fläche Gewässerabschnitt *
Habitatqualität (z.B. ÖM) *
erwartete Fischdichte



| Segment | Adulte gem. gewichteter Fläche | Smolts N_{Smolt} | Mehrfachlaicher N_M |
|--------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| A | 316 | 1900 | 15.5 |
| B | 330 | 2189 | 17.8 |
| C | 144 | 1172 | 9.5 |
| D | 100 | 978 | 8 |
| E | 109 | 1132 | 9.2 |
| Total | 1000 | 7371 | 60 |

Framework Teil A: Festlegung von Zielvorgaben

Quantifizierung

- **Kraftwerkspassage:**
 - Unter Vorgabe, dass für alle KW's die gleiche Zielvorgabe (s_x) gelten muss:

$$N_{\text{Adult_End}} = (N_{\text{Smolt_A}} * s_x^4 + N_{\text{Smolt_B}} * s_x^3 + N_{\text{Smolt_C}} * s_x^2 + N_{\text{Smolt_D}} * s_x + N_{\text{Smolt_E}}) * s_{S-A} \\ + N_{\text{M_A}} * s_x^4 + N_{\text{M_B}} * s_x^3 + N_{\text{M_C}} * s_x^2 + N_{\text{M_D}} * s_x + N_{\text{M_E}}$$

- $s_x = 0.94$
- Überlebensrate an jedem einzelnen Standort mindestens 94 %!
(ZIEL-Vorgabe)

Über-
lebensrate
Fischabstieg

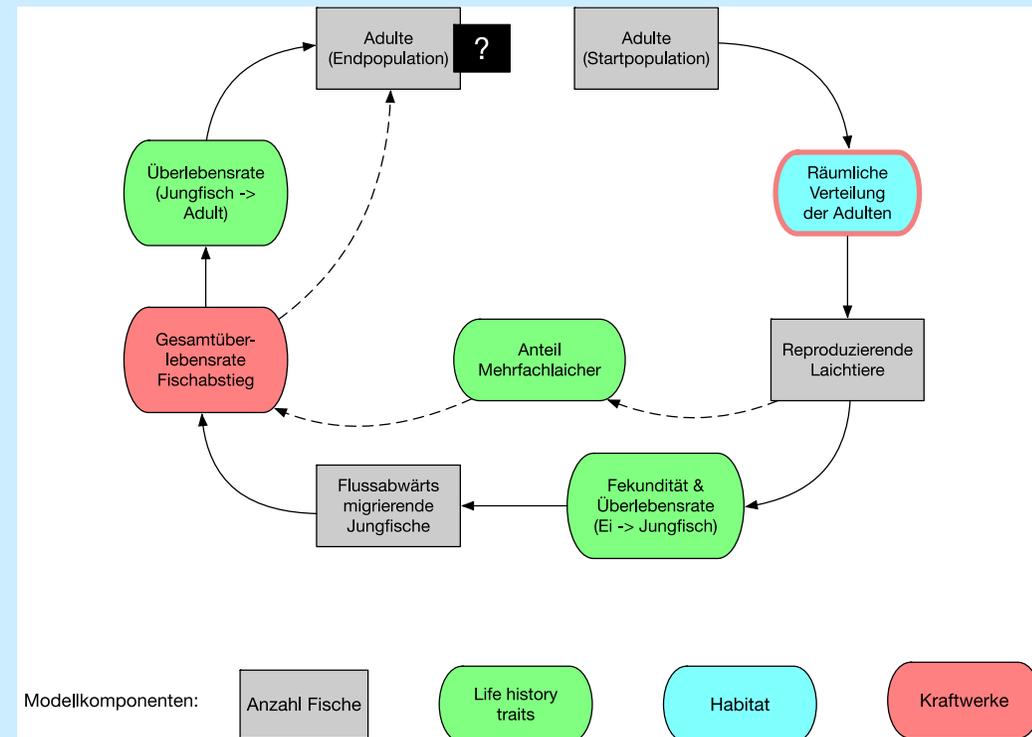
?

Überprüfung – IST-Zustand:

- Wie sieht die effektive Überlebensrate pro KW aus? (**Baustein Kraftwerk**)
- Wie verändert sich die Endpopulation verglichen zur Startpopulation effektiv?

Framework Teil B: Überprüfung IST-Zustand & Handlungsbedarf

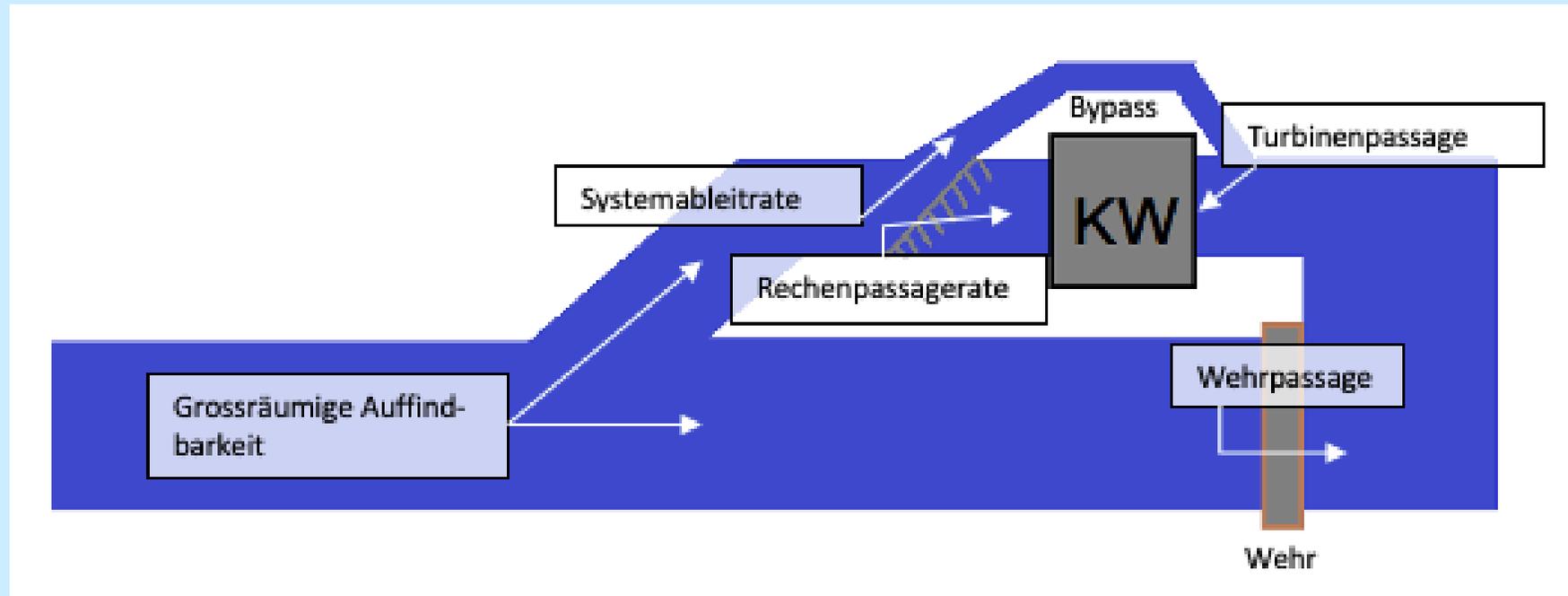
- Bekannt: ZIEL-Vorgabe (Überlebensraten bei KW-Passagen)
- Unbekannt: IST-Zustand
 - Dazu braucht es eine Berechnung der KW-bedingten Mortalität bzw. der Überlebensrate an jedem KW-Standort.



Kraftwerke – Überprüfung IST-Zustand und Handlungsbedarf

Kraftwerkspassage

- Orientierung am Ansatz „Werra“ (Schmalz & Sauerwein 2015)



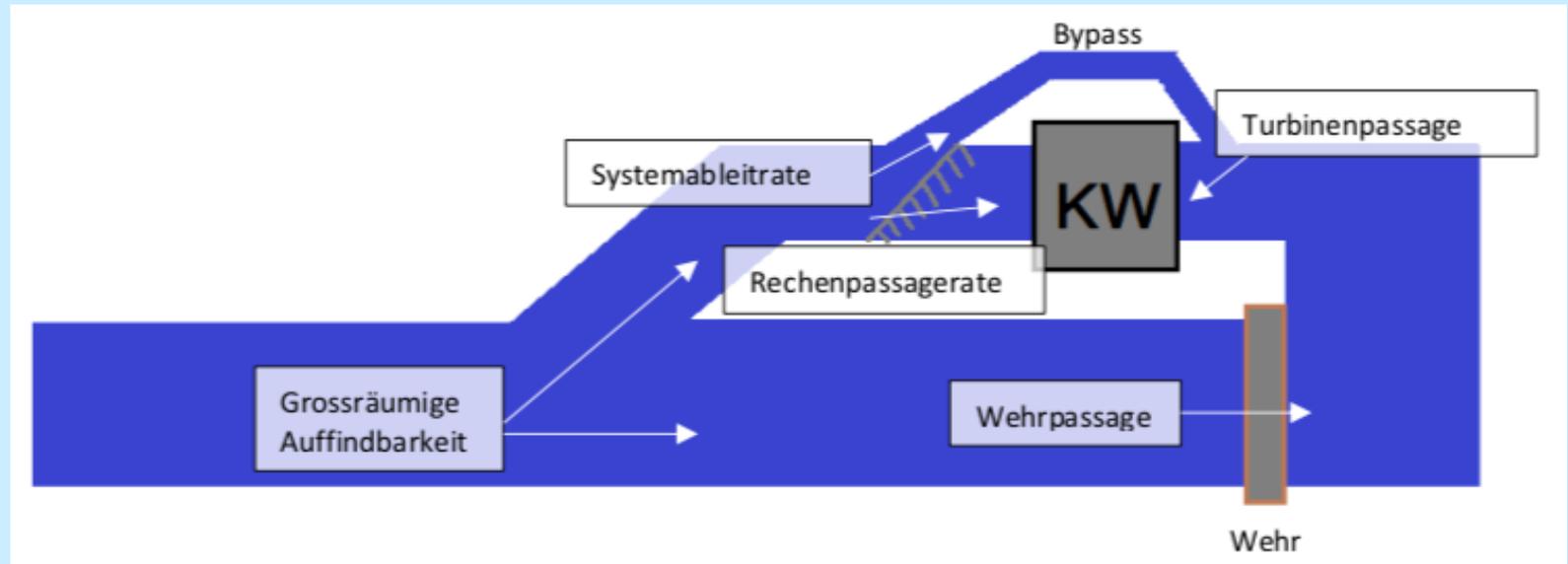
- **Passierbarkeit**
- **Quantifizierung** Überlebensrate pro Wanderkorridor

| Parameter | Anteil | Indikatoren |
|--------------------------------|---|---|
| Grossräumige Auffindbarkeit | Prozentuale Aufteilung Fische gemäss Durchflussmenge | - Durchflussmenge je Korridor |
| Kleinräumige Auffindbarkeit | (Vorläufer für Systemableit- und Rechenpassagerate) | - Positionierung Bypass - Dotation Bypass |
| Systemableitrate (Bypass) | Kleinräumige Auffindbarkeit * Rückhaltevermögen Rechen | - Anströmgeschwindigkeit - Stababstand (+ Verhaltenskomponente) |
| Rechenpassagerate | 1 - Systemableitrate | - Fischbreite - Lichter Stababstand |
| Überlebensrate Turbinenpassage | Anteil aus Rechenpassagerate | - Turbinentyp - Dimensionierung - Betriebszustand Turbine - Fallhöhe - Fischart / -grösse |
| Überlebensrate Wehrpassage | Anteil ergibt sich über grossräumige Auffindbarkeit | - Ausprägung Wehrrücken - Tosbecken (Wassertiefe, Störkörper) - Fallhöhe |

Framework Teil B: Überprüfung IST-Zustand & Handlungsbedarf

Ansatz:

- Passierbarkeit =



- Quantifizierung: (Überlebensrate pro Wanderkorridor)

$$\text{Gew. Überlebensrate}_{\text{Bypass}} = \text{gr. Auffindbarkeit}_{\text{Turbine \& Bypass}} * \overbrace{(\text{Schutzwirkung Rechen} * \text{kl. Auffindbarkeit})}^{\text{Systemableitrate}}$$

$$\text{Gew. Überlebensrate}_{\text{Turbine}} = \text{gr. Auffindbarkeit}_{\text{Turbine \& Bypass}} * \overbrace{\text{Rechenpassagerate}}^{1 - \text{Systemableitrate}} * \text{Überlebensrate Turbine}$$

$$\text{Gew. Überlebensrate}_{\text{Wehr}} = \text{gr. Auffindbarkeit}_{\text{Wehr}} * \text{Überlebensrate Wehrabstieg}$$

Framework Teil B: Überprüfung IST-Zustand & Handlungsbedarf

Quantifizierung: (Überlebensrate pro Wanderkorridor)

| Kriterium | Kraftwerk | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | W | X | Y | Z |
| Grossräumige Auffindbarkeit <small>Turbine & Bypass</small> | 0.625 | 0.8125 | 0.75 | 0.72 |
| Systemableitrate | 0.49725 | 0.221 | 0.612 | 0.432 |
| Kleinräumige Auffindbarkeit | 0.975 | 0.85 | 0.85 | 0.6 |
| Schutzwirkung Rechen | 0.51 | 0.26 | 0.72 | 0.72 |
| Gewichtete Überlebensrate <small>Bypass</small> | 0.311 | 0.180 | 0.459 | 0.311 |

| Kriterium | Kraftwerk | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | W | X | Y | Z |
| Grossräumige Auffindbarkeit <small>Turbine & Bypass</small> | 0.625 | 0.8125 | 0.75 | 0.72 |
| Rechenpassagerate | 0.50275 | 0.779 | 0.388 | 0.568 |
| Überlebensrate Turbine | 0.5 | 0.25 | 0.4 | 0.5 |
| Gewichtete Überlebensrate <small>Turbine</small> | 0.157 | 0.158 | 0.116 | 0.204 |

| Kriterium | Kraftwerk | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | W | X | Y | Z |
| Grossräumige Auffindbarkeit <small>Wehr</small> | 0.375 | 0.1875 | 0.25 | 0.28 |
| Überlebensrate Wehrabstieg | 0.975 | 0.85 | 0.975 | 0.975 |
| Gewichtete Überlebensrate <small>Wehr</small> | 0.366 | 0.159 | 0.244 | 0.273 |

| Kraftwerk | Gesamtüberlebensrate (in %) | Zielvorgabe | Defizit |
|-----------|-----------------------------|-------------|---------|
| W | 0.834 (83 %) | 94 % | 11 % |
| X | 0.497 (50 %) | 94 % | 44 % |
| Y | 0.819 (82 %) | 94 % | 12 % |
| Z | 0.789 (79 %) | 94 % | 15 % |

| | Segment | | | | |
|--|--------------|-----|------|------|------|
| | E | D | C | B | A |
| Adulttiere Startpopulation | 1000 | | | | |
| Zu erwartende Laichtiere | 154 | 133 | 159 | 297 | 258 |
| Resultierende Smolts <i>(Fekundität, Überlebensraten)</i> | 1132 | 978 | 1172 | 2189 | 1900 |
| Überlebende Smolts nach Abstieg | 1132 | 771 | 757 | 703 | 508 |
| Resultierende Adulttiere <i>(Überlebensrate Smolt - Adultfisch)</i> | 169 | 115 | 113 | 105 | 76 |
| Summe Adulttiere aus Smolts | 578 | | | | |
| Zu erwartende Mehrfachlaicher | 9 | 8 | 10 | 18 | 15 |
| Überlebende Mehrfachlaicher nach Abstieg | 9 | 6 | 6 | 6 | 4 |
| Summe Adulttiere aus Mehrfachlaichern | 31 | | | | |
| Gesamtanzahl Adulttiere nach einem Zyklus | 609 | | | | |
| Relativer Bestand nach einem Zyklus | 0.609 | | | | |

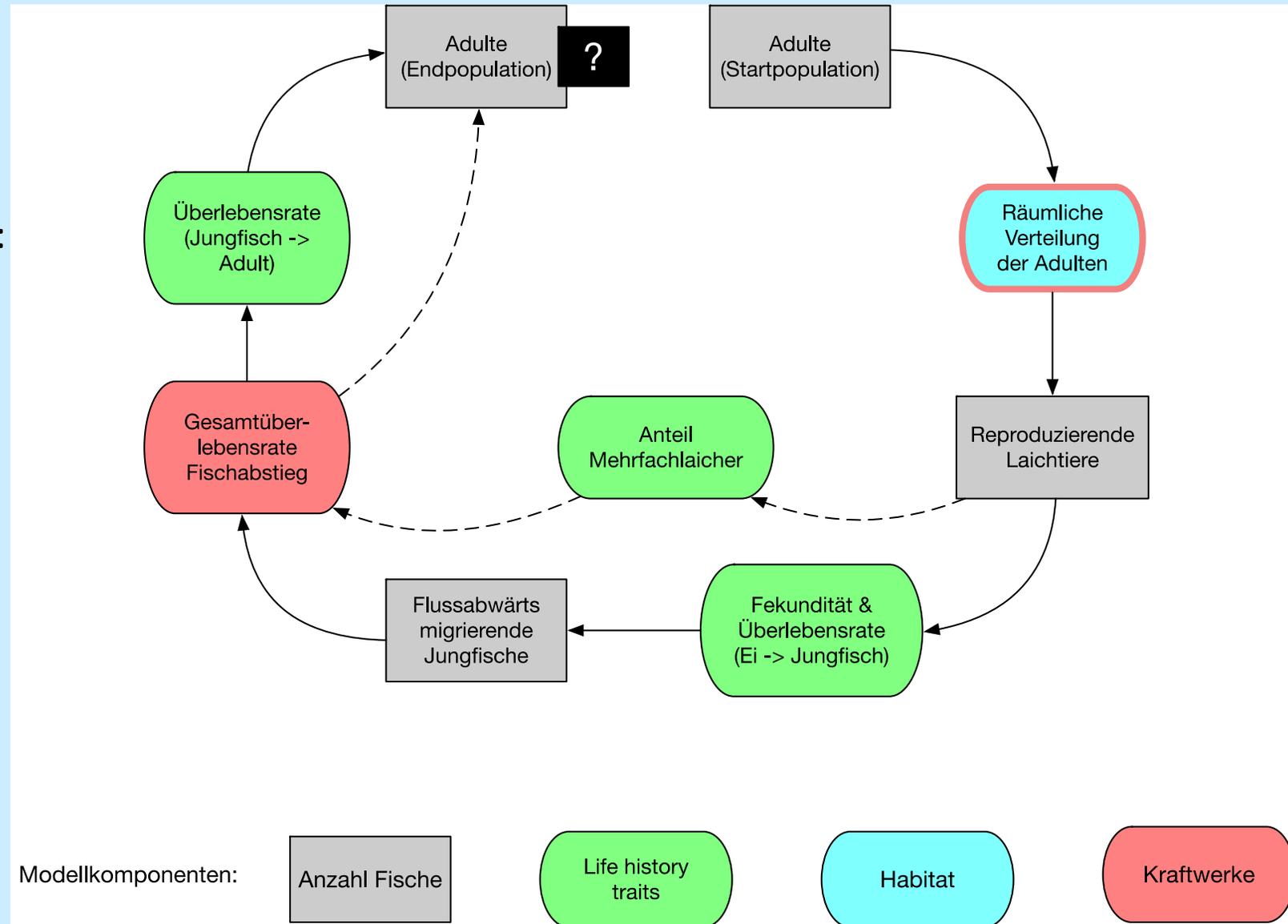
CIA = cumulative impact assessment

Handlungsbedarf

Massnahmen:

Können direkt im Framework getestet werden durch Ersetzen von Werten im:

- **Baustein Kraftwerk** (Schutzwirkung Rechen, Verbesserung der Anströmung, effizienter Bypass)
- **Baustein Habitate** (Aufwertung der Lebensräume -> Laichgebiete, höhere Habitatsqualität)

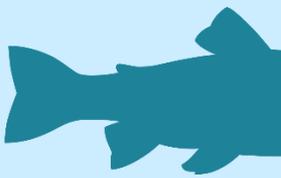


Kritische Bemerkungen – Einschränkungen

- Inputvariable sind art- und standortabhängig
- Lebensraumkapazität müsste für jede Altersstufe getrennt berechnet werden
- Wanderwege potamodromer Arten sind meist nicht bekannt
- Systemableitrate ist anhand einfacher Kriterien festgelegt
- Verluste durch Prädation im Stauraum nicht berücksichtigt
- etc.

Weiteres Vorgehen

- Erweiterung des Frameworks
- generelles Modell mit fisch- und gewässerspezifischen Daten erstellen
- Framework an Fallbeispielen testen
- Feldstudien zur Schliessung von Wissenslücken



Speziellen Dank an

- Bundesamt für Umwelt: Martin Huber & Katharina Lange
- Ricardo Mendez
- Maria Schmalz
- Stefan Schmutz
- Falko Wagner
- Christian Wolter





Besten Dank

Download Bericht
www.bafu.admin.ch