Modellierung der Effekte turbinenbedingter Schädigungen von Fischen bei der Flussabwärtswanderung auf Populationsniveau

Arbeitspaket 4, Projekt
„Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich. Populationsbiologische Grundlagen und Implikationen für den Fischschutz und Fischabstieg“

Andreas Zitek, EcoScience

Augsburg, 27. Februar 2025

Im Auftrag von:

Gefördert durch:

FFG Forschungsgesellschaft (Projektnummer: 867778)

Zielsetzung - Umlegung auf Populationsnivenau

- **Auswirkung** Turbinen-induzierter Mortalität bei unterschiedlichen Altersstadien **auf Populationen** typischer ausgewählter potamodromer Fischarten?
- **Modellierung der Auswirkung der Mortalitäten** von **Adulten, Subadulten, Juvenilen** und **Larven** bei der Turbinenpassage hinsichtlich der Gesamtpopulation über
  - **ein Jahr** (STRIKER Modell, Turnpenny)
  - **und 25 Jahre –** erstmals Larven- und Jungfischstadien gemeinsam mit älteren Stadien modelliert
- Berücksichtigung **Prozentsatz abwandernder Fische** (Larven bis Adulte)
- Berücksichtigte Mortalitätsfaktoren
  - **Blade strike** (angepasster Abminderungsfaktor anhand Felddaten) für adulte und subadulte/juvenile Stadien
  - **Barotrauma** für Larven, Jungfische und 0+
- **Sensitivitätsanalyse** und **Evaluierung der Wirkweise von Maßnahmen**

Input Passagewahrscheinlichkeit Turbine (Adulte/ Subadulte)

Wahrscheinlichkeiten einer Turbinenpassage zwischen 17 % und 39 % (Mittelwert 28%).

- Eingangswert **min. 0,17 Passagen pro Jahr**
- Eingangswert **max. 0,39 Passagen pro Jahr**

Art	**Kraftwerkspassagen flussab pro Jahr**	**Anteil durch Turbine**			**Turbinenpassagen pro Jahr**		
		min	MW	max	min	MW	max
Barbe	0,67	0,20	0,34	0,49	0,13	0,22	0,32
Nase	0,64	0,30	0,53	0,75	0,19	0,34	0,48
Aitel	0,58	0,29	0,41	0,53	0,17	0,24	0,31
Total	**0,63**	**0,27**	**0,44**	**0,62**	**0,17**	**0,28**	**0,39**

Input Passagewahrscheinlichkeit (Larven und 0+)

- **Driftstadium** (umfassende Literaturstudie)
  - Äsche
    - L1-L2, 0+
  - Barbe
    - L3 (obwohl auch andere in geringerem Ausmaß driften), 0+
  - Nase
    - L1, 0+
  - Aitel
    - L1 und L3, 0+
  - Flussbarsch
    - L1-L5 (sehr unterschiedliche Angaben), 0+

- **Szenarien von 10, 30, 60, 90 % der Larven wandern ab, bei Flussbarsch auch 1 % als Szenario**

- *Habitatverfügbarkeit flussab Laichplatz*
- *Fließgeschwindigkeiten*
- *Austauschzeiten Stauraum*

Parameter	Mur Stauram Gralla/Gabersdorf/Spielfeld		Mittlerer Stauraum Donau	
Mittlere Breite	80	m	300	m
Mittlere Tiefe (grobe Schätzung)	5,5	m	8	m
Länge Stauraum (im Gebiet 4 bis 5,6 km)	5000	m	25000	m
Grobes Wasservolumen	2200000	m3	60000000	m3
MQ Mai-Juni	200	m3/s	2400	m3/s
Mittl. Austauschzeit	11000	sek	25000	sek
Mittl. Austauschzeit	**3,1**	**h**	**6,9**	**h**
Anteil Drift	50	%	50	%
Mittlere Driftdauer passives, homogen verteiltes Teilcl	**92**	**min**	**208**	**min**

Blade Strike Input – 48 h survival

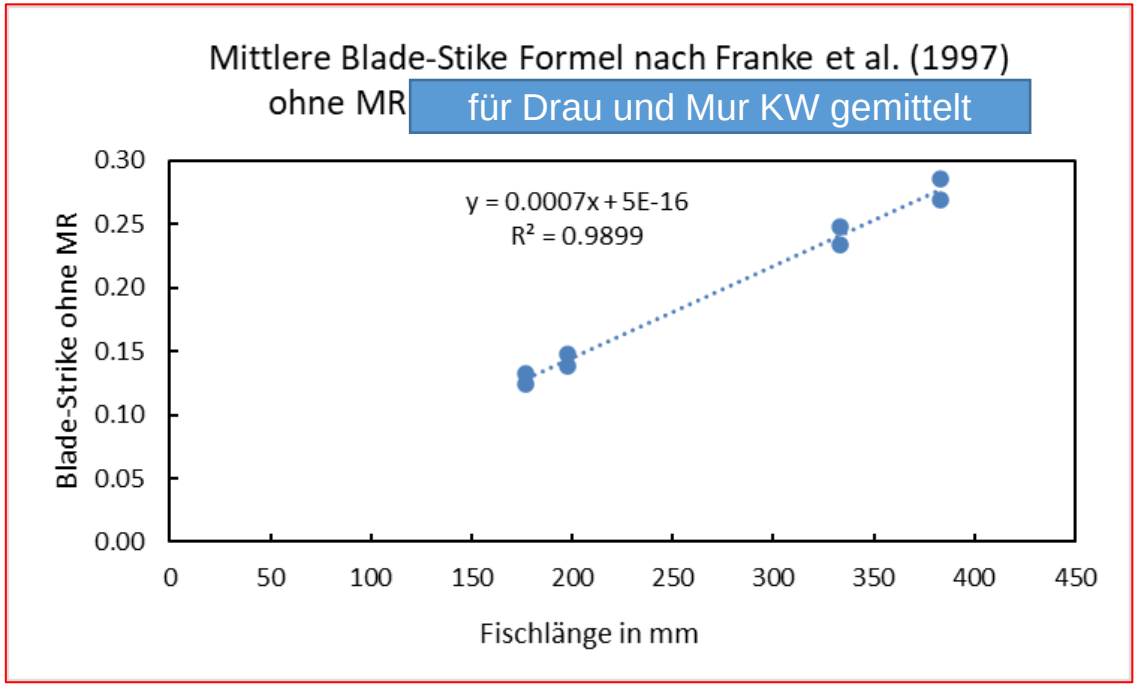
Berechnet die Wahrscheinlichkeit, tödlich von einer Turbinenschaufel getroffen zu werden.

$$P_{Mortality,Strike} = \underbrace{\boxed{\lambda} \cdot N \cdot L}_{\text{Vorkoeffizient}} \cdot \underbrace{\left[\frac{\omega}{2 \cdot \pi \cdot V_1} + \frac{\sin \alpha_a}{2 \cdot \pi \cdot r}\right]}_{\text{Schaufelkoeffizient}}$$

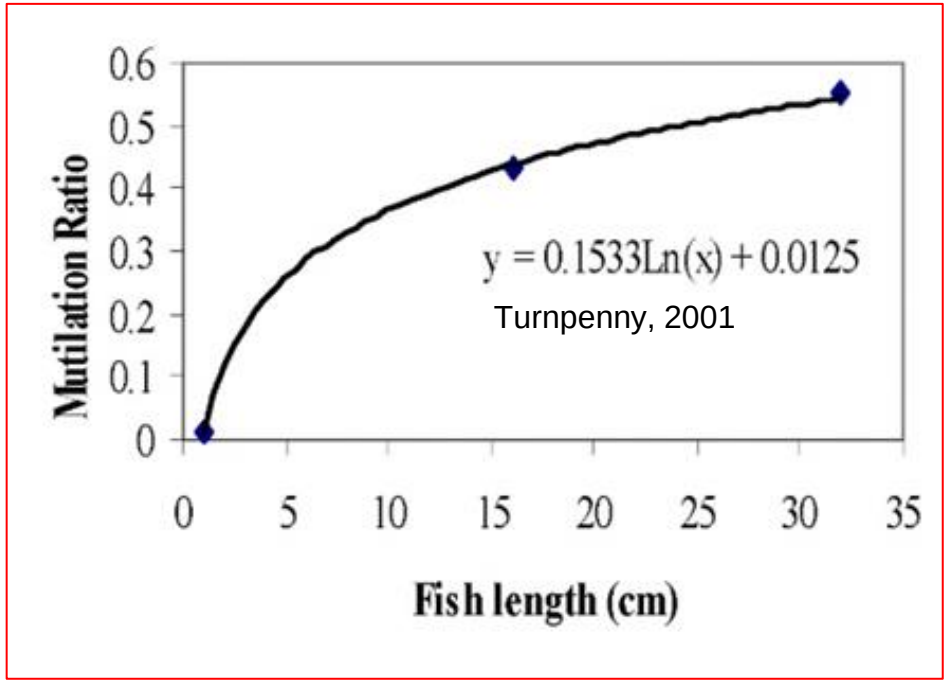
Franke et al. (1997)

$$\boxed{\lambda = 0.15533 \ln(L/100) + 0.0125}$$

N= Anzahl der Schaufeln
L=die Fischlänge.
ω= Umdrehungsgeschwindigkeit
V1 =Fließgeschwindigkeit,
α_a=Axialwinkel der Strömung beim Eintritt
r = den Radius der Turbine
λ = Abminderungsfaktor



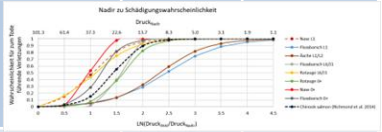
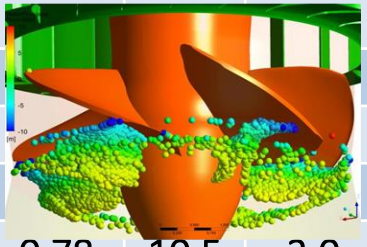
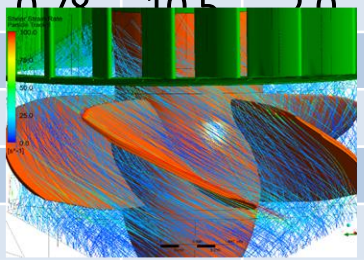
Lineare Blade-Strike % ohne Mutilation-ratio

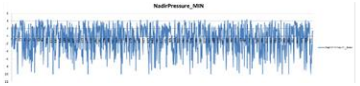


Längenabhängige Mutilation Ratio

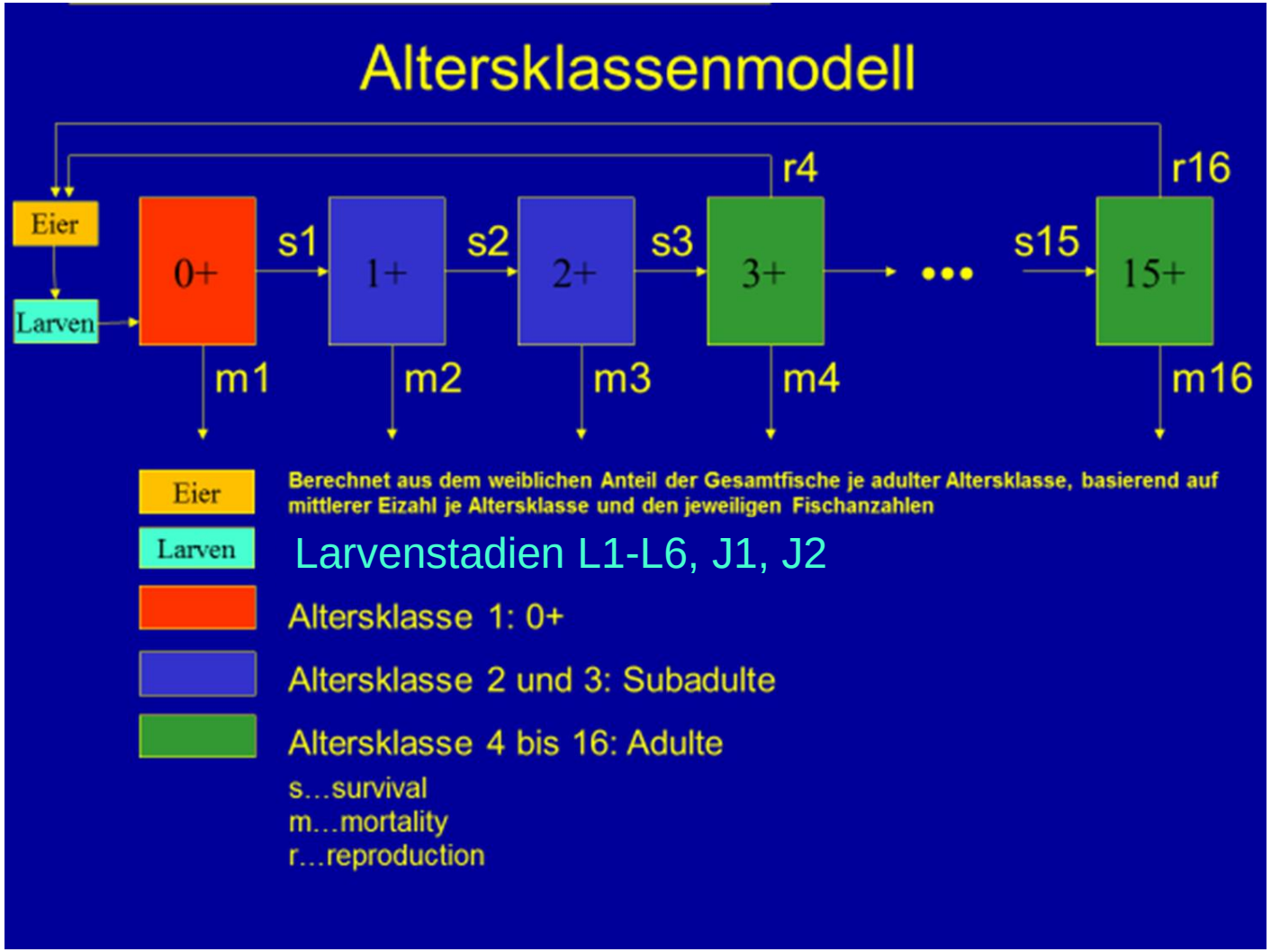
Barotrauma Input

Berechnete Schädigungsraten (Partikelsimluation) pro Larvenstadium

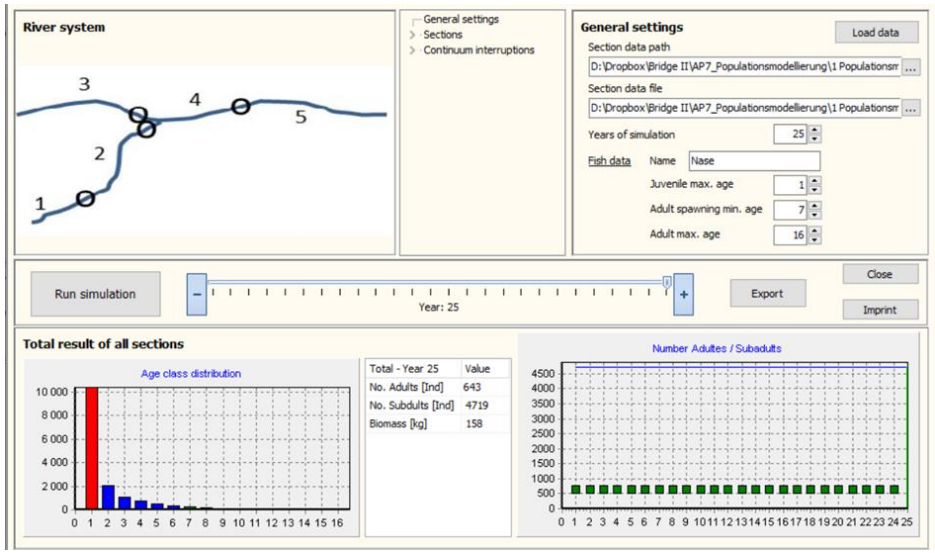
Kraftwerksstandort		Drau-KW	Mur-KW
Art/Stadium	Logistische Regression - Excel Formel	% M VL	
Äsche L1	Keine Ausfälle	0	
Nase L1	P(X)=EXP(-3,319+3,194*LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$)/(1+EXP(-3,319+3,194* LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$))	8,2	
Flussbarsch L1	P(X)=EXP(-4,848+1,974*LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$)/(1+EXP(-4,848+1,974* LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$))	1,4	
Flussbarsch L6/J1	P(X)=EXP(-10,909+6,998*LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$)/(1+EXP(-10,909+6,998* LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$))	2,4	
Rotauge L6/J1	P(X)=EXP(-3,003+2,737*LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$)/(1+EXP(-3,003+2,737* LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$))	7,8	0,78 10,5 2,0
Rotauge 0+	P(X)=EXP(-6,492+4,017*LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$)/(1+EXP(-6,492+4,017* LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$))	2,8	
Nase 0+	P(X)=EXP(-7,257+7,377*LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$)/(1+EXP(-7,257+7,377* LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$))	8,0	
Äsche 0+	P(X)=EXP(-5,182+2,222*LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$)/(1+EXP(-5,182+2,222* LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$))	1,4	
Flussbarsch 0+	P(X)=EXP(-5,720+4,806*LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$)/(1+EXP(-5,720+4,806* LN($Druck_{Akkl}$/$Druck_{Nadir}$))	5,9	



Modellierungsansatz 1 - altersklassenbasiertes Modell



Excel & FishPop-Software V1.4



Zitek, A., Haunschmid, R., Ratschan, C. & Vogl, R. (2013) Simulating the effects of hydropower dams on potamodromous fish populations with a special focus on downstream migration in river systems affected by multiple human pressures. 5th European River Restoration Conference, 11.-13.09.2013, Vienna. RESTORE and ECCR.

Modellierungsansatz 2 – Zero Impact Model, 1 Jahr / 25 Jahre

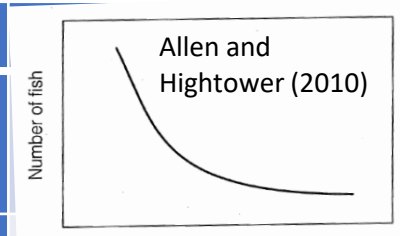
- „Stabile“ Ausgangspopulation in Abschnitt mit Kraftwerken OHNE Turbinenschädigung, **habitatbedingte Limitierung** in gegebene Survival-Raten integriert – „Zero-Impact Model“ (andere Einflüsse)
- Hinzufügen der kraftwerksbedingten Schädigungen
  - In Bezug zu den **erwarteten Schädigungen (Blade-Strike und Barotrauma),** in Abhängigkeit der **Wanderraten (Telemetrie, Annahmen bei Larven bis 0+)**
- Berechnung der Schädigungen in einem Jahr
- Berechnung der Auswirkung der Schädigungen über mehrere Jahre (25)
- Relative Vergleiche der Änderung und Sensitivität der Parameter
  - 10 %, 20 % bzw. zur Aufhebung der neg. Auswirkung notwendige Reduktion der Mortalität bei unterschiedlichen Altersstadien, einzeln und in Kombination
  - Abhalten von Fischen von 20, 30, 40, 50 mm Körperbreite
- Bewertung: Wirkweise von Maßnahmen werden gegenübergestellt

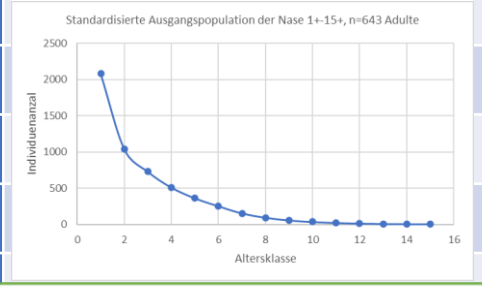
Wichtige Input-Parameter (Äsche, Aitel, Barbe Nase, Flussbarsch)

- Alter bei erster Reproduktion
- Maximales Alter
- Längen-Altersklassenfunktion (aus Schuppen- Otolithenlesungen)
- Eizahl pro kg bzw. Länge
- Längen-Gewichtsregression Formel
- Gewichts-Eizahl Regression
- Natürliche (gegebene) Mortalität je Altersklasse
- Zusätzliche Mortalitäten
- Reproduktionspotential (Nachkommen bei einem bestimmten Stadium)
- Drift- bzw. Wanderstadium

Beispiel Life History Parameter Nase & Startpopulation

Typische Populationsverteilung bei Fischen





Parameter	Gewählter Wert
Längen-Gewichtsregression	a = -5,770
Formel: 10^(b*LOG(L)+a)	b = 3,314
Alter aus Länge (mm)	y=0,8167*EXP(0,0052*L(mm)) (Pielach)
Alter bei erster Reproduktion	6+ (Pielach)
Maximales Alter	15+ (Pielach)
Eizahl pro kg	40000 (Kainz und Gollmann, 1999)
Mortalität Adulte	0,39 (Pielach)
Driftstadien	**L1, 0+**

Year	N	Surv	Repr	Weight
1	10376	0.20		0.01
2	2075	0.50		0.014
3	1038	0.70		0.07
4	726	0.70		0.23
5	508	0.71		0.40
6	356	0.70		0.54
7	253	0.61	40000	0.69
8	154	0.61	40000	0.85
9	94	0.61	40000	1.10
10	57	0.61	40000	1.21
11	35	0.61	40000	1.44
12	21	0.61	40000	1.54
13	13	0.61	40000	1.59
14	8	0.61	40000	1.65
15	5	0.61	40000	1.69
16	3	0.00	40000	1.75

Festlegung einer **Startpopulation mit ca. 650 adulten Individuen** (in etwa wie in der unteren Mur, Ausgangsdaten – E-Befischungen an der unteren Mur)

Schadens-berechnung anhand zusätzlicher Mortalitäten

Year	N	Surv	Repr	Weight
1	10376	0.186		0.010
2	2075	0.493		0.014
3	1038	0.682		0.07
4	726	0.671		0.23
5	508	0.673		0.40
6	356	0.660		0.54
7	253	0.571	40000	0.69
8	154	0.568	40000	0.85
9	94	0.565	40000	1.10
10	57	0.562	40000	1.21
11	35	0.559	40000	1.44
12	21	0.558	40000	1.54
13	13	0.557	40000	1.59
14	8	0.556	40000	1.65
15	5	0.556	40000	1.69
16	3	0.000	40000	1.75

Berechnung Schädigungen – ab 1+ (Excel)

		Eizahl kalk.				3509401	2636032	1908888	1387442	1010833	658858	415241	261619	164780	103754
	10	F				27742	34161	40554	48321	57712	61667	63713	65807	67948	70137
Nase Stadium	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+	14+	15+
Fischlänge	***123***	***197***	***284***	***337***	***368***	***397***	***423***	***445***	***469***	***495***	***505***	***510***	***515***	***520***	***525***
Anzahl Ausgangspopulation, Berechnung nach Nt+1= Nt*S	2075	1038	726	508	356	253	154	94	57	35	21	13	8	5	3
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Min mittleres KW 17 %	2063	1026	713	497	347	246	150	91	55	34	21	13	8	5	3
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Max mittleres KW 39 %	2047											12	7	4	3
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Min mittleres KW	2063											13	8	5	3
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Max mittleres KW	2047											12	7	4	3
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Min mittleres KW	2063											13	8	5	3
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Max mittleres KW	2047	1011	696	482	335	237	144	87	53	32	20	12	7	4	3
Survivalrate S natürlich %	**0,5**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,61**	**0,61**	**0,61**	**0,61**	**0,61**	**0,61**	**0,61**	**0,61**	**0,61**	**0**
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Min mittleres KW 10 % Larven	0,497	0,692	0,687	0,684	0,682	0,593	0,592	0,591	0,589	0,588	0,587	0,587	0,587	0,586	
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Max Mittleres KW 30 % Larven	0,493	0,682	0,671	0,664	0,660	0,571	0,568	0,565	0,562	0,559	0,558	0,557	0,556	0,556	
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Min mittleres KW 60 % Larven															
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Max Mittleres KW 60 % Larven															
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Min mittleres KW 90 % Larven															
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Max Mittleres KW 90 % Larven															
Schädigungswahrscheinlichkeit Min (48 h) mittleres KW	**0,03**	**0,07**	**0,11**	**0,13**	**0,15**	**0,16**	**0,18**	**0,19**	**0,20**	**0,21**	**0,22**	**0,22**	**0,23**	**0,23**	**0,23**
Survival 48 h mittleres KW je Länge berechnet BS	*0,97*	*0,93*	*0,89*	*0,87*	*0,85*	*0,84*	*0,82*	*0,81*	*0,80*	*0,79*	*0,78*	*0,78*	*0,77*	*0,77*	*0,77*
Mutilation Ration Turnpenny längenabhängig	0,402	0,475	0,532	0,559	0,572	0,584	0,594	0,602	0,610	0,619	0,622	0,623	0,625	0,626	0,628
BS ohne Mutilation ratio linear	0,086	0,138	0,199	0,236	0,257	0,278	0,296	0,311	0,328	0,346	0,353	0,357	0,360	0,364	0,367
Finale Blade Strike Survival	######	93,457	######	######	85,272	83,771	82,430	81,246	79,958	78,566	78,023	77,751	77,478	77,205	76,931
Passagewahrscheinlichkeit Min	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,17**
Passagewahrscheinlichkeit Max	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**	**0,39**

1. Berechnete neue Anzahl nach einmaliger Turbinenpassage (**MIN / MAX** *Passagewahrscheinlichkeit x Schädigungswahrscheinlichkeit*) ohne Einbindung natürliche Mortalität

2. **Berechnete neue Mortalitäten** je Szenario incl. natürliche Mortalität (es sterben auch welche natürlich die durch die Turbine gehen) – multiplikative Verknüpfung
Input für Simulation über mehrere Jahre.

Berechnete Reduktion des Fischbestandes durch turbinenbedingte Schädigungen in einem Jahr ab 1+

(entsprechend z.B. STRIKER Modell)

Min-Max Szenario Wanderrate (17 % bzw. 39 %)
Blade Strike (ohne Larven bis 0+)

Fischart	Gesamtpopulation ab Larven, Juvenile und 0+ (% Reduktion wenn 1% (nur Flussbarsch) - 10% - 30% - 60% - 90% der Fische wandern)	Gesamtpopulation ab 1+ (% Reduktion)	Gesamtpopulation Adulte (% Reduktion)	Biomasse ab 1+ (% Reduktion)
Äsche		2,1-4,8	2,7-6,1	2,3-5,3
Aitel		1,1-2,6	2,4-5,5	2,2-5,1
Barbe		1,2-2,8	2,4-5,6	2,9-6,7
Flussbarsch		0,02-0,22	0,04-0,41	0,04-0,42
Nase		1,4-3,3	3,1-7,0	2,6-5,9

Larven-Survival

- Houde, 2009: Bei einer „mittleren Süßwasserfischart eine Mortalität von 14,8 % über eine Dauer von rund 21 Tagen = 99,6 % der Larven sterben
- Bartl and Keckeis (2004): Mortalität von Larven der Nase von 99,6 % nach 2 Monaten nach dem Schlüpfen (bis ca. L6).
- Keckeis and Schiemer, 2002: Sensibilität des 0+ Stadiums insbesondere bei Nase und Barbe - Nasenembryos, Larven und frühe Juvenilstadien viele intrinsische Attribute für ein hohes Überlebenspotential -> Geringer Laicherfolg und geringes Überleben von Jungfischen (0+) eher extrinsische Faktoren
- V.a. das Vorhandensein adäquater Laichplätze und Habitate für Larven und junge Stadien bis 0+ wesentlichen Faktor für Reproduktion und Überleben von Nase und Barbe in Fließgewässern (neben Umweltbedingten Auswirkungen auf Laichfische (Resorption) und Eiqualität)

Tabelle 11: Grunddaten für die Modellierung der Startpopulation für die Nase (siehe auch Tab. 10); Ziel ist es basierend auf den natürlichen Mortalitäten beruhend, eine Startpopulation von ca. 650 laichfähigen adulten Individuen darzustellen.

Alter	Mittlere Länge (mm)	Mittleres Gewicht (g)	Mittlere Breite (mm)	Fekundität (Eier pro Altersklasse)	Nat. Survival	Anzahl je Stadium, Ausgangspopulation
Eier errechnet						12056848
Eiablagerate					0,900	12056848
Eisurvival					0,340	10851163
Eischlüpfrate					0,900	3689396
L1					0,400	3320456
L2					0,500	1328182
L3					0,500	664091
L4					0,500	332046
L5					0,500	166023
L6					0,500	83011
J1					0,500	41506
J2					0,500	20753
0+					0,200	10376
1+	123	14	15		0,500	2075
2+	197	68	24		0,700	1038
3+	284	228	34		0,700	726
4+	337	404	40		0,710	508
5+	368	538	44		0,700	361
6+	397	694	48	27742	0,610	253
7+	423	854	51	34161	0,610	154
8+	445	1014	53	40554	0,610	94
9+	469	1208	56	48321	0,610	57
10+	495	1443	59	57712	0,610	35
11+	505	1542	61	61667	0,610	21
12+	510	1593	61	63713	0,610	13
13+	515	1645	62	65807	0,610	8
14+	520	1699	62	67948	0,610	5
15+	525	1753	63	70137	0,000	3

Berechnung Schädigungen - Larven bis 0+ (Excel)

Szenario Schäden mittleres KW, längenspez. M-ratio		Eizahl berechnet	12056848	Grober check aus Literaur					n=		
Barotrauma mit Simulationsdaten des KW Annabrücke		Einzahl abgelaicht ~90 %	10851163						n=		
Altersklasse	0-1	0,2754	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nase Stadium	Eizahl absolut	Ei überlebt (34 %)	L1	L2	L3	L4	L5	L6	J1	J2	0+
Fischlänge		*Länge in mm*									
Anzahl Ausgangspopulation, Berechnung nach Nt+1= Nt*S	10851163	3689396	3320456	1328182	664091	332046	166023	83011	41506	20753	10376
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Min mittleres KW 10 % Larven wandern	10851163	3689396	3293228								
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Max mittleres KW 30 % Larven wandern	10851163	3689396	3238773								
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Min mittleres KW - More 1 Larv 60 % Larven	10851163	3689396	3157090								
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Max mittleres KW - More1 Larv 60 % Larven	10851163	3689396	3157090								
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Min mittleres KW - More 2 Larv 90 % Larven	10851163	3689396	3075406								
Anzahl Ind. nach 1 Jahr Max mittleres KW - More 2 Larv 90 % Larven	10851163	3689396	3075406								
Survivalrate S natürlich %	0,34	0,9	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Min mittleres KW 10 % Larven			0,397	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,198
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Max Mittleres KW 30 % Larven			0,390	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,195
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Min mittleres KW 60 % Larven			0,380	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,190
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Max Mittleres KW 60 % Larven											
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Min mittleres KW 90 % Larven											
Survivalrate mit Turbinenmortalität % Max Mittleres KW 90 % Larven											
Barotraumamortalität (24 h, auf Turbine umgelegt)			0,082	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,080
Mutilation Ration Turnpenny längenabhängig											
BS ohne Mutilation ratio linear											
Finale Blade Strike Survival											
Passagewahrscheinlichkeit Min / 10 Larve			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Passagewahrscheinlichkeit Max / 30 Larv			0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
60 % Larv			0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
90 % Larv			0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

1. **Jährliche Schädigungen**
Berechnete neue Anzahl nach einmaliger Turbinenpassage (*Passagewahrscheinlichkeit x Schädigungswahrscheinlichkeit*) ohne Einbindung natürliche Mortalität

2. **Berechnete neue Mortalitäten** je Szenario incl. natürliche Mortalität (es sterben auch welche natürlich die durch die Turbine gehen) – multiplikative Verknüpfung
Input für Simulation über mehrere Jahre.

Berechnete Reduktion des Fischbestandes durch turbinenbedingte Schädigungen in einem Jahr

(entsprechend z.B. STRIKER Modell)

Min-Max Szenario Wanderrate (17 % bzw. 39 %)
Blade Strike (ohne Larven bis 0+)

Fischart	Gesamtpopulation ab Larven, Juvenile und 0+ (% Reduktion wenn 1% (nur Flussbarsch) - 10% - 30% - 60% - 90% der Fische wandern)	Gesamtpopulation ab 1+ (% Reduktion)	Gesamtpopulation Adulte (% Reduktion)	Biomasse ab 1+ (% Reduktion)
Äsche	0,001-0,001-0,002-0,002	2,1-4,8	2,7-6,1	2,3-5,3
Aitel	0,5-1,6-3,3-4,9	1,1-2,6	2,4-5,5	2,2-5,1
Barbe	0,1-0,3-0,5-0,8	1,2-2,8	2,4-5,6	2,9-6,7
Flussbarsch	0,02-0,16-0,47-0,93-1,40	0,02-0,22	0,04-0,41	0,04-0,42
Nase	0,5-1,4-2,7-4,1	1,4-3,3	3,1-7,0	2,6-5,9

Kein Unterschied in den % durch Min – Max Szenario der Abwanderungsrate

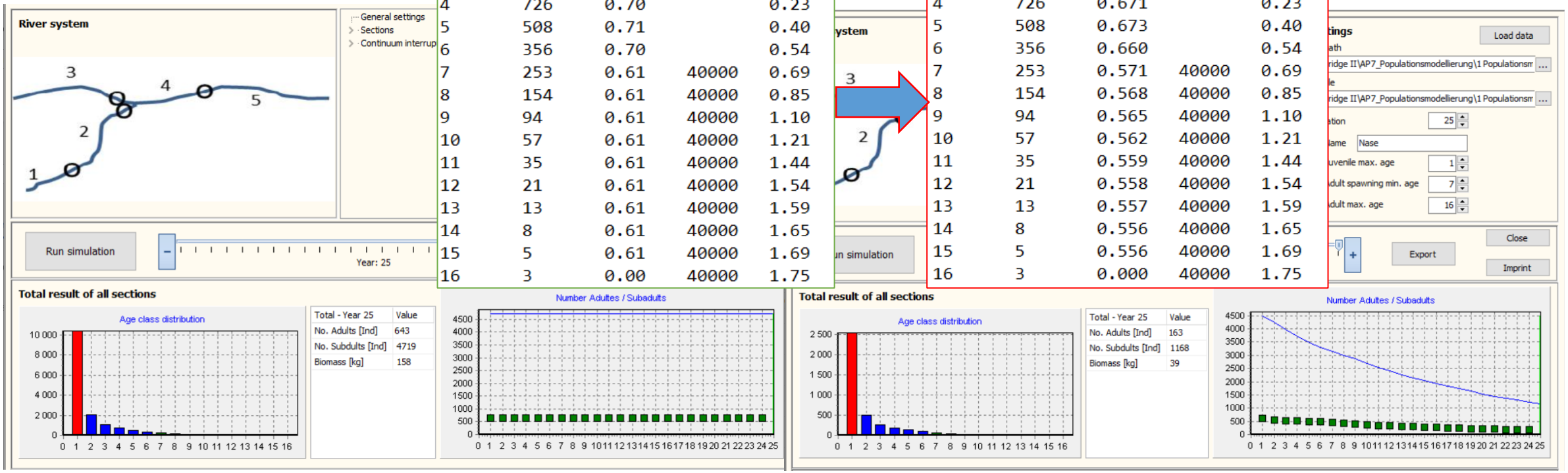
Langzeitmodellierung (25 Jahre) (FishPop 1.4)

Ergebnis

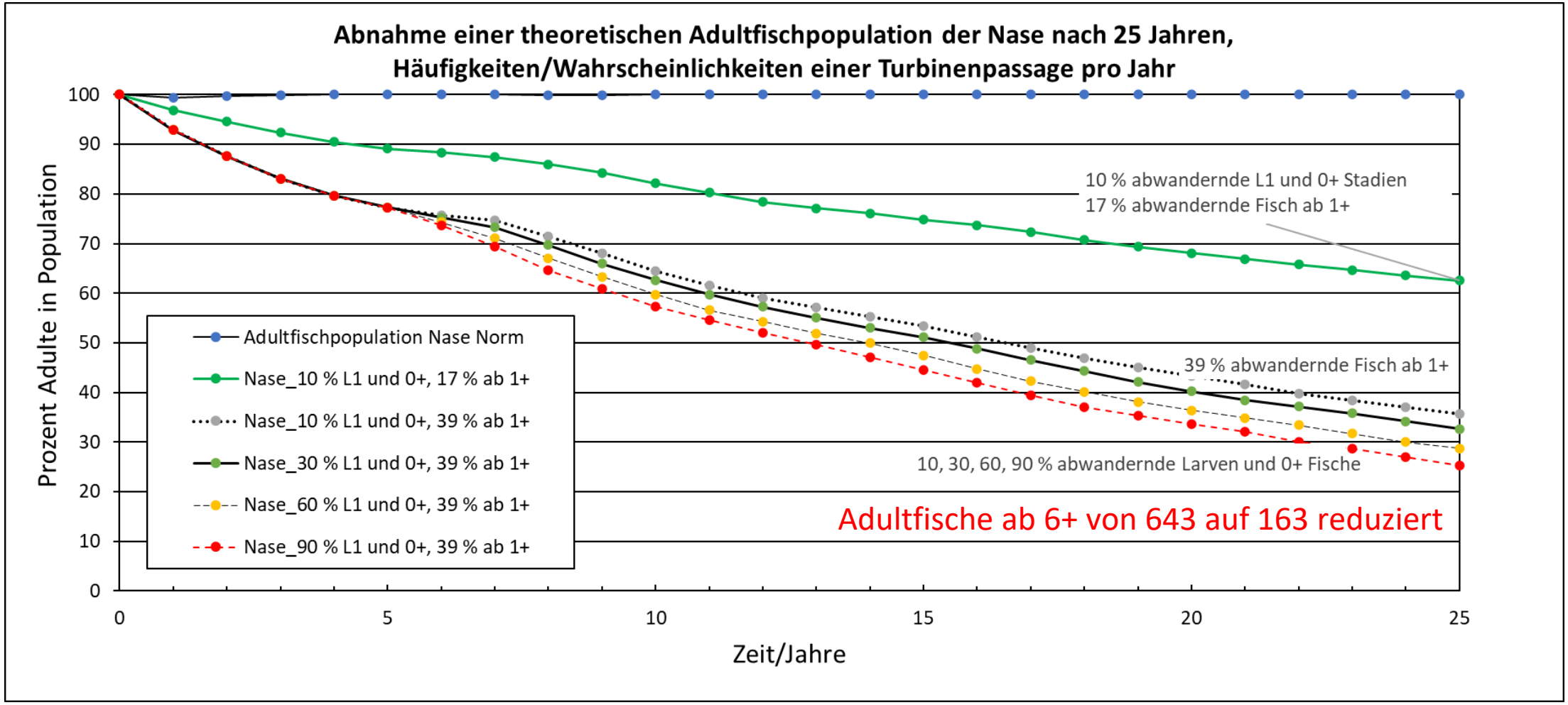
- Veränderung nach 25 Jahre im Vergleich mit der Ausgangspopulation
- Bsp. Nase Maximalszenario Parameter Nase 90 % L1 und 0+ wandern und 39 % ab 1+

Year	N	Surv	Repr	Weight
1	10376	0.20		0.01
2	2075	0.50		0.014
3	1038	0.70		0.07
4	726	0.70		0.23
5	508	0.71		0.40
6	356	0.70		0.54
7	253	0.61	40000	0.69
8	154	0.61	40000	0.85
9	94	0.61	40000	1.10
10	57	0.61	40000	1.21
11	35	0.61	40000	1.44
12	21	0.61	40000	1.54
13	13	0.61	40000	1.59
14	8	0.61	40000	1.65
15	5	0.61	40000	1.69
16	3	0.00	40000	1.75

Year	N	Surv	Repr	Weight
1	10376	0.186		0.010
2	2075	0.493		0.014
3	1038	0.682		0.07
4	726	0.671		0.23
5	508	0.673		0.40
6	356	0.660		0.54
7	253	0.571	40000	0.69
8	154	0.568	40000	0.85
9	94	0.565	40000	1.10
10	57	0.562	40000	1.21
11	35	0.559	40000	1.44
12	21	0.558	40000	1.54
13	13	0.557	40000	1.59
14	8	0.556	40000	1.65
15	5	0.556	40000	1.69
16	3	0.000	40000	1.75



Rechnerischen Abnahme einer stabilen Nasenpopulation über 25 Jahre durch turbinenbedingte Mortalität



Sensitivitätsanalyse und Maßnahmensimulation - **Min**

Szenario – geringste Wanderungswahrscheinlichkeiten (10 % L1, 10 % 0+ sowie 17 % bei Fischen ab 1+)	Survival-Raten Start bzw. angepasst	N Adulte Sim	Diff. absolut	% Reduktion
Verbessertes Ei-Survival				
Ei Survival Start	0,2735	402	-241	-37,5
Ei-Survival plus 10%	0,3009	508	-135	-21
Ei-Survival plus 20 %	0,3282	633	-10	-1,5
Ei-Survival plus 21,02 %	**0,331**	**643**	**0**	**0**
Verbessertes L1 Survival				
Larve L1 Survival (Gesamt bis J2) Start	0,3966 (0,003099)	402	-241	-37,5
Larve L1 Survival plus 10 % (Gesamt bis J2)	0,4364 (0,003409)	508	-135	-21
Larve L1 Survival plus 20 % (Gesamt bis J2)	0,4761 (0,003720)	633	-10	-1,6
Larve L1 Survival plus 21,02 % (Gesamt bis J2)	**0,4801 (0,003751)**	**643**	**0**	**0**
Verbessertes 0+ Survival				
0+ Survival Start	0,198	402	-241	-37,5
0+ Survival plus 10 %	0,2182	514	-129	-20
0+ Survival plus 20 %	0,2381	648	+5	+0,8 %
0+ Survival plus 19,7 %	**0,2375**	**643**	**0**	**0**
Kombination verbessertes Survival Eier, L1 Larven und 0+				
Survival plus 10 % Eier, 10 % Larven L1, 10 % 0+	0,3009 – 0,4364 – 0,2182	831	+188	+29,2 %
Survival plus 0 % Eier, 10 % Larven L1 und 10 % 0+	0,2735 – 0,4364 – 0,2182	654	+11	+1,7%
Survival plus 0 % Eier, 10 % Larven L1 und 9,3 % 0+	**0,2735 – 0,4364 –0,2169**	**643**	**0**	**0**

Sensitivitätsanalyse und Maßnahmensimulation - **Max**

Szenario – größte Wanderungswahrscheinlichkeiten (90 % L1, 90 % 0+ sowie 39 % bei Fischen ab 1+)	Survival-Raten Start bzw. angepasst	N Adulte Sim	Diff. absolut	% Reduktion
Verbessertes Ei-Survival				
Ei Survival Start	0,2735	163	-480	-74,7
Ei-Survival plus 10%	0,3009	205	-438	-68,1
Ei-Survival plus 20 %	0,3282	256	-387	-60,2
Ei-Survival plus 71,75 %	**0,4697**	**643**	**0**	**0**
Verbessertes L1 Survival				
Larve L1 Survival (Gesamt bis J2) Start	0,370 (0,002889)	163	-480	-74,7
Larve L1 Survival plus 10 % (Gesamt bis J2)	0,4075 (0,003184)	209	-434	-67,5
Larve L1 Survival plus 20 % (Gesamt bis J2)	0,4446 (0,003473)	257	-386	-60
Larve L1 Survival plus 71.43 % (Gesamt bis J2)	**0,6351 (0,004962)**	**643**	**0**	**0**
Verbessertes 0+ Survival				
0+ Survival Start	0,186	163	-480	-74,7
0+ Survival plus 10 %	0,2042	209	-434	-67,5
0+ Survival plus 20 %	0,2227	262	-381	-59,3
0+ Survival plus 68,2 %	**0,3122**	**643**	**0**	**0**
Kombination verbessertes Survival Eier, L1 Larven und 0+				
Survival plus 10 % Eier, 10 % Larven L1, 10 % 0+	0,3009-0,4075-0,2042	338	-305	-47,4
Survival plus 0 % Eier, 10 % Larven L1 und 10 % 0+	0,2735--0,4075-0,2042	265	-378	-58,8
Survival plus 0 % Eier, 10 % Larven L1 und 53,54 % 0+	0,2735--0,4075-0,285	**643**	**0**	**0**

Zusammenfassung

1. **Blade-Strike** Modell mit **längenabhängiger Mutilation Ratio** gut auf die Fische und Situation **anwendbar**.
2. **Haupteinfluss Wander- und Schädigungsraten der Adulten und Subadulten**, Barotrauma bei Larven trägt z.B. bei der Nase – nur L1 driftet - in geringerem Ausmaß bei; wird erst bei Erreichung der Laichreife der geschädigten Kohorte deutlich sichtbar)
3. **Bei einjähriger Betrachtung** eine jährliche **Reduktion der Adultfischpopulationen** von **2,7-6,1 % (Äsche), 2,4-5,5 % (Aitel), 2,4-5,6 % (Barbe)**, **0,04-0,41 % (Flussbarsch)** und **3,1-7,0 % (Nase).**
4. **Abnahmen der Biomassen aller Stadien ab 1+** im **einjährigen Modell** pro Jahr von **2,3-5,3 % (Äsche), 2,2-5,1 % (Aitel), 2,9-6,7 % (Barbe), 0,04-0,42 % (Flussbarsch)** und **2,6-6,9 % (Nase).**
5. **Anhebung der Überlebensraten untersch. Stadien** um bestimmte Prozentsätze -> **Stabilisierung der Population nach 25 Jahren**, nur durch das **Abhalten der Fische ab 20, 30, 40, 50 mm Körperbreite rechnerisch nicht vollständig möglich.**

Diskussion

- Obwohl summative Effekte auf ein Gewässer wirken, macht es Sinn, die Auswirkung turbinenbedingter Mortalität empirisch als Einzelfaktor zu betrachten.
- Turbinenbedingte Mortalität einiger % pro Jahr zeigt bei mehrjähriger Betrachtung einen deutlich negativen Effekt auf Populationen von typischen Flussfischarten.
- Schädigungen werden vermutlich unterschätzt (Tiefenakklimatisation bei Adulten, aber auch Juvenilen bei der Abwanderung, Scherkräfte und Turbulenz nicht berücksichtigt, verzögerte Mortalität im Fluss bzw. Schäden durch Prädation).
- Maßnahmenkombinationen (Fischschutz, Habitatverbesserung) um turbinenbedingte Mortalität in ihrer Auswirkung auf Fischpopulation zu minimieren.
- In energiewirtschaftlich genutzten Flüssen ist die Maßnahmenkombination im Einzelfall abzuwägen, welche am besten dazu geeignet ist, der situationsspezifischen turbinenbedingten Mortalität entgegenzuwirken und die Ziele zum Erhalt bzw. zur Sanierung von Fischpopulationen zu erreichen.