

Ethohydraulische und hydronumerische Untersuchungen an Rechen und Kaplan turbinen

Dr.-Ing. Elena-Maria Klopries

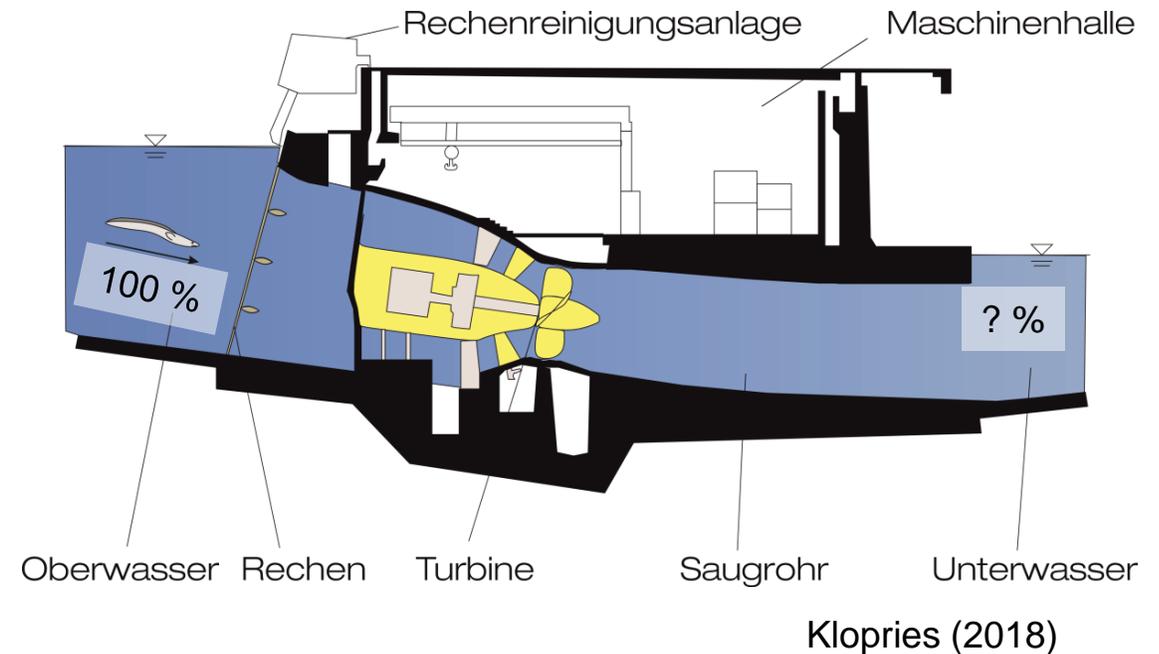
In Zusammenarbeit der RWTH Aachen University und der
Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz / innogy SE

21.03.2019 – 15. Mainzer Arbeitstage

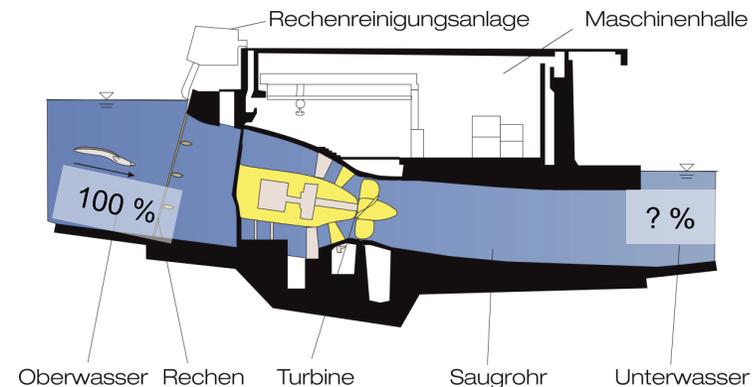
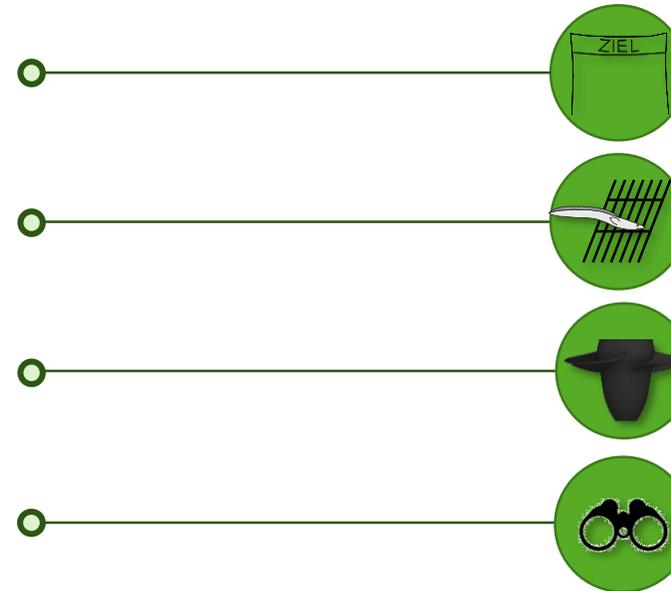


Aspekte des Fischschutzes bei der Nutzung von Wasserkraft

- Wasserkraft - Eckpunkte
 - Erneuerbare und konstante Energiequelle
 - Unterbrechung der Durchgängigkeit und Wanderkorridore
 - Turbinenpassage kann tödlich für Fische sein
 - U.a. fischangepasste Betriebsweise als Fischschutzmaßnahme einsetzbar
 - Zielgröße: Anteil Aale, die die Passage unbeschadet überstehen



- Veranlassung und Zielsetzung
- Wirkung von Rechen
- Prozesse in der Turbine
- Zusammenfassung und Ausblick

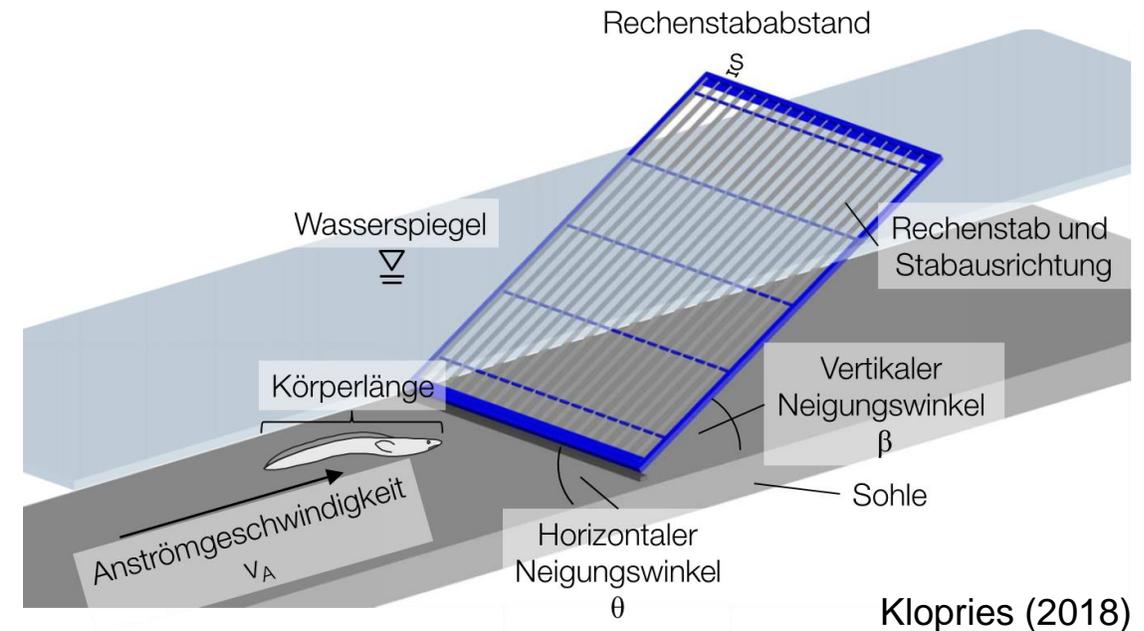


Wirkung von Rechen

Filterwirkung als Hauptparameter für die Wirksamkeit von Rechen

- Wirksamkeit von Rechen
- Filterwirkung

$$FW = \frac{\text{Fische ohne Rechenpassage}}{\text{Fische, die Rechen anschwimmen}}$$

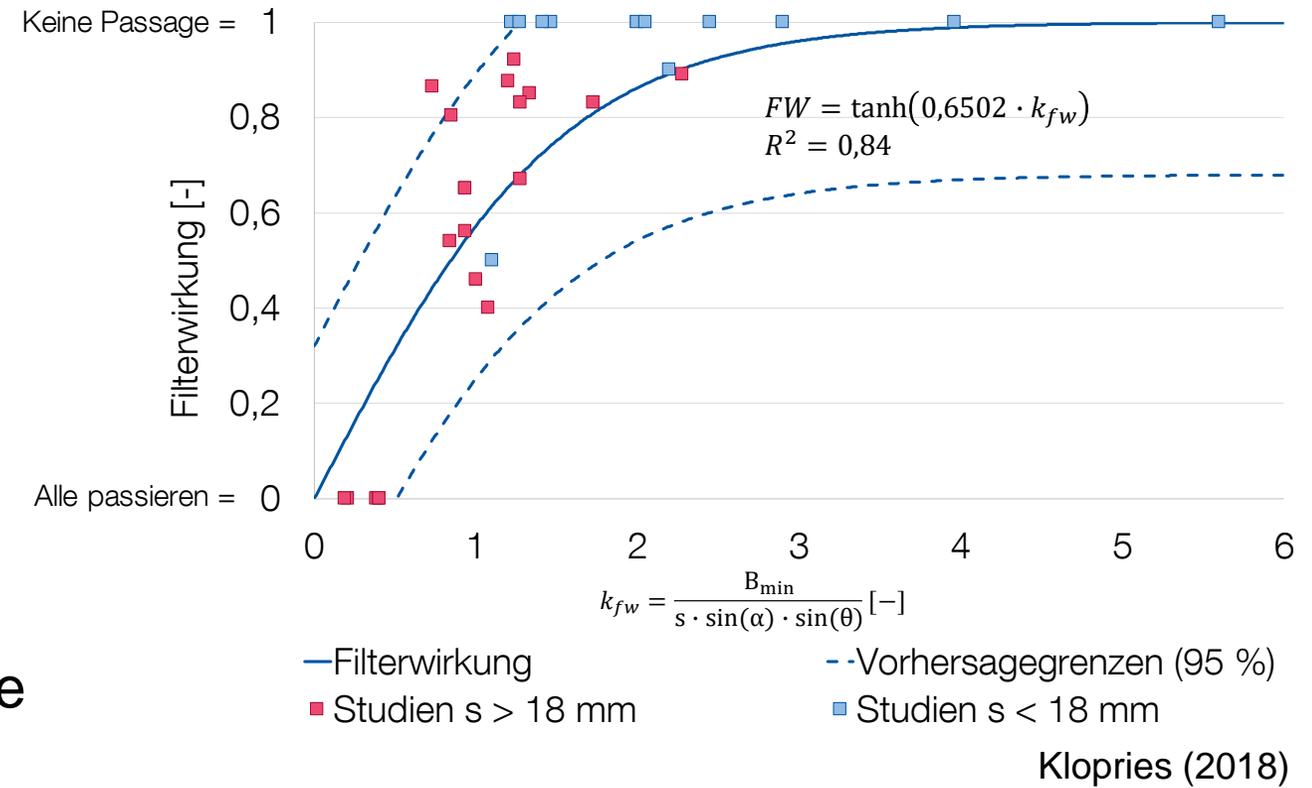


Wirkung von Rechen

Filterwirkung als Hauptparameter für die Wirksamkeit von Rechen

- Wirksamkeit von Rechen
- Filterwirkung

$$FW = \frac{\text{Fische ohne Rechenpassage}}{\text{Fische, die Rechen anschwimmen}}$$
- Studie vorhandener Literatur zur Filterwirkung von Rechen für Blankaale
- Verhältnis Körperbreite zu Stababstand und horizontaler und vertikaler Neigungswinkel signifikante Einflussparameter



Wirkung von Rechen

Ethohydraulische Versuche an Rechen

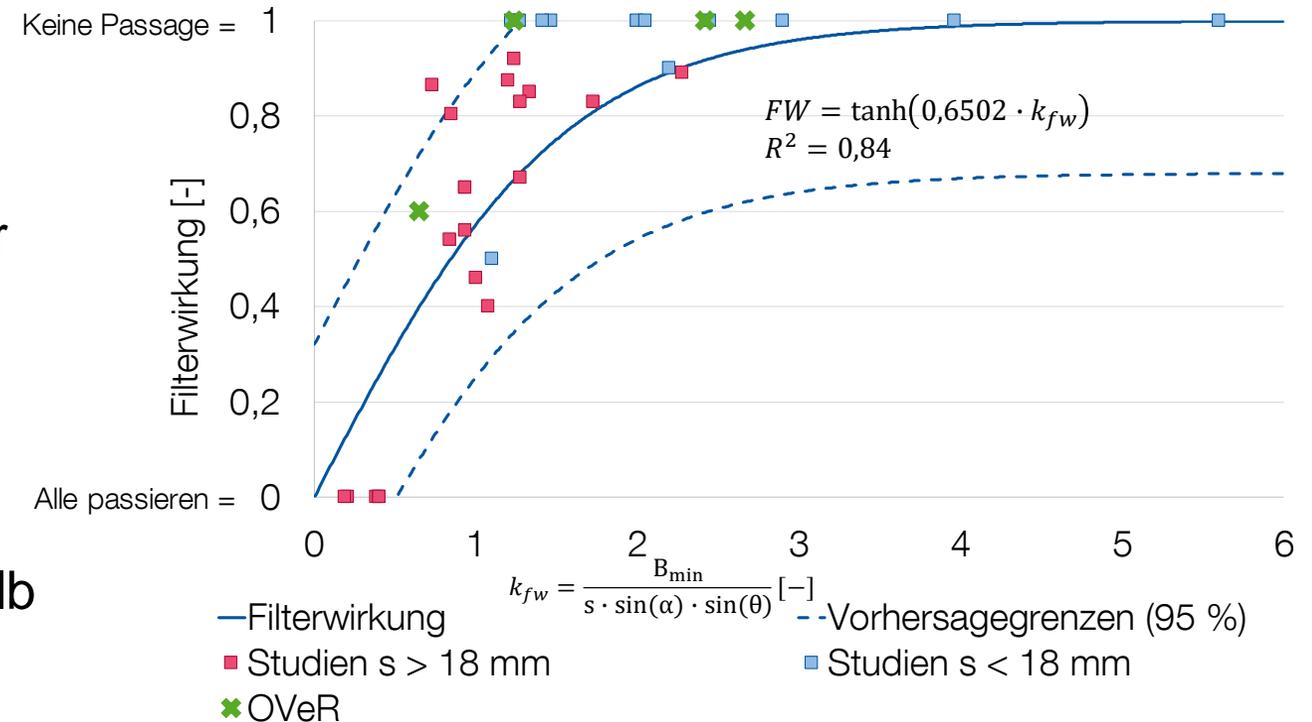
- Ethohydraulik = Verhaltensbeobachtung von Fischen in der Strömung
- Versuchsdurchführung
 - Variantenstudie der Rechenparameter
 - Durchgänge durch den Rechen aufgenommen
 - Verhaltensweisen realistisch



Wirkung von Rechen

Ethohydraulische Versuche an Rechen

- Ethohydraulik = Verhaltensbeobachtung von Fischen in der Strömung
- Versuchsdurchführung
 - Variantenstudie der Rechenparameter
 - Durchgänge durch den Rechen aufgenommen
 - Verhaltensweisen realistisch
 - Aufgenommene Filterwirkung innerhalb der Vorhersagegrenzen



Klopries (2018)

Wirkung von Rechen

Ethohydraulische Versuche an Rechen

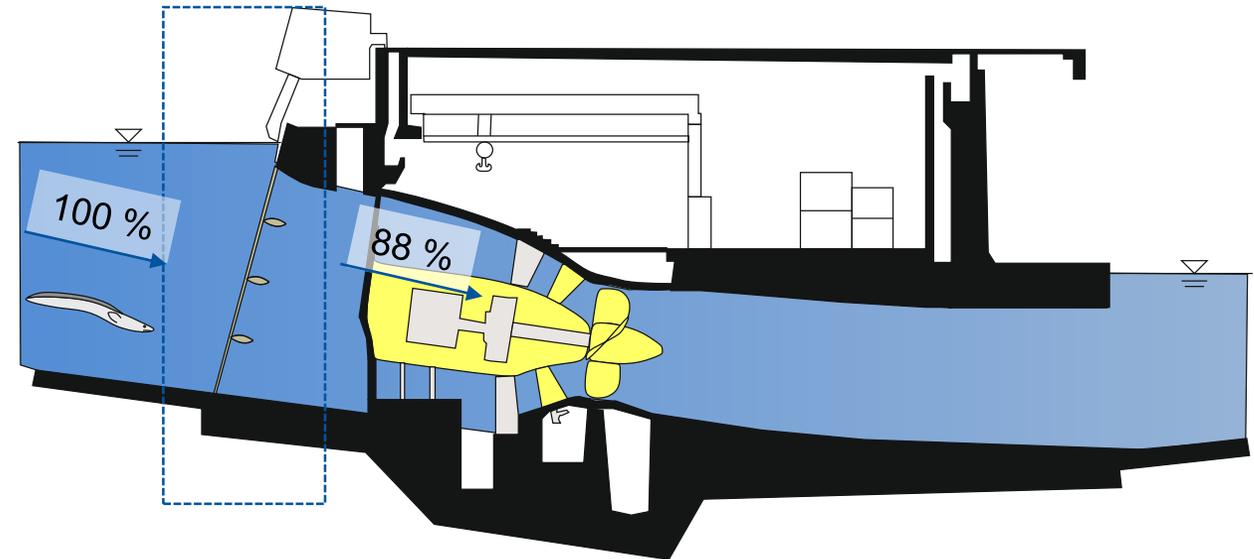
- Möglichkeiten und Grenzen der Ethohydraulik
 - Systematische Untersuchungen und Replikate möglich
 - Variantenstudien möglich
 - Kontrolle aller Randbedingungen
 - Modelleffekte bei der Übertragbarkeit auf das Freiland berücksichtigen
 - Vereinfachung der Randbedingungen (geometrisch, biologisch, chemisch)
 - Handling der Fische
 - Versuchsdauer



Wirkung von Rechen

Anwendung Filterwirkung auf Mosel

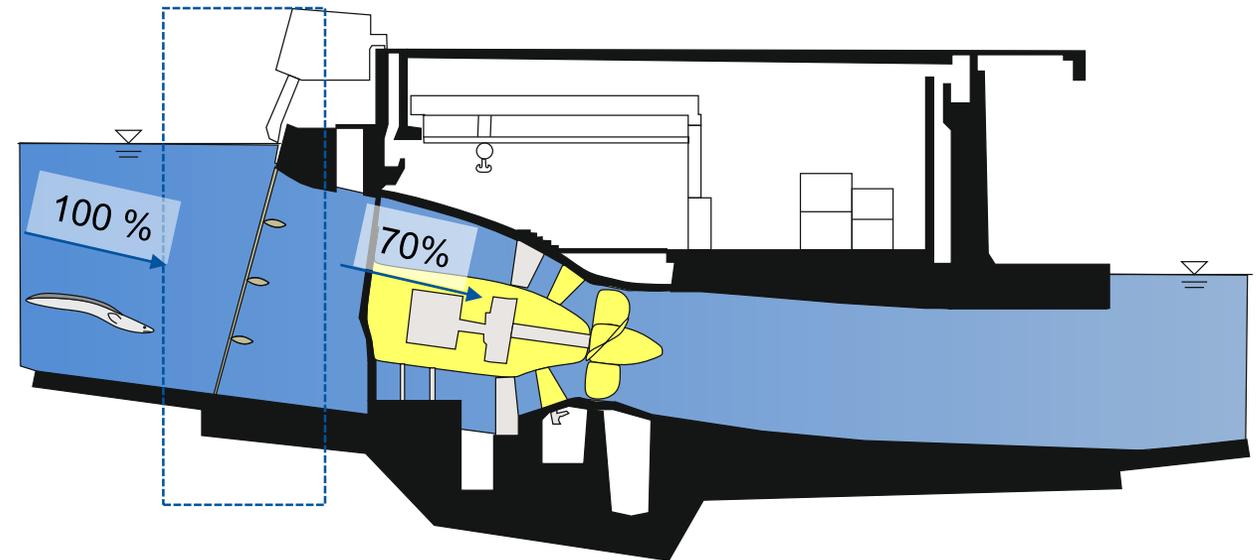
- Ist-Zustand
 - Stababstand 100 mm, 70° Neigung, min. Fischlänge 61 cm
 - Berechnete Filterwirkung: 12%
 - Langfristig Filterwirkung 0 % aufgrund fehlenden Bypasses



Wirkung von Rechen

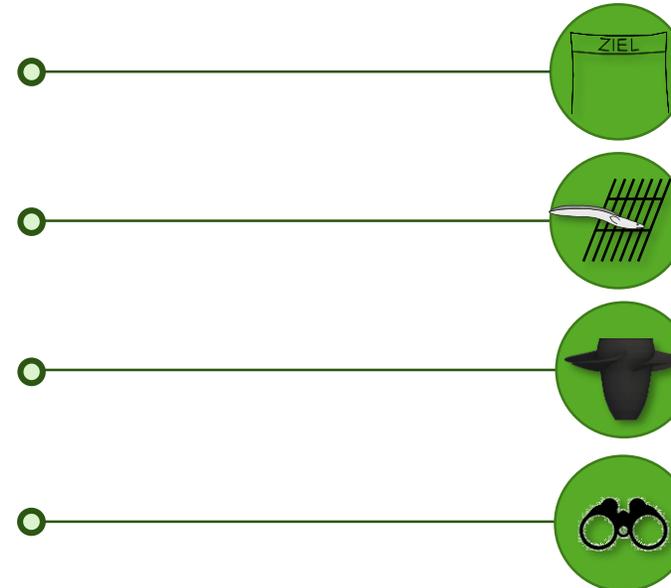
Anwendung Filterwirkung auf Mosel

- Ist-Zustand
 - Stababstand 100 mm, 70° Neigung, min. Fischlänge 61 cm
 - Berechnete Filterwirkung: 12%
 - Langfristig Filterwirkung 0 % aufgrund fehlenden Bypasses
- Variante
 - Stababstand 40 mm, 70° Neigung, min. Fischlänge 61 cm
 - Berechnete Filterwirkung: 30%
 - Funktionierender Bypass erforderlich
 - Großer baulicher Aufwand



Praxiswerkzeug basierend auf Forschungsergebnissen

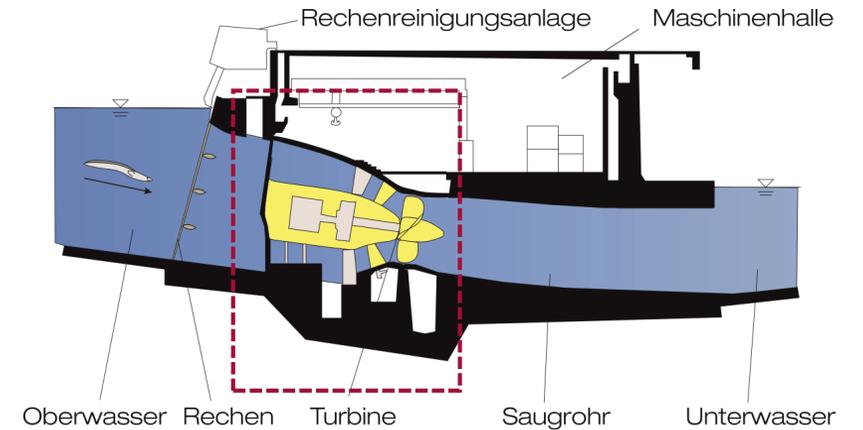
- Veranlassung und Zielsetzung
- Wirkung von Rechen
- **Prozesse in der Turbine**
- Zusammenfassung und Ausblick



Prozesse in der Turbine

Kollisionen, Druckänderungen und Scherkräfte schädigen Aale

- Fische werden in der Turbine geschädigt
 - Kollision mit Laufrad oder anderen Turbinenteilen
 - Barotrauma durch Druckabfall in der Turbine
 - Abschürfungen durch Scherkräfte
 - Genauer funktionaler Zusammenhang kaum bekannt



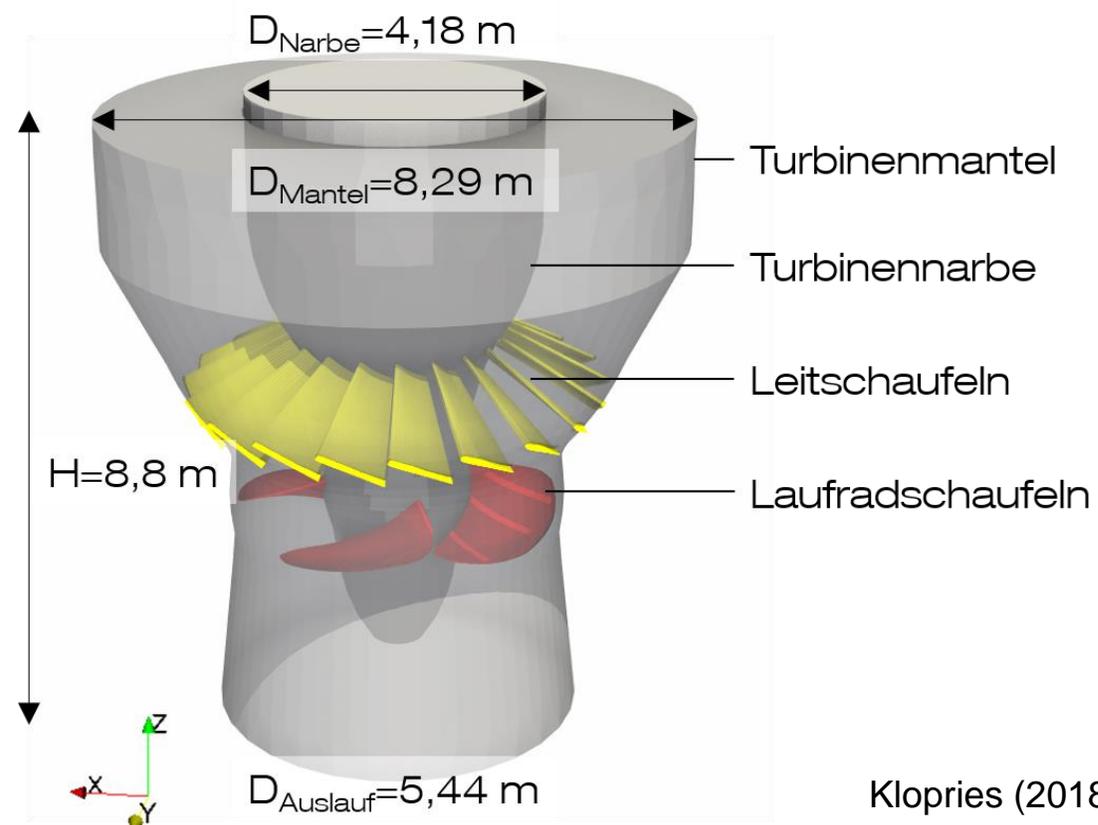
Klopries (2018)



Foto: Kroll

Hydronumerik erlaubt Blick in die Turbine

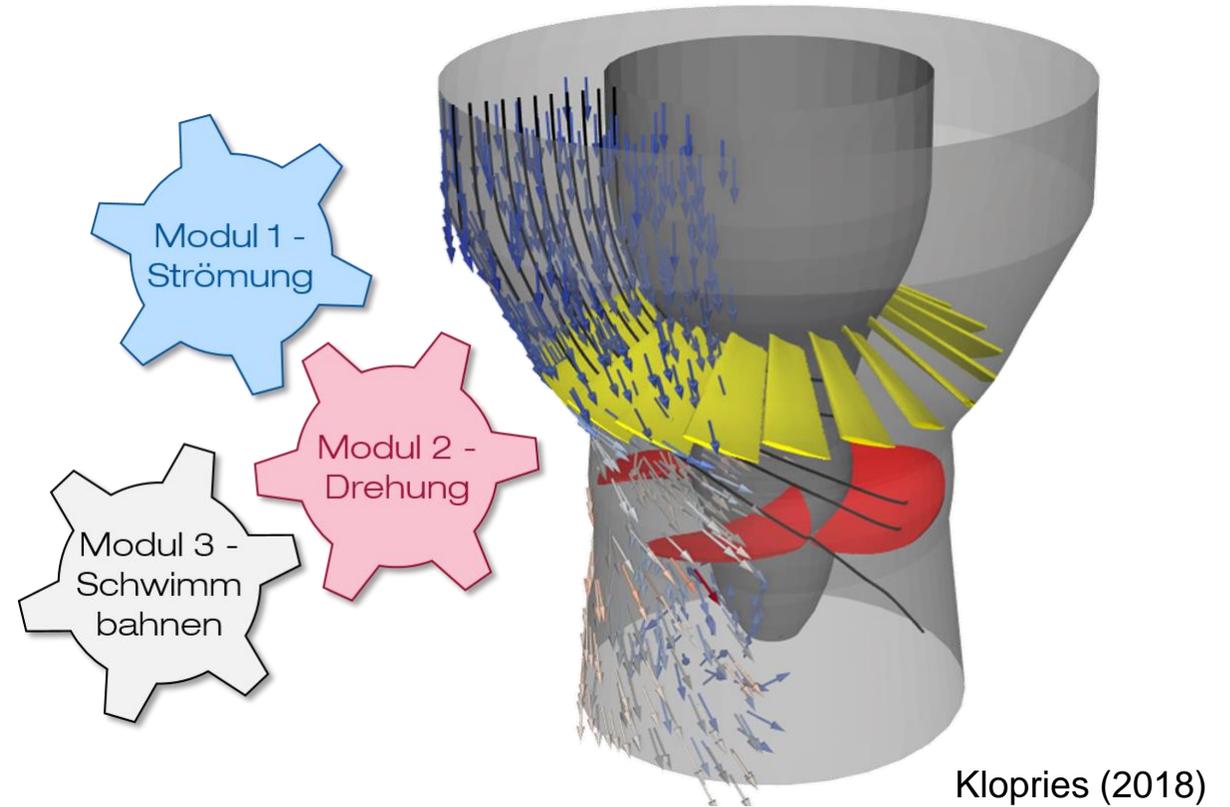
- Hydronumerisches Modell Turbine



Klopries (2018)

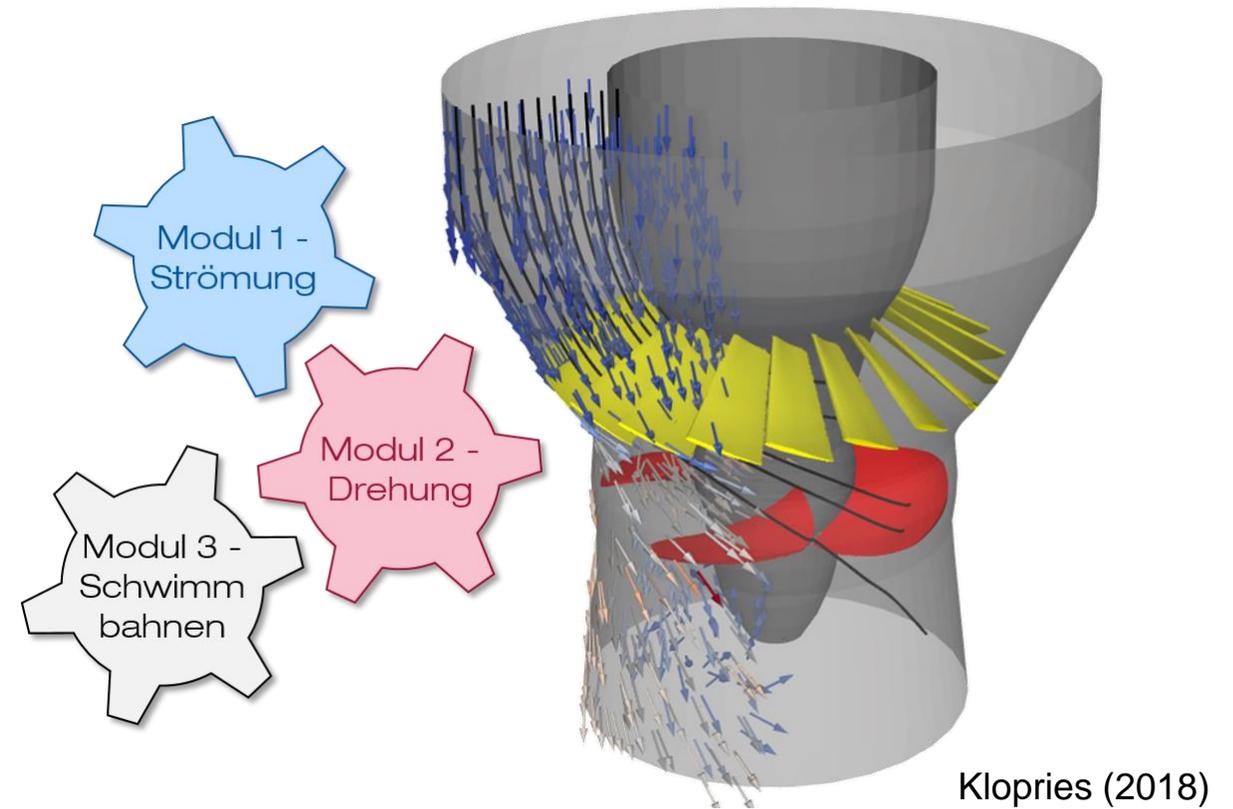
Hydronumerik erlaubt Blick in die Turbine

- Hydronumerisches Modell Turbine
 - Modul 1: Strömung
 - Frei zugängliches Softwarepaket OpenFOAM (v. 2.4.0)
 - Dreidimensionales Berechnungsnetz
 - RANS-Modellierung mit $k-\omega$ -SST Turbulenzmodell



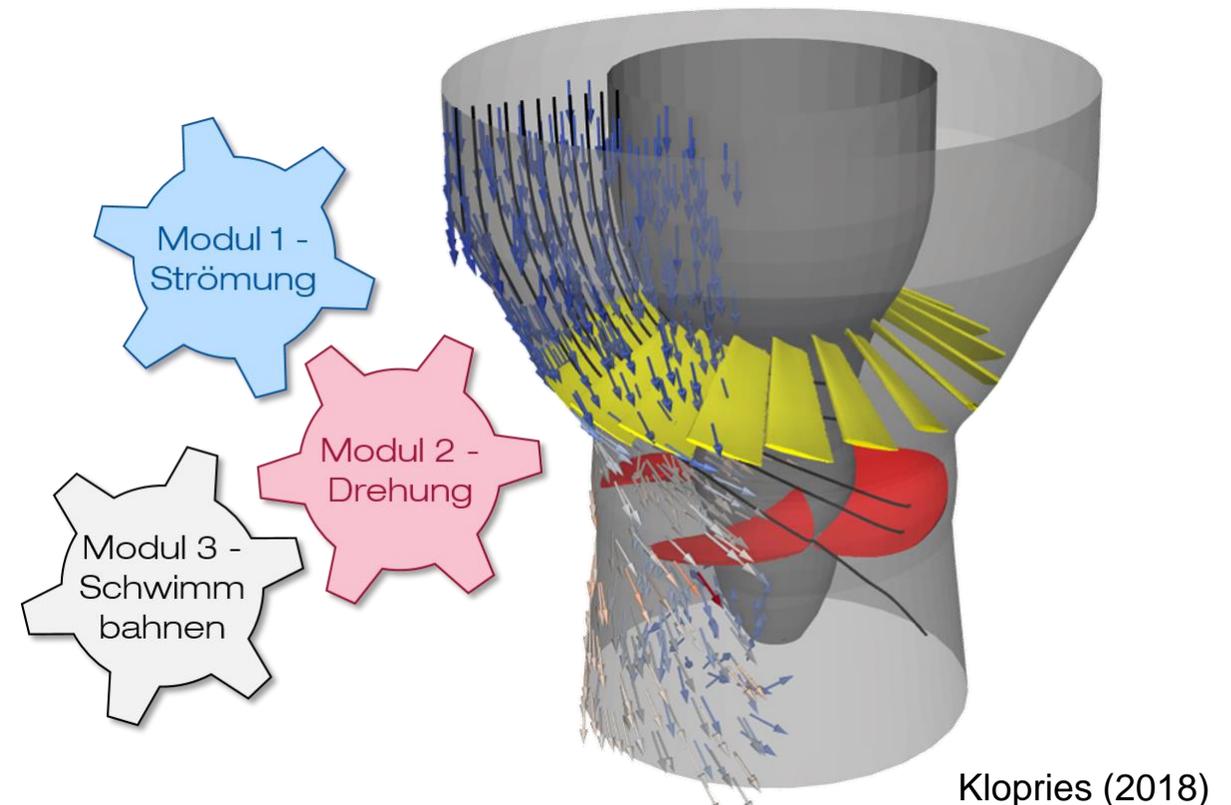
Hydronumerik erlaubt Blick in die Turbine

- Hydronumerisches Modell Turbine
 - Modul 1: Strömung
 - Modul 2: Drehung
 - Instationäre Berechnung mit physisch rotierendem Laufrad
 - Modul 3 - Schwimmbahnen



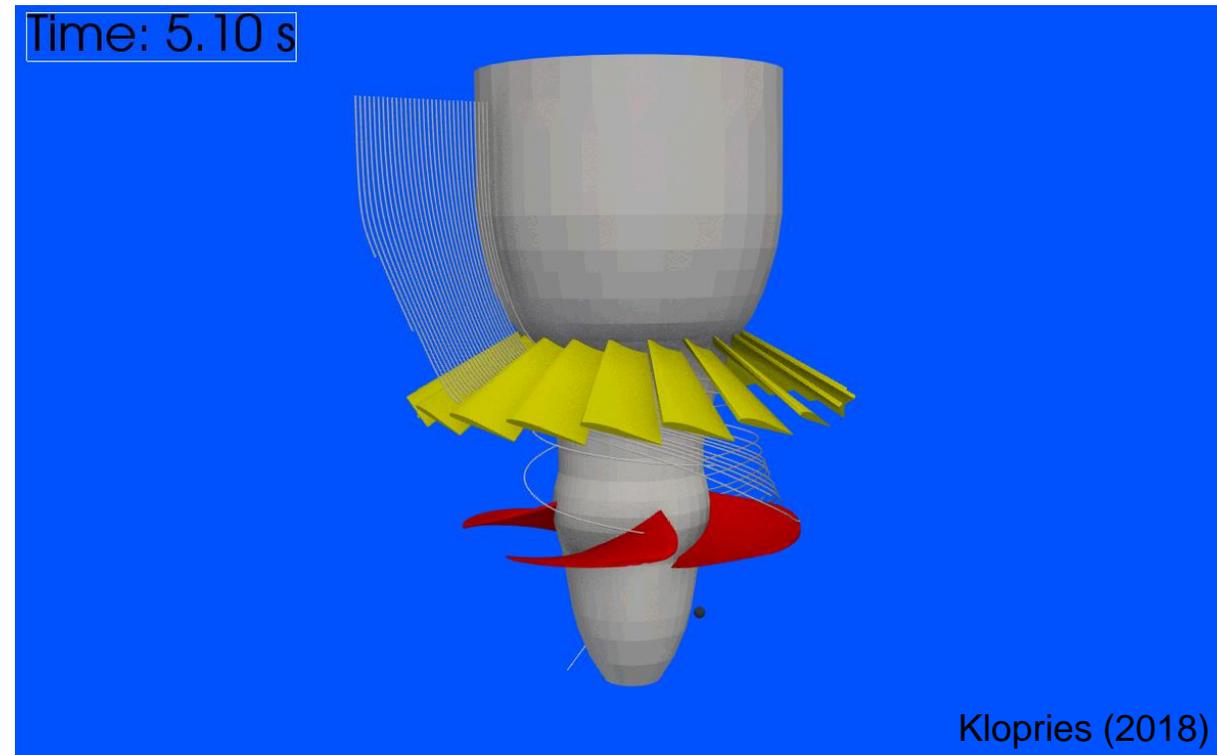
Hydronumerik erlaubt Blick in die Turbine

- Hydronumerisches Modell Turbine
 - Modul 1: Strömung
 - Modul 2: Drehung
 - Modul 3: Schwimmbahnen
 - Annahme: Aale lassen sich in der Turbine mit der Strömung verdriften
 - Annahme: keine Beeinflussung der Strömung durch Fische
 - Partikelbahn = Schwimmweg Aal



Partikelbahnen stellen Schwimmbahnen der Fisch dar

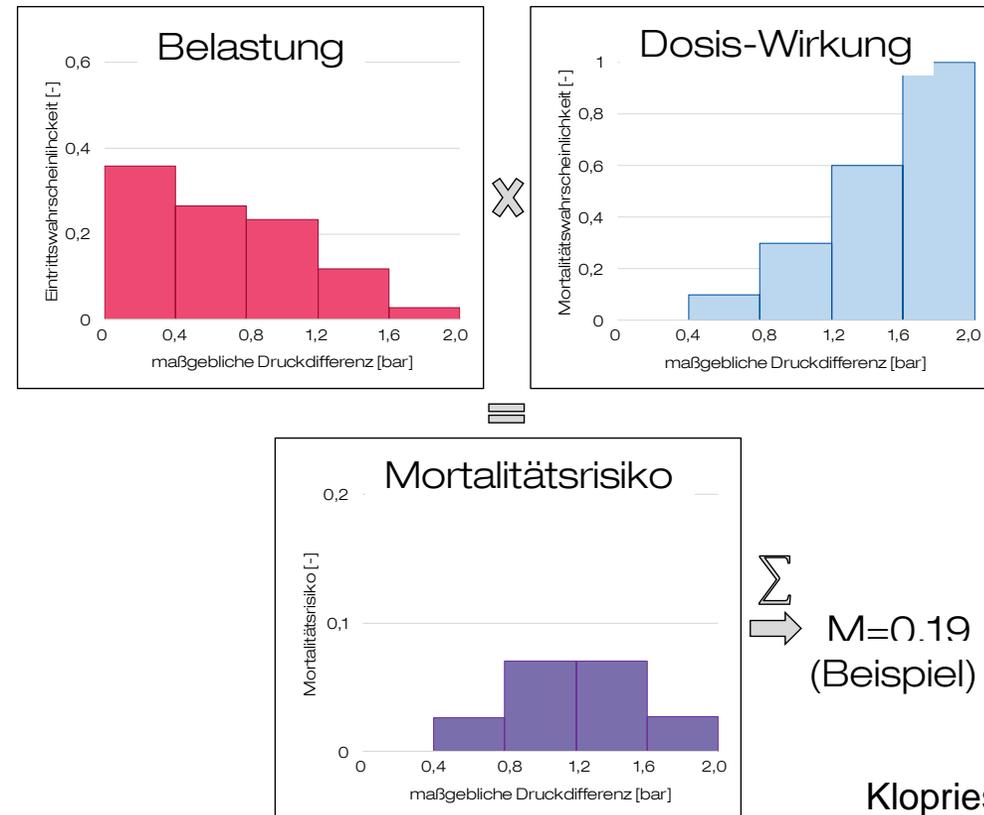
- Partikelbahnen = Stromlinien
 - Keine bestimmte Länge eines Fisches modelliert, sondern Annahme, dass kritischster Punkt des Fisches abgebildet wird
 - Strömungsgrößen auf den Stromlinien entsprechen den hydraulischen Belastungen der Fische



Prozesse in der Turbine

$$\text{Mortalitätsrisiko} = \text{Belastung} * \text{Dosis-Wirkungs-Beziehung}$$

- Aus der Numerik ergibt sich die hydraulische Belastung (=Dosis) der Fische
- Verknüpfung der Belastung und sog. Dosis-Wirkungs-Beziehungen (artspezifisch) ergibt Mortalitätsrisiko
- Mortalitätsrisiko = „Risiko, dass ein abwandernder Aal bei einem bestimmten Betriebszustand der Turbine getötet wird“

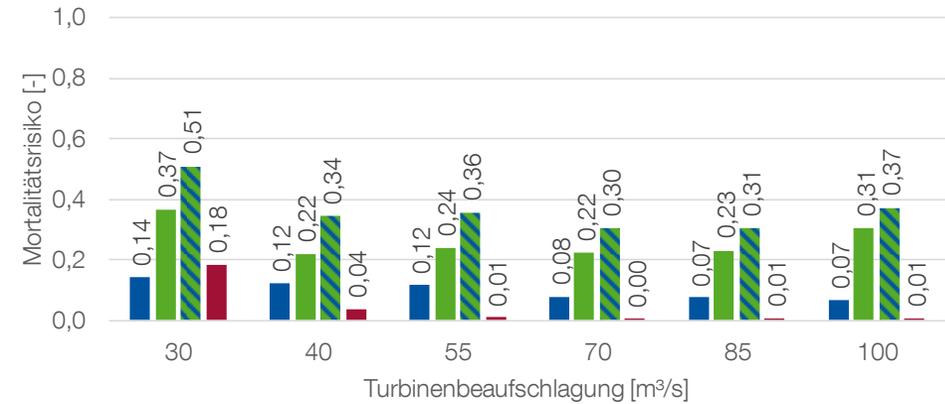


Prozesse in der Turbine

Hydraulische Belastungen sind Kenngrößen für Schädigung

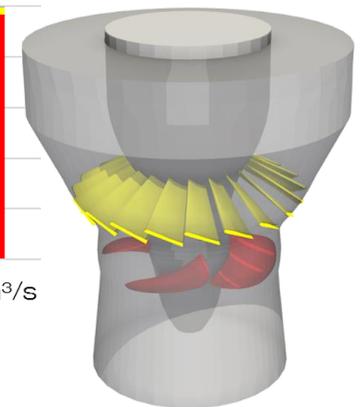
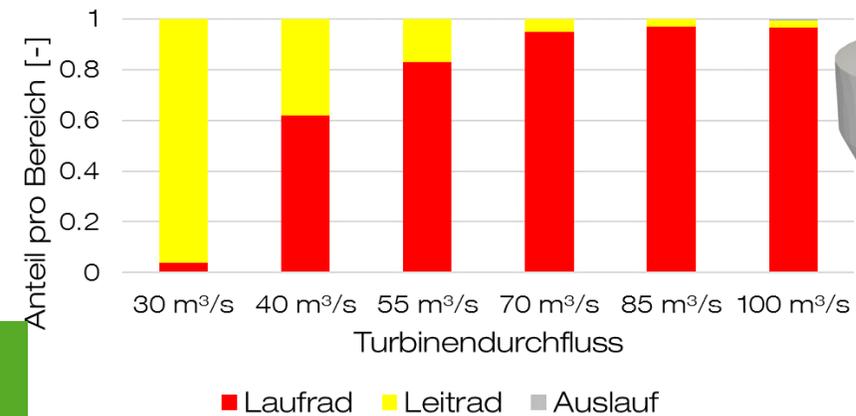
- Zuordnung der Belastungen zu Schädigungsmechanismen
 - Kollisionen
 - Scherkräfte
 - Druckänderung
- Ort der Belastungen
- Einflussgrößen der Belastungen

Szenarienbetrachtung für beliebige Betriebszustände möglich!



■ Scherereignis ■ Kollision ■ Kumuliert Kollision und Scherereignis ■ Druckdifferenz

Klopries & Schüttrumpf (2019) i.V.



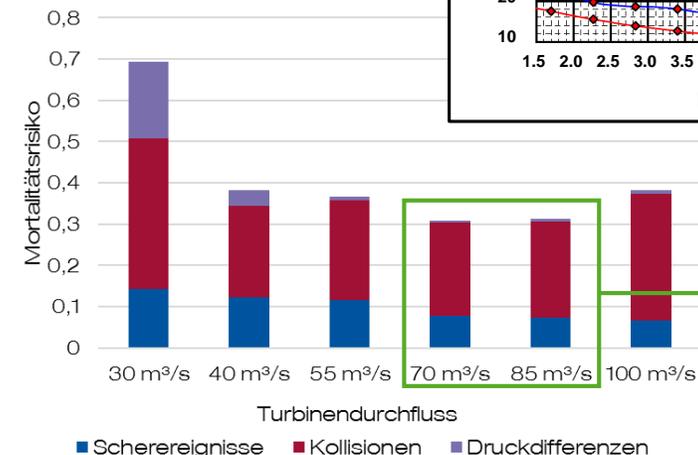
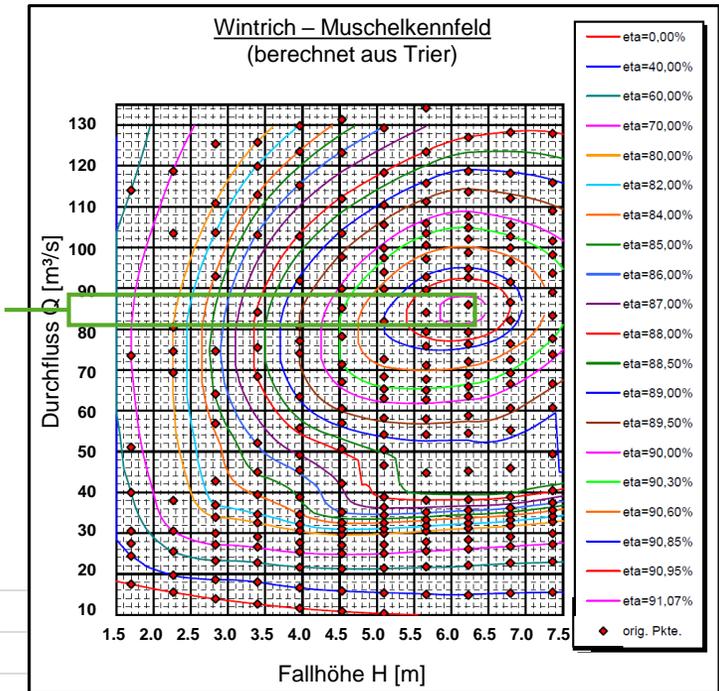
Klopries (2018)

Prozesse in der Turbine

Erkenntnisse für untersuchte Kaplanturbine

- Vorteilhaftester Bereich für Fischpassage nicht beim Maximaldurchfluss, sondern bei 70% bis 85%
- Bereich des höchsten Wirkungsgrads bei etwa 85 % der Vollbeaufschlagung
 - Außerhalb des optimalen Bereichs entstehen am Auslauf des Laufrads Verwirbelungen und Turbulenzen → Energieverluste
 - Beim Betrieb außerhalb der Normgrenzen kann es zu Kavitation kommen
- Wirkungsgradoptimierung und Fischschutz haben vergleichbare Zielgrößen

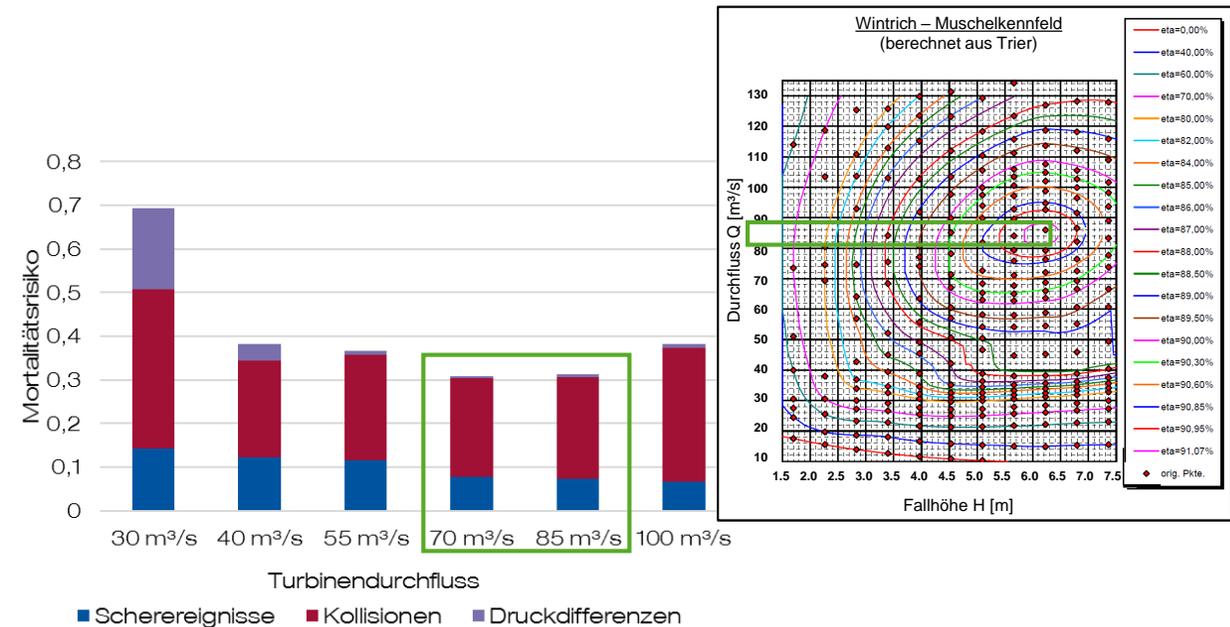
Bereich des höchsten Wirkungsgrads



Fischfreundlicher Bereich

Erkenntnisse für untersuchte Kaplanturbine

- Vorteilhaftester Bereich für Fischpassage nicht beim Maximaldurchfluss, sondern bei 70% bis 85%
- Bereich des höchsten Wirkungsgrads bei etwa 85 % der Vollbeaufschlagung
 - Außerhalb des optimalen Bereichs bleiben am Auslauf des Laufrads Verwirbelungen und Turbulenzen → Energieverluste
 - Beim Betrieb außerhalb der Normgrenzen kann es zu Kavitation kommen
- Wirkungsgradoptimierung und Fischschutz haben vergleichbare Zielgrößen

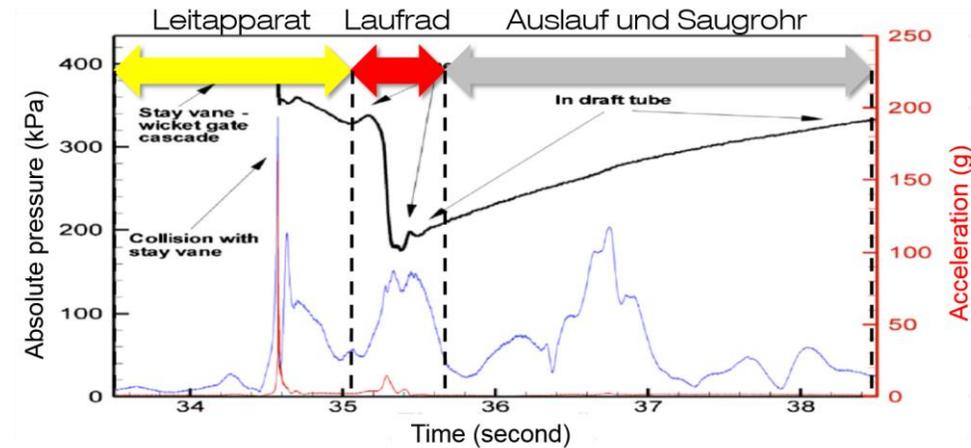


Theoretische Grundlage für einen opt. fisch-angepassten Betrieb, der den identifizierten Bereich ausnutzt statt Vollbeaufschlagung
Ohne Tierversuche!

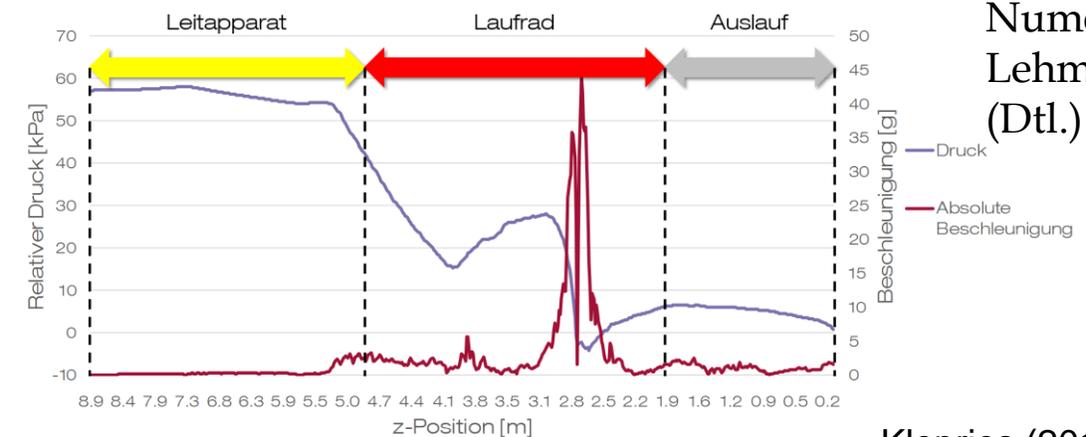
Prozesse in der Turbine

Validierung der entwickelten Methodik

- Numerik
 - Berechnete hydraulische Belastungen
 - Abbildung des Fischdurchgangs



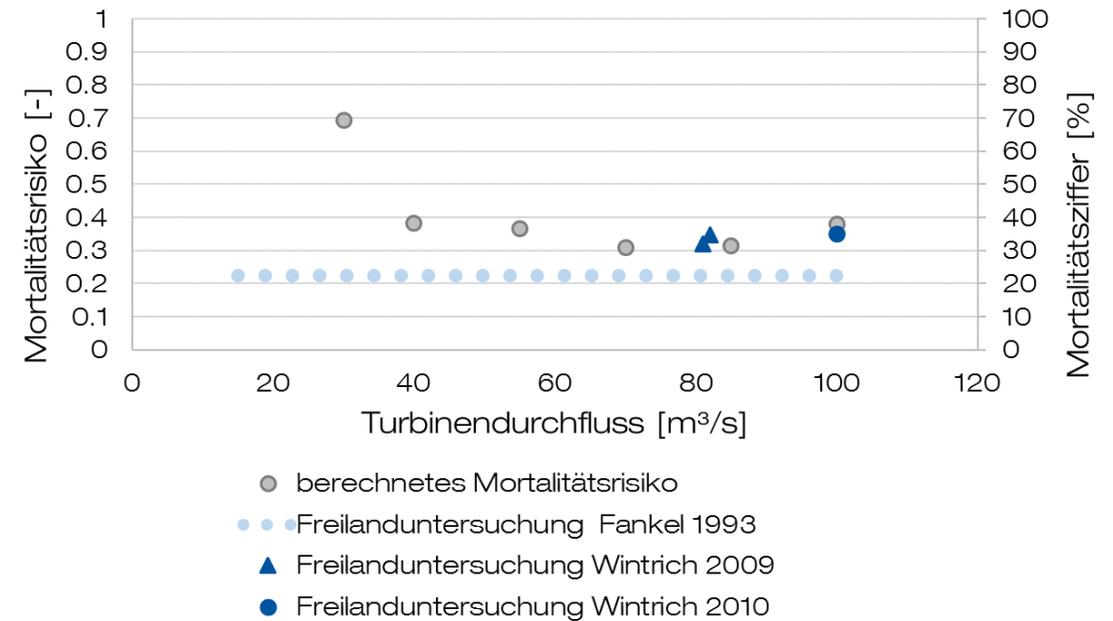
Sensorfisch:
Wanapum Dam
(USA)



Numerik:
Lehmen
(Dtl.)

Klopries (2018)

- Numerik
 - Berechnete hydraulische Belastungen
 - Abbildung des Fischdurchgangs
- Berechnungsschema Mortalitätsrisiko

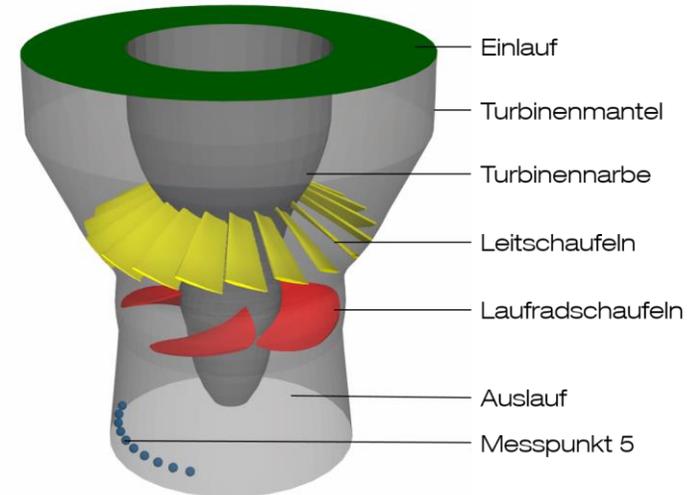


Klopries (2018)

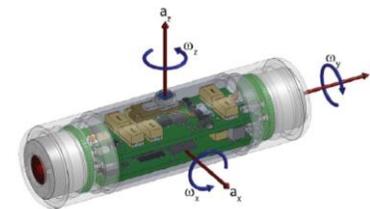
Prozess in der Turbine

Bewertung der entwickelten Methodik

- Anwendungshorizont der Methodik
 - Nicht nur für Ist-Zustand einsetzbar, sondern auch ganz neue Betriebszustände untersuchbar
- Vorteile:
 - Keine konstruktive Umsetzung nötig
 - Keine Tierversuche nötig
 - Erkenntnisgewinn durch Prozessdarstellung
- Weiterentwicklungsmöglichkeiten
 - Freilandmessungen der hydraul. Belastung
 - Dosis-Wirkungs-Beziehung für Aale
 - Numerische Abbildung des Fischdurchgangs

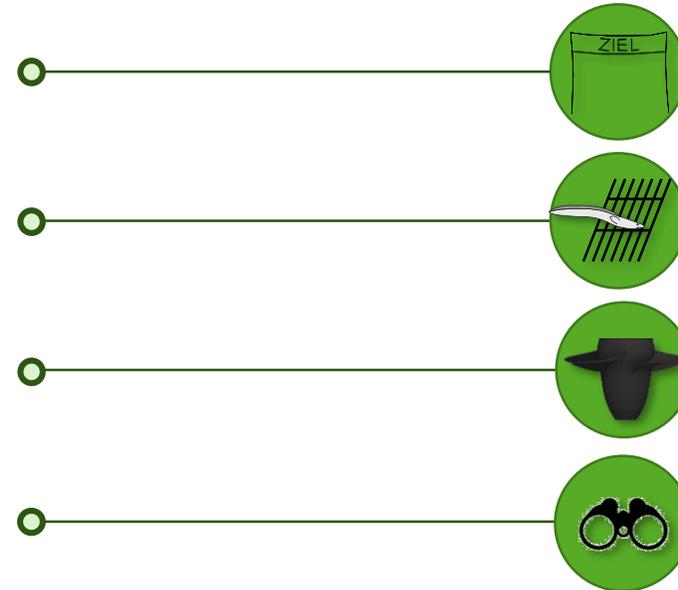


Klopries (2018)



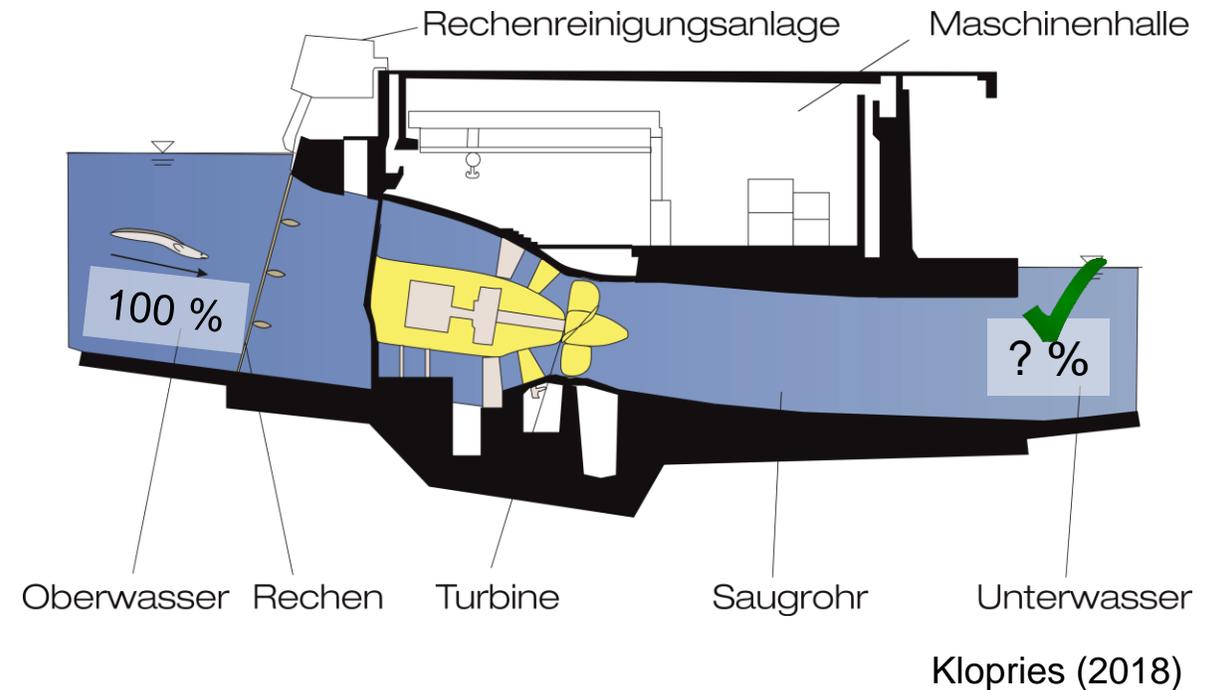
Deng et al (2017)

- Veranlassung und Zielsetzung
- Wirkung von Rechen
- Prozesse in der Turbine
- **Zusammenfassung und Ausblick**



Mortalität kann mit Numerik prozessbasiert beschrieben werden

- Bestimmungsgleichung der Filterwirkung zur Abschätzung des Anteils der Aale, die in die Turbine schwimmen
- Verbesserung des Verständnisses der Schädigungsprozesse in einer Turbine durch Numerik
- Berechnung Mortalitätsrisiko und Abschätzung für verschiedene Betriebszustände
- Validierung mit Freilandmessungen ergibt sehr gute Übereinstimmung



Weiterentwicklungsmöglichkeiten vorhanden

- Optimierter fischangepasster Betrieb
 - Umschaltpunkte anpassen?
 - Alternative zu Vollbeaufschlagung
 - Beste Bereiche raussuchen
- Validierung der Numerik und Dosis-Wirkungs-Beziehungen mit Freilanddaten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Klopries (2018): Ethohydraulische und hydronumerische Untersuchungen an Rechen und Kaplan-turbinen als Beitrag zur Reduktion der Aalschädigung an Laufwasserkraftanlagen. Dissertationsschrift. (Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen, 173). ISBN 978-3-8440-6202-1

Das Forschungsvorhaben *Orientierungs- und Suchverhalten von Fischen vor Rechanlagen von Wasserkraftanlagen (OVer)* wurde von **innogy SE** finanziert und finanziell von der **Bezirksregierung Köln** und dem **Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur-und Verbraucherschutz (MULNV)** des Landes NRW im Rahmen des Programms *Lebendige Gewässer in NRW* unterstützt.