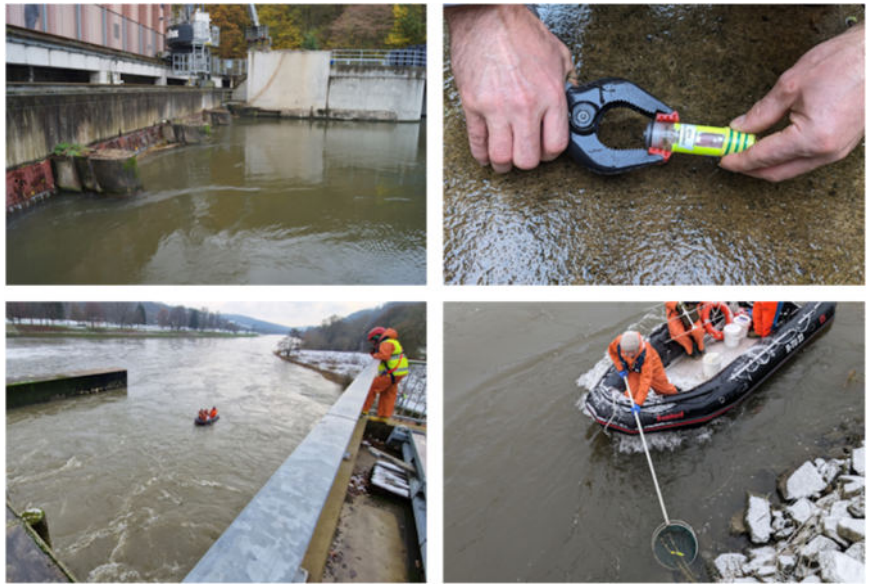
Sensorfisch-Untersuchungen an der Wasserkraftanlage Rothenfels am Main



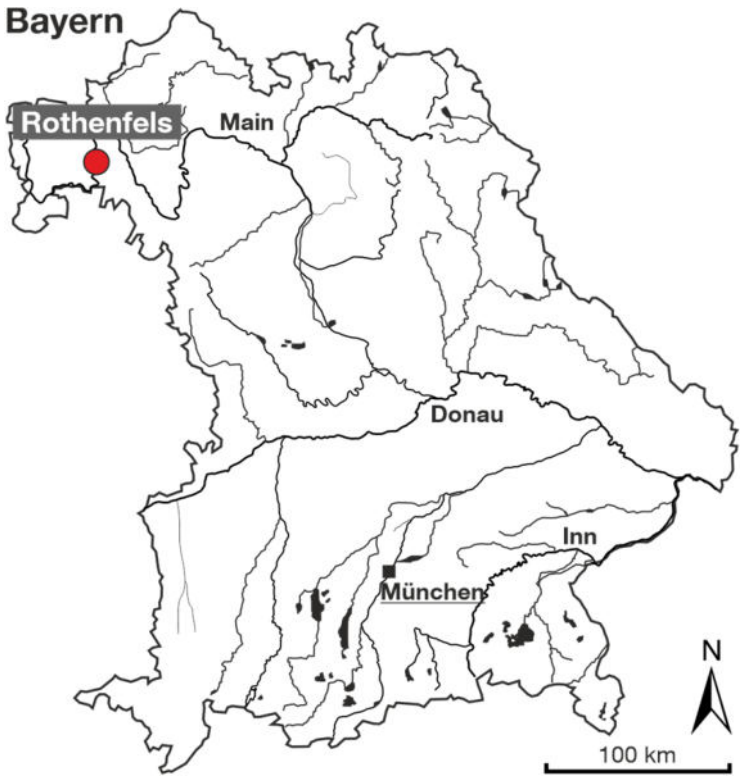
Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie

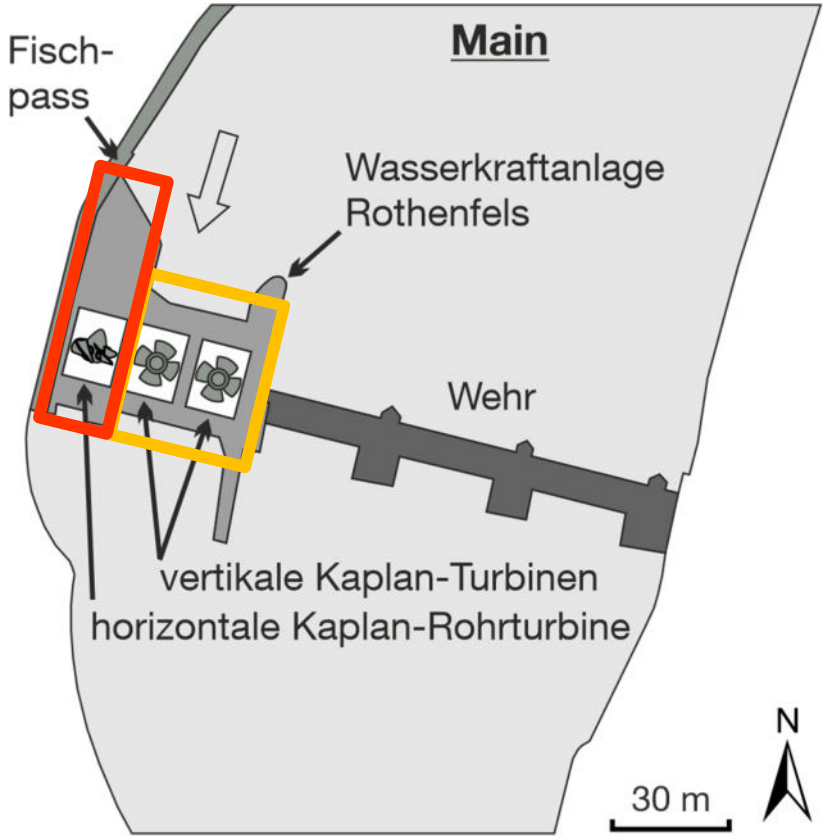
www.lss.ls.tum.de/aquasys

Dr. Josef Knott, Dr. Joachim Pander, Prof. Dr. Jürgen Geist

Auftraggeber: Uniper Kraftwerke GmbH

Projekthintergrund

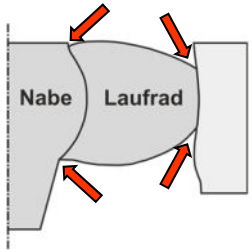




- Bestandskraftwerk (zwei doppelt-regulierte vertikale Kaplan-Turbinen, **VKT**) wurde um eine dritte Turbine (horizontale Kaplan-Rohrturbine, **HKT**) erweitert

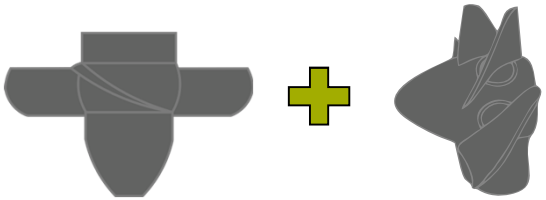
Projekthintergrund

- Durch horizontale Einbauweise und Ausführung als „Minimum Gap Runner“ soll die neu installierte Turbine eine geringere Fischschädigung verursachen als die Bestandsturbinen.

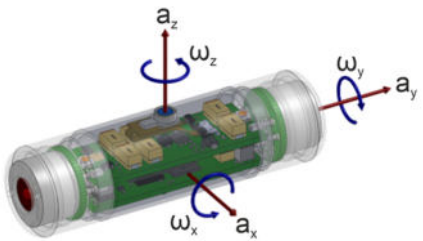


Čada 2001 Fisheries

- Der Genehmigungsbescheid sieht vor, dass die Schadensraten von Fischen in den Bestandsturbinen und in der neu installierten **HKT** zu untersuchen sind.



- Als Untersuchungsmethode soll der sogenannte „Sensorfisch“ zum Einsatz kommen, der die physikalischen Bedingungen während der Turbinenpassage aufzeichnen kann.



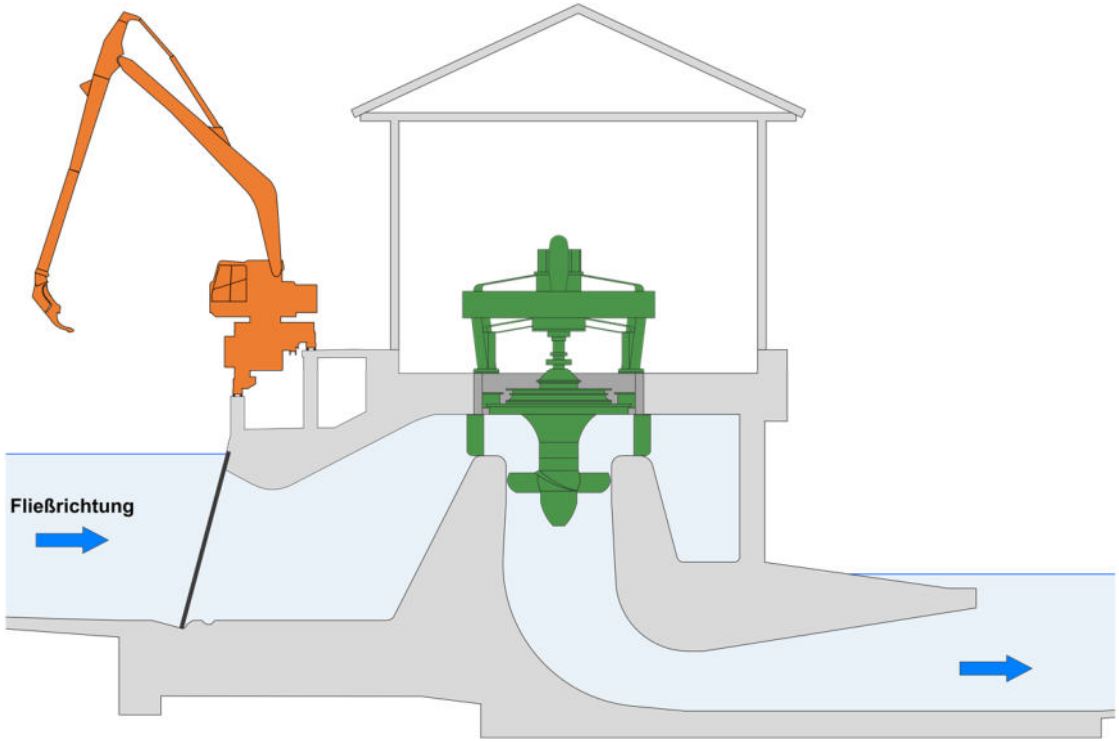
Deng et al. 2007 Sensors

- Für beide Turbinentypen werden jeweils zwei häufig genutzte Betriebszustände untersucht:
  - Prüfpunkt „Teillast“, Turbinendurchfluss ca. 35 m³/s
  - Prüfpunkt „Normallast“, Turbinendurchfluss ca. 50–55 m³/s

Kraftwerkstechnologie

Vertikale Kaplan-Turbine

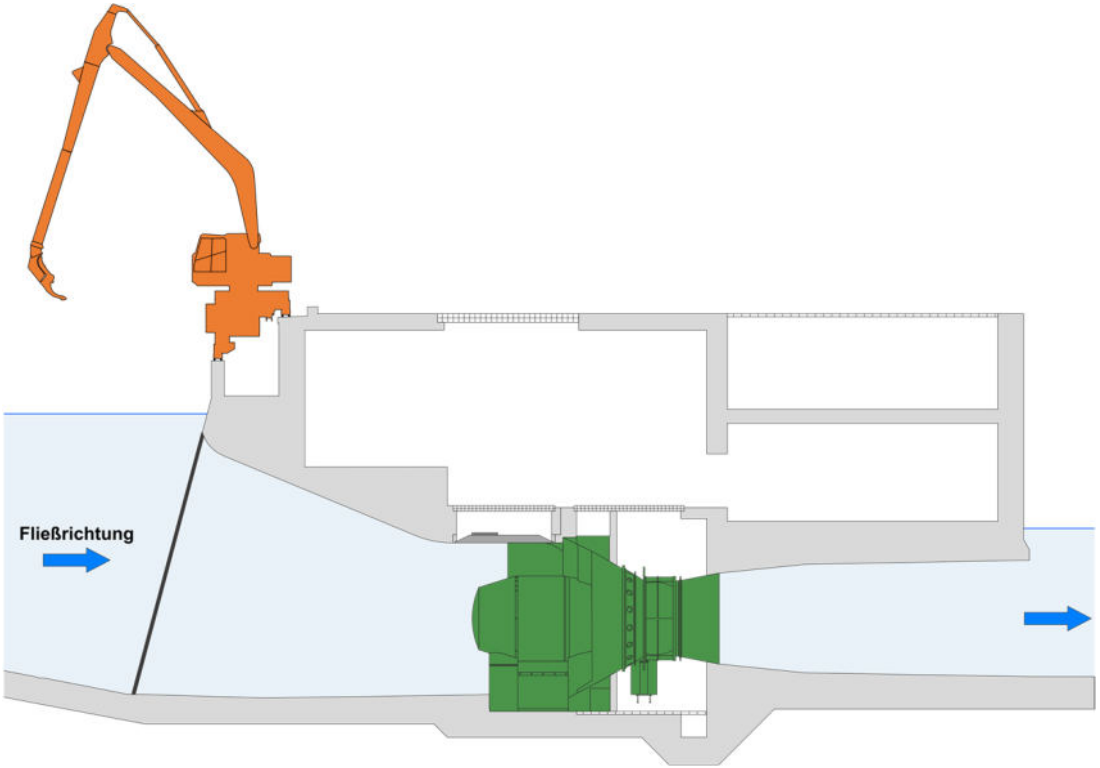
- Inbetriebnahme: 1939
- Durchmesser: 3,89 m
- Anzahl Schaufeln: 4
- Drehzahl: 93,8 U/min
- Ausbauleistung: 2,1 MW
- Ausbauabfluss: 70 m³/s



Kraftwerkstechnologie

Horizontale Kaplan-Rohrturbine (Minimum Gap Runner)

- Inbetriebnahme: 2018
- Durchmesser: 2,85 m
- Anzahl Schaufeln: 4
- Drehzahl: 130,0 U/min
- Ausbauleistung: 2,1 MW
- Ausbauabfluss: 55 m³/s



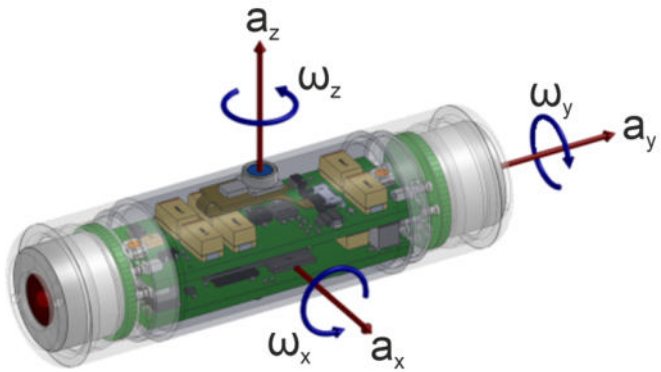
Sensorfisch-Technologie

Sensorfisch ARC800

- Länge: 90 mm
- Durchmesser: 25 mm
- Gewicht: 43 g
- Dichte: 1,01 mg/mm³
  (= im Wasser schwebend)
- Interne Batterie (105 mAh)
- Interner Flash-Speicher
- 2048 Messungen pro Sekunde
- Aufnahmedauer: 4 min
- Radiotelemetrie-Sender
- Auftauchfunktion

Messung physikalischer Parameter

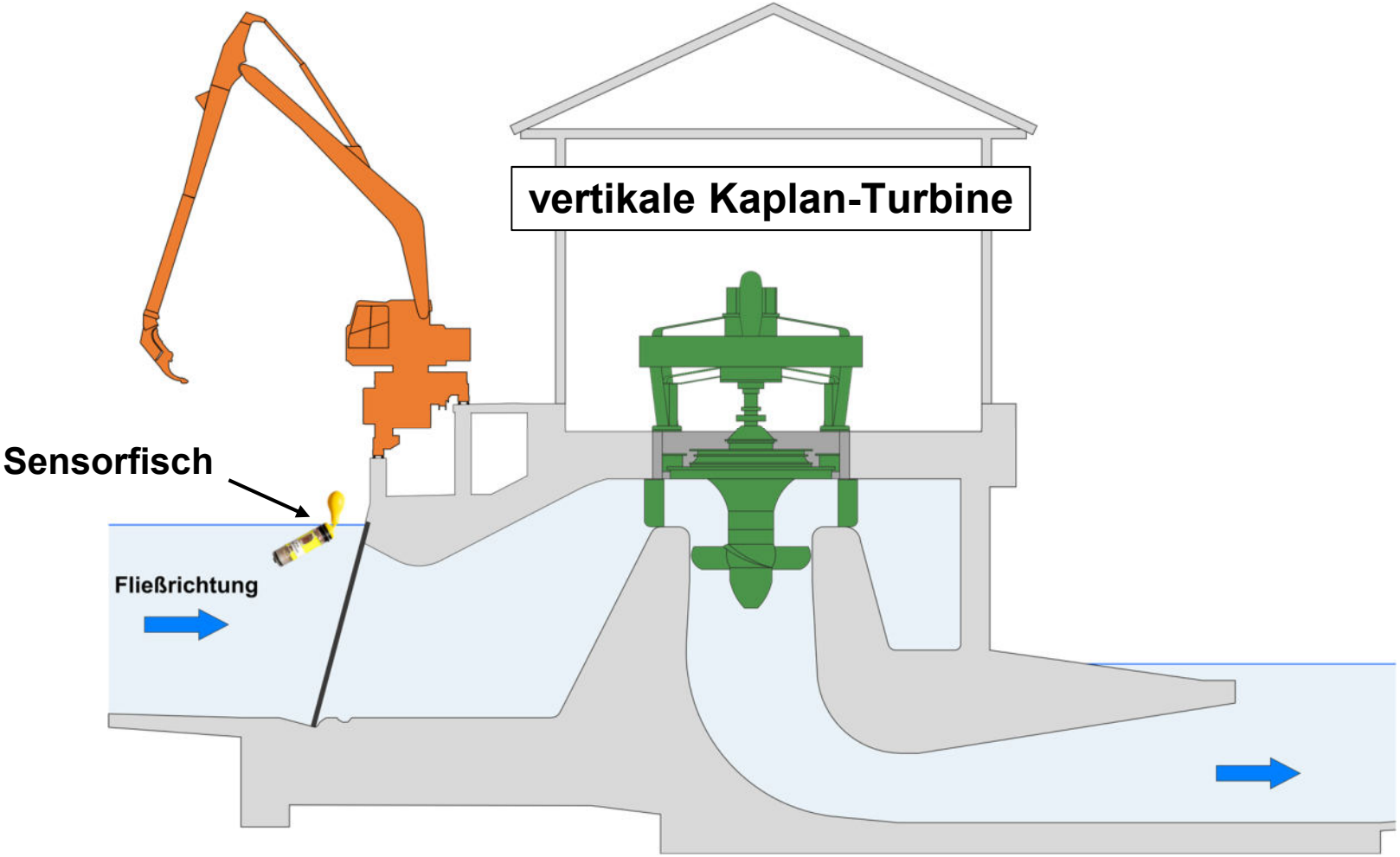
- Druck (0–1400 kPa)
- Beschleunigung (0–200*g**)
- Rotationen (0–1400°/s)
- Temperatur (-40–125°C)



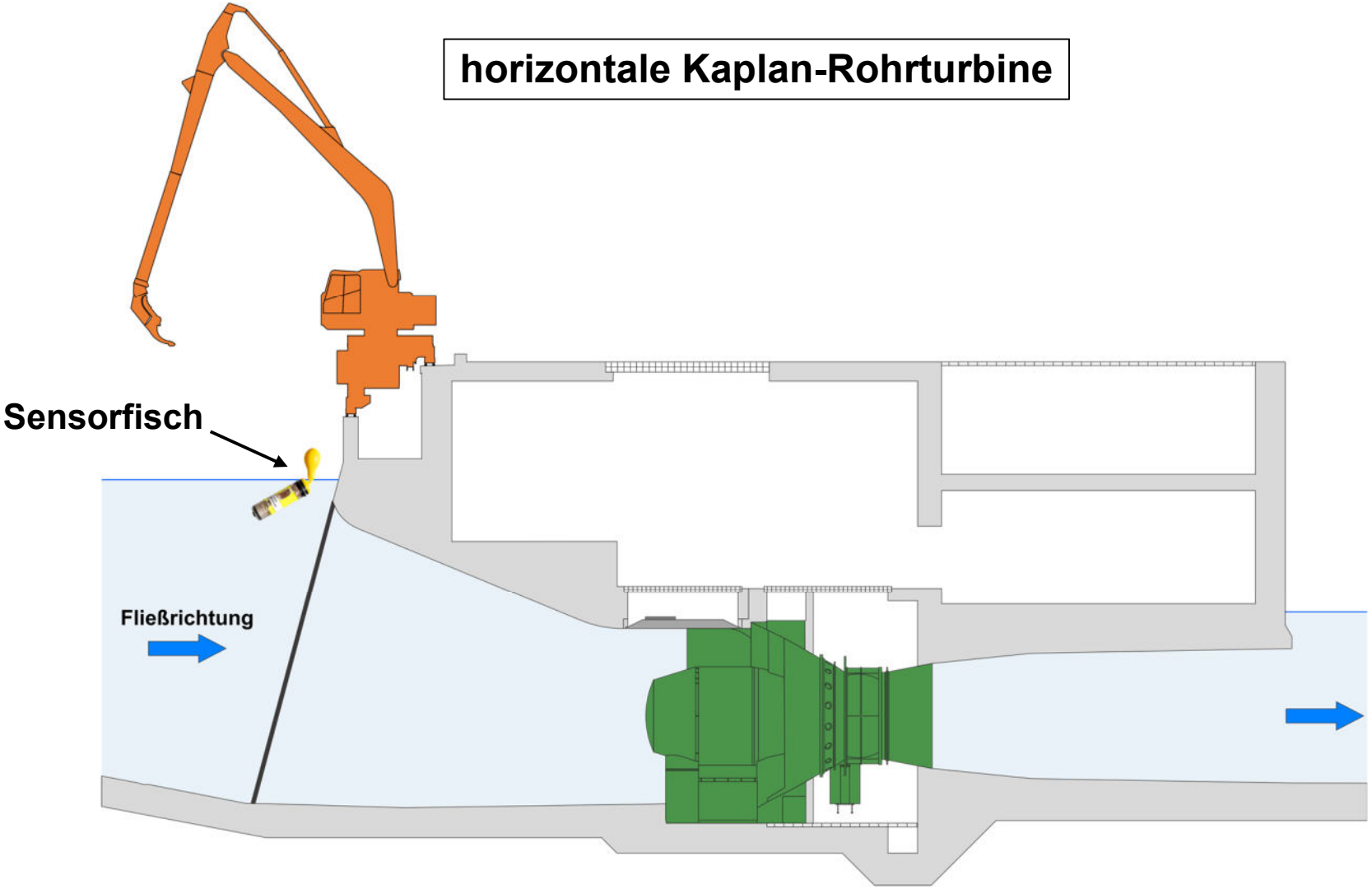
Deng et al. 2007 Sensors

**g* = Erdbeschleunigung (= 9,81 m/s²)

Versuchsdesign

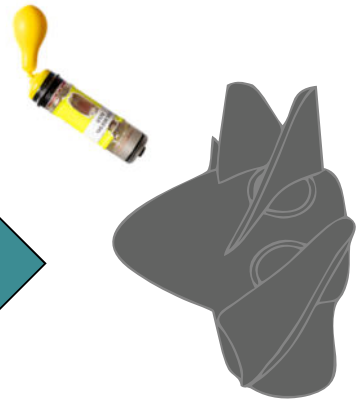


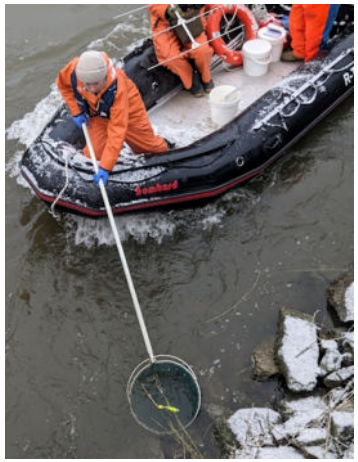
Versuchsdesign



Versuchsdesign

Gelatinekapsel gefüllt mit $NaHCO_3$ & $C_6H_8O_7$

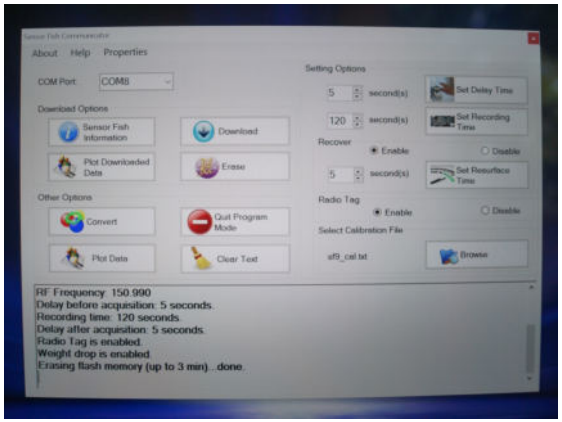




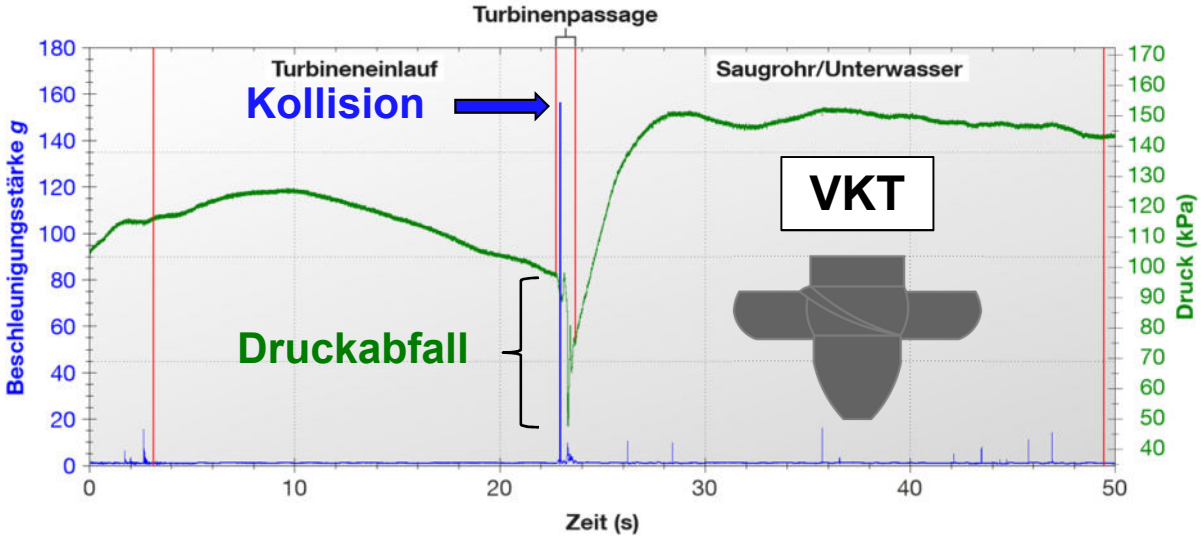
Datenauswertung

Ausgewertete Parameter

- Nadir-Druck (niedrigster Druck während Passage, kPa)
- Dekompressionsrate (kPa/s)
- Druckveränderungsrate (Nadir-Druck/Akklimatisierungsdruck)
- Kollisionsstärke (*g*), Anzahl Kollisionsereignisse
- Scherkräfte (*g*), Anzahl Scherereignisse
- Rotationsgeschwindigkeiten (Grad/s)



Datenauswertung

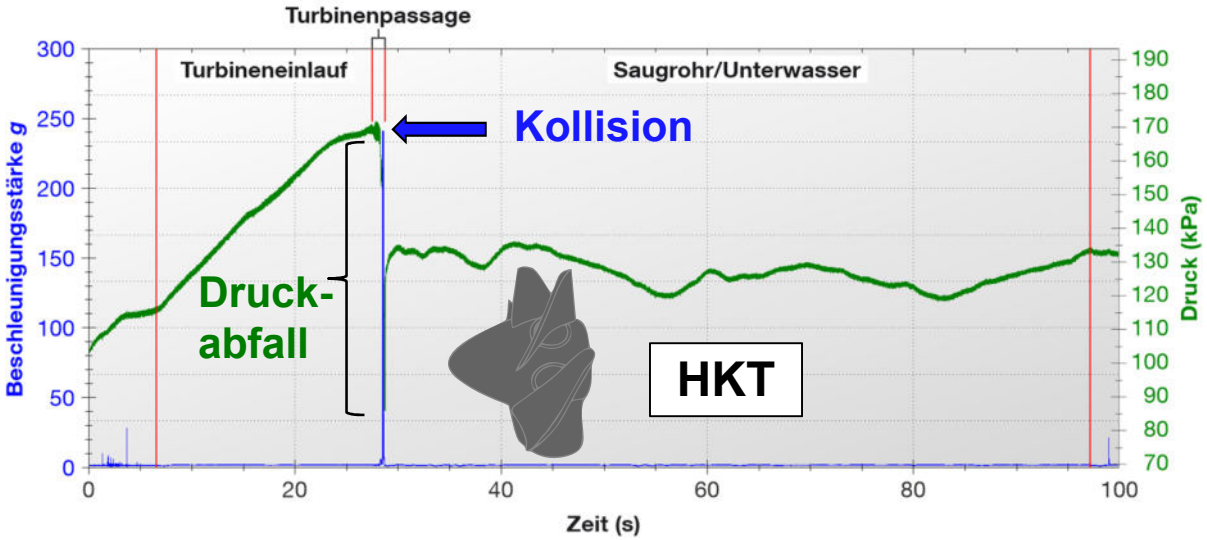


54 Versuchsdurchgänge

43 verwertbare Datensätze

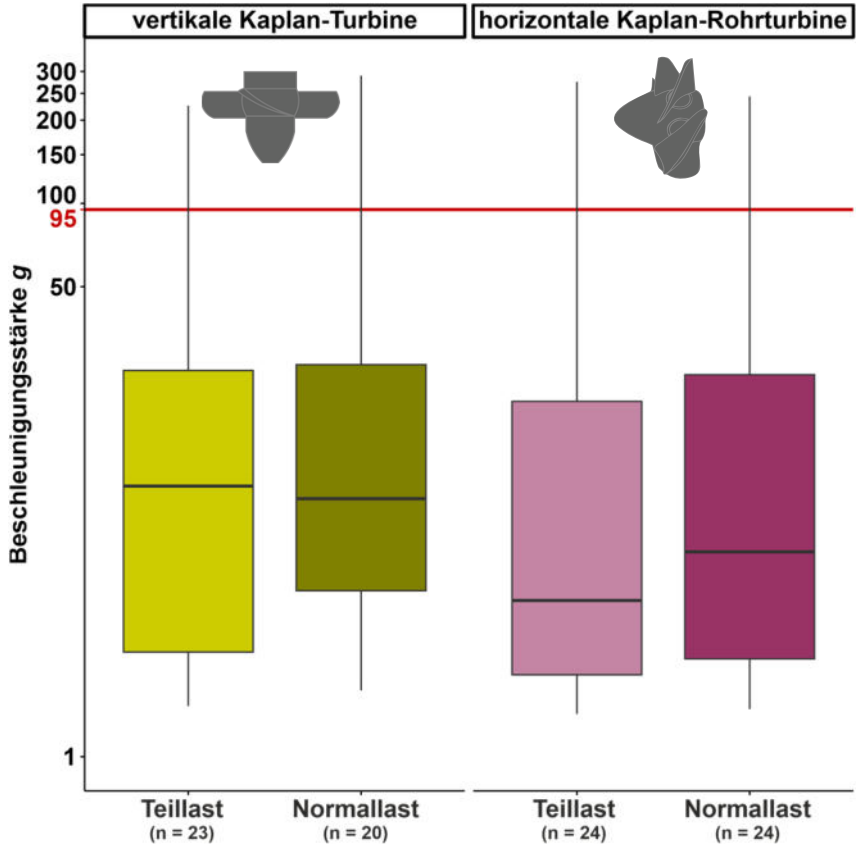
68 Versuchsdurchgänge

48 verwertbare Datensätze



Ergebnisse: Beschleunigungsstärke

Vergleich der Prüfpunkte „Teillast“ vs. „Normallast“

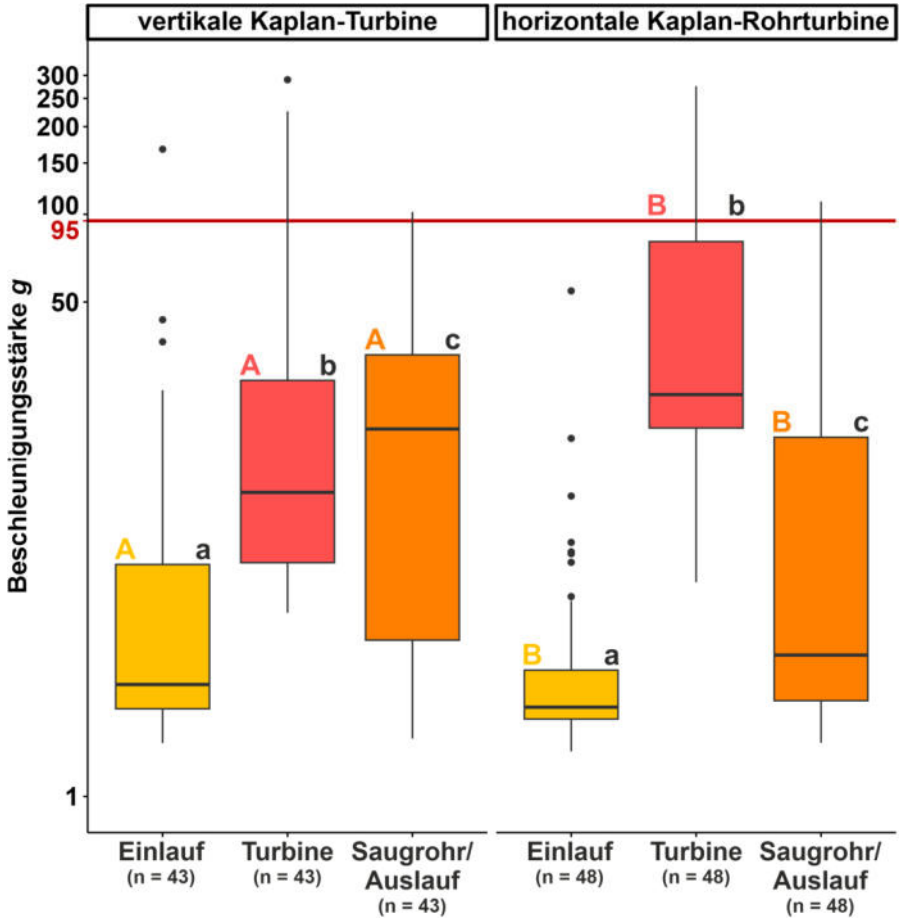


Werte > 95 *g*: schweres Ereignis, das zu schwerwiegenden Verletzungen und Mortalität bei Fischen führen kann.

Keine signifikanten Unterschiede in max. Beschleunigungsstärke und Kollisionshäufigkeit zw. beiden Turbinentypen sowie innerhalb eines Turbinentyps zw. „Teillast“ und „Normallast“

Ergebnisse: Beschleunigungsstärke

Vergleich der Bereiche Einlauf, Turbine, Saugrohr/Auslauf

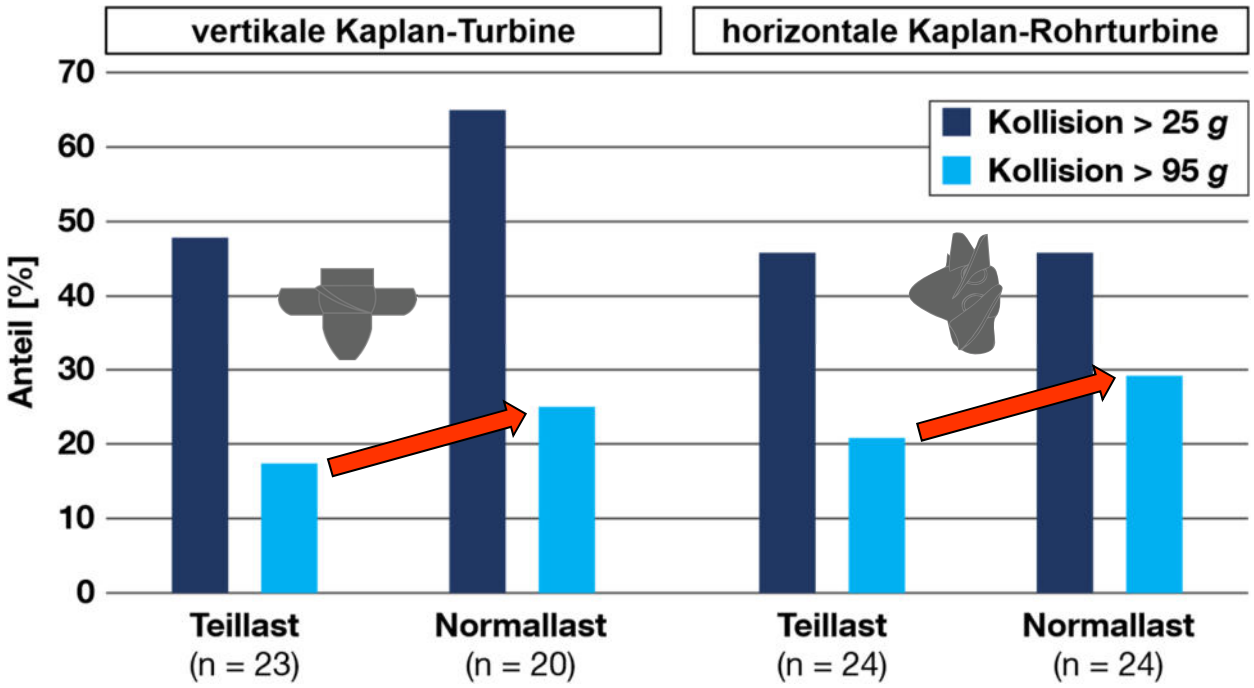


Werte > 95 *g*: schweres Ereignis, das zu schwerwiegenden Verletzungen und Mortalität bei Fischen führen kann.

Höhere Anzahl und Stärke von Kollisionen im Bereich der Turbineneinheit der **HKT** vermutlich aufgrund höherer Drehzahl und Umfangsgeschwindigkeit

Ergebnisse: Häufigkeit von Kollisionen

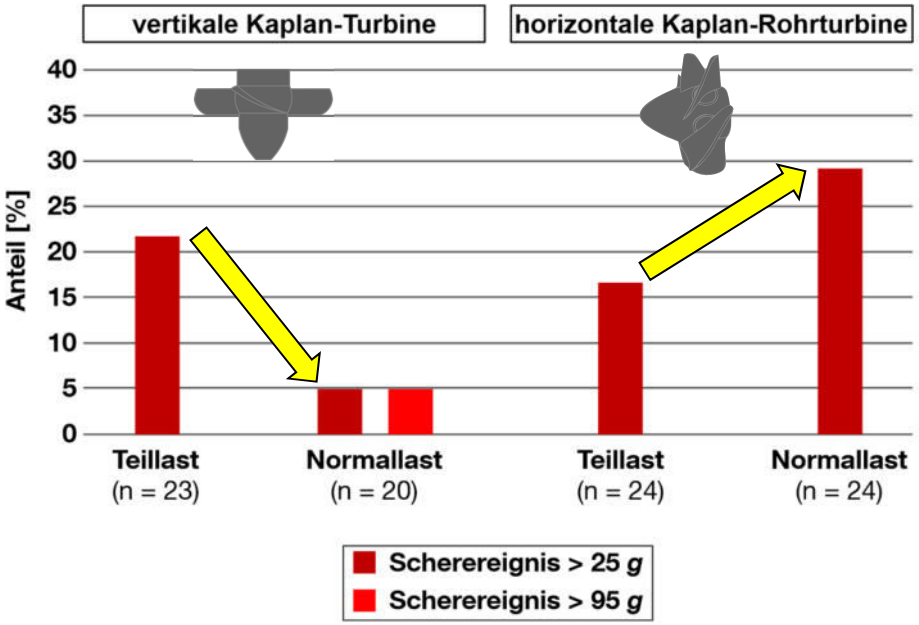
Vergleich der Prüfpunkte „Teillast“ vs. „Normallast“



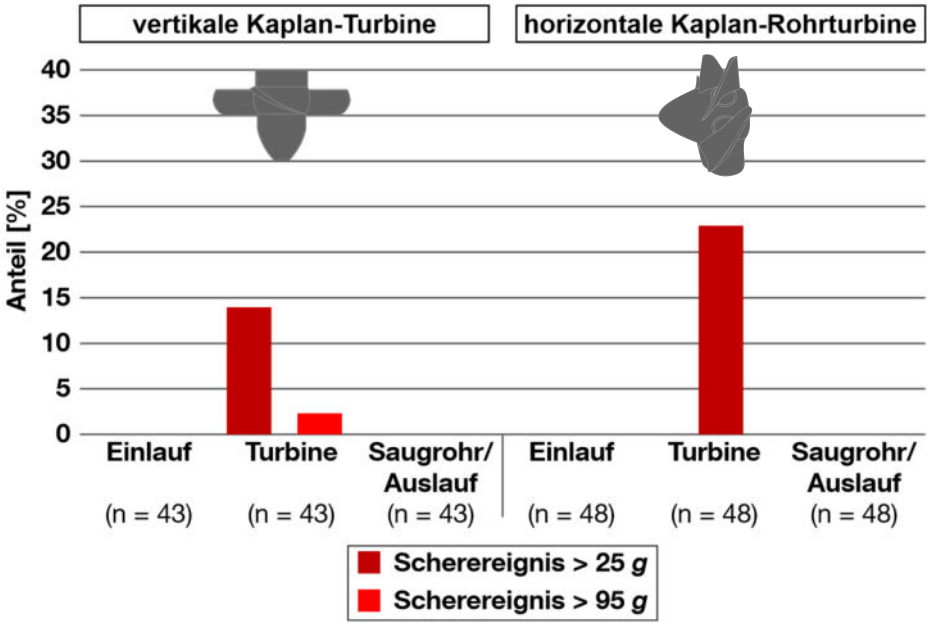
Anteil an Versuchsdurchgängen mit schweren Kollisionsereignissen > 95 *g* an beiden Turbinentypen bei „Normallast“ höher als bei „Teillast“

Ergebnisse: Scherkräfte

„Teillast“ vs. „Normallast“



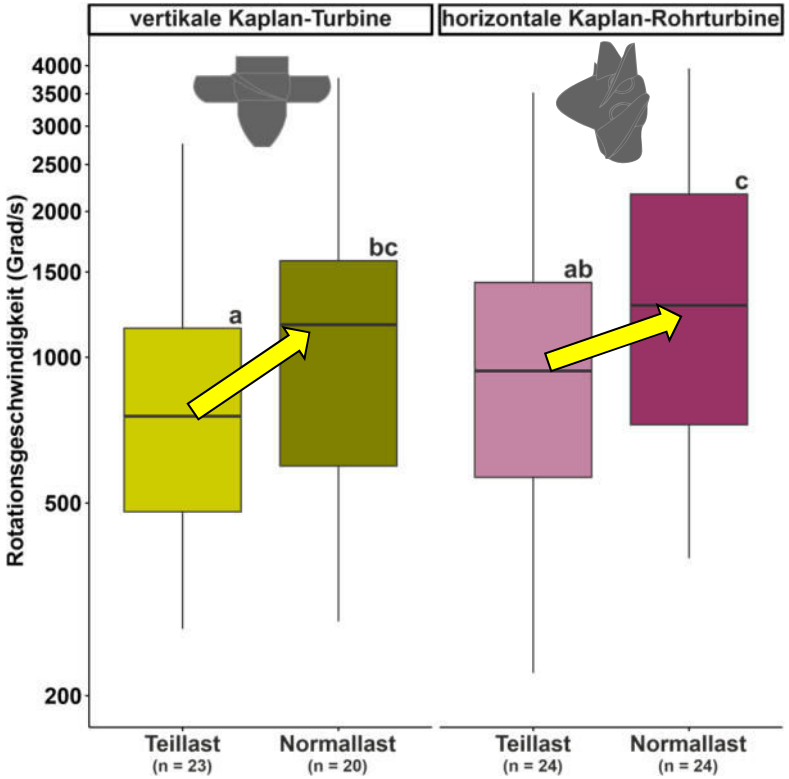
Einlauf, Turbine, Saugrohr/Auslauf



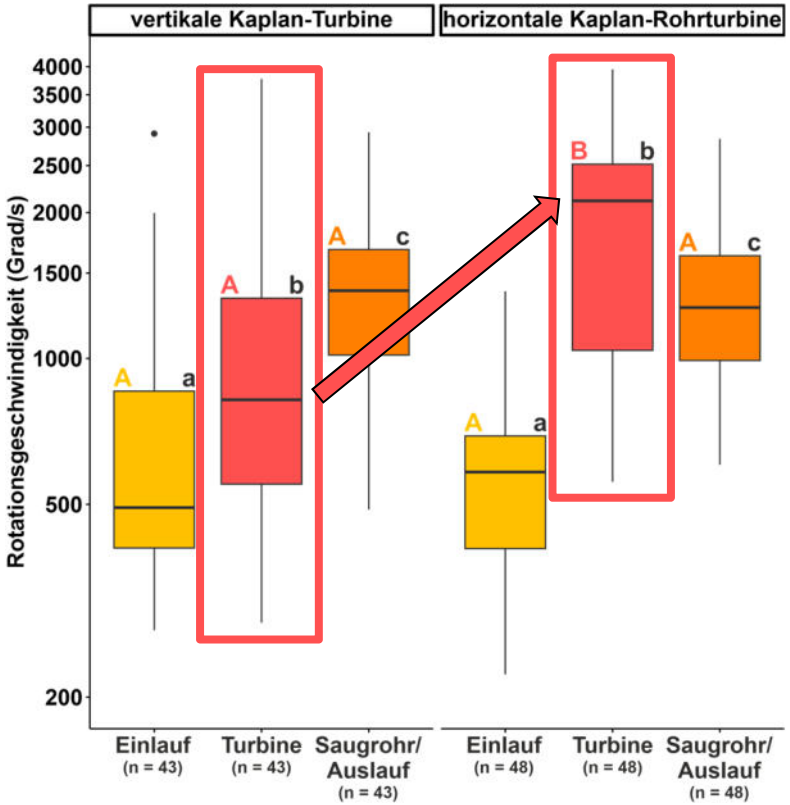
Geringes Risiko für schwerwiegende Verletzungen und Mortalität von Fischen durch Scherkräfte an **HKT**. Auch an **VKT** spielen Scherkräfte eine untergeordnete Rolle, wobei hier das Risiko für schwere Verletzungen etwas höher ist.

Ergebnisse: Rotationsgeschwindigkeiten

„Teillast“ vs. „Normallast“

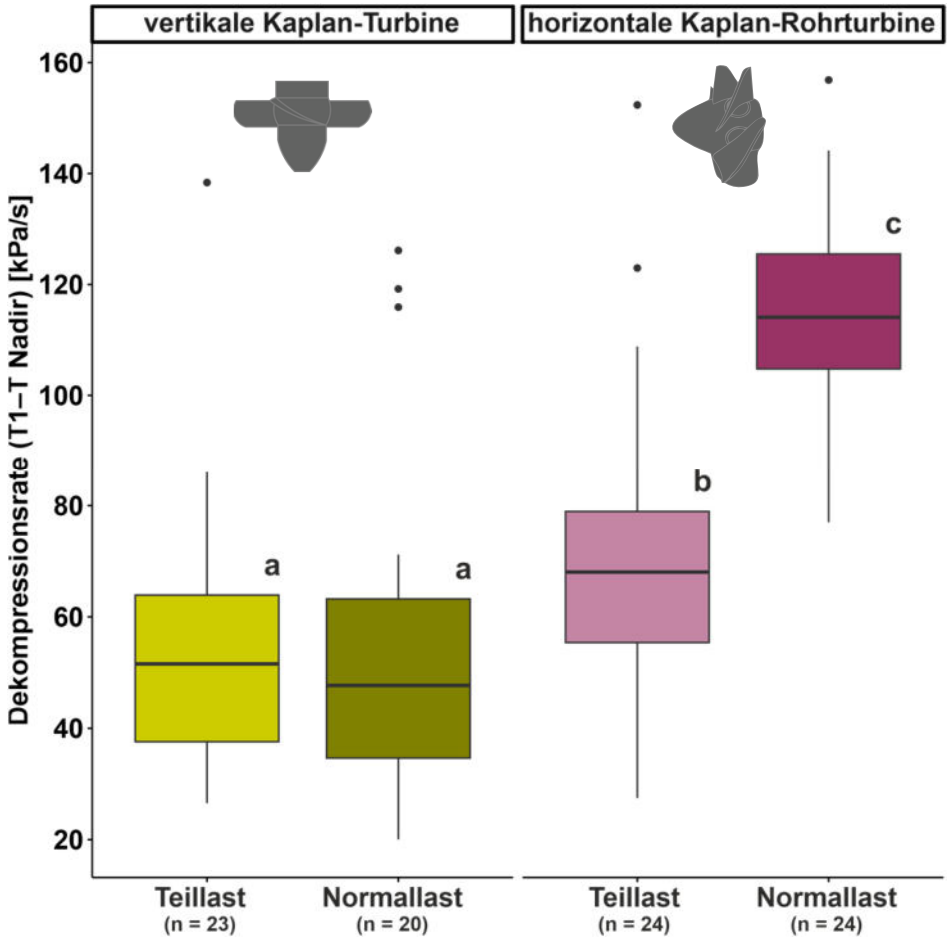


Einlauf, Turbine, Saugrohr/Auslauf



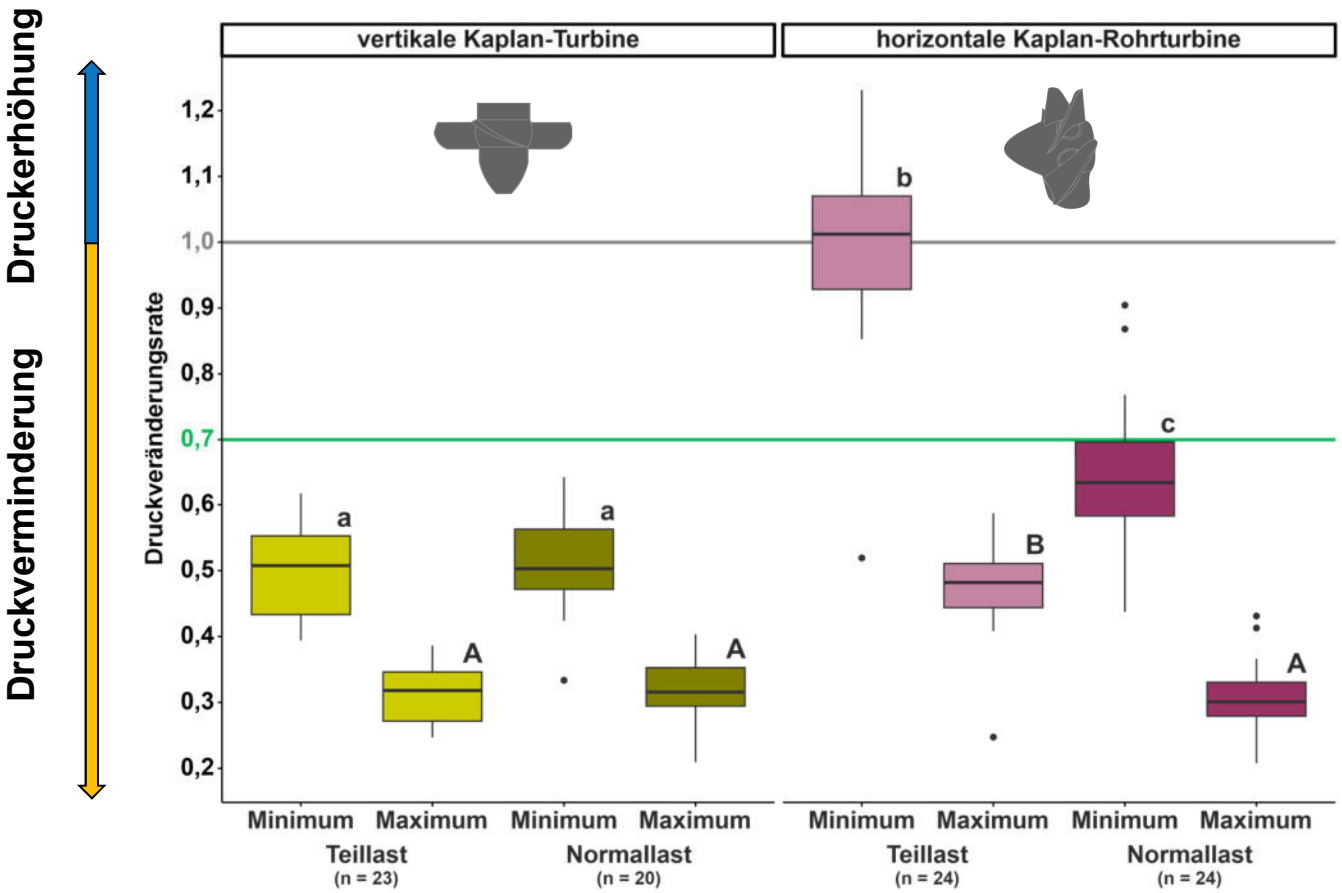
- Bei beiden Turbinentypen stärkere Turbulenzen bei „Normallast“ im Vergleich zu „Teillast“
- Stärkere Turbulenzen an **HKT** als an **VKT** im Bereich der Turbineneinheit

Ergebnisse: Druckveränderungen – Dekompressionsrate
(= Druckveränderung pro Zeiteinheit)



- Dekompressionsraten an **HKT** signifikant höher als an **VKT**, d.h. der Druckabfall an **HKT** erfolgt schneller
- Kein signifikanter Unterschied in Dekompressionsraten zwischen „Teillast“ und „Normallast“ an **VKT**
- Dekompressionsraten an **HKT** bei „Normallast“ signifikant höher als bei „Teillast“

Ergebnisse: Druckveränderungen – Druckveränderungsrate
(= Nadir Druck/Akklimatisierungsdruck)



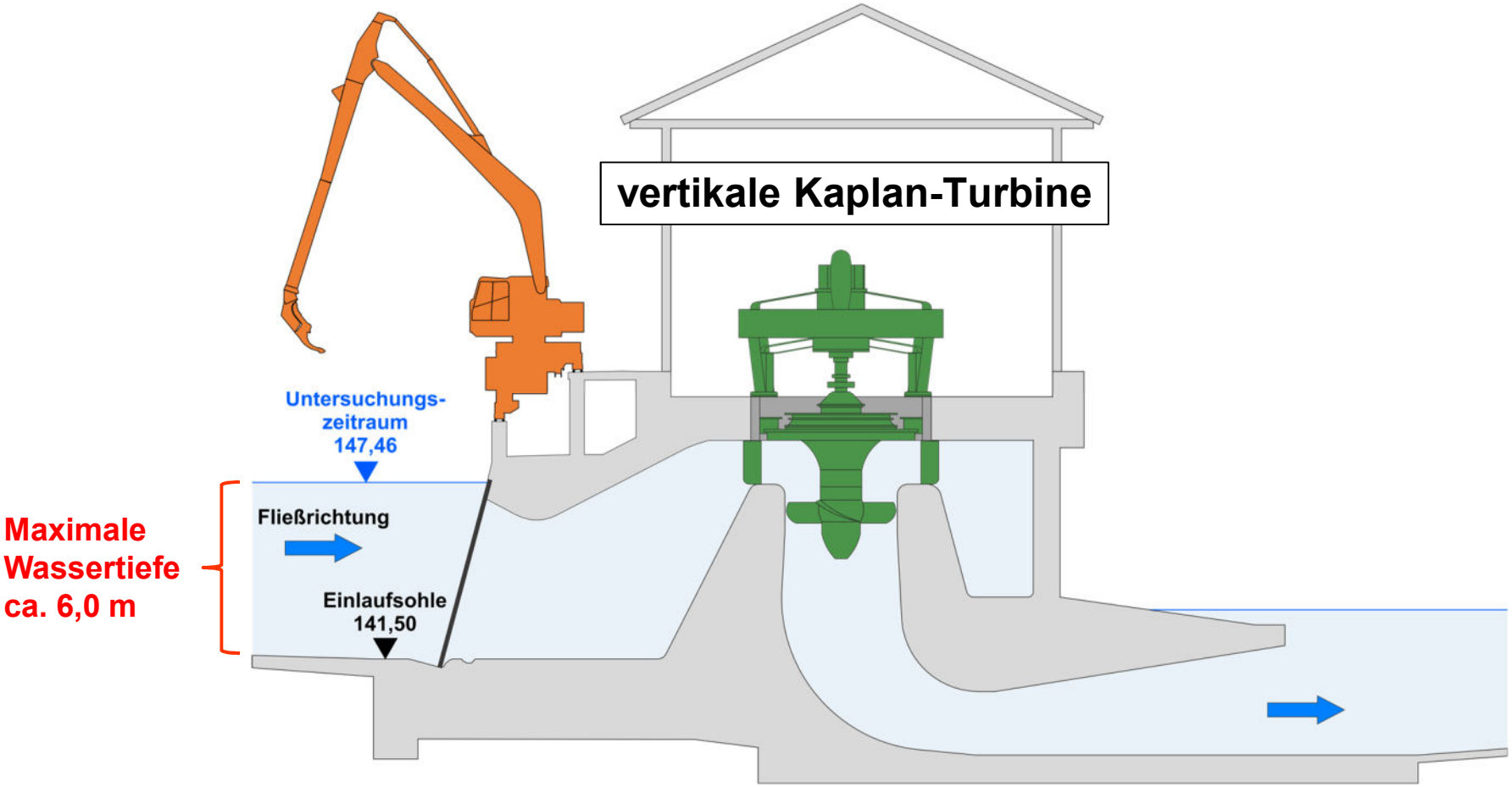
Keine Druckveränderung

Werte < 0,7: Risiko für schwerwiegende Barotrauma-Verletzungen bei Fischen

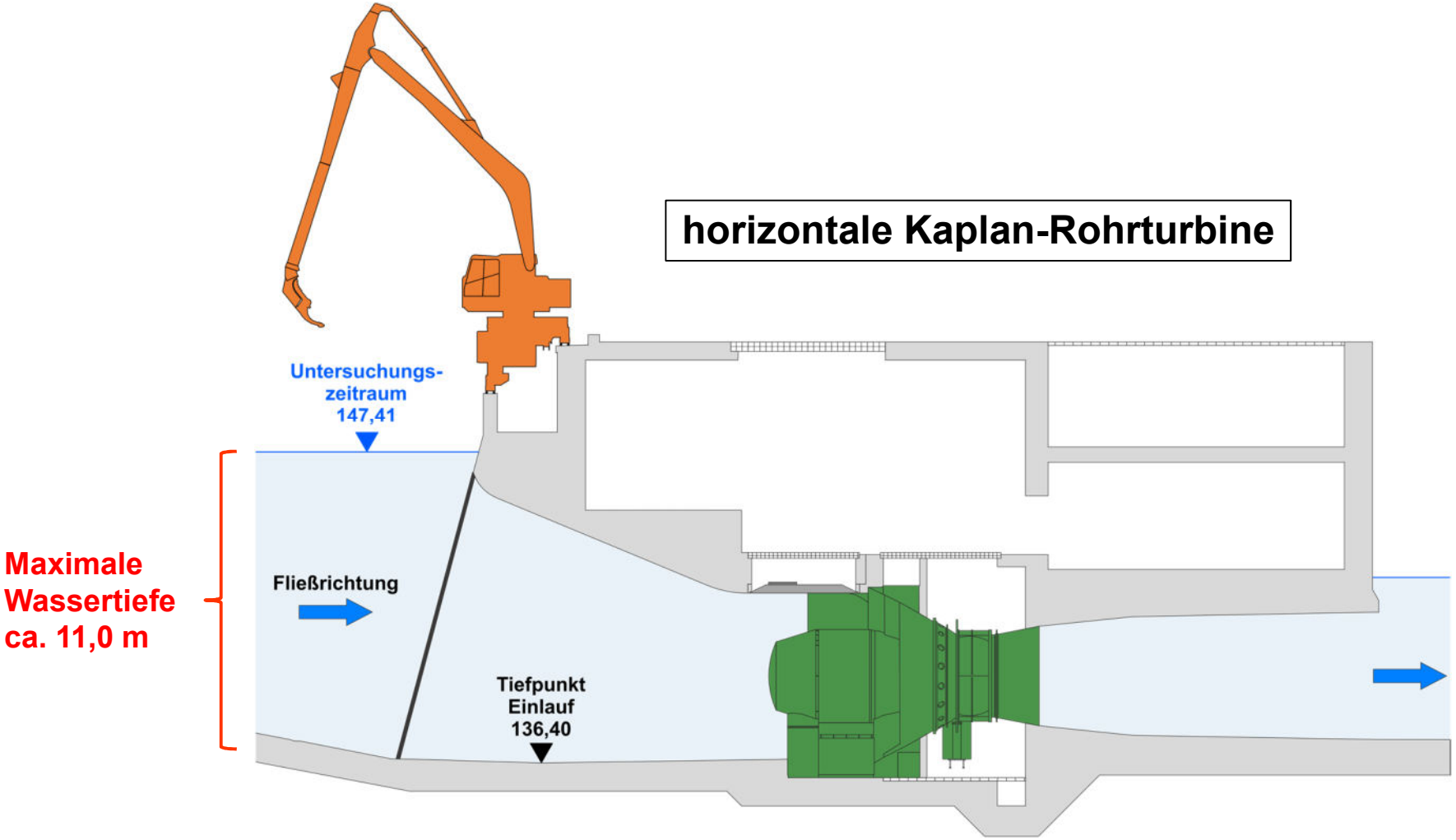
Minimum = Fisch hat Schwimmblasenfüllung an Druck an Wasseroberfläche angepasst (ca. 101 kPa)

Maximum = Fisch hat Schwimmblasenfüllung an maximale Wassertiefe im Einlaufbereich angepasst

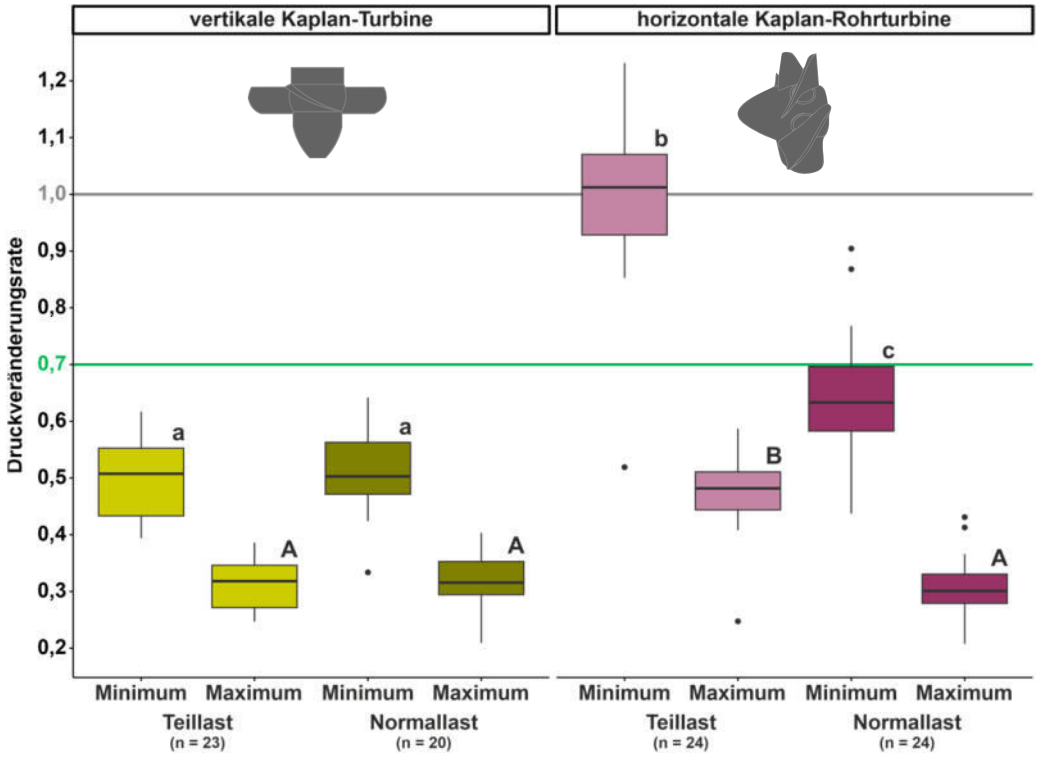
Ergebnisse: Druckveränderungen – Druckveränderungsrate
(= Nadir Druck/Akklimatisierungsdruck)



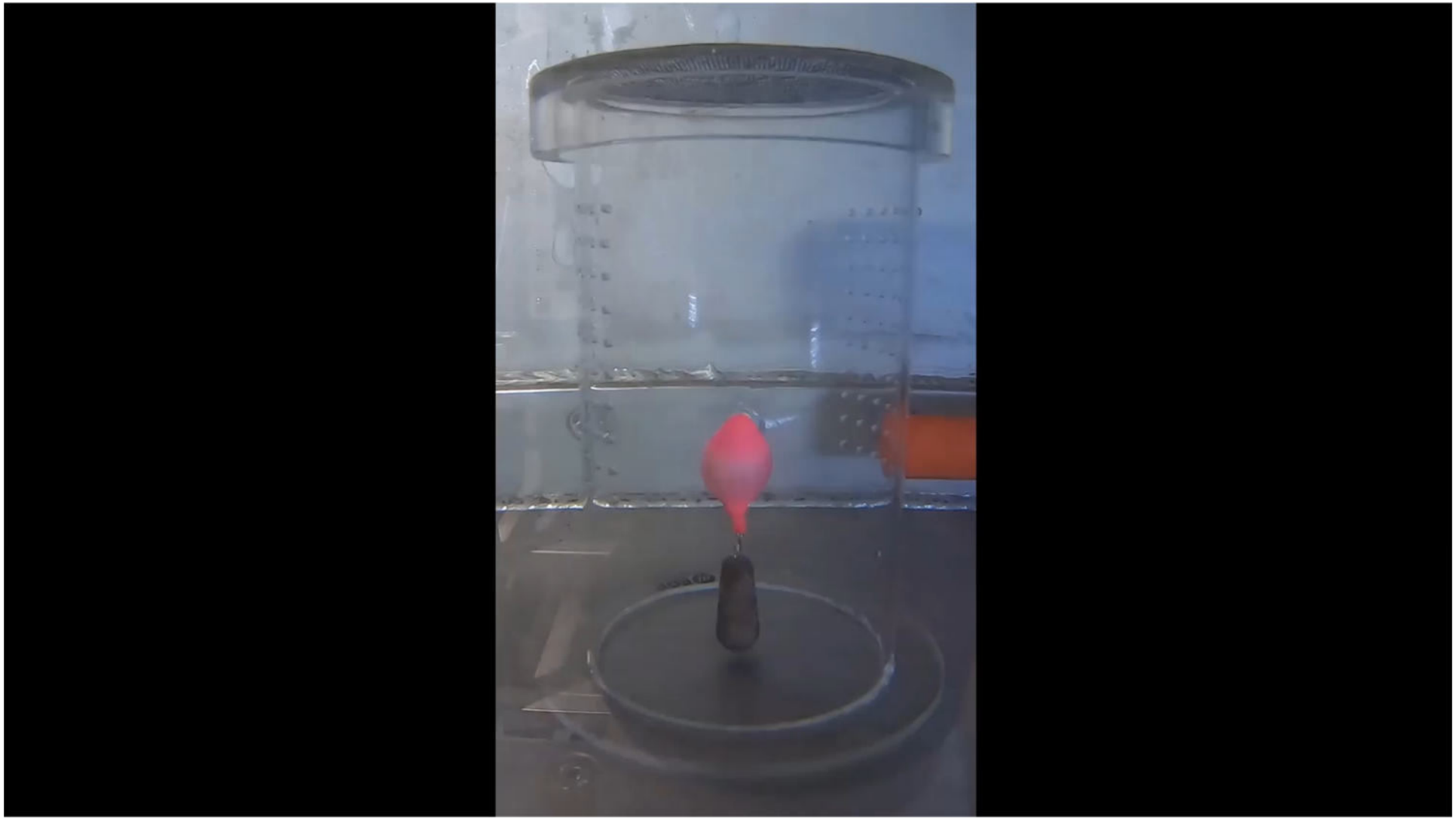
Ergebnisse: Druckveränderungen – Druckveränderungsrate
(= Nadir Druck/Akklimatisierungsdruck)



Ergebnisse: Druckveränderungen – Druckveränderungsrate
(= Nadir Druck/Akklimatisierungsdruck)



- Fische erfahren an **VKT** stärkere und somit schädlichere Druckveränderungen als an **HKT**
- Hohes barotraumabedingtes Verletzungs- und Mortalitätsrisiko für Fische an **VKT**
- Druckveränderungsraten für tiefenakklimatisierte Fische liegen an beiden Turbinentypen sowohl bei „Teillast“ als auch bei „Normallast“ in einem Bereich, in welchem Verletzungen und Mortalität durch Barotrauma auftreten können.



Druckkammer-Versuche Lehrstuhl Aquatische Systembiologie, TUM

Fazit

- Unter den hier untersuchten Prüfpunkten „Teillast“ und „Normallast“ sind die physikalischen Bedingungen für Fische bei der Passage der **VKT** tendenziell schädlicher als an der **HKT**.

➡ An der neuen **HKT** sind prozentual etwas geringere Verletzungs- und Mortalitätsraten zu erwarten als an der **VKT** des Kraftwerks Rothenfels.

- An **HKT** ist der untersuchte „Normallast“-Betrieb im Vergleich zum „Teillast“-Betrieb der vermutlich schädlichere Betriebszustand. An **VKT** geringere Unterschiede zwischen Prüfpunkten „Teillast“ und „Normallast“ als an **HKT**.

➡ Beide Turbinentypen sollten aber nicht in einem deutlich niedrigeren Lastzustand als der hier untersuchte Prüfpunkt „Teillast“ betrieben werden, da eine sehr enge Laufradstellung das Mortalitätsrisiko von Fischen deutlich erhöhen kann.

- Sensorfische sind gut geeignet, um die physikalischen Kräfte zwischen verschiedenen Turbinentypen und Lastzuständen zu vergleichen.

➡ Optimierungsmöglichkeiten im Zusammenhang mit Turbinendesign und -betrieb können identifiziert werden, die zu einer weniger fischschädlichen Wasserkraftproduktion beitragen können.

Dank

- Uniper Kraftwerke GmbH
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Aschaffenburg, Leitzentrale Harrbach
- Fischereifachberatung Unterfranken
- Projektteam, Helferinnen und Helfer bei den Freilandarbeiten

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!