

Nadine Müller, Christian Jähnel und Jürgen Stamm

Errichtung eines 1:1 Labormodells für ethohydraulische Untersuchungen an einem Wasserwirbelkraftwerk

Wipro Energieforum

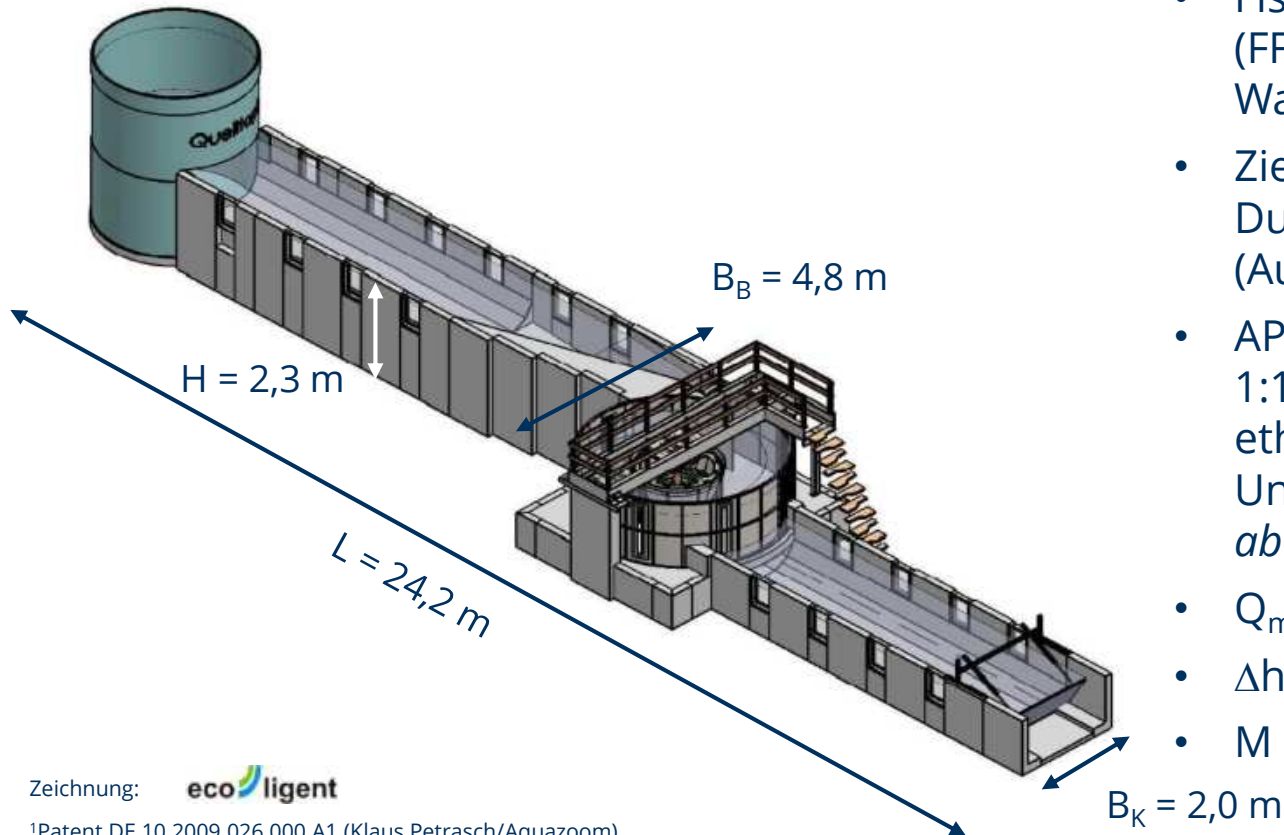
06. Dezember 2018 in Dresden

Gliederung

1. Einführung
2. Errichtung des Versuchsstandes
3. Laboruntersuchungen
4. Numerische Simulationen
5. Ethohydraulische Untersuchungen
6. Fazit und Ausblick



Einführung



¹Patent DE 10 2009 026 000 A1 (Klaus Petrasch/Aquazoom),

²Patent WO 2004/061295 A2 (Franz Zotlöterer)

- Fischfreundliches Wehr¹ (FFW) als Sonderform eines Wasserwirbelkraftwerkes²
- Ziel: Nachweis der Durchgängigkeit für Fische (Auf- und Abstieg)
- AP 4.5.1: Errichtung eines 1:1 Labormodells für ethohydraulische Untersuchungen *ab 04/2017*
- $Q_{\max} = 710 \text{ l/s}$
- $\Delta h \cong 1 \text{ m}$
- M 1:1

Errichtung des Versuchsstandes

- Grundgerüst aus Beton-Fertigteil-Winkelelementen mit Sichtöffnung zur Beobachtung der Fische
- verlängerter Ober- und Unterwasserkanal als Referenzstrecke für Fischversuche
- Unterbau des Wirbelbeckens mit Sichtöffnung unterhalb der zentrierten Beckenbodenöffnung

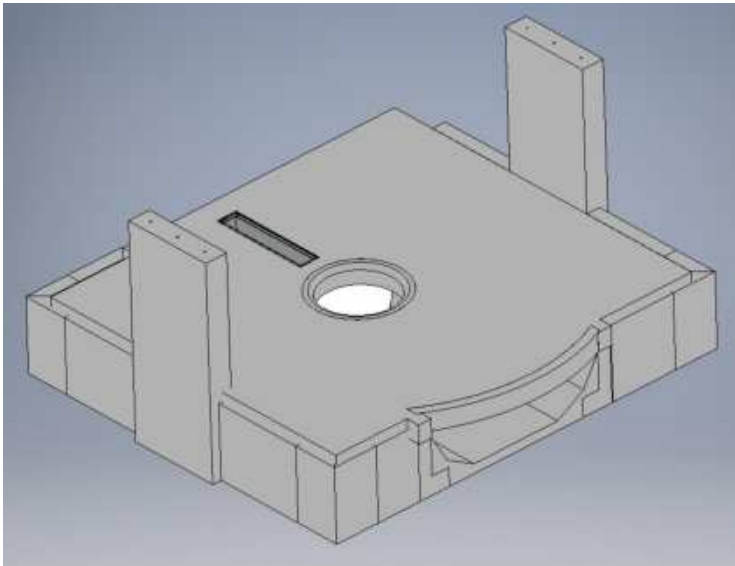
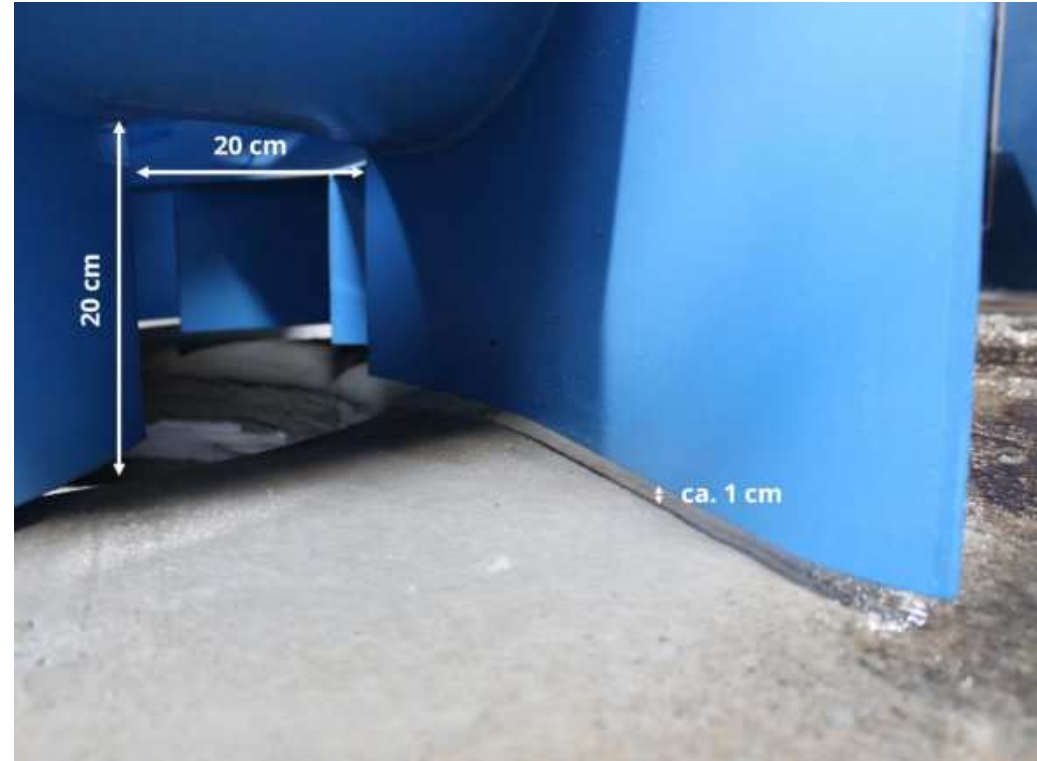


Foto: IWD

Errichtung des Versuchsstandes

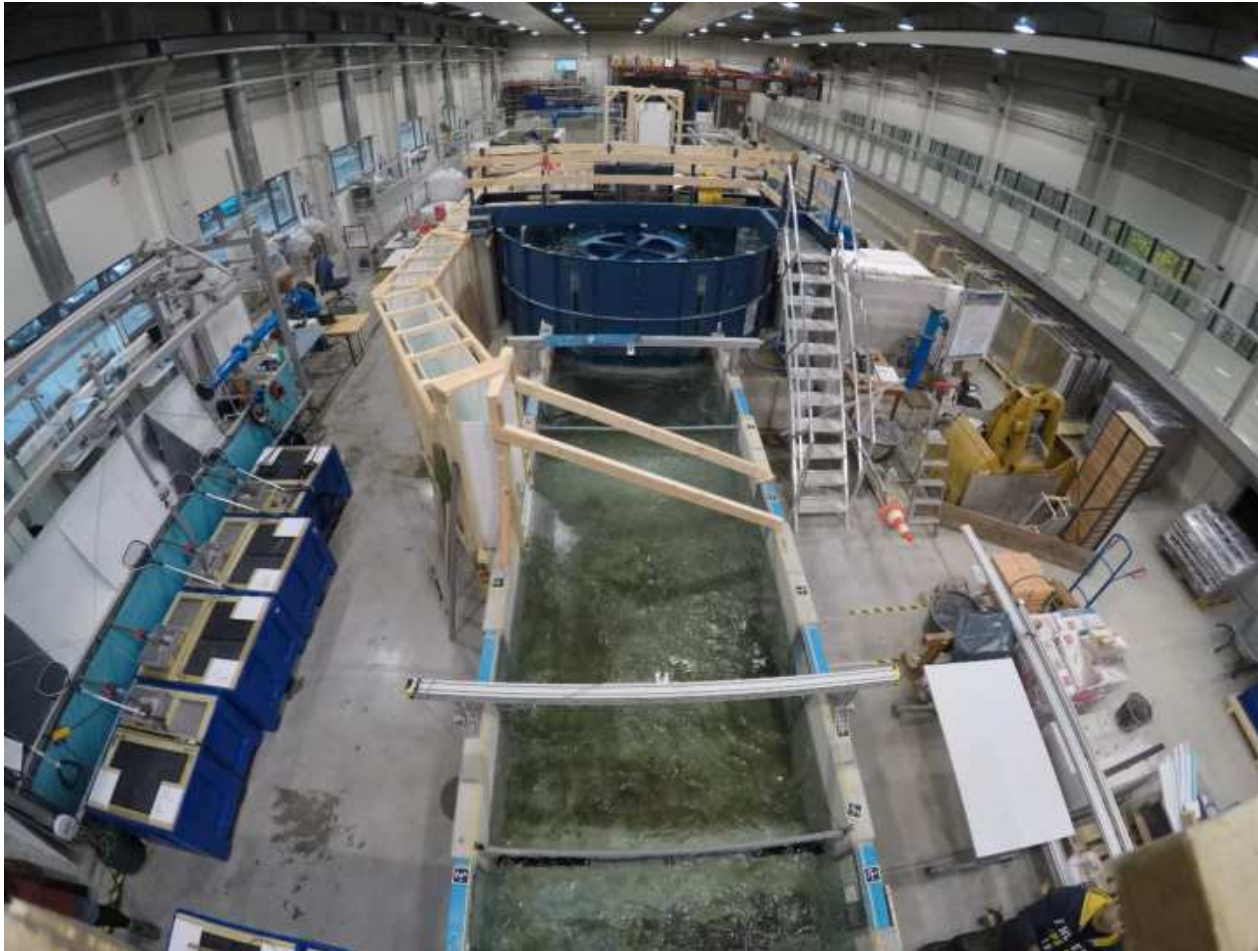


Wirbelbecken (Radius $r_{\max} = 1,98$ m bzw. $r_{\min} = 1,68$ m) und Gerätebrücke aus vorgefertigten Stahlkomponenten



Wirbelturbine mit 9 Schaufeln

Errichtung des Versuchsstandes



Modell FFW an der
TU Dresden

Fertigstellung nach
ca. 6 Monaten
Bauzeit

Folie 6

Errichtung des Versuchsstandes



Modell FFW an der
TU Dresden

November 2018

$Q = 700 \text{ l/s}$

$n = 24 \text{ U/min}$

Folie 7

Errichtung des Versuchsstandes



Video: UvGU Magdeburg,
ISUT (Cleyen)

Modell FFW an der TU Dresden, 29.08.2018, $Q = 355 \text{ l/s}$, $n = 18,5 \text{ U/min}$

Folie 8

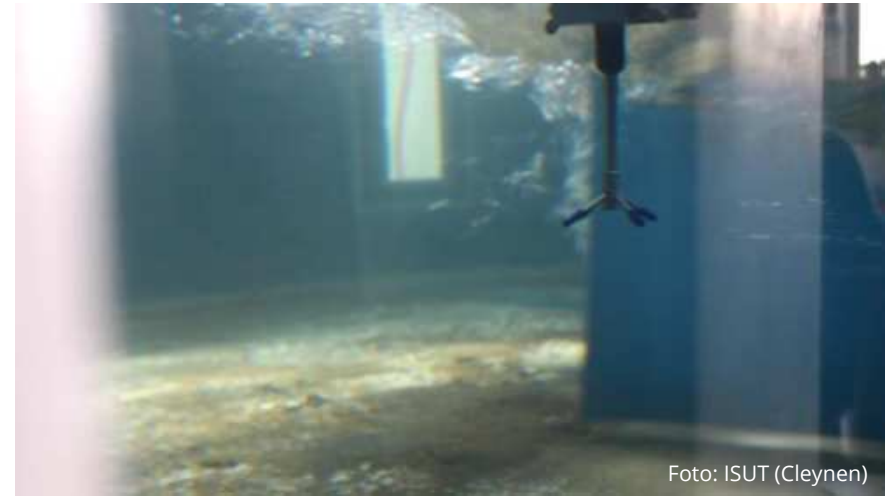
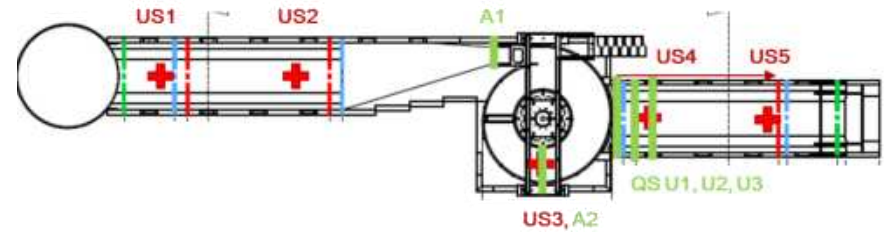
Laboruntersuchungen

Messung relevanter Strömungsgrößen

- **Ultraschallsonden** → h (punktuell)
- **3D-ADV**
(Acoustic Doppler Velocimetry)
→ v und v'
- **PTV**
(Particle Tracking Velocimetry)
→ h (2D) und v (oberflächennahe Strömungsgeschwindigkeit)
- Bestimmung der **Drehzahl n** und **Gesamtanlagenleistung P** am Einspeisewechselrichter

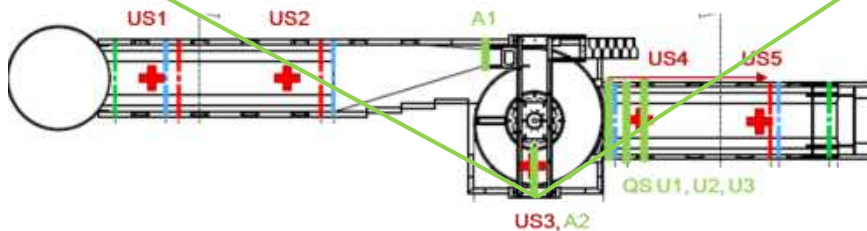
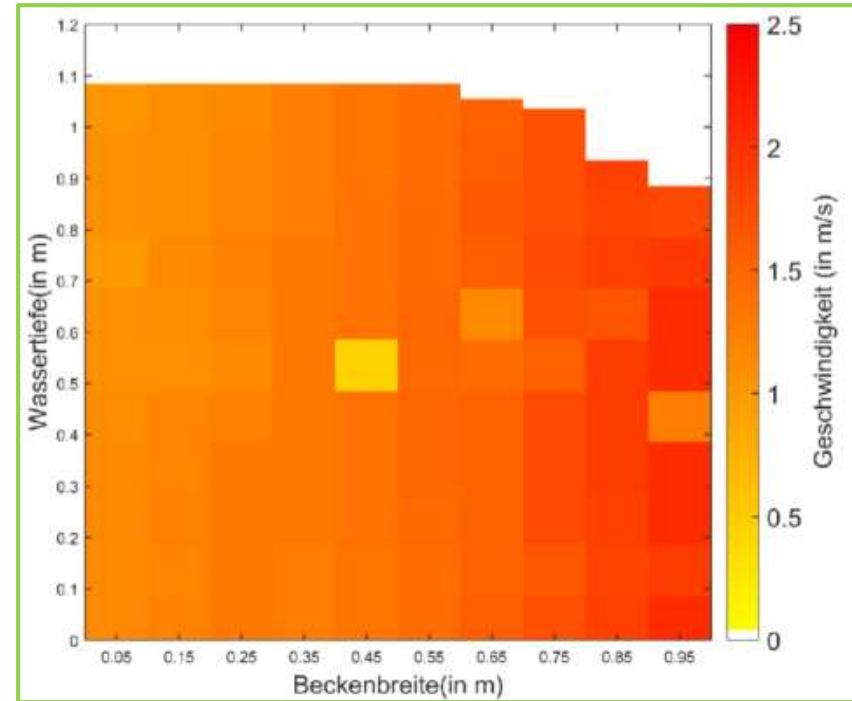
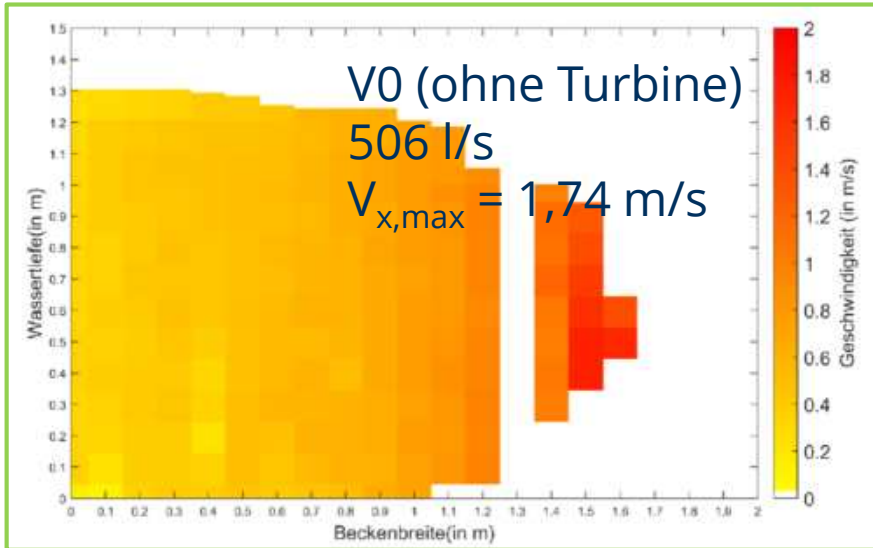
⇒ Kalibrierung eines 3D-Hydrnumerischen-Modells

→ Bestimmung von v und h (auch in nicht zugänglichen Bereichen, z.B. unter der Turbine)



Laboruntersuchungen

Fließgeschwindigkeiten



V1 (mit Turbine)
702 l/s
 $V_{x,max} = 2,07 \text{ m/s}$

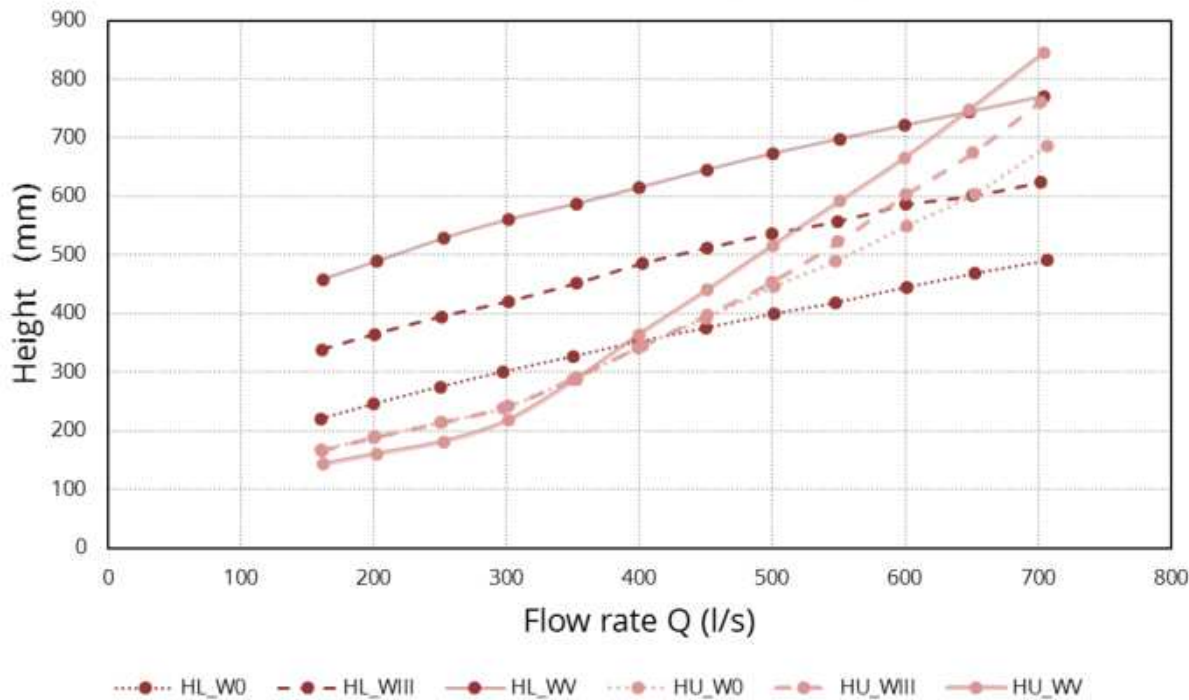
Daten: Studienarbeit Carina Schmidt,
Diplomarbeit Jan Gilak, Bearb. NM

Folie 10

Laboruntersuchungen

Hydraulik der Anlage

Relation between height of water in upper and lower channel and Flow rate (Test V1).



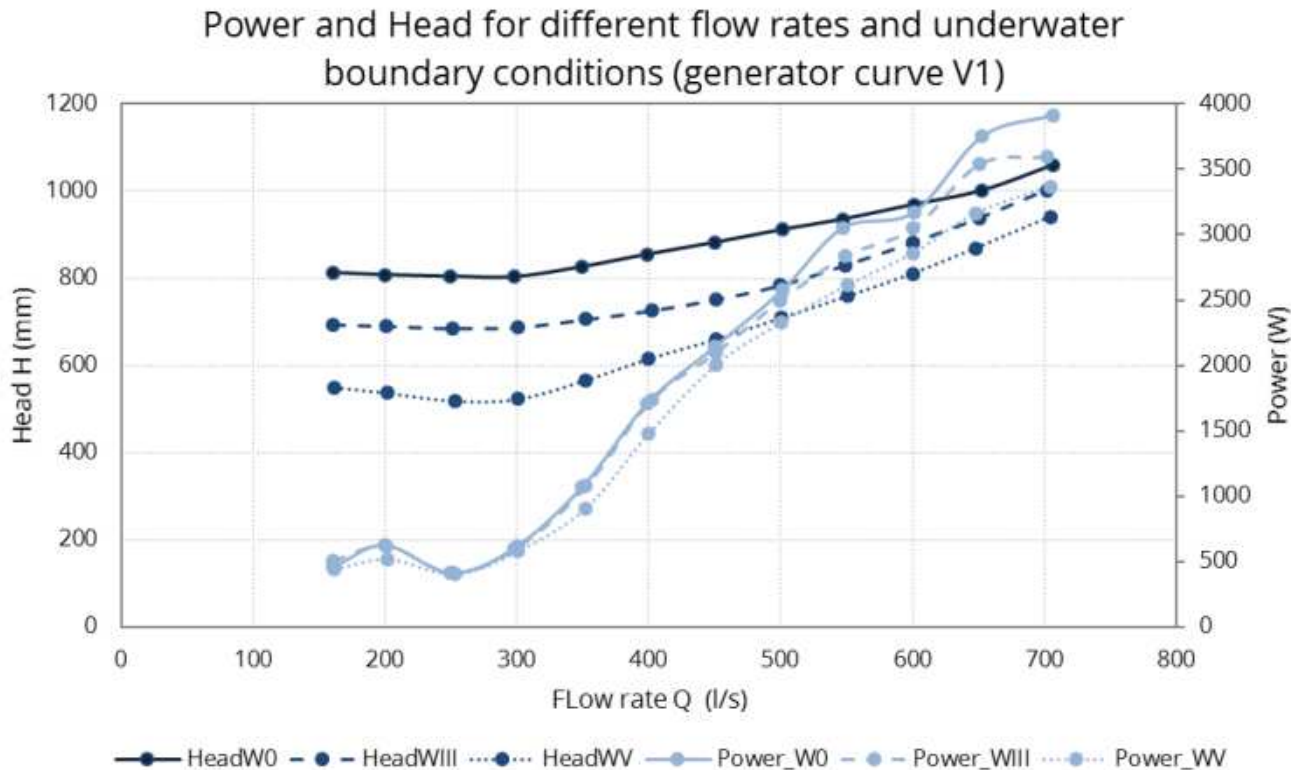
Ab $Q = 300$ l/s steigt der OW-Stand stärker an als der UW-Stand

Daten: Masterarbeit Rizwan Ghani

Folie 11

Laboruntersuchungen

Leistung der Anlage - abhängig von Parametrierung am Wechselrichter



$$P_{\max} = 3,9 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} & (Q = 700 \text{ l/s,} \\ & H = 1,06 \text{ m,} \\ & n = 27 \text{ min}^{-1}) \end{aligned}$$

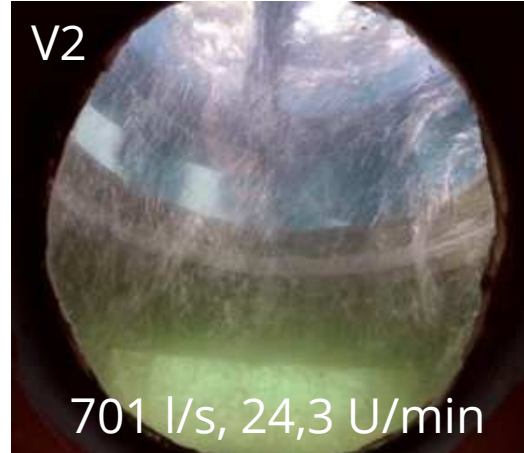
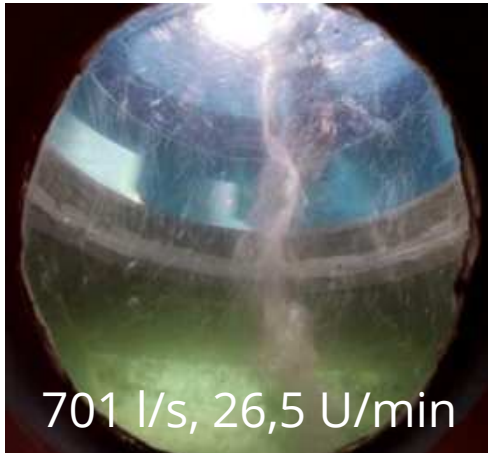
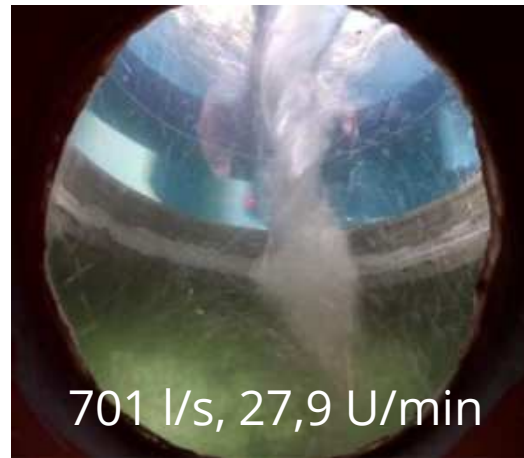
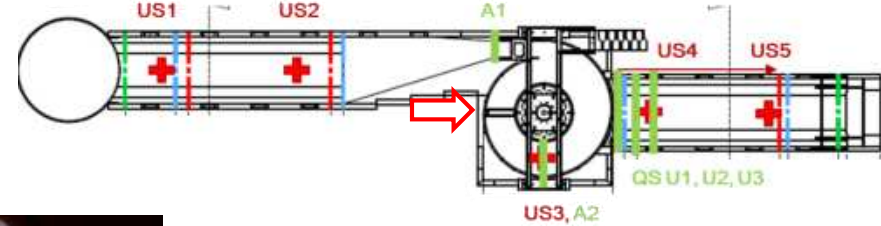
$$\text{Wirkungsgrad} \\ \eta = 0,35 \dots 0,5$$

Werte unter Vorbehalt!

Daten: Masterarbeit Rizwan Ghani

Folie 12

Laboruntersuchungen



	Durchfluss [l/s]	Drehzahl [U/Min]
Vorgabe ecoligent	710	30

→ Kennlinie V2

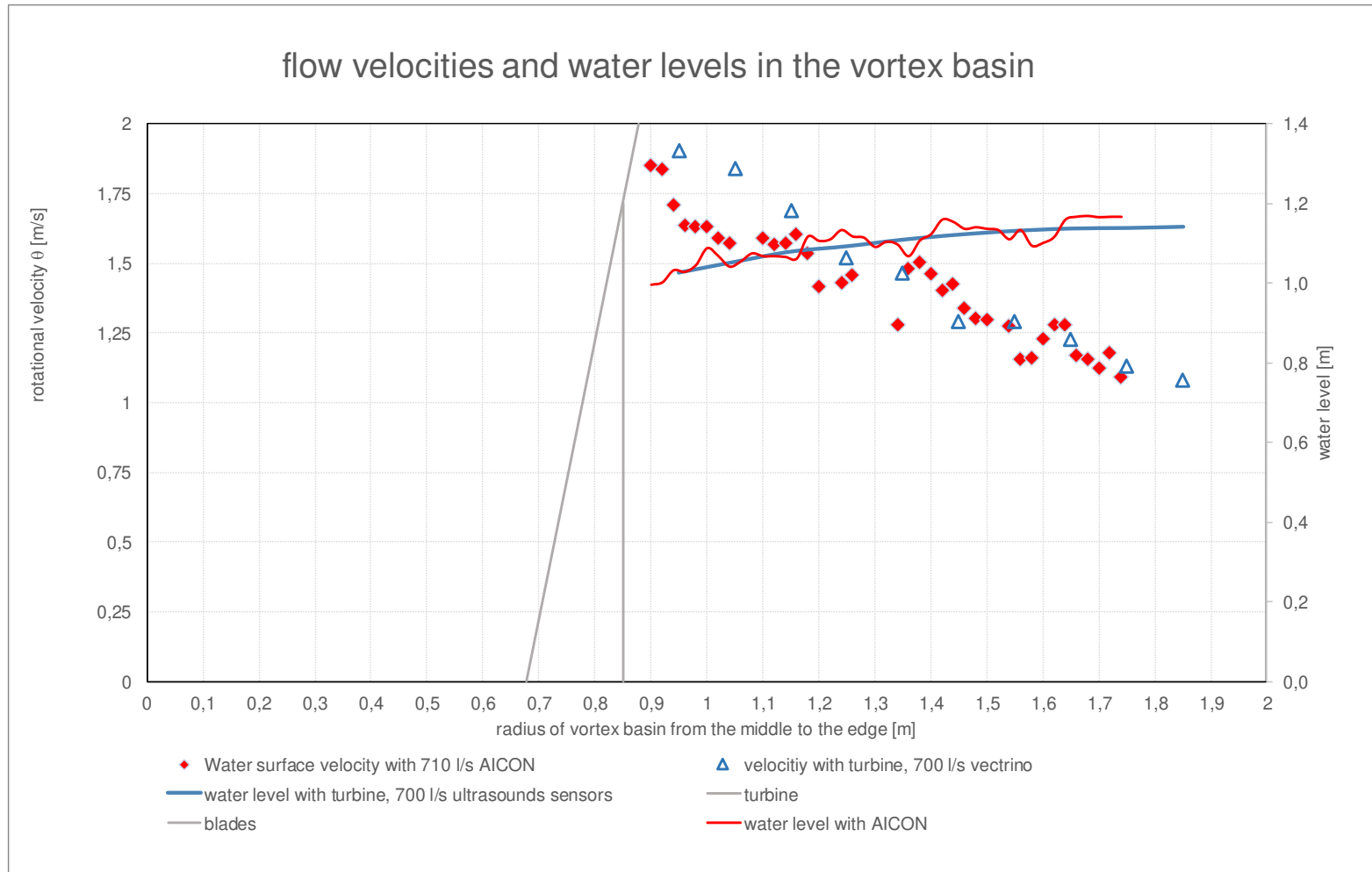
Annahme: der „wirbelfreie“ Abfluss ist der Strömungszustand, in dem die Fische aufsteigen können

= optimaler Arbeitspunkt

Strömungsbild unter der Turbine (IWD)

Laboruntersuchungen

Vergleich PTV - US - ADV

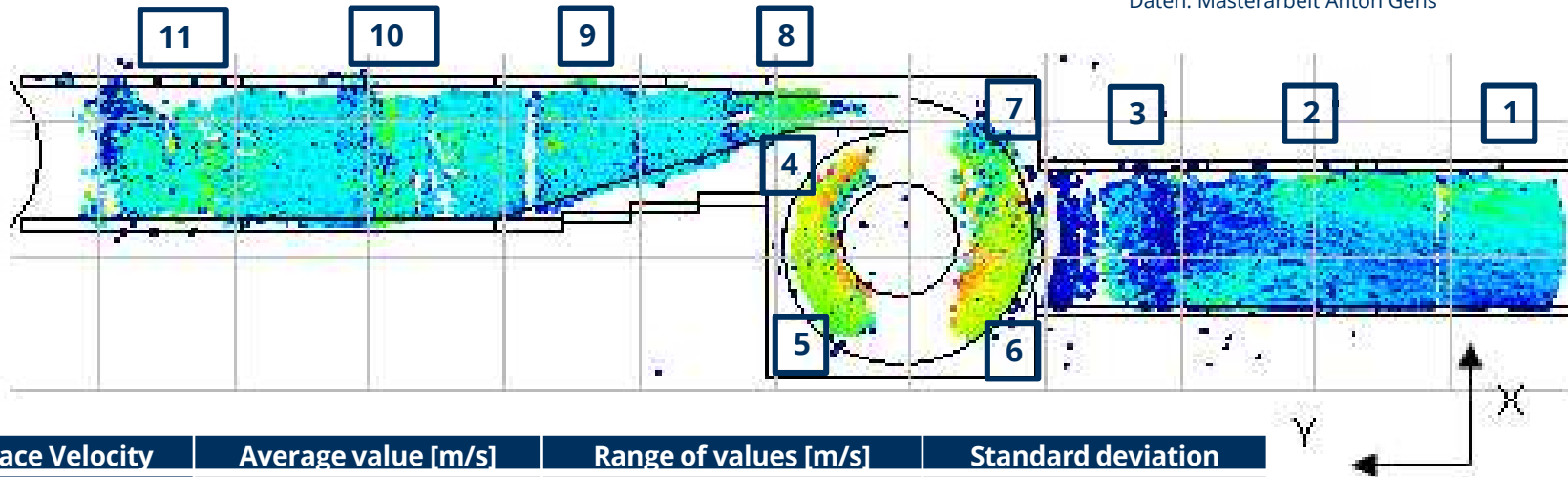


Folie 14

Laboruntersuchungen

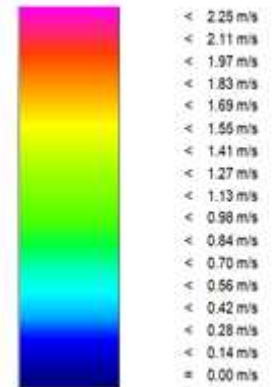
Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche (PTV)

Daten: Masterarbeit Anton Gens



Surface Velocity	Average value [m/s]	Range of values [m/s]	Standard deviation
First area	0.498	0.3 -0.8	0.175
Second area	0.490	0.3-0.8	0.164
Third area	0.363	0.1-0.8	0.211
Fourth and fifth area	1.204	0.5-1.9	0.473
Sixth and seventh area	1.059	0.1-1.9	0.514
Eighth area	0.570	0.4 -1	0.223
Ninth and tenth area	0.545	0.2-0.9	0.171
Eleventh area	0.580	0.1-0.9	0.260

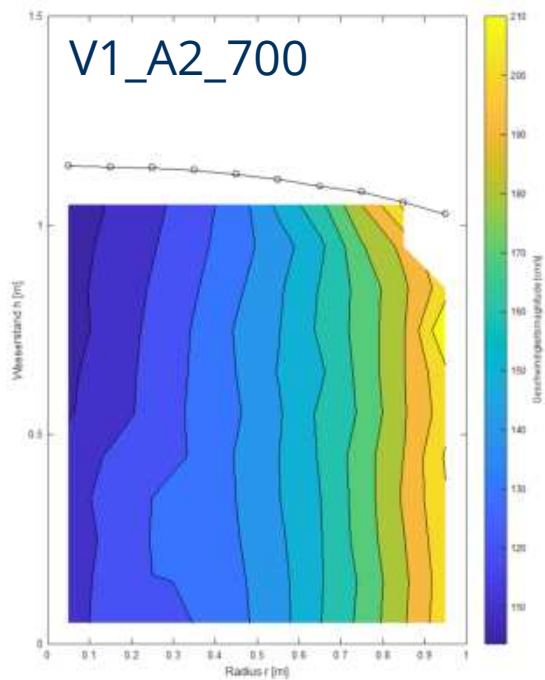
Farbzuordnung:



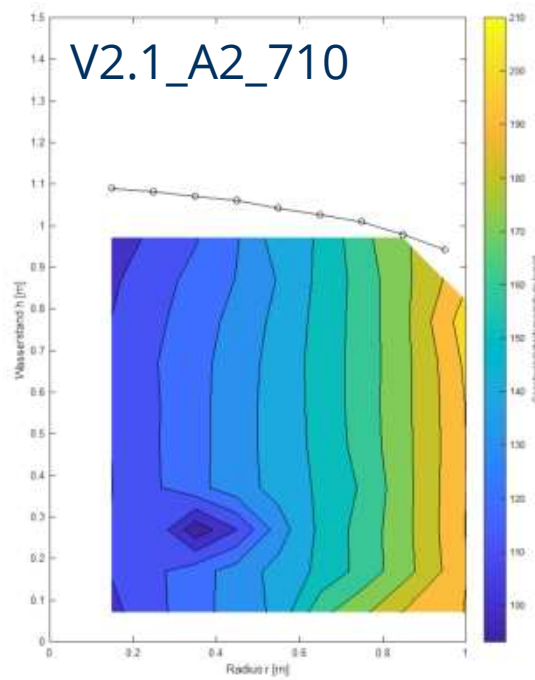
Folie 15

Laboruntersuchungen

Magnitude der **Fließgeschwindigkeiten** im Wirbelbecken mit Turbine (Vectrinomessung)



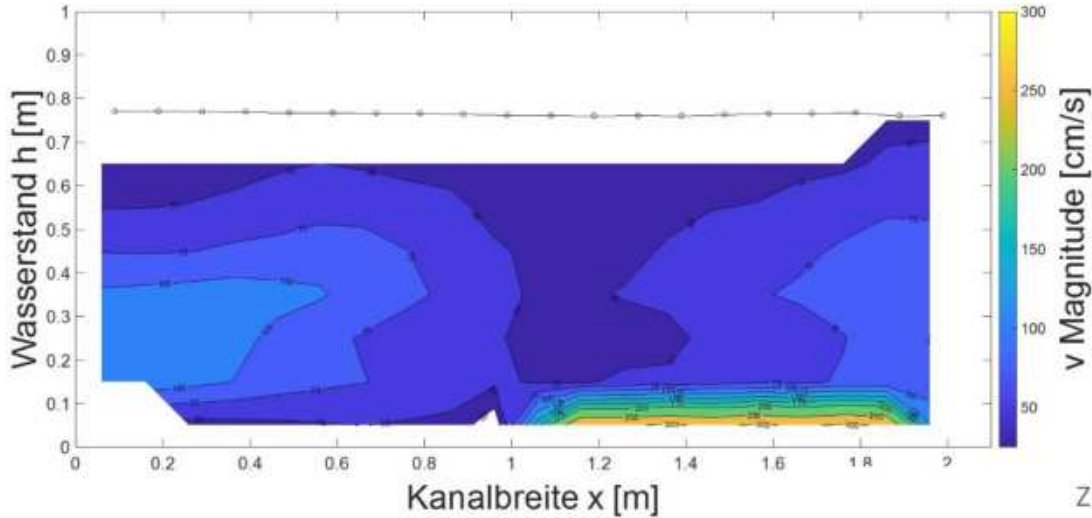
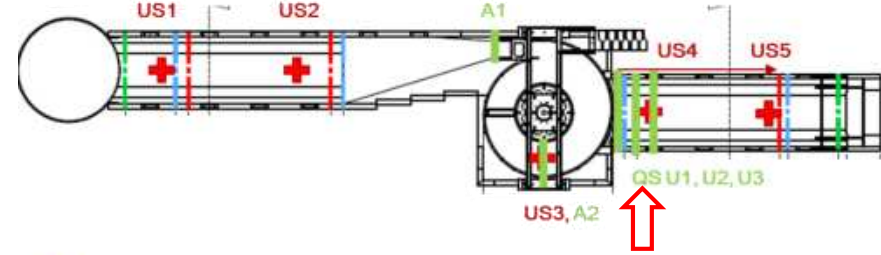
$n = 27 \text{ min}^{-1}$



$n = 24 \text{ min}^{-1}$

⇒ V2 gegenüber V1:
Geschwindigkeiten um durchschnittlich 6 % reduziert

Laboruntersuchungen

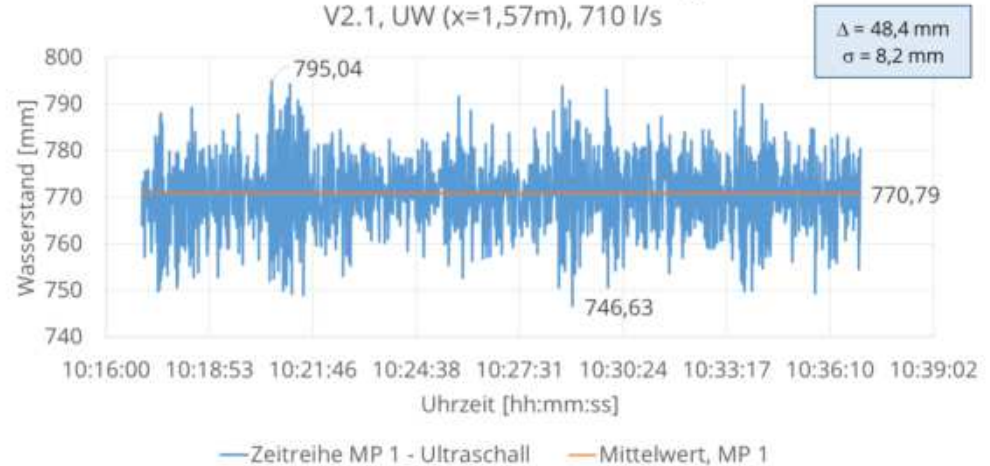


Strömung im **Unterwasserbereich** entgegen normaler Fließprofile mit Maxima außen und Minimum zentral

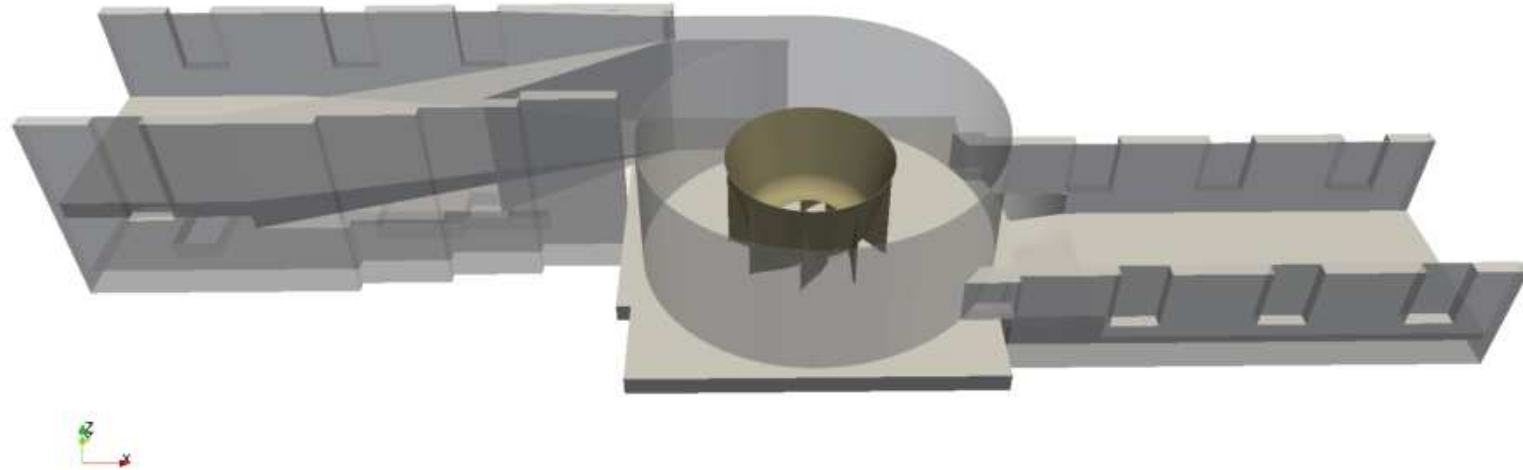
Daten: Diplomarbeit Jan Gilak

Strömung im Unterwasserbereich stark turbulent

Zeitreihe der Wasserstandsmessungen
V2.1, UW (x=1,57m), 710 l/s



Numerische Simulation

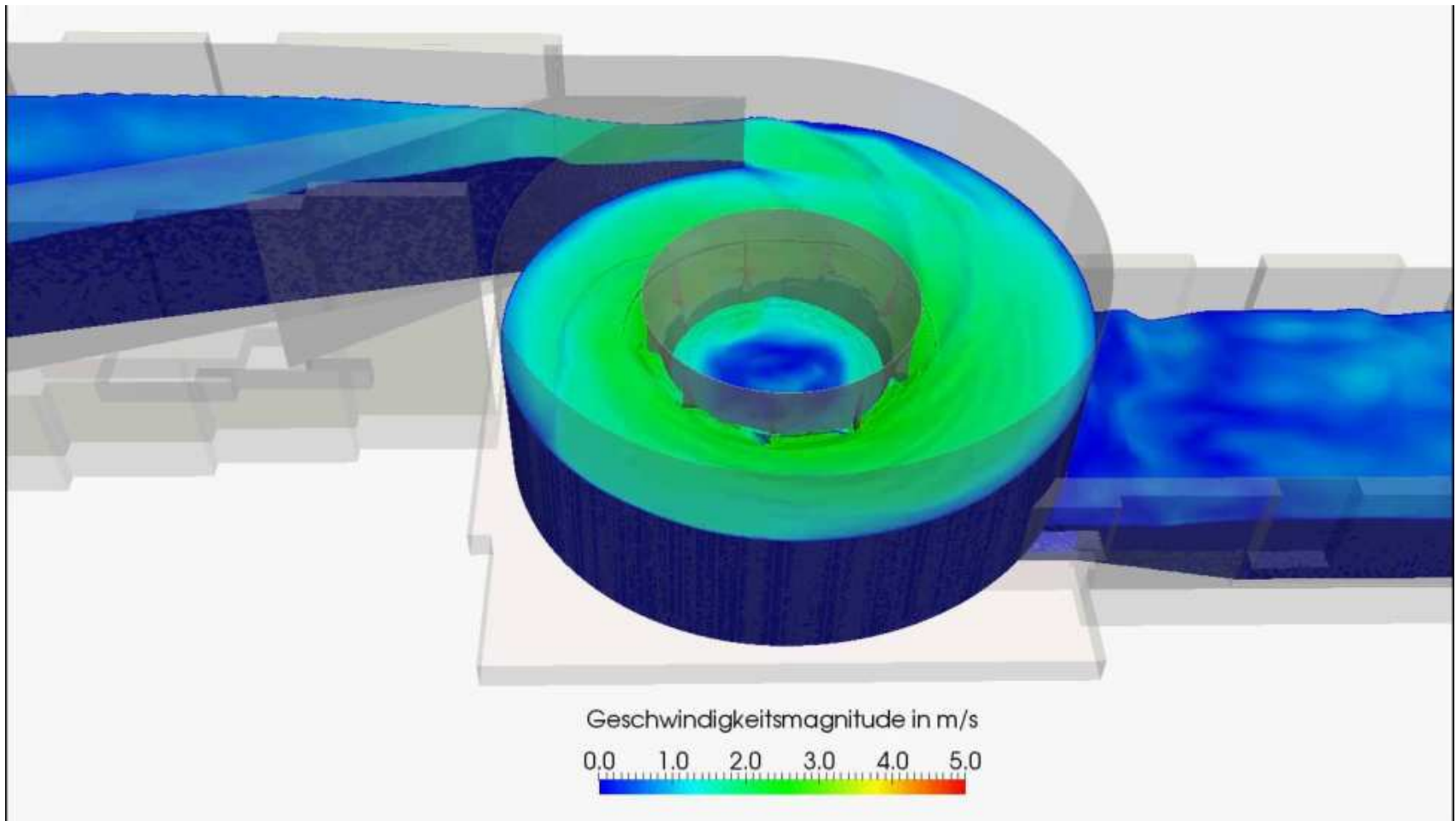


- 3D HN-Modell mit *OpenFOAM 5.0*
- Vernetzung mit ca. 10 Millionen Zellen (Hexaeder)
- Randbedingungen:
 - Inlet: 710 l/s
 - Outlet: halten des Unterwasserstands über künstliche Wand (0,6 m)
 - Drehzahl: 24 U/min
 - Turbine 2,5 cm über Sohle
- IDDES Turbulenzmodell (Hybrid RANS-LES Turbulenzmodellierung)
- Rechenzeit für eine Simulation auf 200 Prozessoren etwa 20 Tage

Folie 18

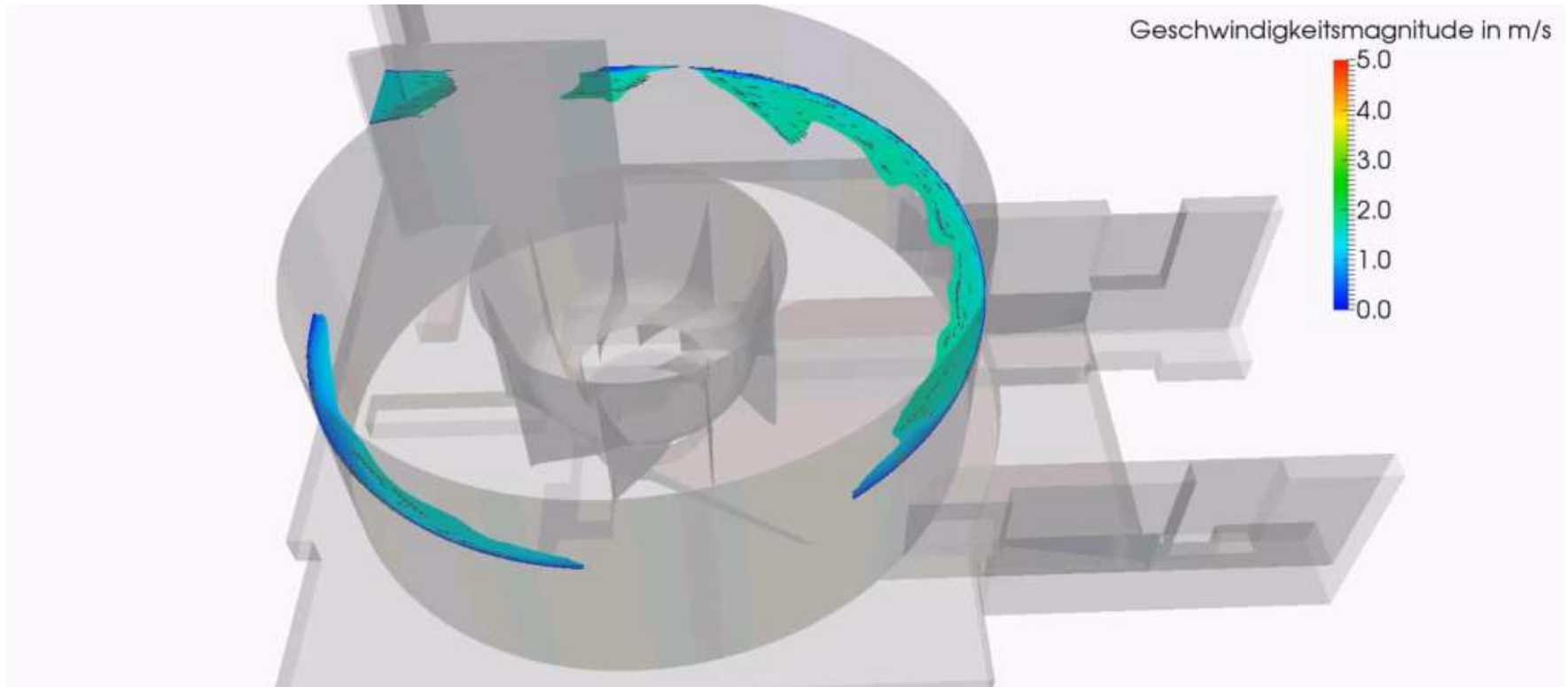
Numerische Simulation

OpenFoam



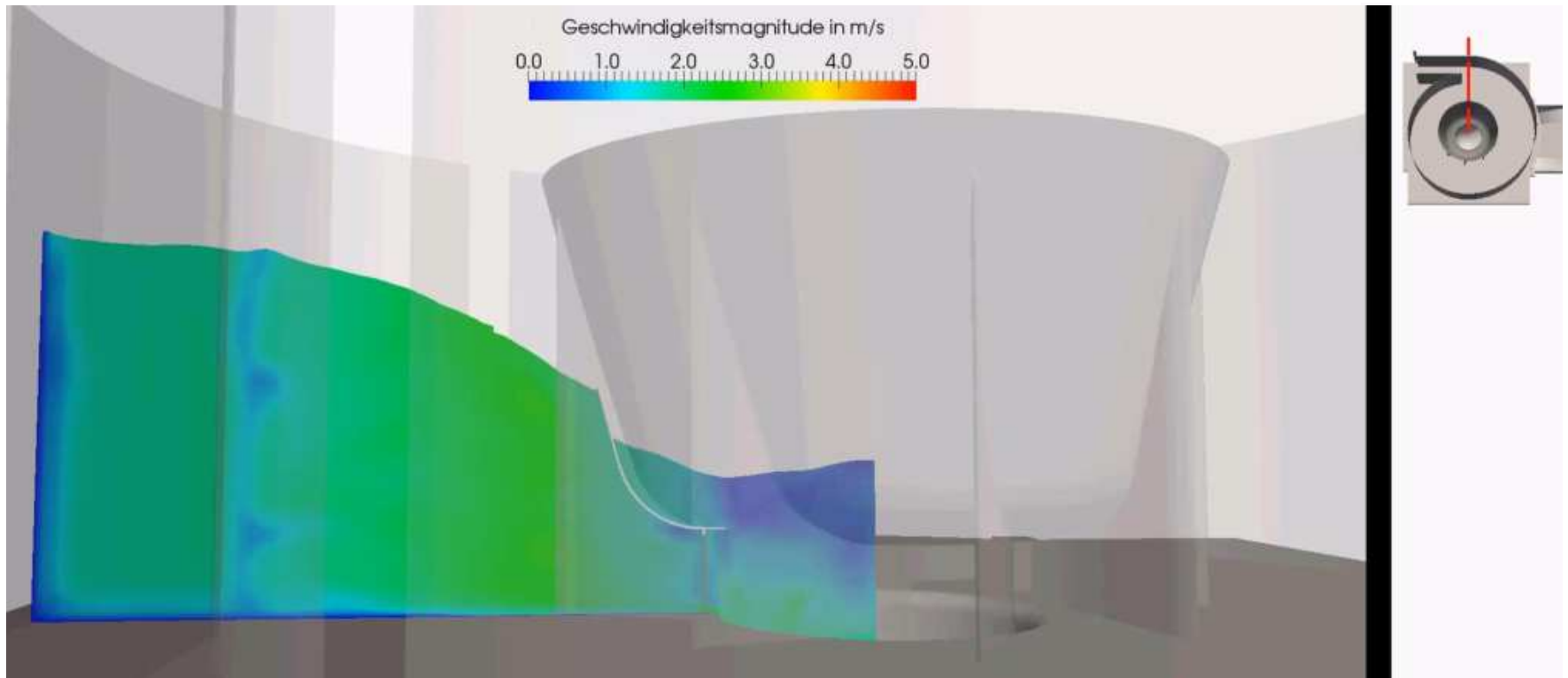
Numerische Simulation

OpenFoam



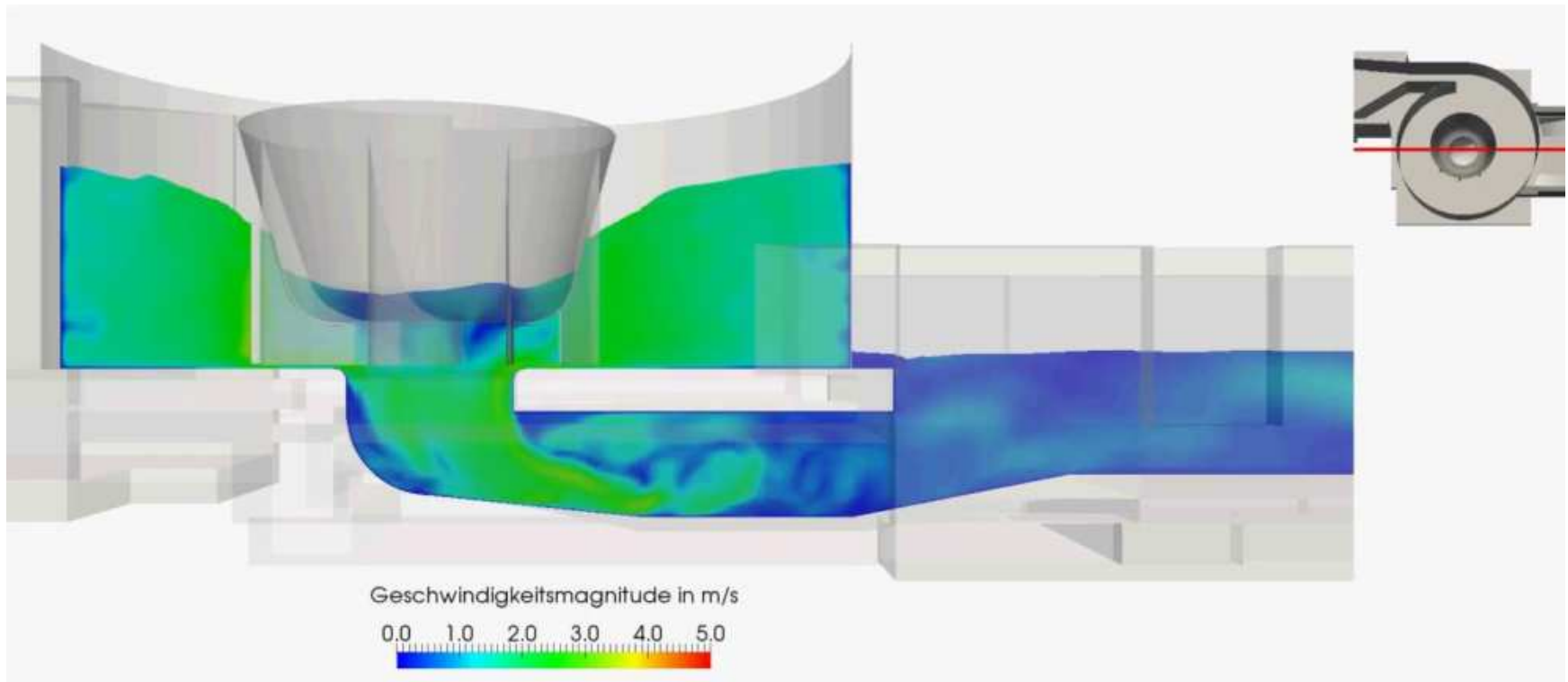
Numerische Simulation

OpenFoam



Numerische Simulation

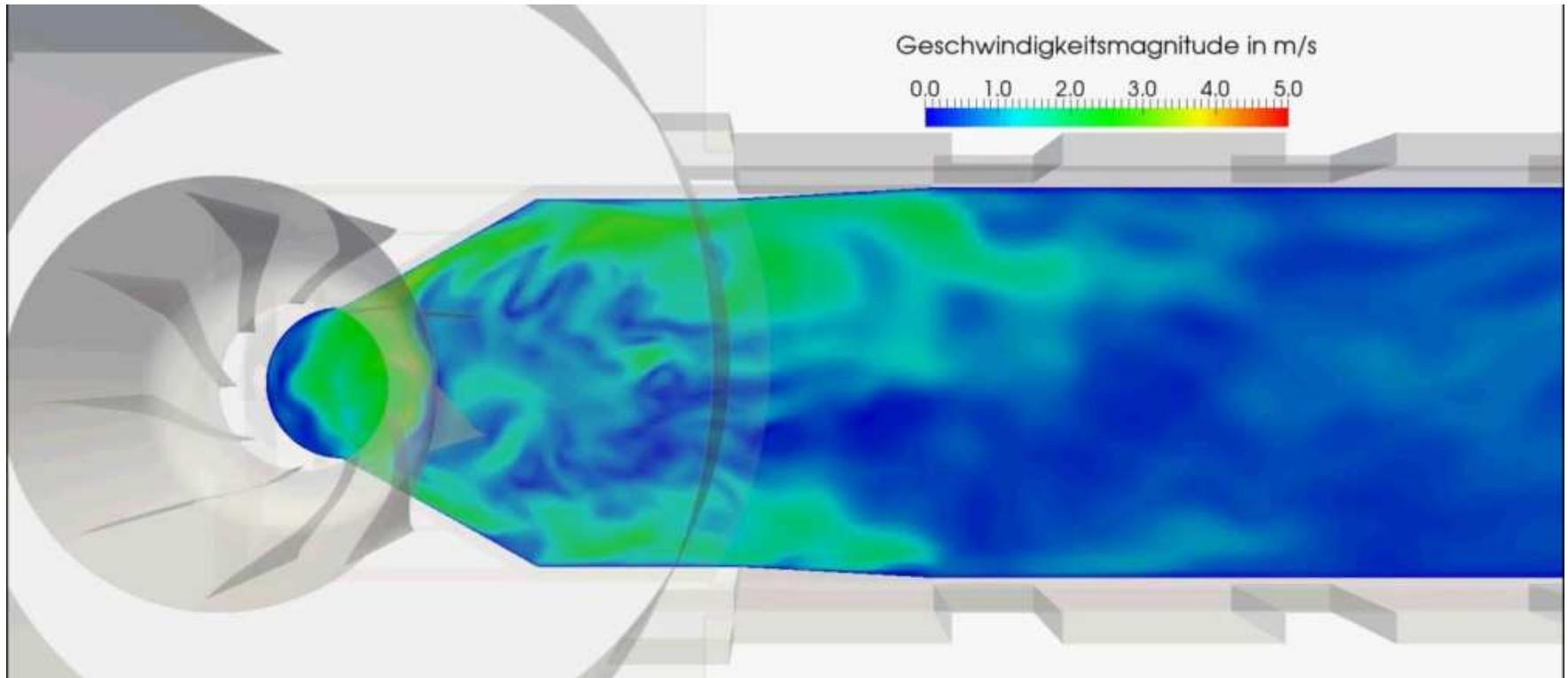
OpenFoam



- Gleichmäßige Beaufschlagung der Turbine?

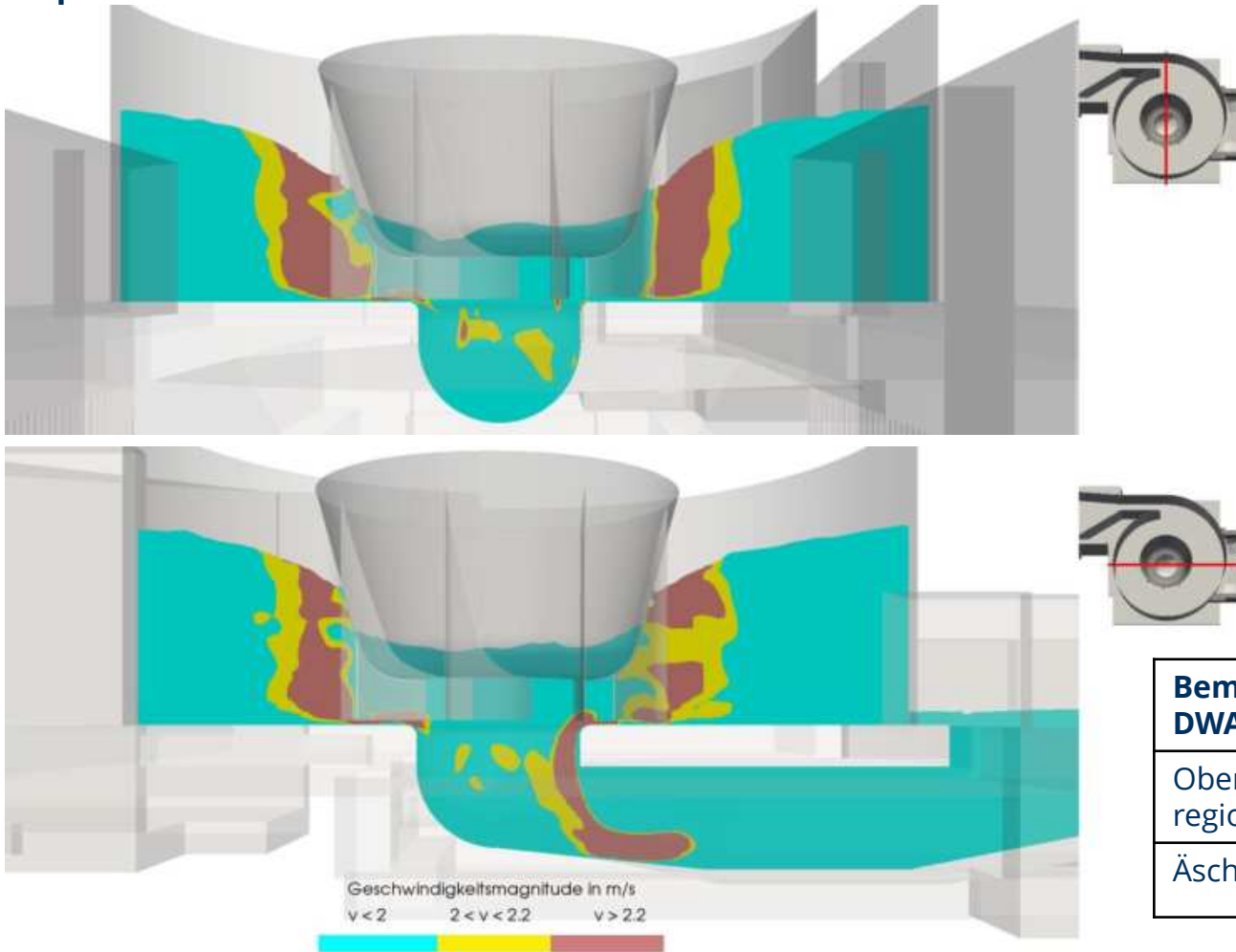
Numerische Simulation

OpenFoam



Schnitt horizontal 0,2m über der Sohle

Ergebnisse Numerik OpenFoam



Bemessungswerte v_{\max} nach DWA M509 für beckenartige FAA

Obere Forellenregion	2,2 m/s
Äschenregion	2,0 m/s

Ethohydraulische Untersuchungen

Ziel der Versuche:

1. Bestimmung/Nachweis der Fischpassierbarkeit (Aufstieg und Abstieg)
2. Mortalität bzw. Schädigung der Fische

Tierversuche erfordern detaillierte Vorplanung, Antragstellung, Begutachtung und Kontrolle der Versuche



Folie 25

Fischversuche: Besonderheiten und Anforderungen

- Bereitstellen einer **Hälterungsanlage**
- Ausstattung des Versuchs mit **RFID-Antennen**
- Abstimmung der Fischversuche auf organisatorische Abläufe in der Wasserbauhalle,
 - z.B. Aussetzen von Bauarbeiten und anderen Versuchen,
 - Neubefüllen und Reinigen des Tiefspeichers vor den Fischversuchen,
 - Kontrolle und **Regulierung der Wassertemperatur**, da Anstieg ca. 0,5 K/h; Temperaturbereich je nach Fischart unterschiedlich, z. B. **12°C - 16°C** für Bachforellen-Abstieg im März
- Spezielle **Fischschutzrechen**



Foto: IWD

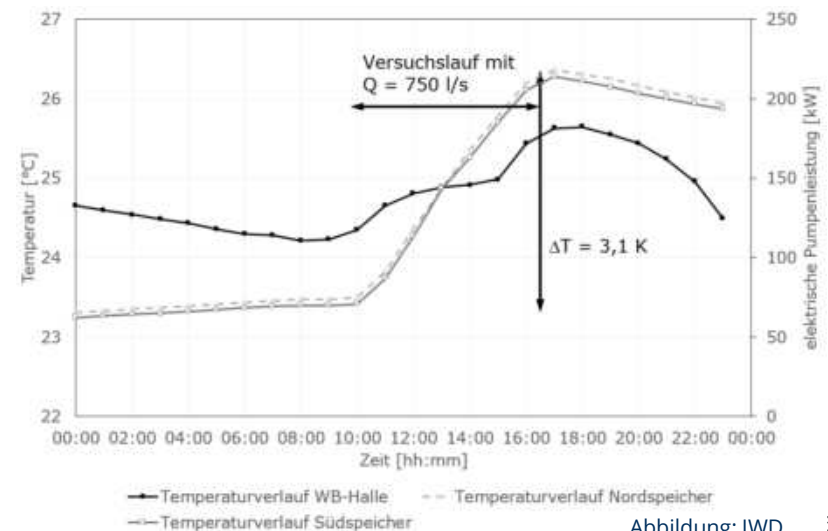


Abbildung: IWD 5

Multikaskade

Multikaskade als schonende Fischrückführung ab Oktober 2018 im Einsatz

- Führung der Fische über Leitrechen in Fangkorb mit Reusenkehle
- Anheben des Bodens, damit die Fische in die Schleuse gelangen
- Absenken des Wasserspiegels im Bypass, so dass die Fische schonend in einem Wasserkeil ins Unterwasser zurück geleitet werden



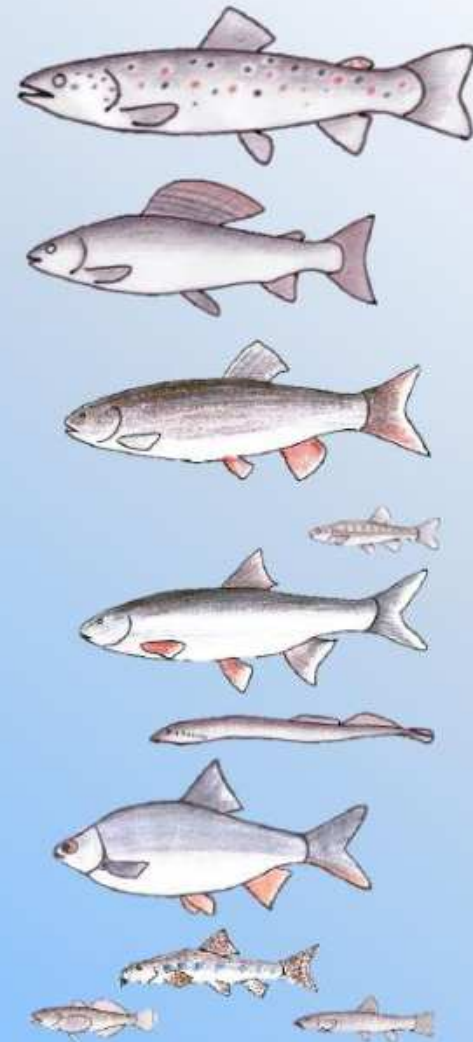
Folie 27

Auswahl repräsentativer Zielarten - Äschenregion

Art	SchwimmhORIZONT	Schwimmleistung	Körpergröße	Kategorie	Empfindlichkeit
Aal	sohlorientiert	schwach	groß	1	sensitiv
Äsche	Freiwasser	stark	groß	2	sensitiv
Bachforelle	Freiwasser	stark	groß	2	robust
Bachneunauge	sohlorientiert	schwach	klein	6	robust
Döbel	Freiwasser	stark	groß	2	robust
Dreistachliger Stichling	sohlorientiert	schwach	klein	6	robust
Elritze	Freiwasser	stark	klein	3	sensitiv
Flussneunauge	sohlorientiert	stark	groß	4	nicht relevant
Groppe	sohlorientiert	schwach	klein	6	robust
Gründling	sohlorientiert	stark	klein	4	sensitiv
HaseI	Freiwasser	stark	groß	2	sensitiv
Huchen	Freiwasser	stark	groß	2	robust
Lachs	Freiwasser	stark	groß	2	robust
Meerforelle	Freiwasser	stark	groß	2	robust
Plötze	Freiwasser	schwach	groß	5	sensitiv
Quappe	sohlorientiert	schwach	groß	1	robust
Schmerle	sohlorientiert	schwach	klein	6	robust
Schneider	Freiwasser	stark	klein	3	sensitiv

aufstiegsrelevant

abstiegsrelevant



- 6 Arten repräsentieren alle relevanten ökologischen Gilden

Ethohydraulische Untersuchungen

Nutzen der natürlichen Wandermotivation während der Laichwanderung

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Oktober	November	Dezember
Aal											Abstieg	Abstieg
Bachforelle			Abstieg	Abstieg						Aufstieg	Aufstieg	
Elritze				Aufstieg	Aufstieg	Aufstieg						
Gründling					Aufstieg	Auf-/Abstieg	Abstieg					
Rotauge				Aufstieg	Auf-/Abstieg	Abstieg	Abstieg					
Schmerle			Aufstieg	Aufstieg	Aufstieg							

Ethohydraulische Untersuchungen



Ergebnisse der ethohydraulischen Untersuchungen

Aufstiegsversuche im Frühjahr

$Q = 700 \text{ l/s}$, $n = 28 \text{ U/min}$

Anpassung des Durchflusses auf Basis der Sprintgeschwindigkeit nach Ebel (2016)

Experiment	Probanden	Aufsteiger
Gründling	56	0
Plötze	60	0
Schmerle	47	0
Elritze	31	0
Gesamtergebnis	194	0

Art	Durchfluss	Probanden	Aktive	Turbinenauslass	Aufsteiger
Elritze	360	40	40	11	0
Gründling	400	49	39	12	0
Plötze	420	60	57	18	2
Schmerle	400	36	26	11	0
Gesamtergebnis		185	162	52	2



Ergebnisse der ethohydraulischen Untersuchungen

Aufstiegsversuche im Herbst:

- mindestens 25% bis max. 50% der Bachforellen sind durch die Turbine in das Turbinenbecken aufgestiegen
- etwa 10 Fische sind bis in die Reuse geschwommenen und wurden mit der Multikaskade in das Unterwasser rückgeführt
- die Fische waren nach Beendigung der Versuche gesundheitlich in einem sehr guten Zustand und wurden in die Herkunftsgewässer zurück gebracht

Abstieg:

- nach Passage der Turbine traten keine gravierenden Verletzungen auf



Fazit & Ausblick

- 1:1 Labormodell erfolgreich errichtet und messtechnisch instrumentiert
- Labortechnische Voraussetzungen für Durchführung der Fischversuche erfüllt
- Messungen weitgehend abgeschlossen, Auswertungen laufen
- Durchführung von vergleichenden 3D-CFD Simulationen (OpenFoam) unterstützen und erweitern die Aussagekraft der Labormessungen
- Fischabstieg erfolgreich, Fischaufstieg nur für Bachforelle, teilweise für Plötze geglückt
- Detailbetrachtung kritischer Stellen für Fischaufstieg z.B. durch Auswertung der Strömungsschwankungen (Turbulenz) im Unterwasserbereich

Gefördert wird das Projekt „VP 4: Kaskade Fischfreundliches Wehr“ (03WKCO4E) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Es ist Teil des Wachstumskerns „Fluss-Strom Plus“.

Der Dank der Autoren gilt den Projektpartnern für die angenehme und konstruktive Zusammenarbeit sowie den Kolleginnen, Kollegen und Studierenden am IWD, die maßgeblich zum Projektfortschritt beigetragen haben.



»Wissen schafft Brücken.«

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Arbeitsplan

- **Projektlaufzeit** 04/2017 bis 06/2018 verlängert bis 12/2018
- AP 4.5.1:
Konzeption und Herstellung des 1:1 Labormodells einer Multi-Wirbelbecken-Kaskade
M1 bis 07/2017 → 03/2018
- AP 4.5.2:
Strömungstechnische Analyse des Versuchsstandes (zur Kalibrierung des CFD-Modells am ISUT)
M2 bis 03/2018 → 09/2018
- AP 4.5.3:
Begleitung der fischökologischen Untersuchungen
M3 bis 11/2018
- AP 4.5.4:
Erstellung von Planunterlagen und Bemessungsgrundlagen (UA ecoligent)
bis 12/2018

Generator und Anlagensteuerung

- Generatorprototyp (GLW) aus VP 5 steht nicht zur Verfügung
 - Ersatzmaschine durch Netzwerkpartner Fa. Metalltechnik Großenhain bereitgestellt (Hr. Lamm)
 - Einspeisewechselrichter *Smart!Wind* durch Fluss-Strom Energy bereitgestellt (Hr. Spiewack)
 - Parametrierung des EWR ohne Kenntnis der Turbinenkennlinie und Generatorkennlinie
- Die Bestimmung des optimalen Arbeitspunktes der Anlage orientiert sich an dem wirbelfreien Strömungsmuster



Folie 36

Ergebnisse Textil

Versuche bei 700 l/s; Mitwirkung TITV Greiz und engelke engineering art GmbH

Farbzuordnung:



- < 2.25 m/s
- < 2.11 m/s
- < 1.97 m/s
- < 1.83 m/s
- < 1.69 m/s
- < 1.55 m/s
- < 1.41 m/s
- < 1.27 m/s
- < 1.13 m/s
- < 0.98 m/s
- < 0.84 m/s
- < 0.70 m/s
- < 0.56 m/s
- < 0.42 m/s
- < 0.28 m/s
- < 0.14 m/s
- = 0.00 m/s

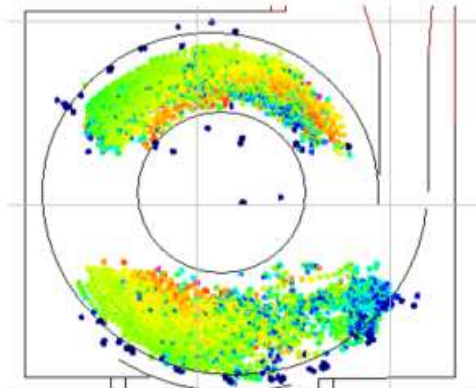


Figure 4-47 Vr Velocities

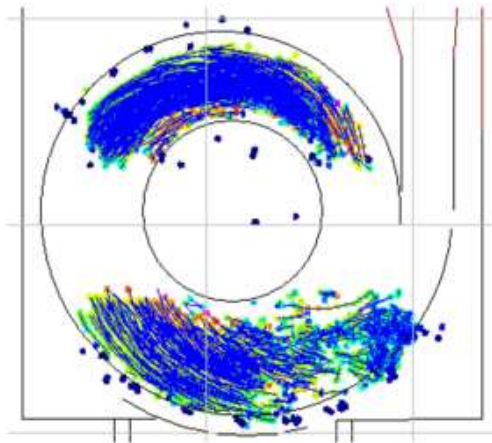


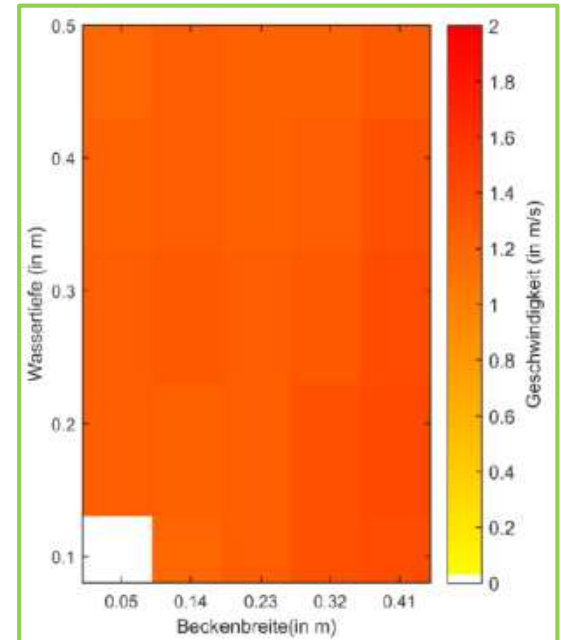
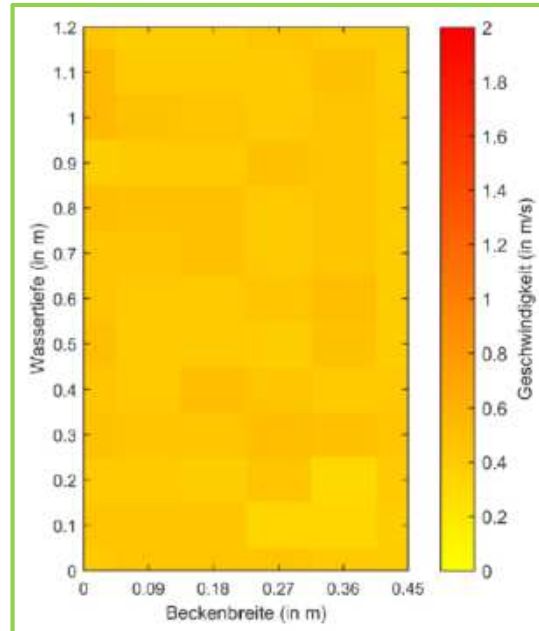
Figure 4-48 Tracers trajectories



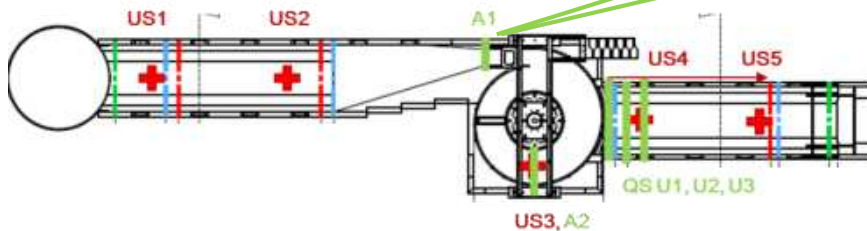
Ergebnisse aus dem Labormodell

Fließgeschwindigkeiten

V0 (ohne Turbine)
506 l/s
 $V_{x,max} = 0,55 \text{ m/s}$



V1 (mit Turbine)
702 l/s
 $V_{x,max} = 1,41 \text{ m/s}$

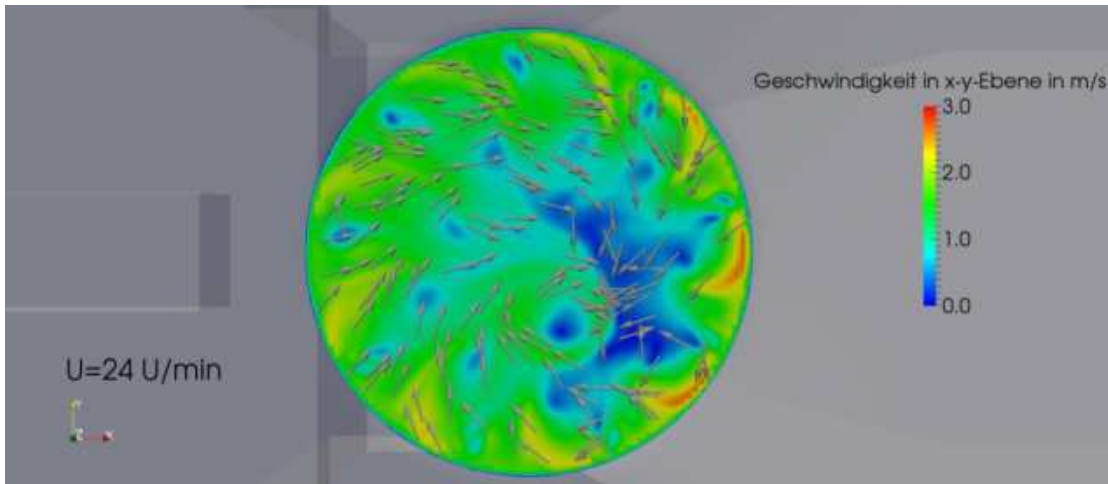
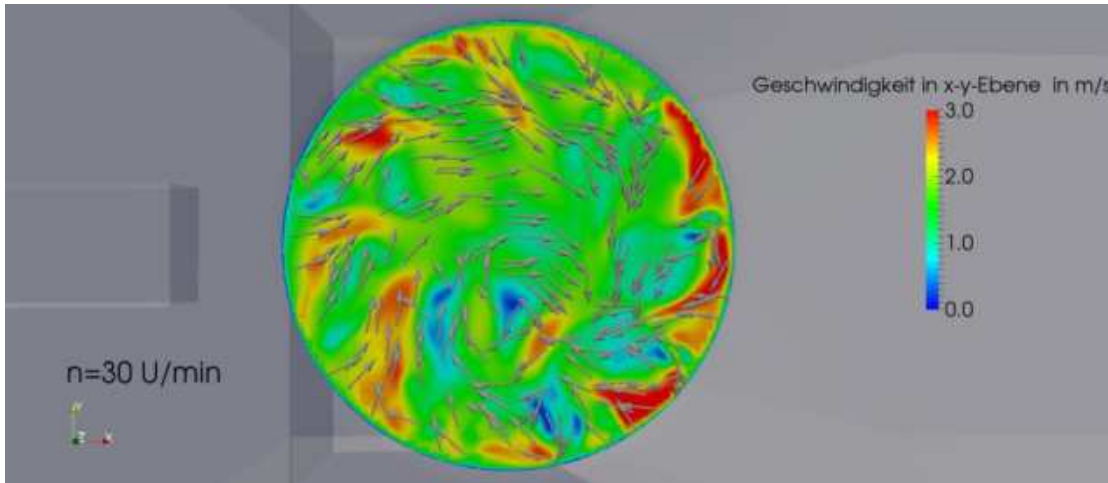


Daten: Studienarbeit Carina Schmidt

Folie 38

Numerische Simulation

OpenFoam



- Bedingung der Wirbelfreiheit noch nicht erfüllt
- Weitere Berechnungen mit anderen Randbedingungen laufen