

Jürgen Stamm, Nadine Müller und Christian Jähnel

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

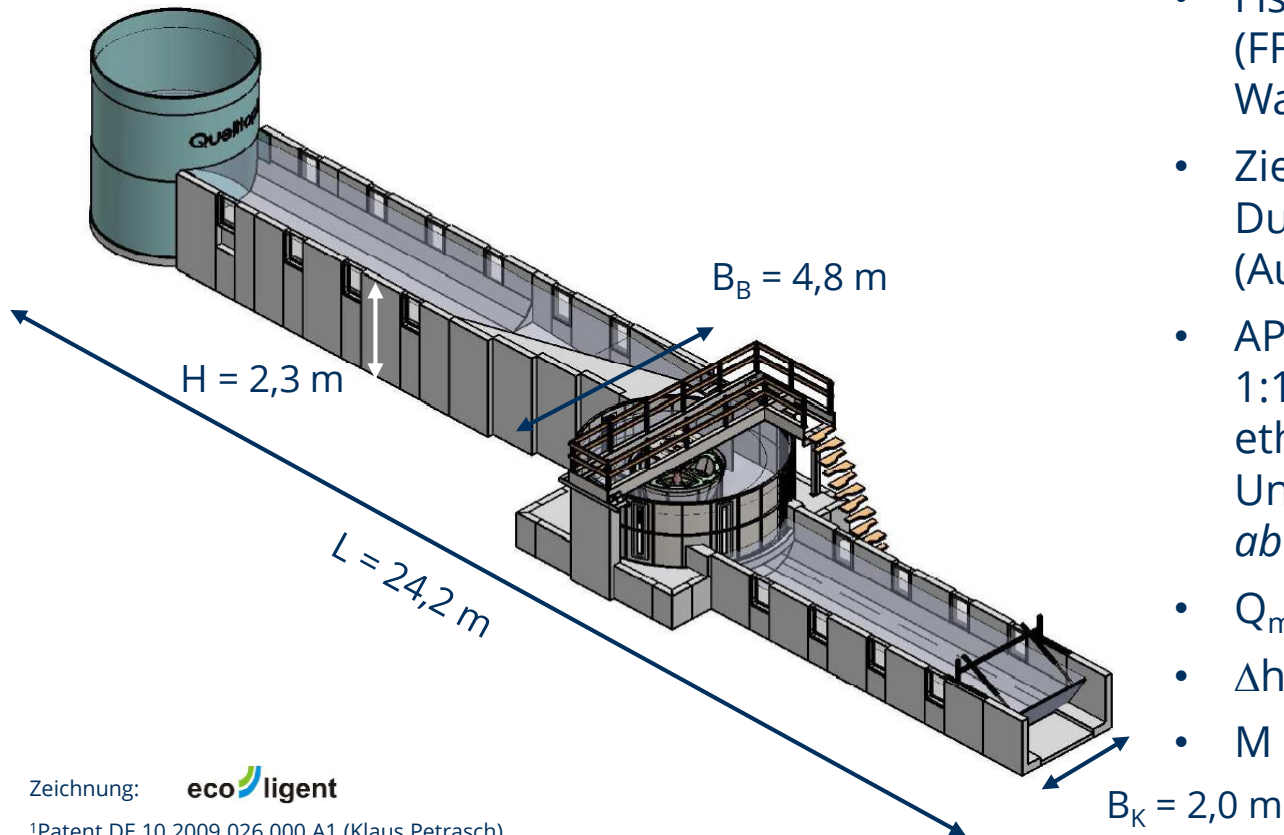
FachForum Fluss-Strom Plus

27. September 2018 in Magdeburg

Gliederung

1. Einführung
2. Arbeitsplan
3. Aufbau des Versuchsstandes
4. Methodik: Messungen und numerische Simulationen
5. Ergebnisse: Messungen und numerische Simulationen
6. Fazit und Ausblick

Einführung



- 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

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

Aufbau 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

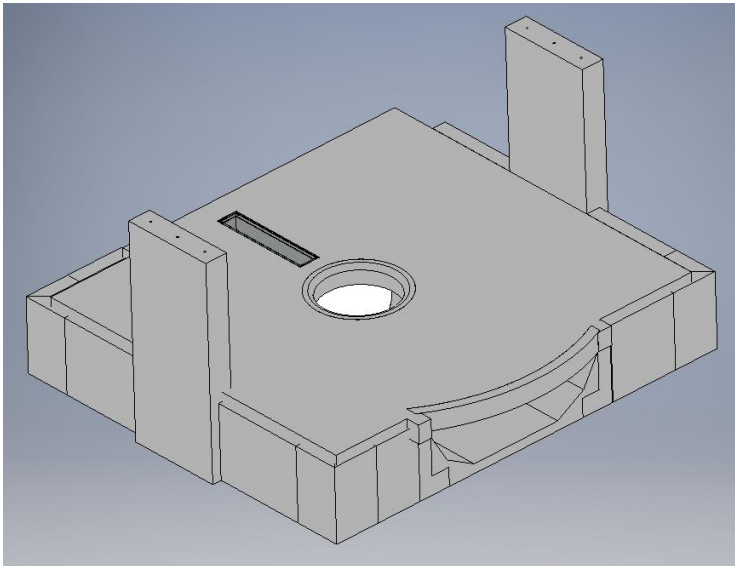


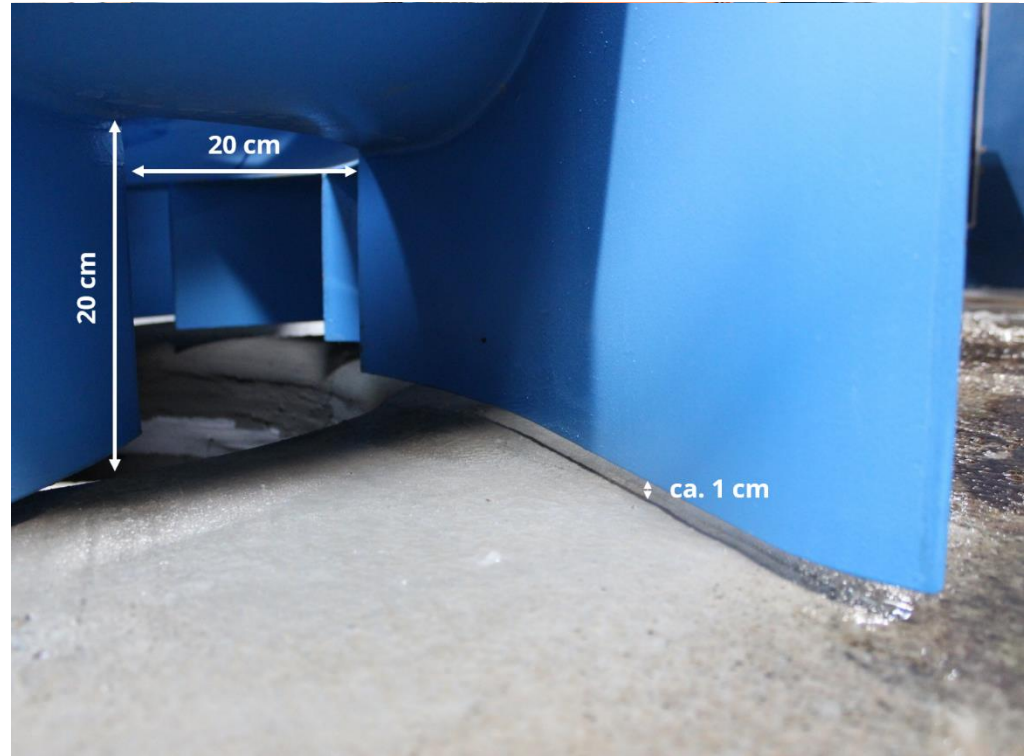
Foto: IWD (Müller)

Folie 5

Aufbau des Versuchsstandes



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



Wirbelturbine mit 9 Schaufeln

Fischversuche: Besonderheiten und Anforderungen

- Bereitstellen einer **Hälterungsanlage**
- 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



Foto: IWD

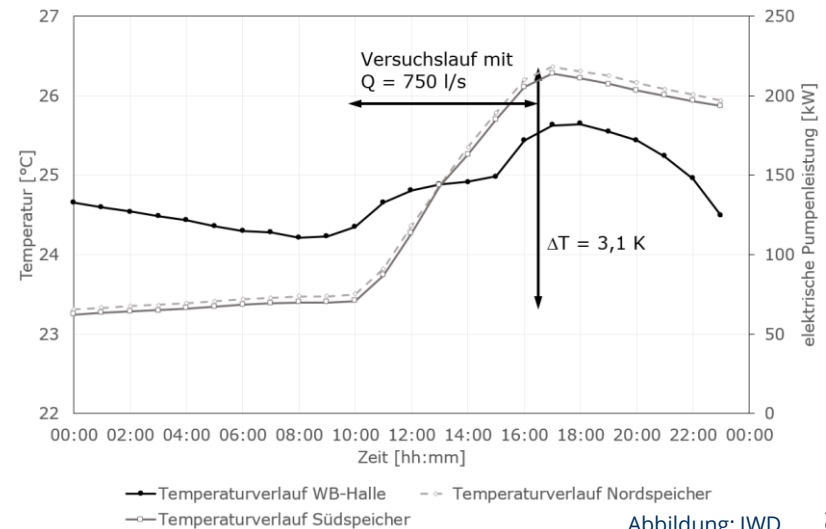


Abbildung: IWD

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

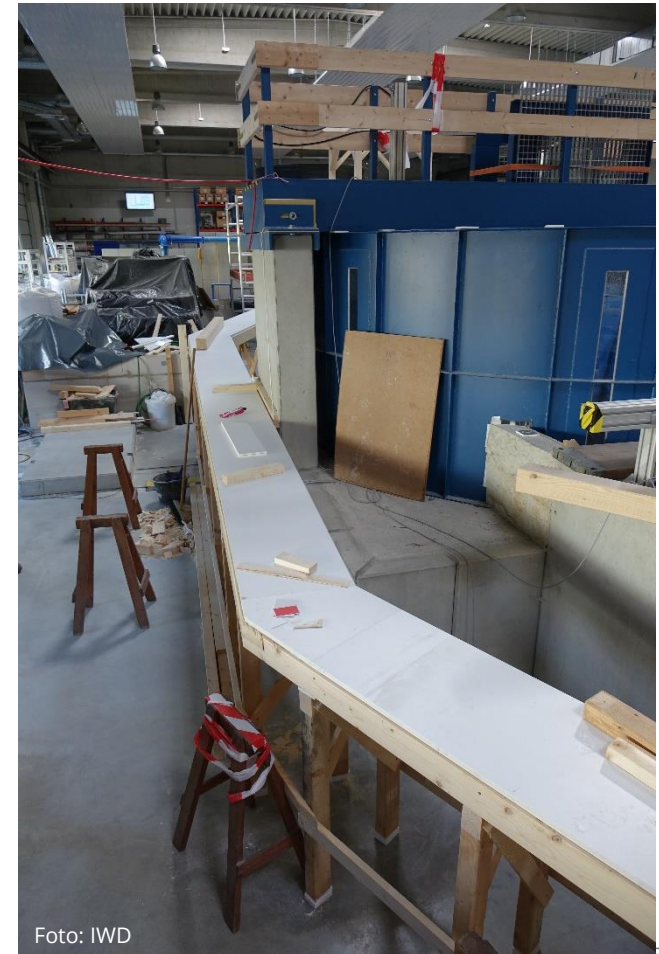
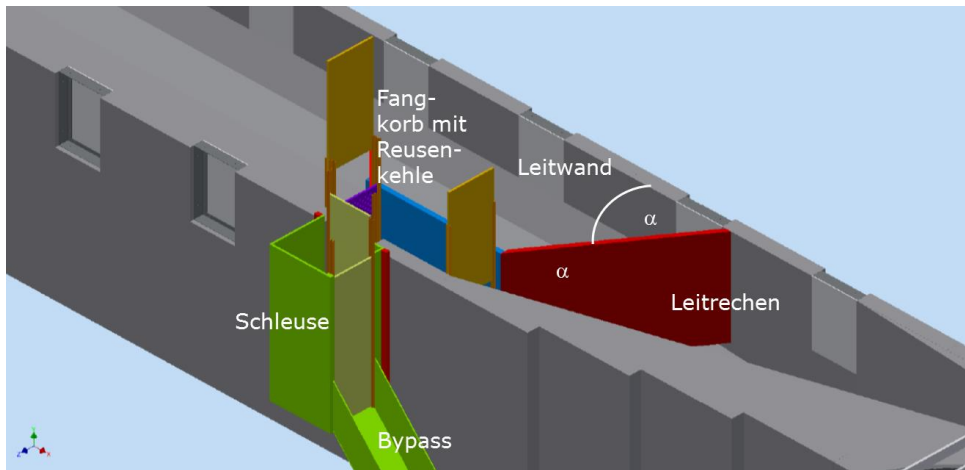
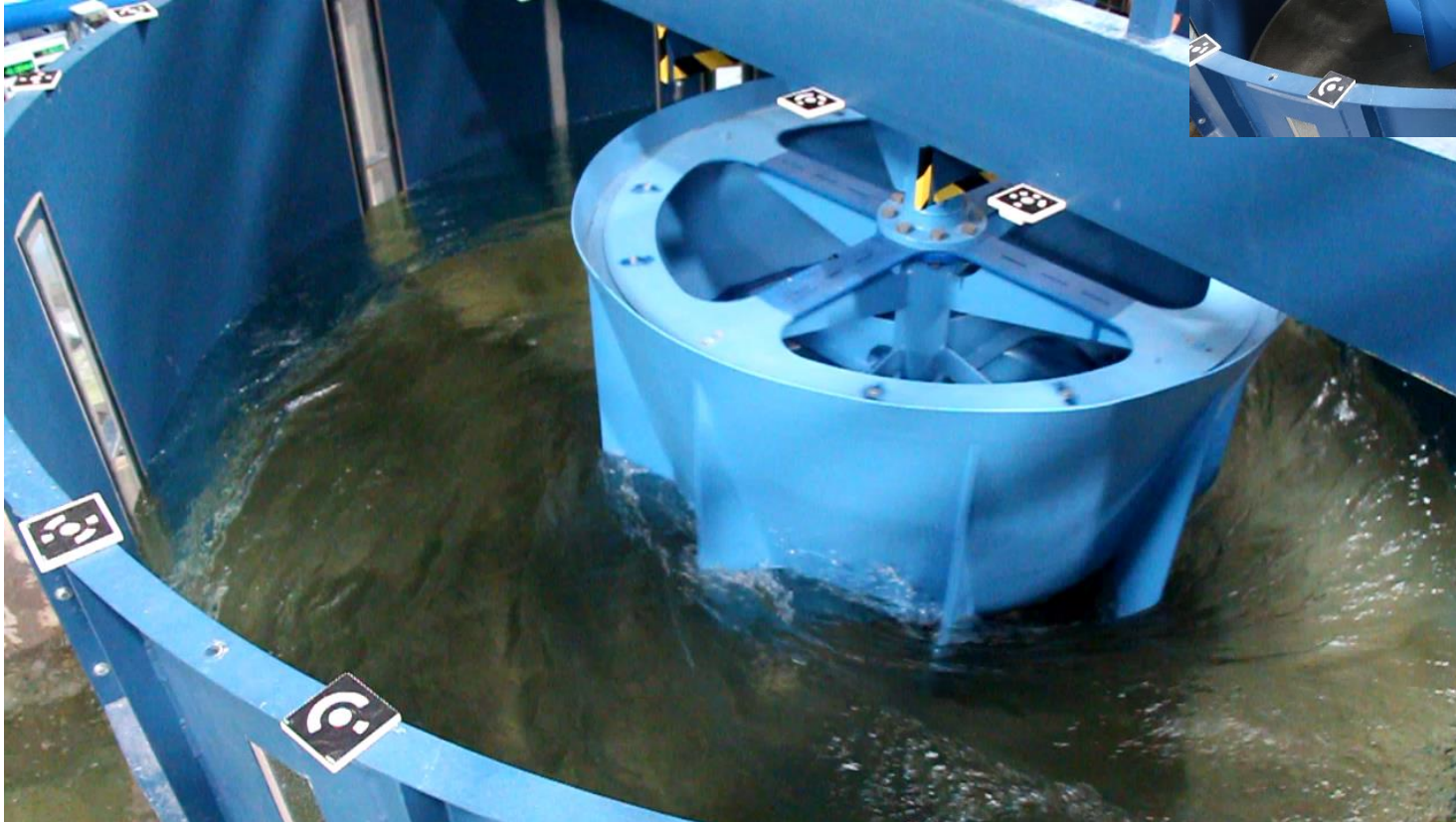


Foto: IWD

Versuchsdurchführung



Video: IWD (Müller)

Modell FFW an der TU Dresden, 31.05.2018, $Q = 350 \text{ l/s}$, $n = 24 \text{ U/min}$

Folie 9

Versuchsdurchführung

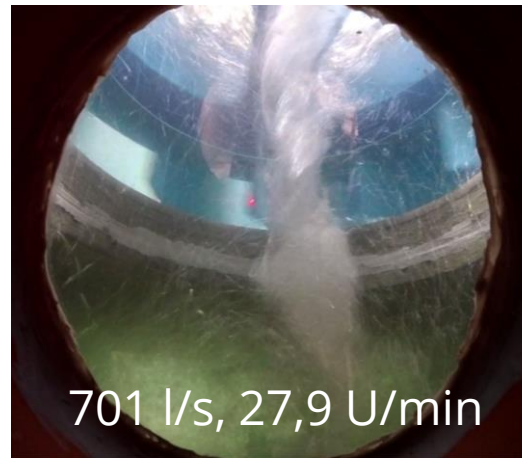


Video: ISUT (Cleyenen)

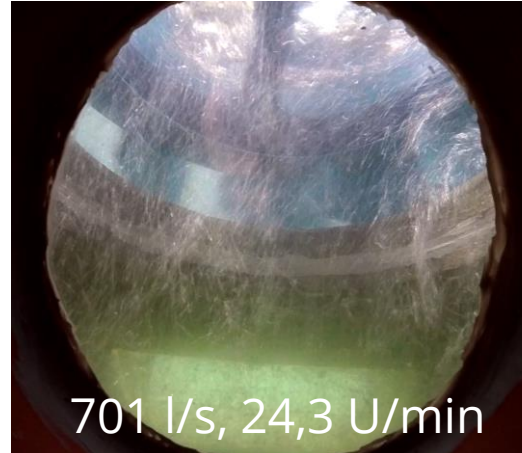
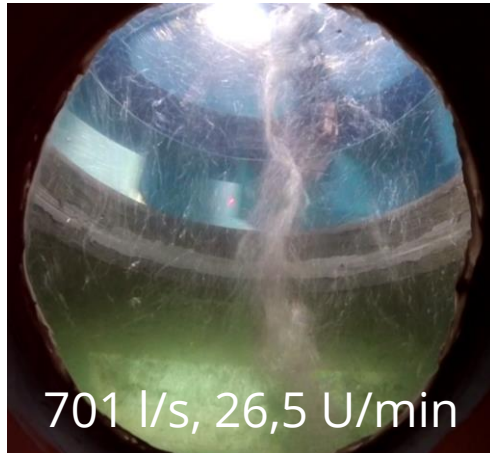
Modell FFW an der TU Dresden, 29.08.2018, $Q = 355 \text{ l/s}$, $n = 18,5 \text{ U/min}$

Folie 10

Generator und Ansteuerung



	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

Go-Pro-Aufnahmen unter der Turbine (IWD)

Folie 11

Generator und Anlagensteuerung

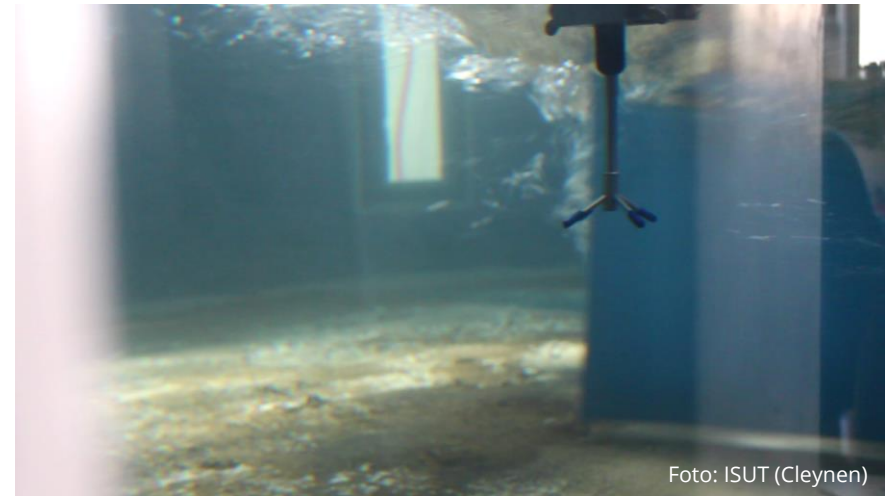
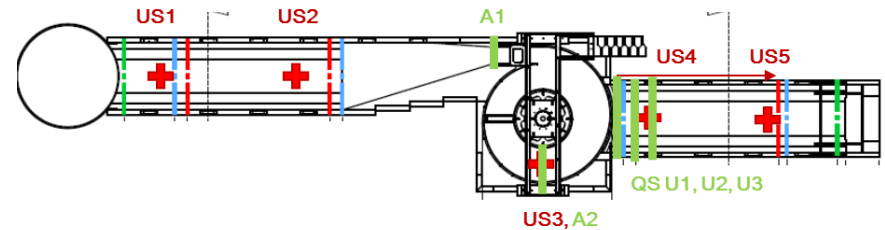
- Generatorprototyp (GLW) aus VP 5 steht nicht zur Verfügung
 - Ersatzmaschine durch Netzwerkpartner Fa. Metalltechnik Großenhain bereitgestellt (Hr. Lamm)
 - Einspeisewechselrichter *Smart!Wind* durch Fluss-Strom Energy bereitgestellt (Hr. Spiewack)
 - Parametrierung des EWR ohne Kenntnis der Turbinenkennlinie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



Folie 12

Methodik: Hydraulische Messungen

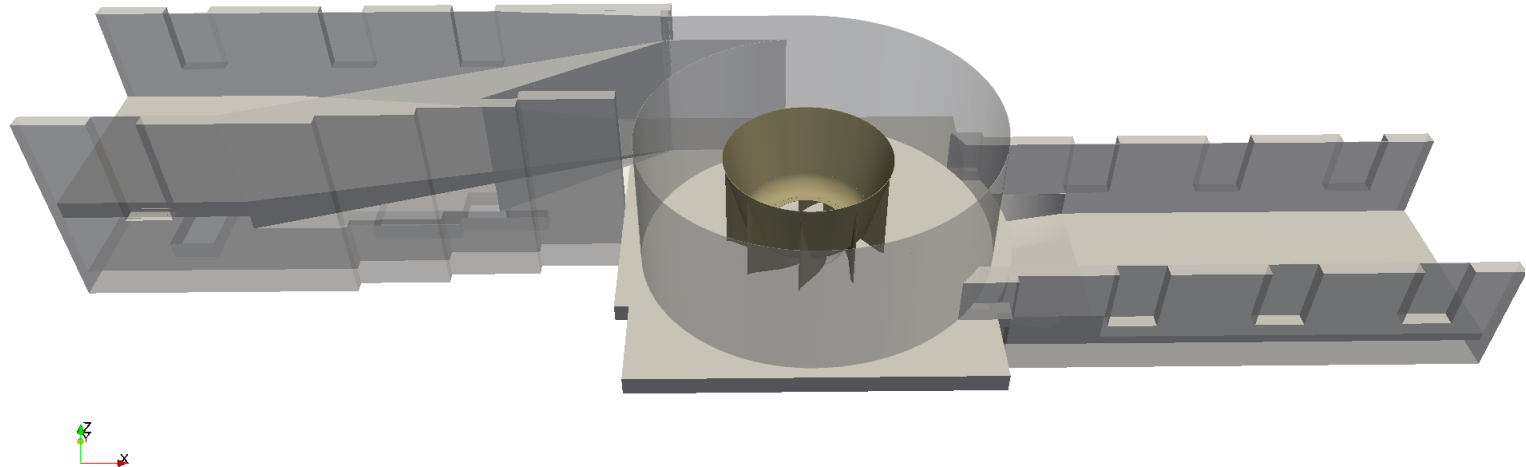
- **Ultraschallsonden** → h (punktuell)
- **3D-ADV**
(Acoustic Doppler Velocimetry)
→ v und v'
- **PTV**
(Particle Tracking Velocimetry)
→ h (2D) und v (oberflächennahe Strömungsgeschwindigkeit)
- Bestimmung der **Drehzahl n** und **Gesamtanlagenleistung P** am Einspeisewechselrichter



3D-Hydrnumerisches-Modell

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

Methodik: Numerik



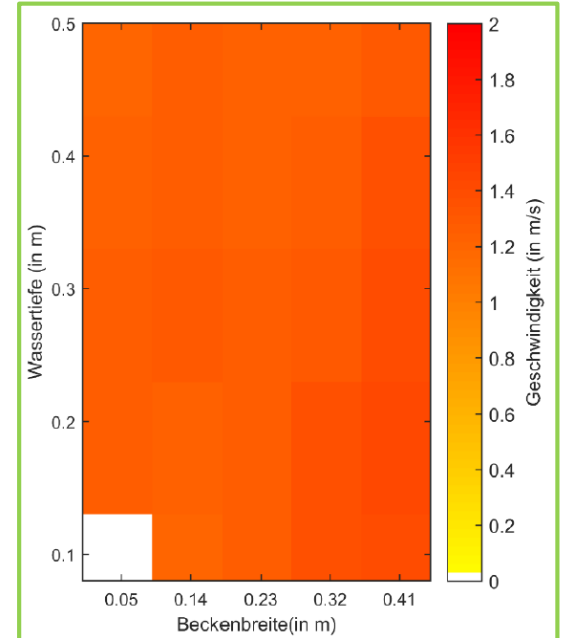
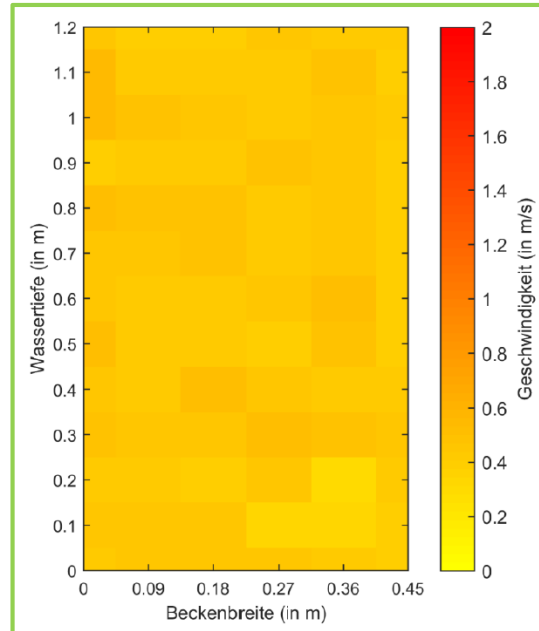
- 3D HN-Modell mit *OpenFOAM 5.0*
- Vernetzung mit ca. 10 Millionen Zellen (Hexaeder)
- Randbedingungen:
 - Inlet: 710 l/s
 - Outlet: halten des Unterwasserstands über künstliche Wand (0,6 m)
 - Drehzahl: 24 U/min
 - Turbine 2,5 cm über Sohle
- IDDES Turbulenzmodell (Hybrid RANS-LES Turbulenzmodellierung)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

Folie 14

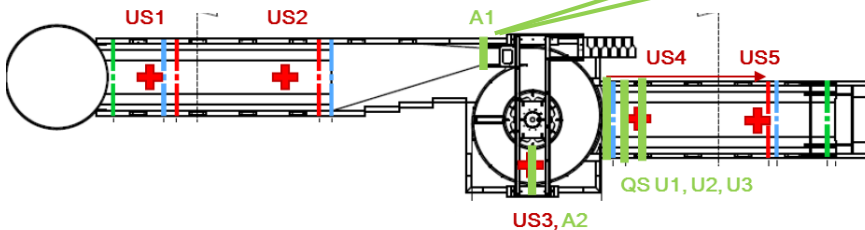
Ergebnisse aus dem Labormodell

Fließgeschwindigkeiten

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



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

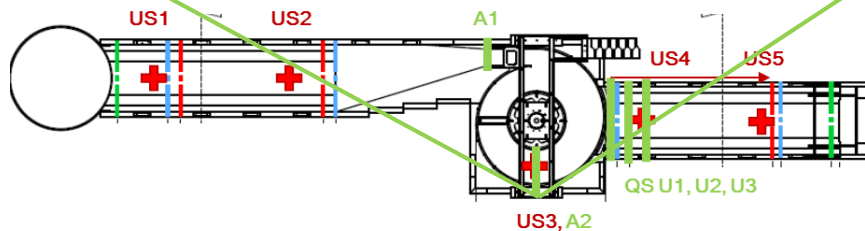
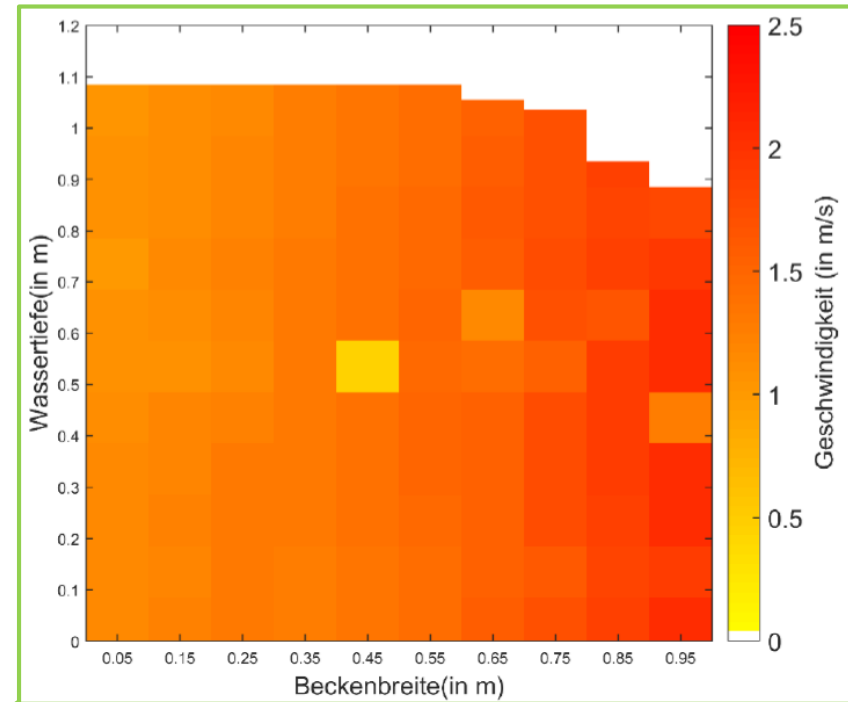
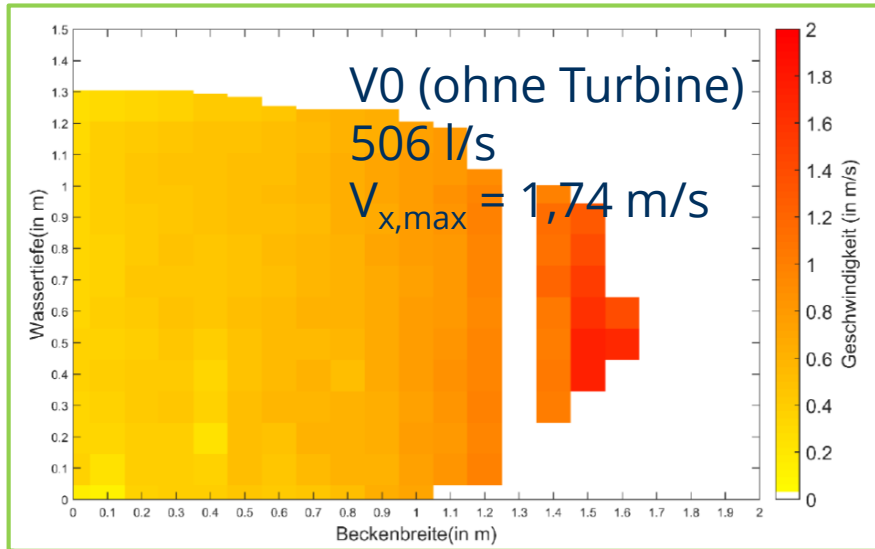


Daten: Studienarbeit Carina Schmidt

Folie 15

Ergebnisse aus dem Labormodell

Fließgeschwindigkeiten



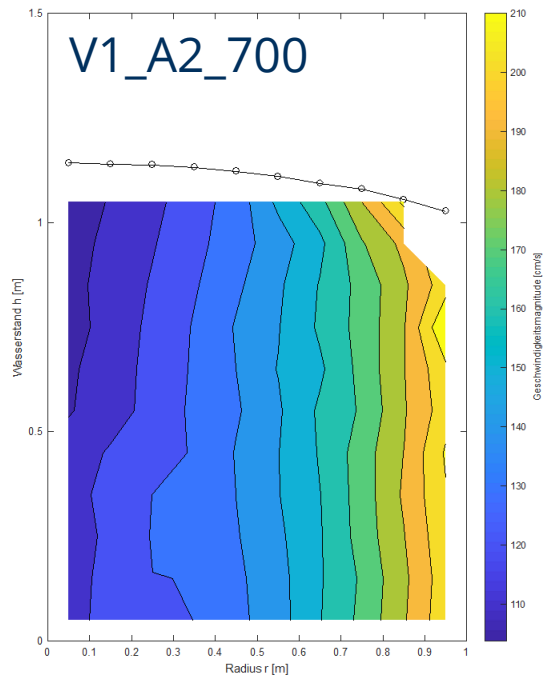
V1 (mit Turbine)
702 l/s
 $V_{x,max} = 2,07 \text{ m/s}$

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

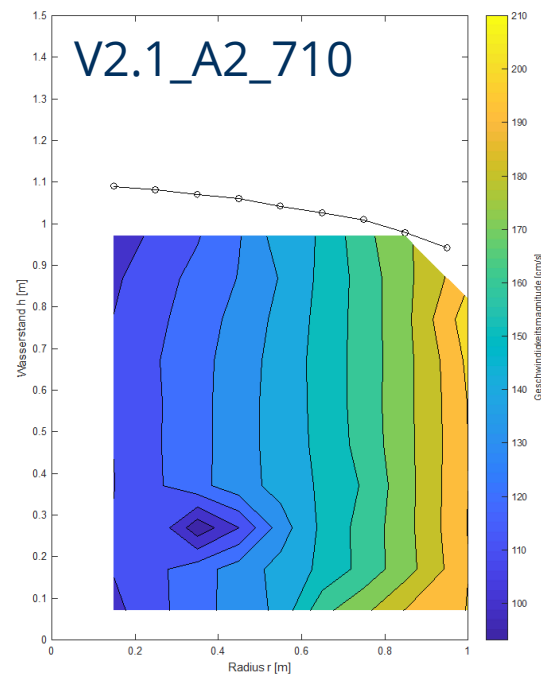
Folie 16

Ergebnisse aus dem Labormodell

Magnitude der Fließgeschwindigkeiten im Wirbelbecken mit Turbine (Vectrinomessung)



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

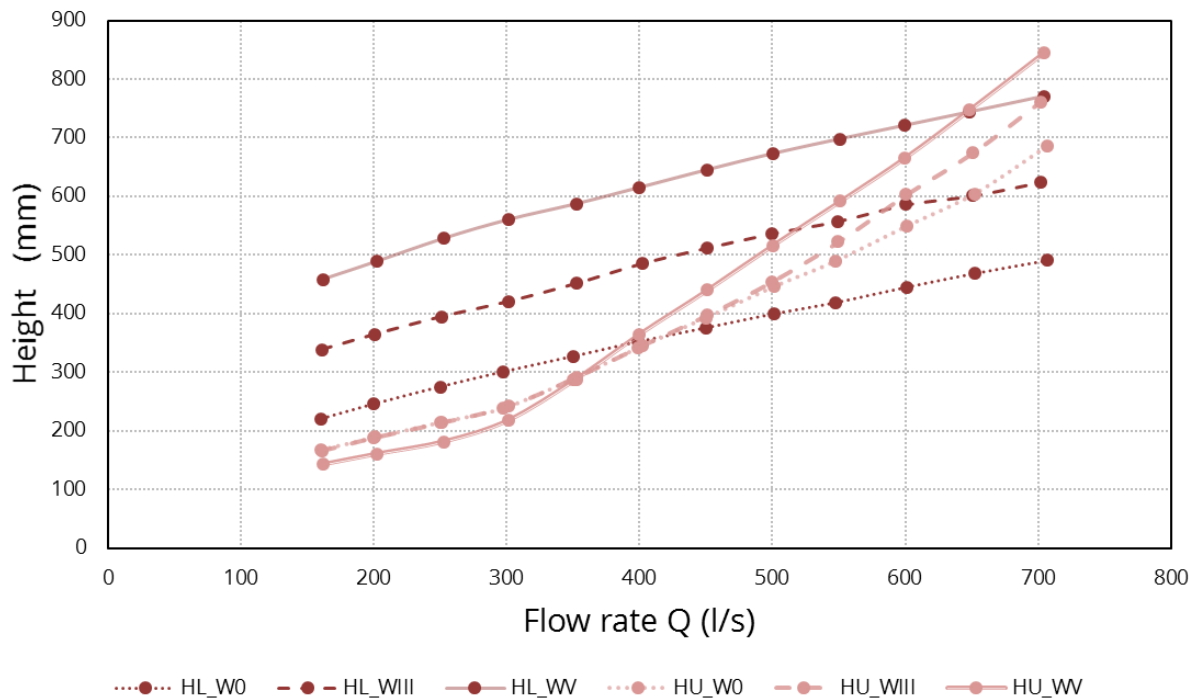


$n = 24 \text{ min}^{-1}$

Ergebnisse aus dem Labormodell

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

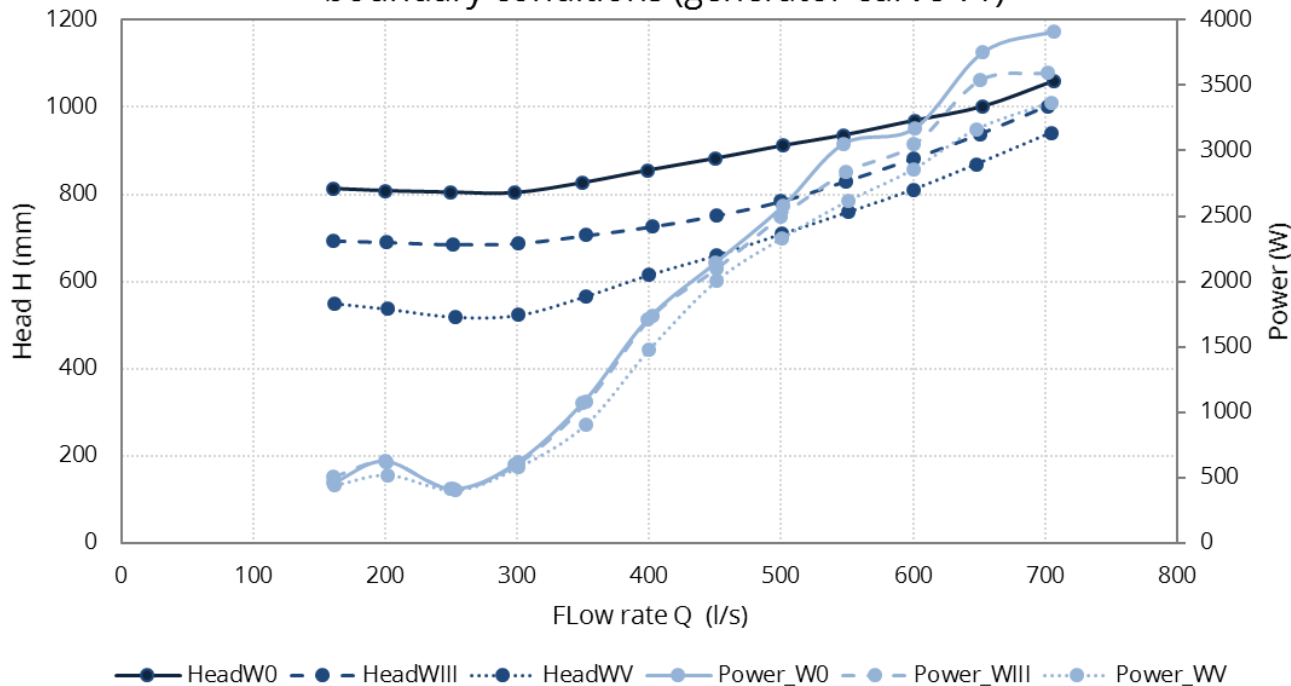
Daten: Masterarbeit Rizwan Ghani

Folie 18

Ergebnisse aus dem Labormodell

Leistung der Anlage

Power and Head for different flow rates and underwater boundary conditions (generator curve V1)



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

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

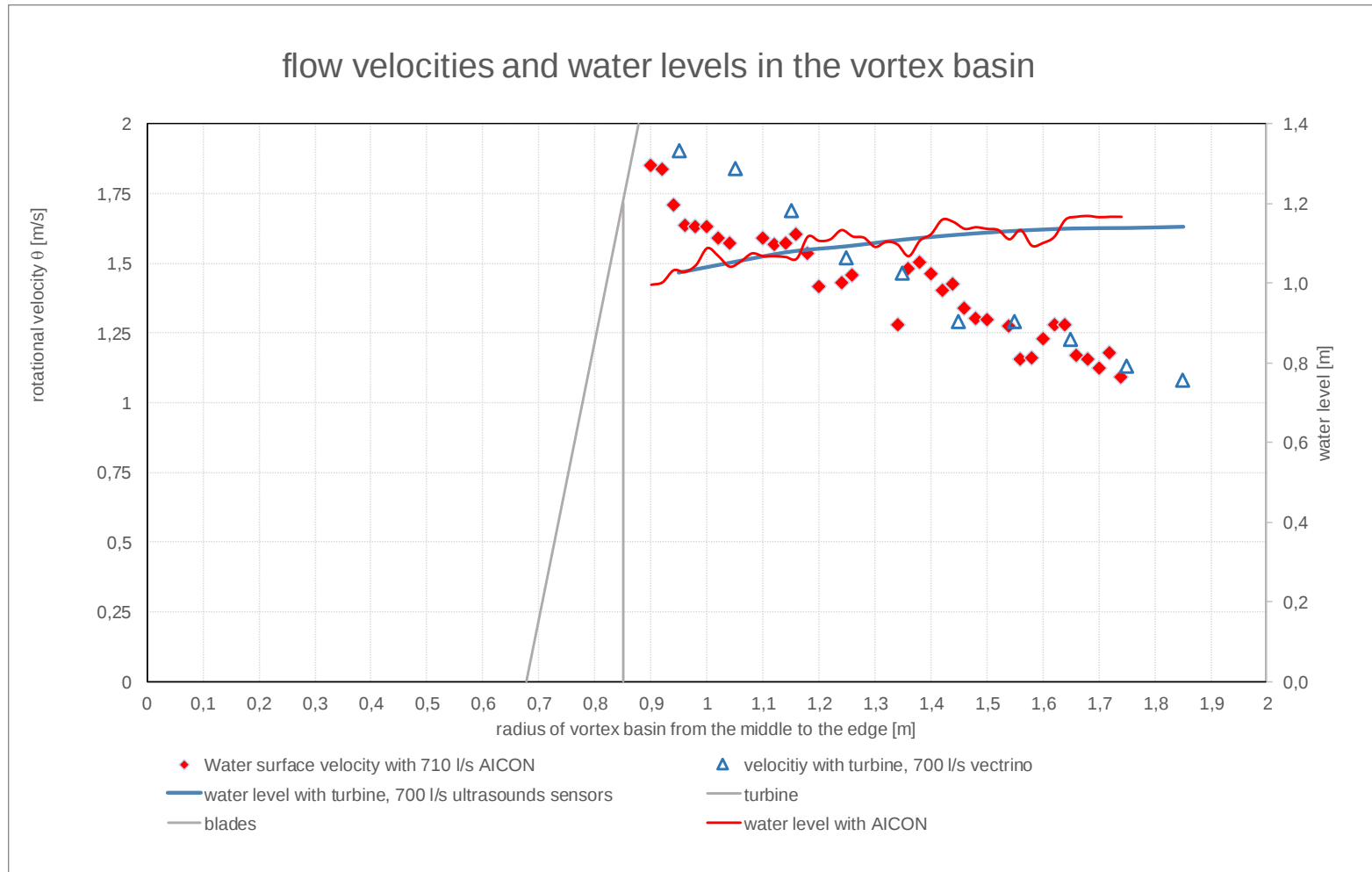
Daten: Masterarbeit Rizwan Ghani

Werte unter Vorbehalt!

Folie 19

Ergebnisse

Vergleich PTV – US - ADV

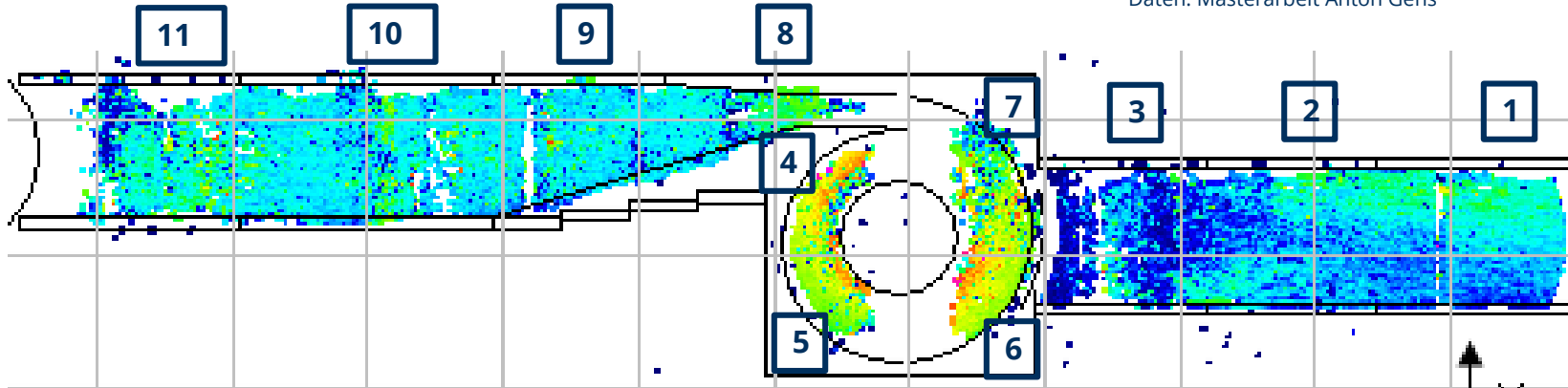


Folie 20

Ergebnisse

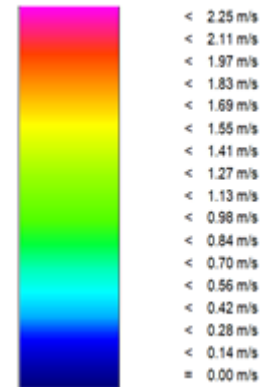
Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche (PTV)

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:

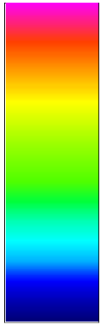


Folie 21

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

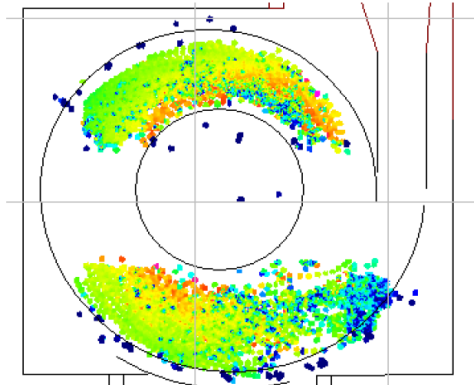


Figure 4-47 Vr Velocities

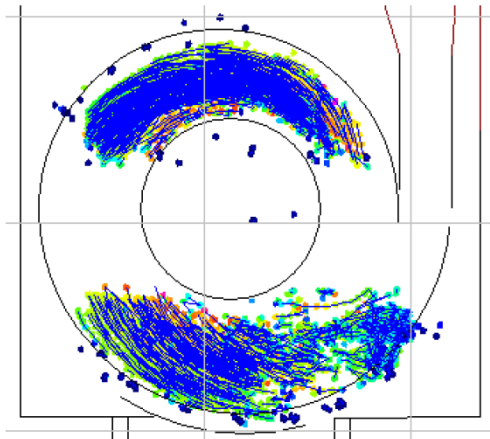
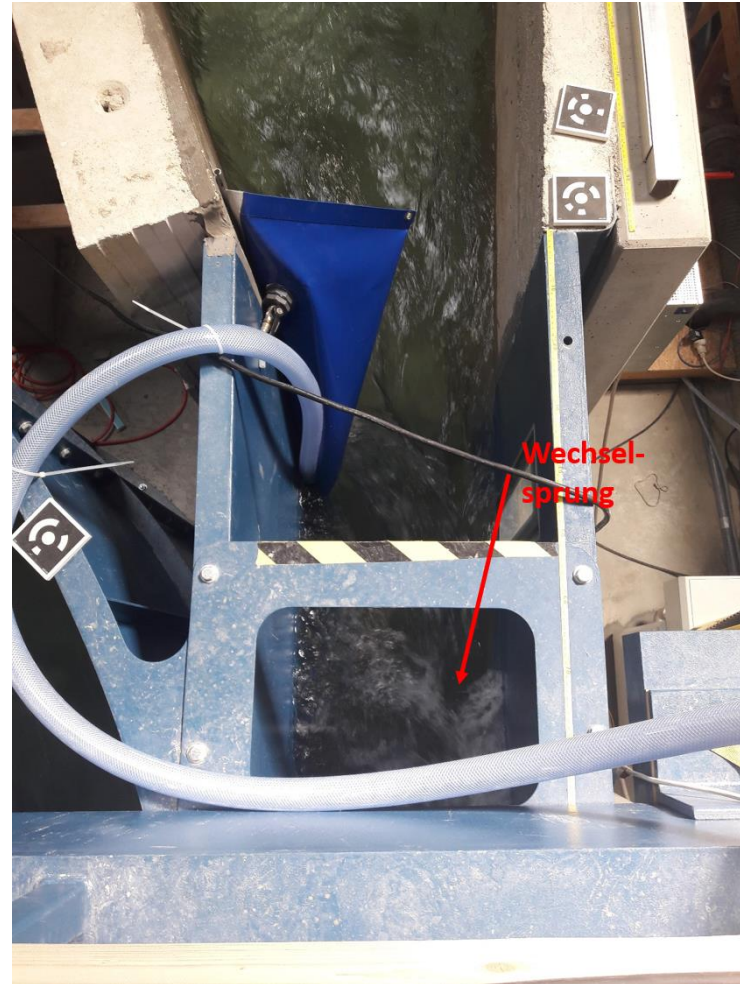


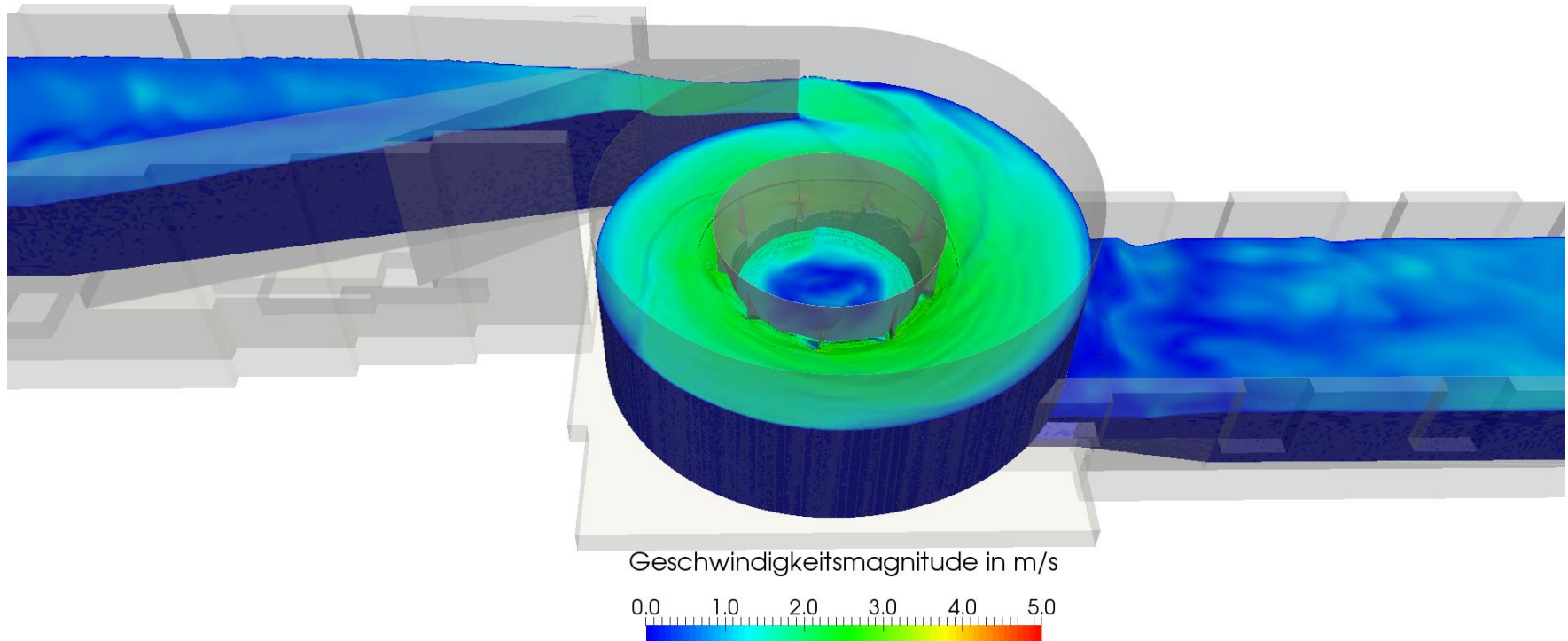
Figure 4-48 Tracers trajectories



Folie 22

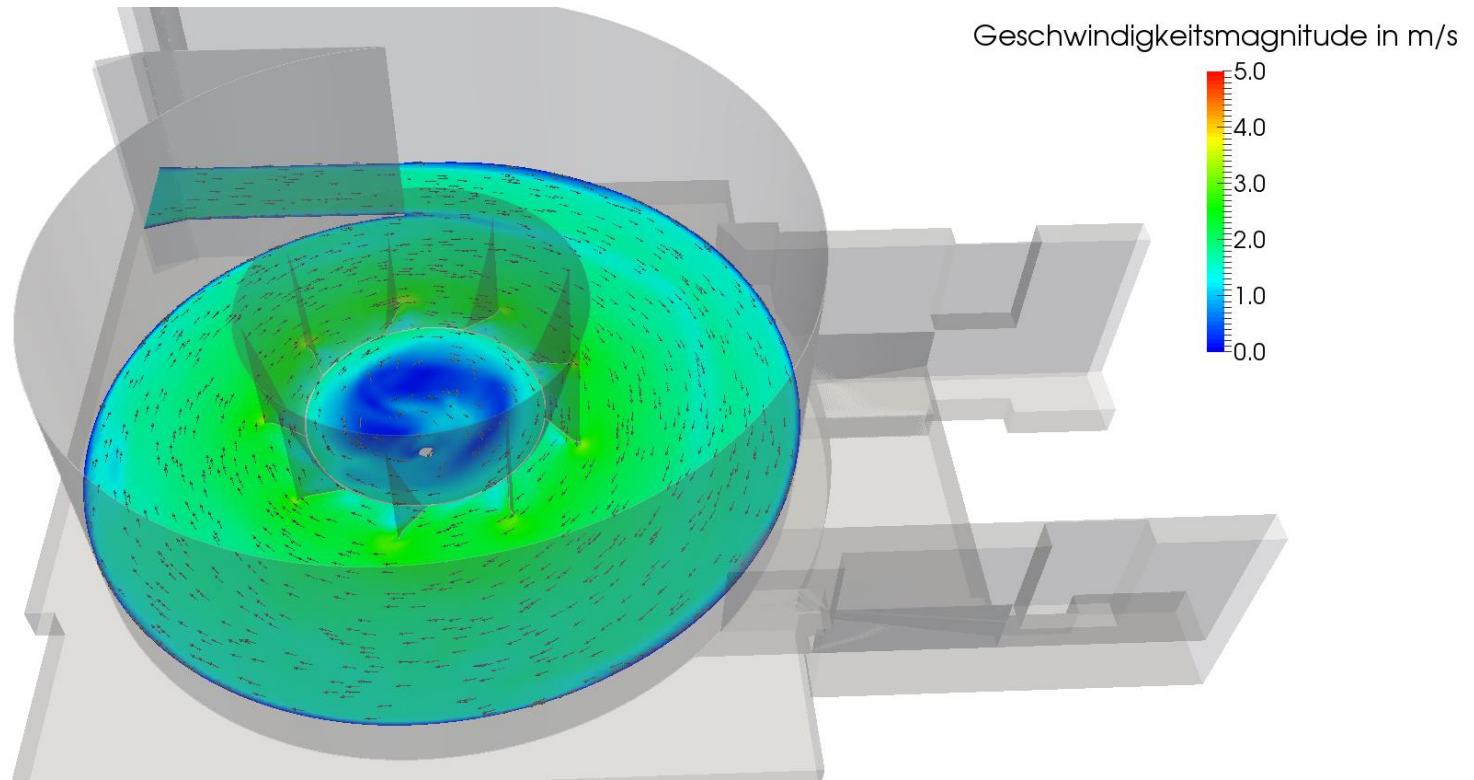
Ergebnisse Numerik

OpenFoam



Ergebnisse Numerik

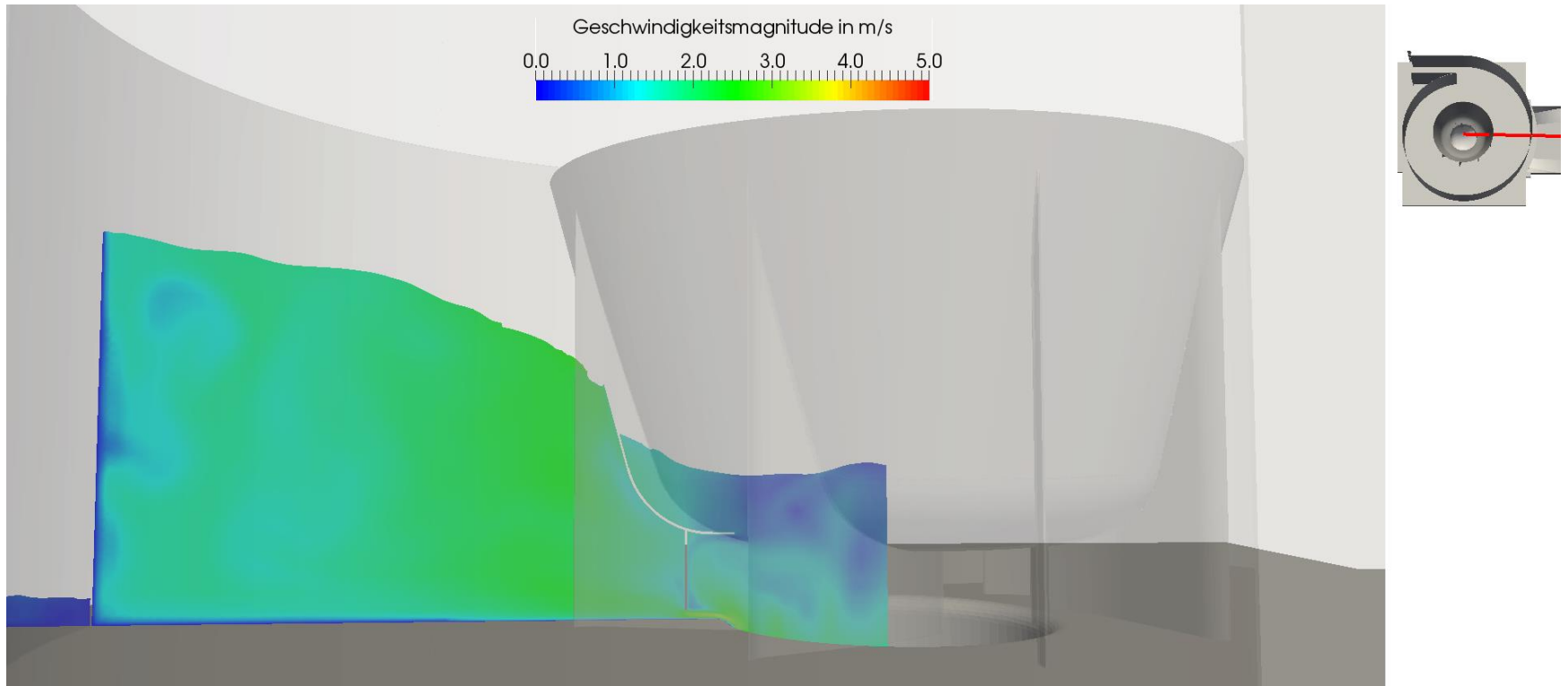
OpenFoam



Folie 24

Ergebnisse Numerik

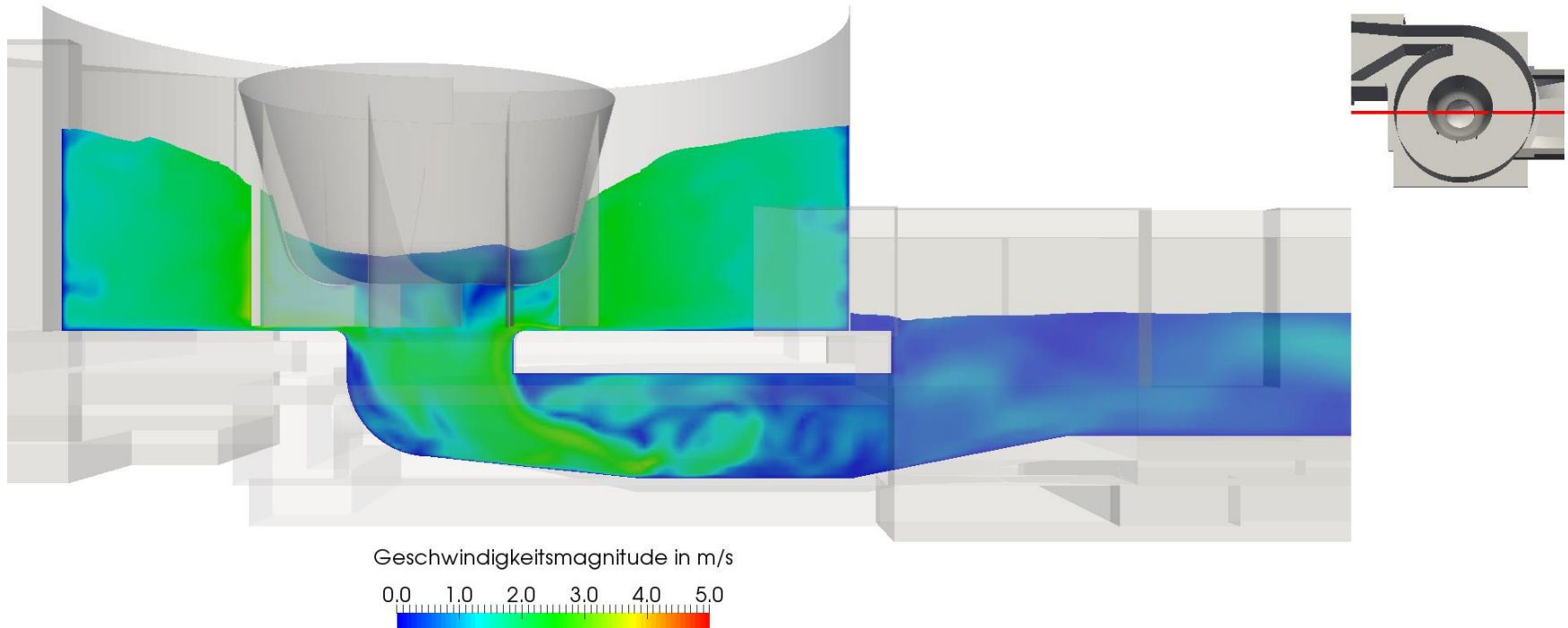
OpenFoam



Folie 25

Ergebnisse Numerik

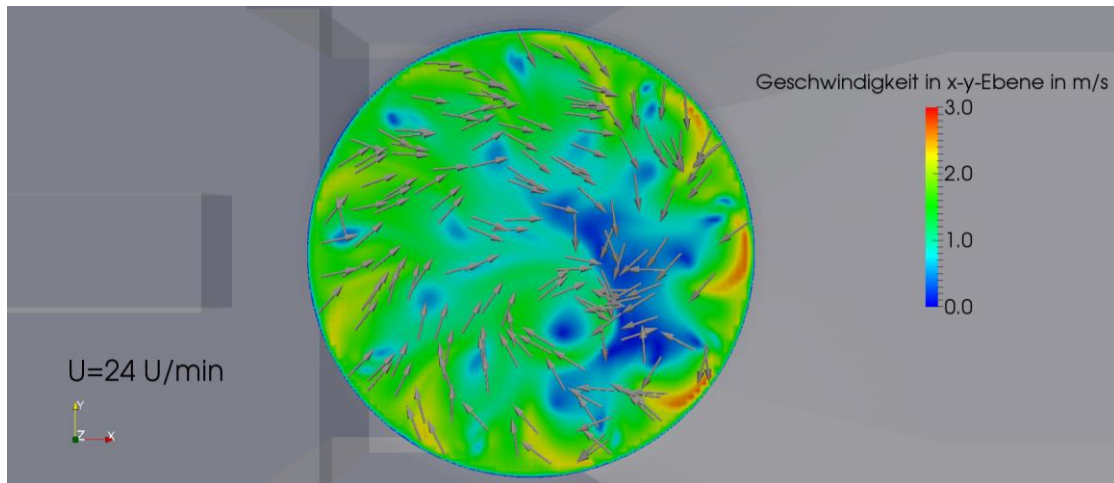
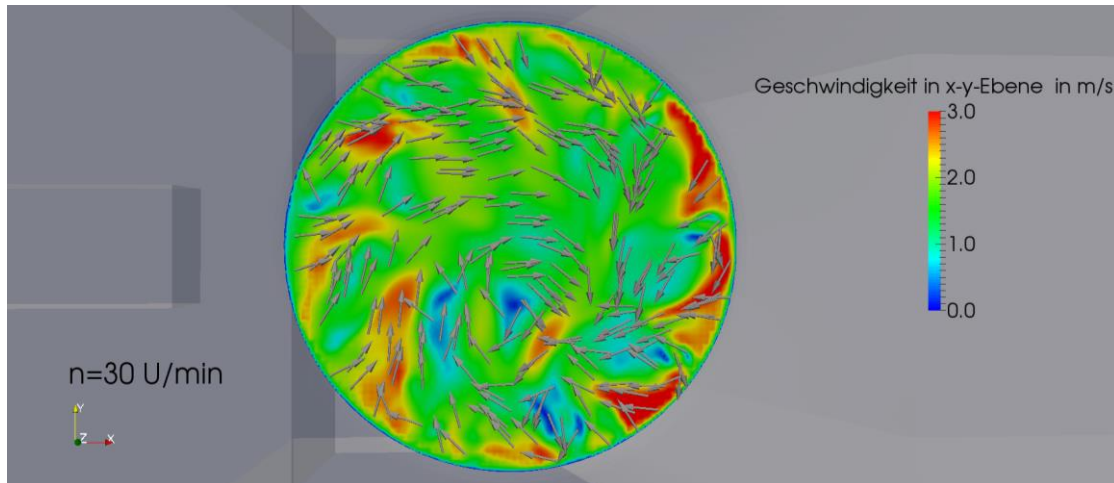
OpenFoam



- Wirbelfreiheit im Auslass?

Ergebnisse Numerik

OpenFoam

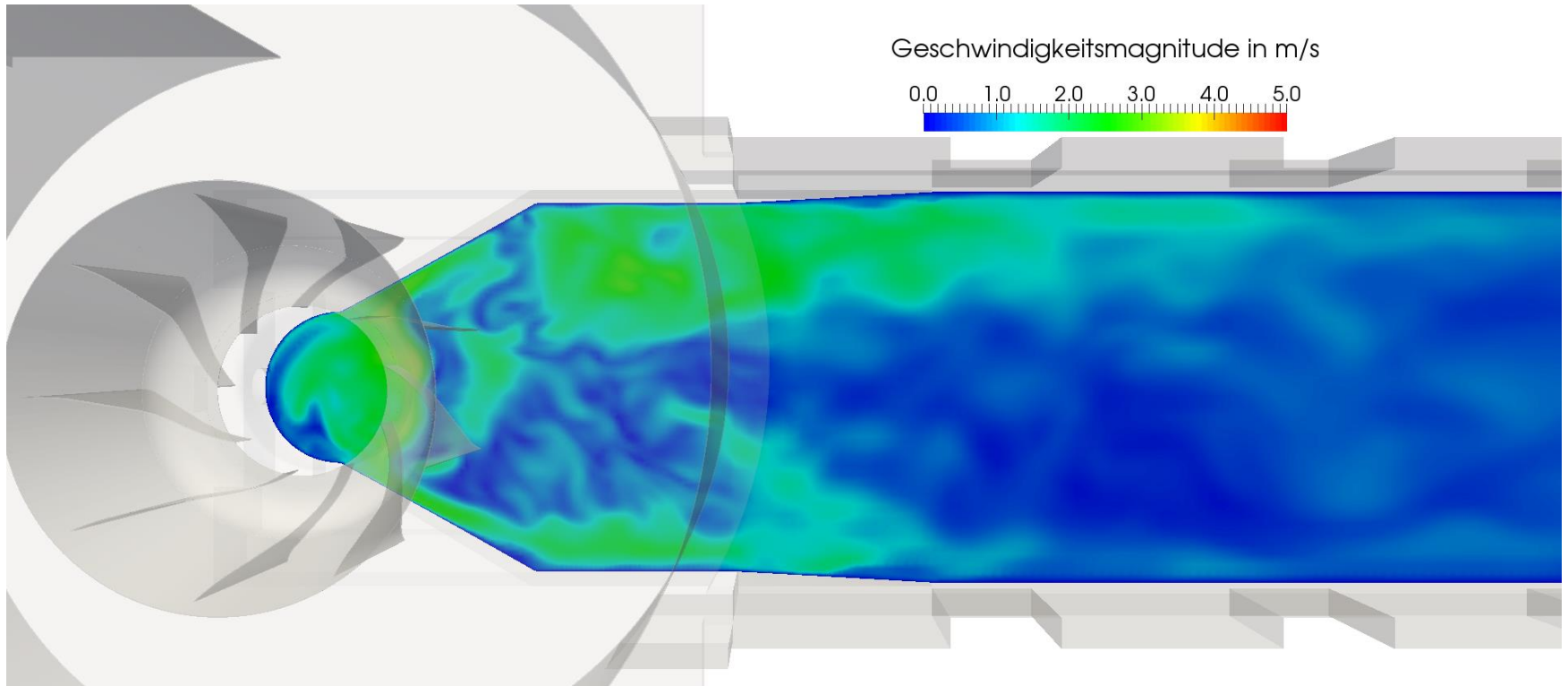


- Bedingung der Wirbelfreiheit noch nicht erfüllt
- Weitere Berechnungen mit anderen Randbedingungen laufen

Folie 27

Ergebnisse Numerik

OpenFoam

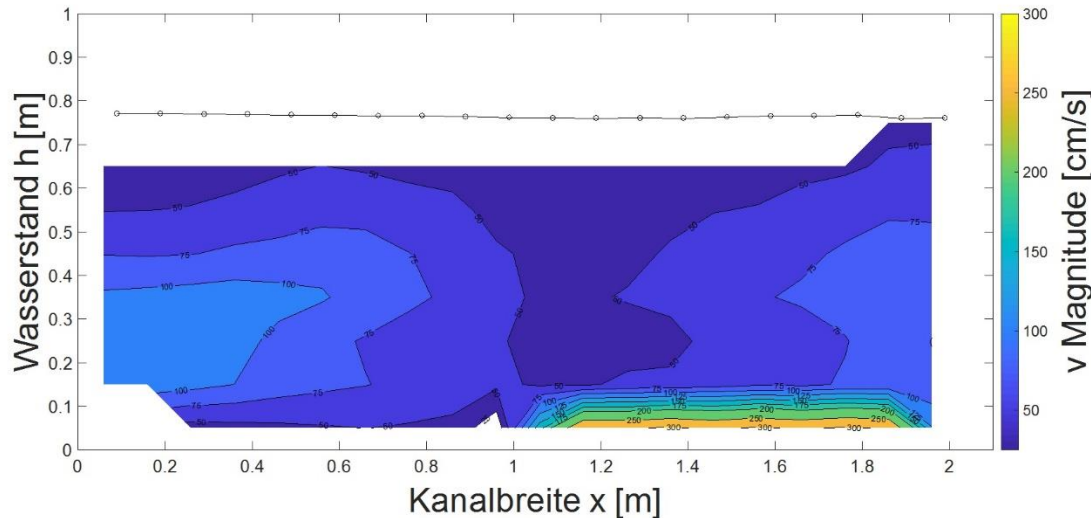


Schnitt horizontal 0,2m über der Sohle

Folie 28

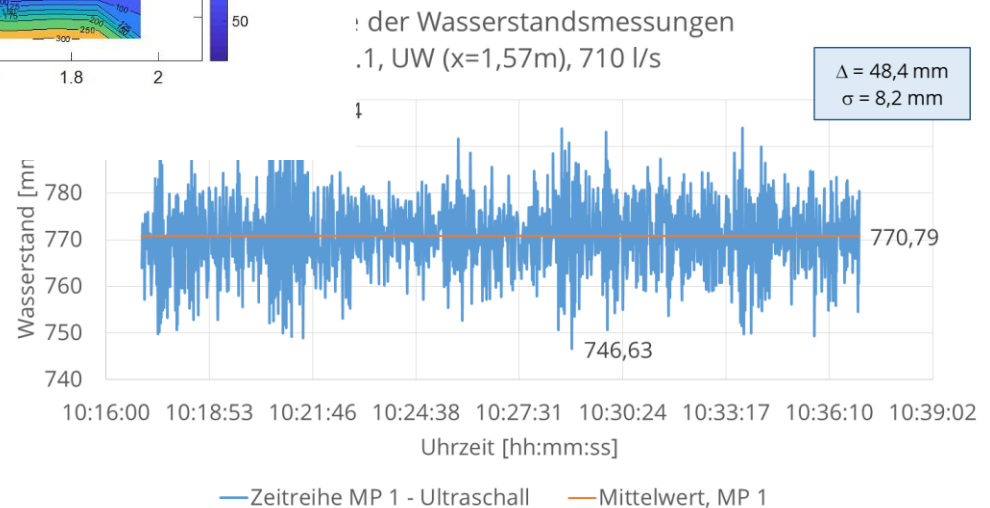
Ergebnisse aus dem Labormodell Unterwasser

Daten: Diplomarbeit Jan Gilak



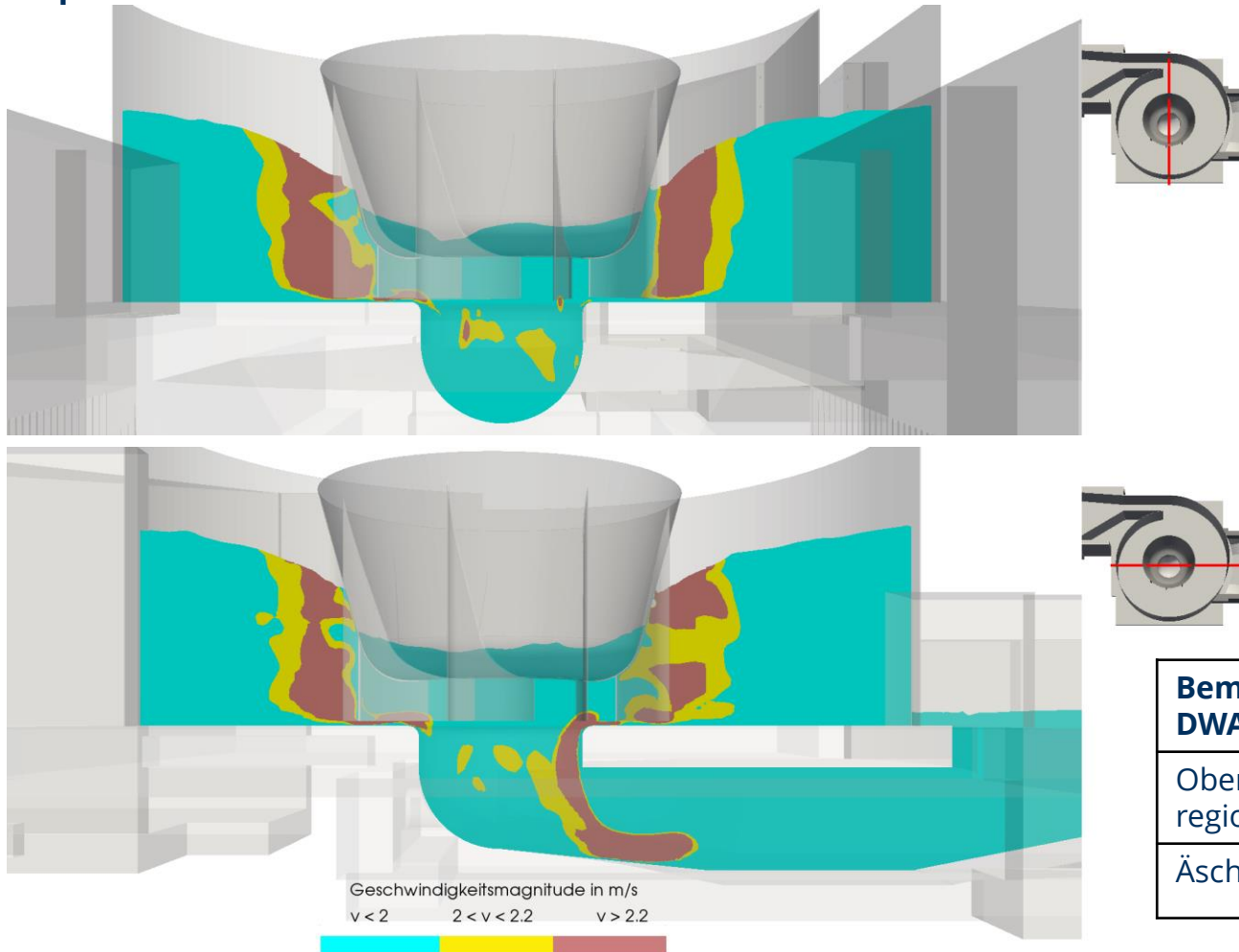
Strömung im Unterwasserbereich entgegen normaler Fließprofile mit Maxima außen und Minimum zentral

Strömung im Unterwasserbereich stark turbulent



Folie 29

Ergebnisse Numerik OpenFoam



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

Obere Forellen-region	2,2 m/s
Äschen-region	2,0 m/s

Folie 30

Fazit & Ausblick

- 1:1 Labormodell erfolgreich errichtet und messtechnisch instrumentiert
- Labortechnische Voraussetzungen für Durchführung der Fischversuche erfüllt
- Messungen weitgehend abgeschlossen, Auswertungen laufen
- Detailbetrachtung kritischer Stellen für Fischeaufstieg gemeinsam mit IGF Jena
z.B. durch Auswertung der Strömungsschwankungen (Turbulenz) im Unterwasserbereich
- Durchführung von vergleichenden 3D-CFD Simulationen (OpenFoam) unterstützen und erweitern die Aussagekraft der Labormessungen
- Einsatz von Prototypentechnik stellt außerordentliche Herausforderung dar (optimaler Arbeitspunkt?)
- Einsatz von Textilien zur Strömungsoptimierung erfordert Gesamtsystembetrachtung

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!