

# Innovative Wasserkraftmaschinen

## Hydrokinetische Turbinen

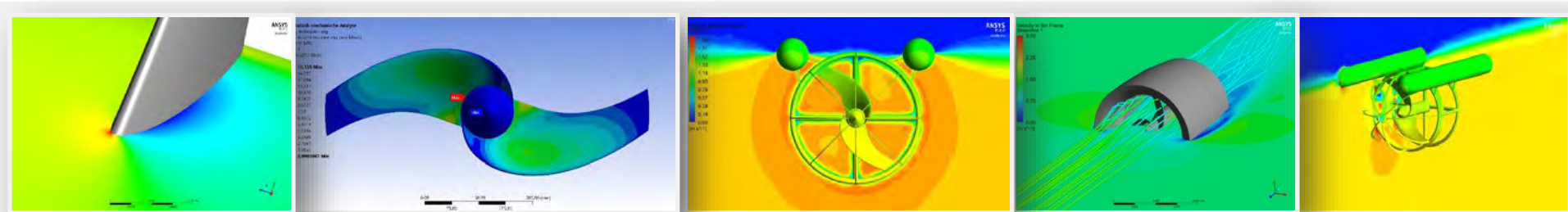
Prof. Dr.-Ing. Heike Mrech

M. Sc. Stephan Trautsch

Hochschule Merseburg

Tilo Steiner

Formstaal GmbH & Co.KG



Magdeburg, 27.09.2017

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Heike Mrech; M. Sc. Stephan Trautsch

Seite 1

# Verbundprojekt 3: Technologieentwicklung für kleine Wasserkraftmaschinen

- Entwicklung eines universellen Staudruckwasserrades uSW)  
(hinterschlächtiges Wasserrad mit Druckkulissee)
- Entwicklung eines Horizontalwasserrades H<sup>2</sup>W  
(schwimmende Kleinwasserkraftanlage mit vertikalen Achsen und gegenläufigen Laufrädern)
- Entwicklung einer Hydrokinetischen Turbine HKT  
(ökologieverträgliche Turbine für den Einsatz in der Flusswasserkraft)

## Teilprojekt 3.5

# Strömungs- und Maschinentechnik der hydrokinetischen Turbinen

## Projektidee / Ziele

- spezifische Strömungsenergie von Flüssen nutzen
- wirtschaftliche Lösungen für besondere Standorte
- dezentrale Flusswasserenergieanlagen ohne umfassende bauliche Maßnahmen (keine Staustufen / kein Gefälle)
- ökologisch – geringer Einfluss auf die Umwelt

### Potential:

z.B. in Deutschland – allein die wichtigsten 20 deutschen Flüsse:

- Gesamtlänge von 11.350 km
- Gesamtwasservolumenstrom bei einem mittleren Normalpegelstand von 7.695 m<sup>3</sup>/s
- mittleren Strömungsgeschwindigkeit von  $c_m = 1,8 \text{ m/s}$   
(Bereich von  $c_m = 1,1 \text{ m/s}$  bis  $3,5 \text{ m/s}$ )

➤ Leistung des Wassers von ca. 40,64 MW

# Projektidee

- innovative Wasserkraftanlagen entwickeln
- Schlüsselcharakteristik – geringe Fließgeschwindigkeiten

**Für jeden Standort die richtige Lösung!**

Frage:

*Können **hydrokinetische Turbinen** hier einen Beitrag leisten?*

- seit 2008 konkrete Untersuchungen von Prof. Surek an der Hochschule Merseburg
- 2010 Forschungsprojekt „Entwicklung einer mobilen Wasserturbine für die Flussenergienutzung“ in Kooperation mit den Firmen KSB, WILO und Sibau Genthin

# Prof. Dr.-Ing. habil. Dominik Surek

(\* 22. Mai 1933 in Schleise; † 12. August 2016 in Halle (Saale))

1951 - 1954 Ingenieurstudium Technischen  
Lehranstalt Dresden

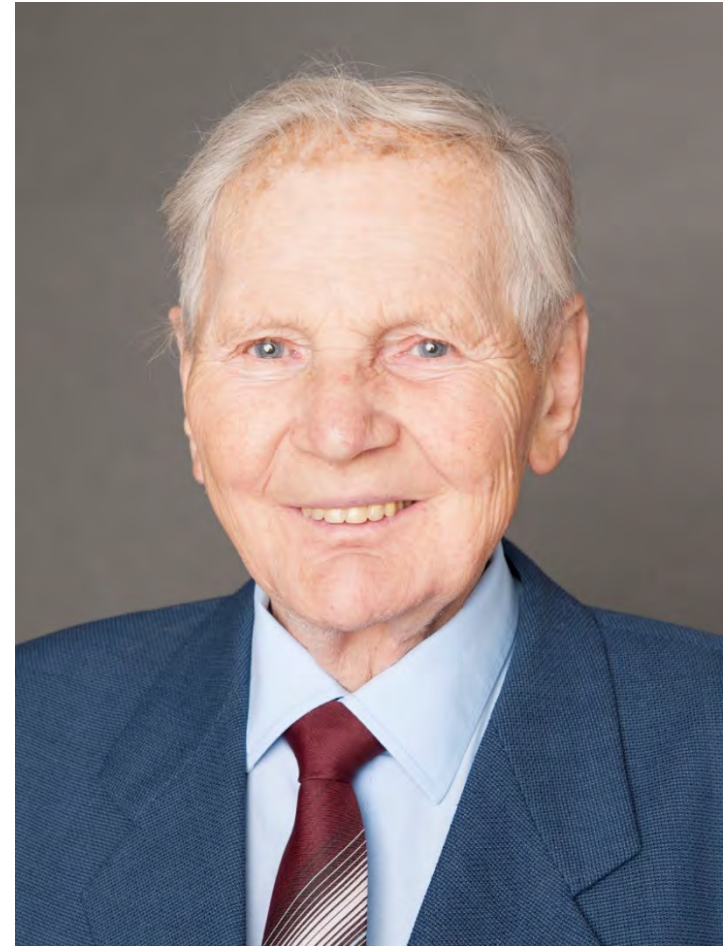
1954 – 1959 Studium an der Technischen  
Hochschule Dresden, Studienrichtung  
Strömungstechnik und Strömungsmaschinen

1959 – 1965 Tätigkeit als wissenschaftlicher  
Assistent am Institut für Pumpen und Verdichter  
der TH Dresden

1965 Dissertation zum Thema „Untersuchung der  
Radreibungs- und Undichtheitsverluste in Radial-  
pumpen“ an der TU Dresden

1966-1970 Mitarbeiter und 1970-1992 Abteilungs-  
/Bereichsleiter für Forschung im Wissenschaftlich-  
Technischen Zentrum Pumpen und Verdichter in  
Halle/Saale

1991 Verteidigung der Habilitationsschrift mit dem  
Thema „Anwendung der Drehstromantriebstechnik  
zur Drehzahlstellung von Pumpen und Verdichtern“

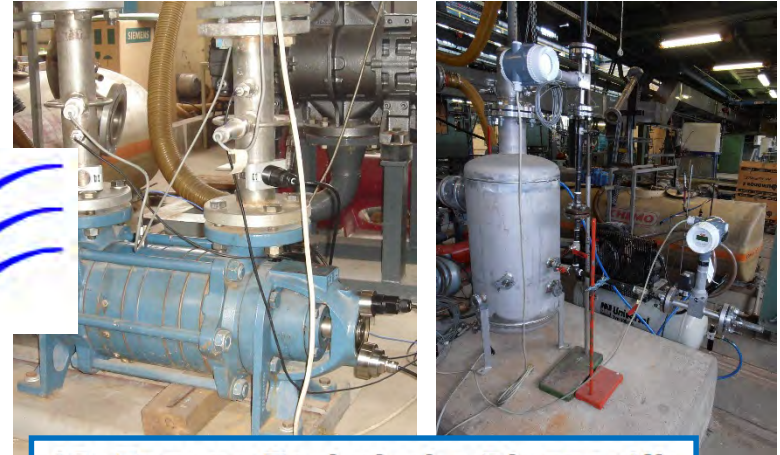


# Wirken von Prof. Dr.-Ing. habil. Surek an der Hochschule Merseburg

1993 Professor für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen an die Fachhochschule Merseburg

1998 Gründung des An-Instituts für Fluid- und Pumpentechnik der Hochschule Merseburg / Institutsdirektor

Initiator und Ausrichter der aller zwei Jahre stattfindenden  
**Tagung „Technische Diagnostik“**

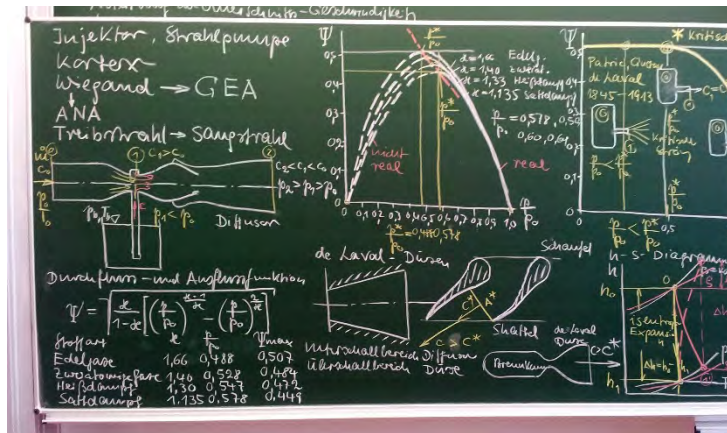


## 13. Tagung Technische Diagnostik 2018



Die 13. Tagung Technische Diagnostik ist für den 18. und 19. Oktober 2018 geplant.

Ort: Hochschule Merseburg, Hörsaalgebäude (Hö)



# Wirken von Prof. Dr.-Ing. habil. Surek an der Hochschule Merseburg

Er war auch nach Erreichen des Rentenalters weiterhin in der Lehre aktiv tätig.

Er verfasste über 250 Fachartikel und 12 Fachbücher.

2003 Auszeichnung mit dem Transferpreis des Kuratoriums der Hochschule Merseburg

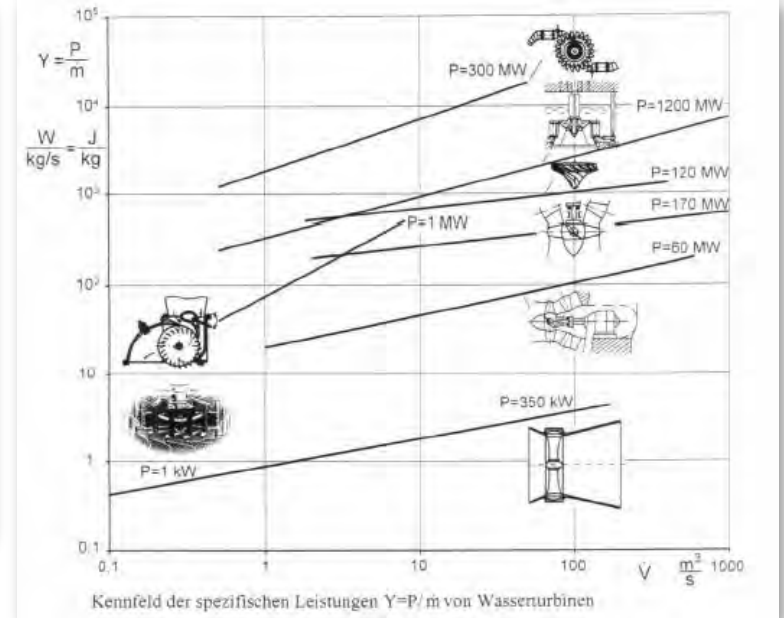
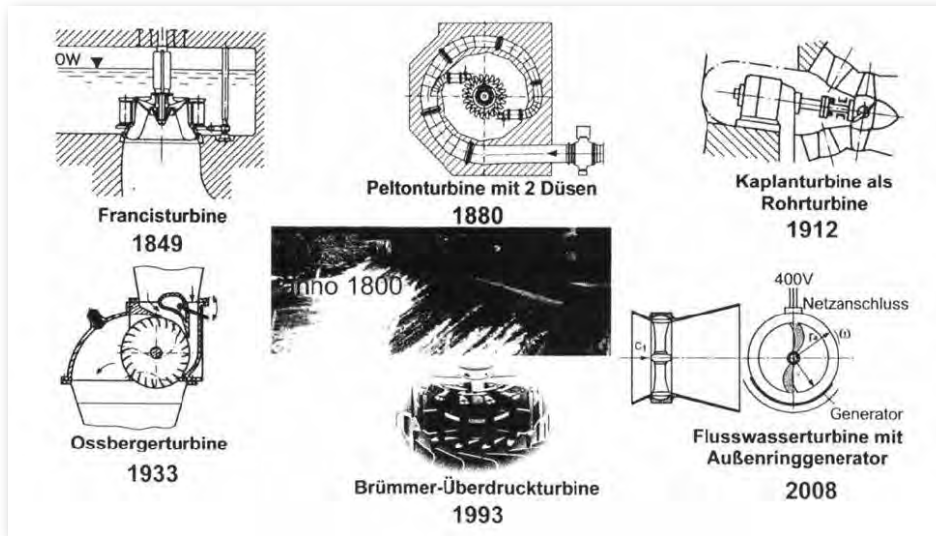
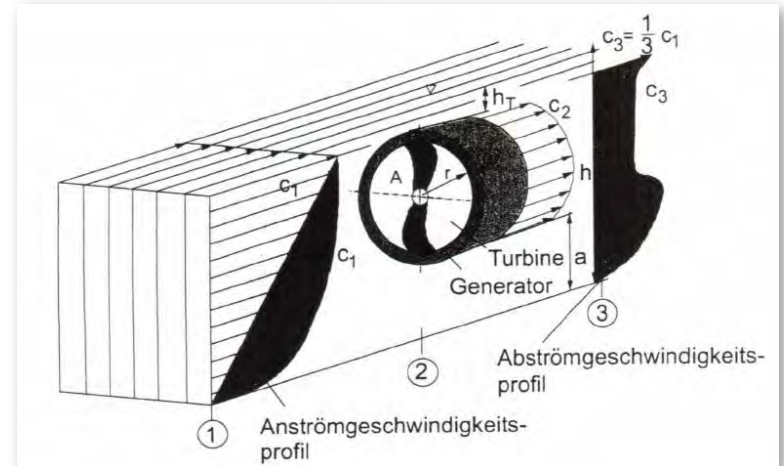
2013 Verleihung der Ehrensensatorwürde

ca. 3 Mio. €  
Drittmittel  
eingeworben



# Projektkonzept – Hydrokinetische Turbine

- Historische Basis
- Theoretische Grundlagen
- Praktische Erfahrungen





# Projektkonzept – Hydrokinetische Turbine

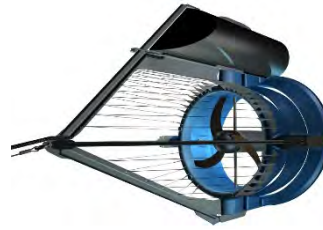
Entwicklungen anderer Projekte / Firmen:



Turbine der Hydro Green Energy in den USA



Twinturbine der Firma öko twin



Stromboje I und II der Firma Smart Hydro Power



- Potential der Energiequelle anerkannt
- Prototypenentwicklung
- sehr aufwendiger Entwicklungsprozess / viele Randbedingungen
- heute – Produkte in einer Standardgröße angeboten

# Projektkonzept – Hydrokinetische Turbine

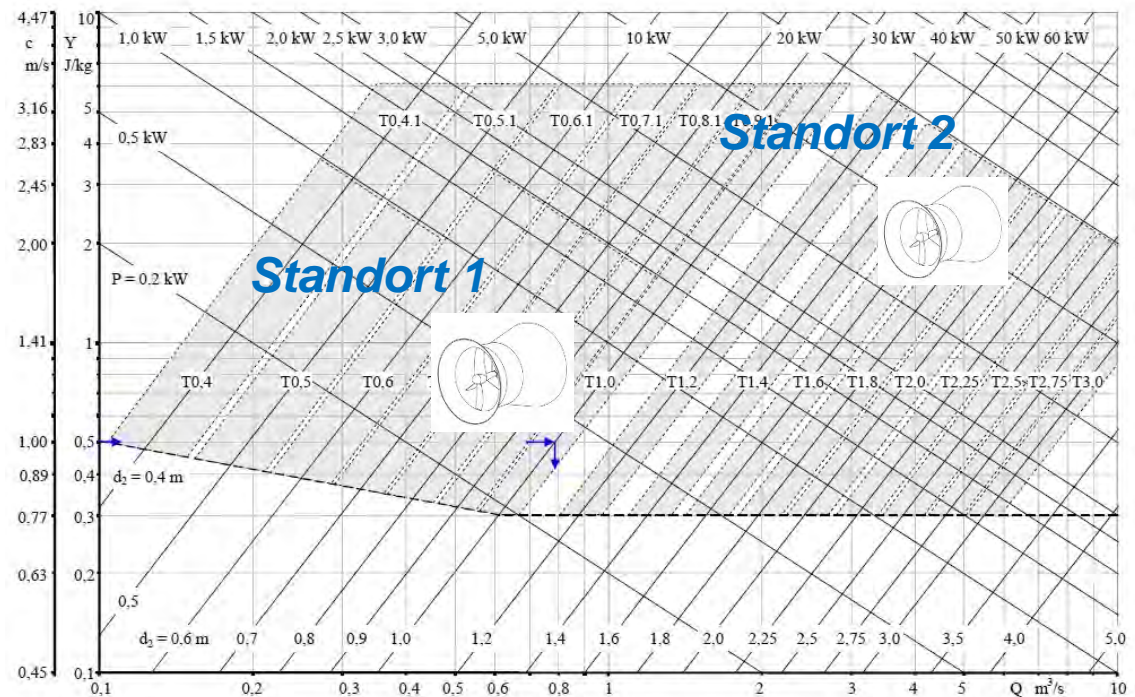
## Grundidee:

- Baureihe axialer Flusswasserturbinen

**Für jeden Standort die richtige Lösung!**

Theoretische Basis:  
**Typenkennfeld**

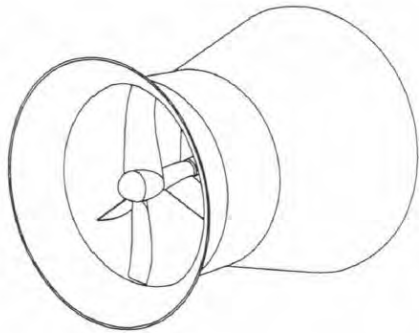
Strömungssimulation  
zur Verifizierung und  
Validierung



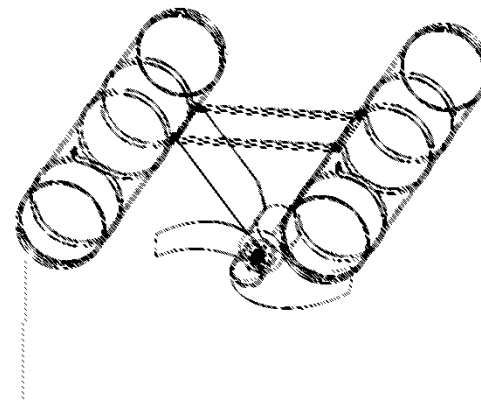
# Projektkonzept – Hydrokinetische Turbine

## Entwicklungsarbeit:

- Entwicklung, Simulation, Bau und Praxistests von zwei Prototypen unterschiedlicher Größe und Ausführung
- Prüfung der theoretischen Typenkennfeldes durch Simulation und Praxistests



Prototyp 1:           HKT-PT1  
Durchmesser:       780 mm  
Rotorzahl z:         3

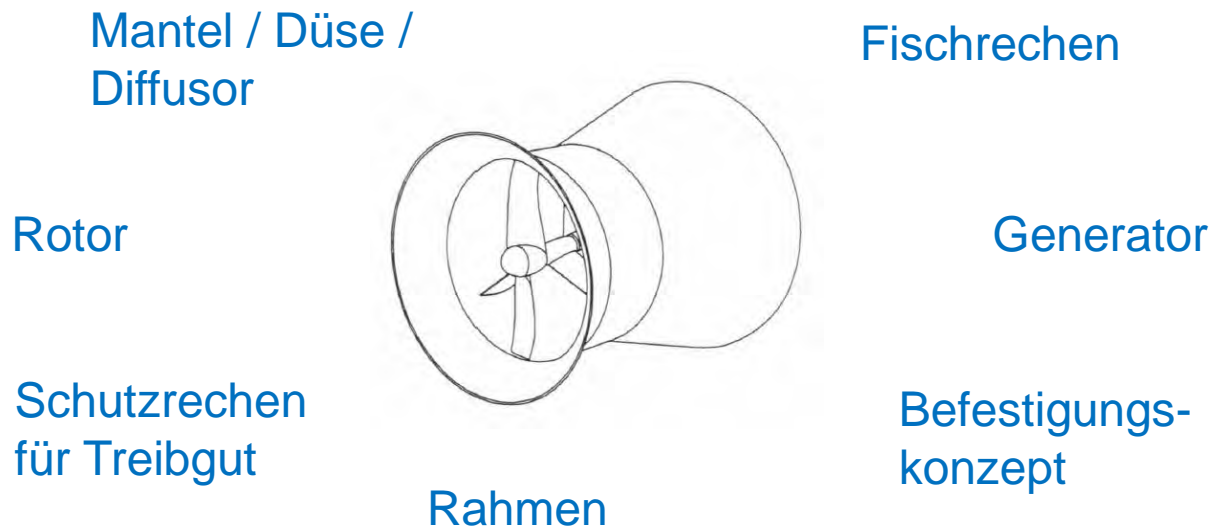


Prototyp 2:           HKT-PT2  
Durchmesser:       900 mm  
Rotorzahl z:         2

# Projektkonzept – Hydrokinetische Turbine

## Entwicklungsarbeit:

- Zu optimierende Baugruppen



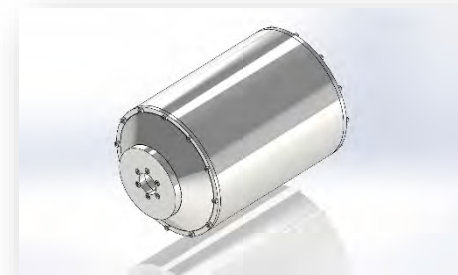
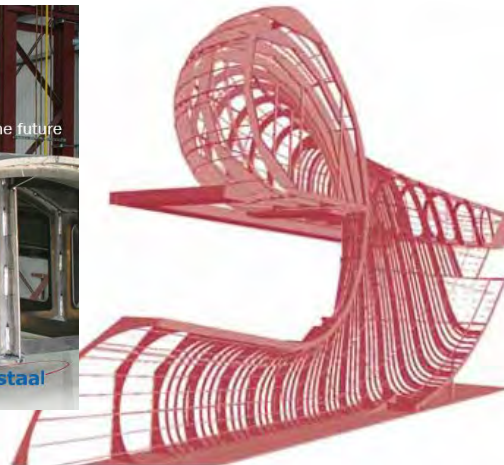
Anforderungen:

- fertigungsgerecht
- kostengünstig
- wartungsarm
- ökologisch
- optimale Leistung

# Projektkonzept – Hydrokinetische Turbine

## Kooperationspartner

- Formstaal GmbH & Co.KG
- Otto von Guericke Universität Magdeburg – Institut für elektrische Energiesysteme



Formstaal GmbH & Co. KG

An der Werft 17  
D-12459 Strausund

Phone +49 (0)3831 289238-0  
Fax +49 (0)3831 289238-6

E-mail info@formstaal.de  
Web www.formstaal.de



INSTITUT FÜR  
ELEKTRISCHE ENERGIESYSTEME

# Projekt – Hydrokinetische Turbine

## Stand der Bearbeitung

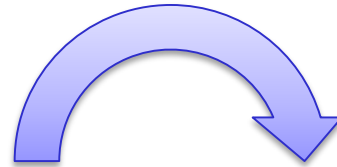
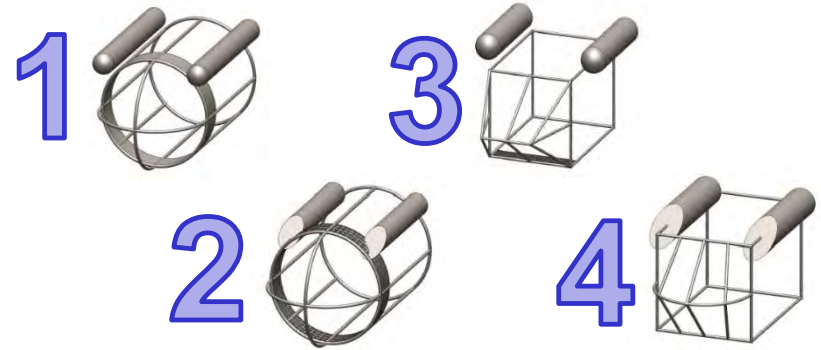
- Prototyp I: Bau und Messungen auf dem Vektor sind abgeschlossen
- Auswertungen / Dokumentation laufen
- Prototyp II: Entwicklung und Simulation abgeschlossen
- Bau sowie Vorbereitung der Messungen auf dem Vektor und des Dauertests auf der Bode (Standort: Neugattersleben) laufen



1. Entwicklungsprozess der Hydrokinetische Turbinen
2. Digitalisiert. Automatisiert. Kostenminimiert.
  1. Auslegung
  2. Konstruktion
  3. Simulation
  4. Optimierung

# Hydrokinetische Turbine

Datum: 10.01.2016		Morphologischer Kasten Übersicht über Teilfunktionen und Teillösungen			
Nr.	Teilfunktion	Lösungsmöglichkeit			
		1	2	3	4
A	Rahmen-geometrie	Rund	Rechteckig		
B	Geometrie Rahmenstreben	Rundprofil	Flachstahlprofil	Rundrohrprofil	Rechteckrohrprofil
C	Material Rahmen	Baustahl	Edelstahl	verzinkter Stahl	Aluminium
D	Treibgutschutz	Spitz	Halbkugel	Rund + Schräg	Keil
E	Fischschutz	Gitter	Streben	Drahtseil	
F	Position Schwimmkörper	Integriert	Mittig über Rahmen	Seitlich am Rahmen	
G	Form Schwimmkörper	Halbkugel als Spitze	Spitzes Rohr	Schräges Rohr	
H	Propellerschutz	Umlaufendes Blech	Umlaufendes Gitter	Grundseitig mit Blech	Grundseitig mit Gitter
I	Anschluss für Uferbefestigung	auf Schwimmkörper	am Rahmen	am Treibgutschutz	
J	Sicherung Uferbefestigung	Vorhängeschloss	abschließbarer Schakel		
K	Trimm Anpassung	Fluten der Schwimmkörper	Trimmgewichte am Rahmen	Variable Uferbefestigung	



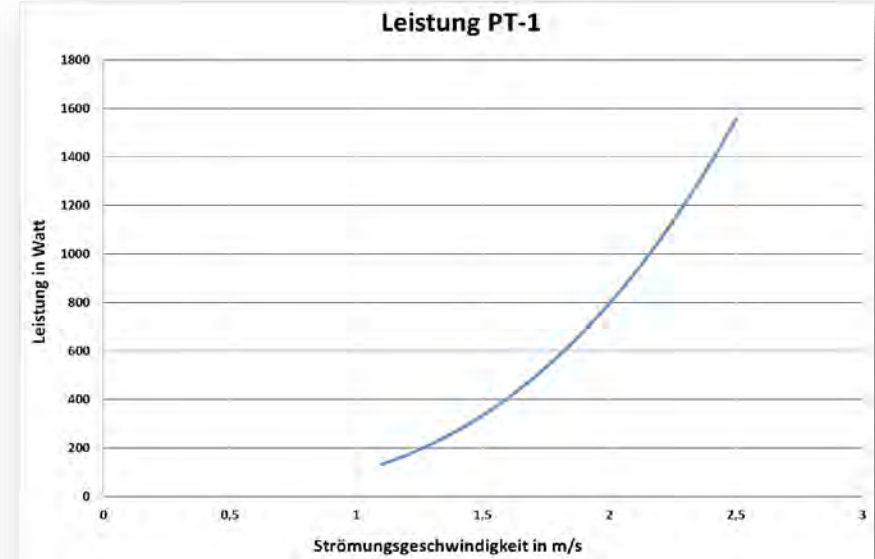
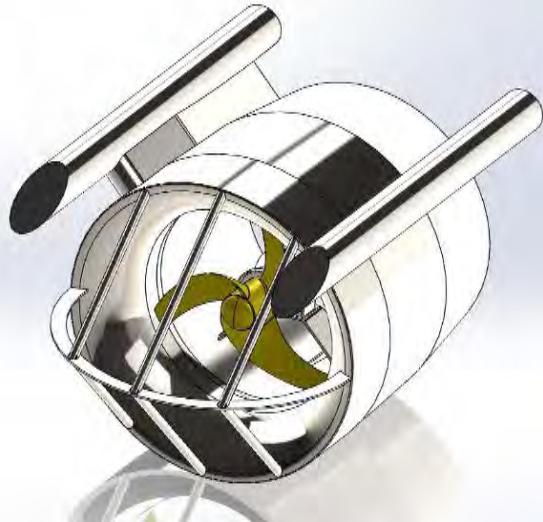
Datum: 19.01.2017 Bearb.: Müller, M. Blatt: 1/3	technisch - wirtschaftliche Bewertung			
Technische Merkmale	Konzept			
	Blau	Grün	Rot	Gelb
Umformarbeiten	2	2	3	4
Montageaufwand	3	2	3	3
Transport + Installation (0,5)	3	3	4	4
Gewicht (geschätzt) (0,5)	2	3	2	4
<b>Summe:</b>	<b>7,5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>
Wirtschaftliche Merkmale	Konzepte			
	Blau	Grün	Rot	Gelb
Aufwand Entwicklung (0,5)	4	2	3	4
Materialkosten	2	3	2	3
Zuverlässigkeit	3	3	2	3
Instandhaltung	4	3	4	3
Einfachheit	3	2	3	4
<b>Summe:</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>12,5</b>	<b>15</b>

4=sehr gut || 3=gut || 2= ausreichend || 1= ungenügend



# Hydrokinetische Turbine

## HKT – PT1

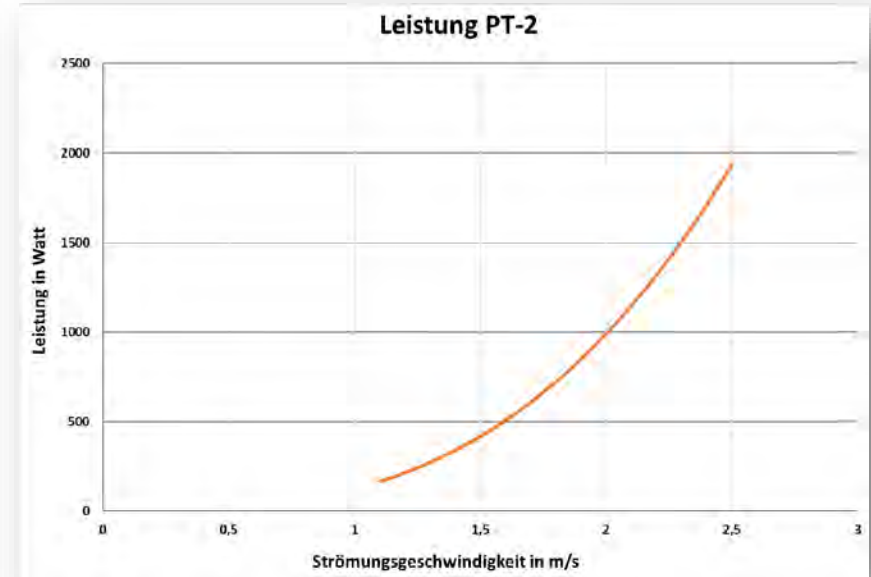
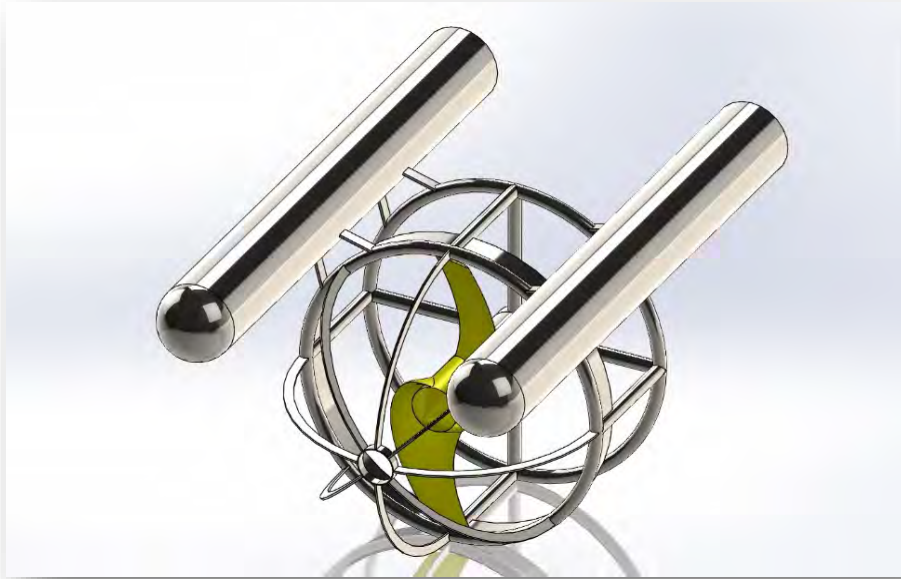


Durchmesser: 780 mm  
Drehzahl n: 120 U/min  
Leistung P: 133 – 1557 W  
Material: Gehäuse (Stahl)  
Rotor (GFK)

Rotorzahl z: 3  
Anströmgeschw. c: 1,1 – 2,5 m/s  
Gewicht m: 358 kg

# Hydrokinetische Turbine

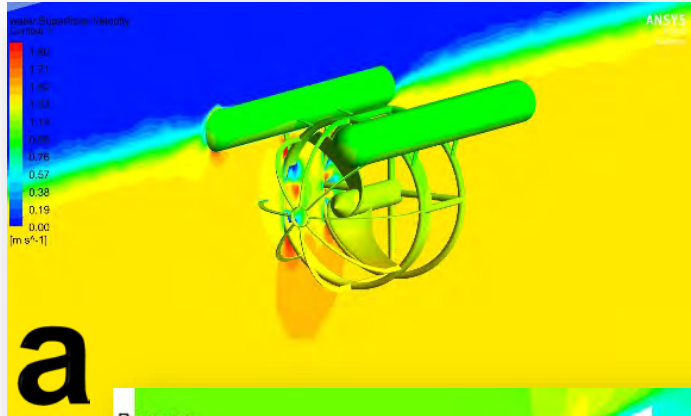
## HKT – PT2



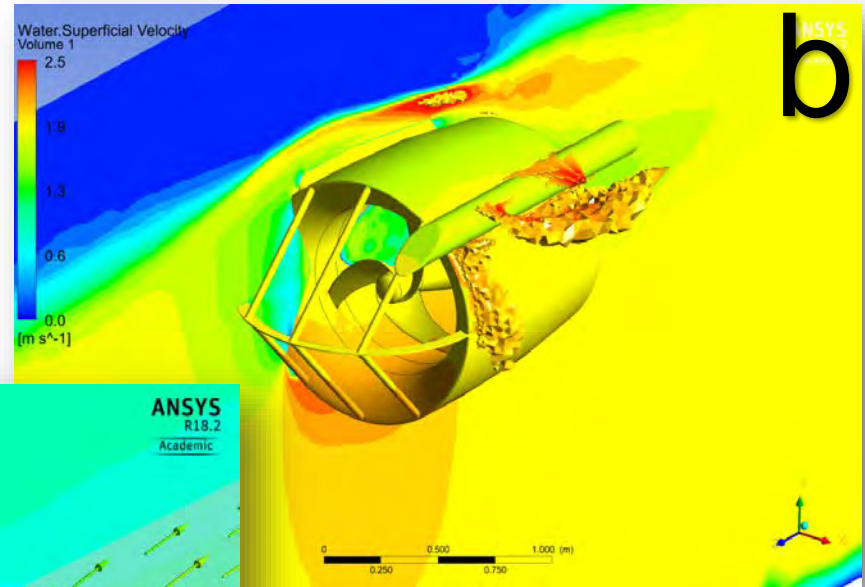
Durchmesser: 900 mm  
Drehzahl n: 120 U/min  
Leistung P: 165 – 1935 W  
Material: Gehäuse (Stahl)  
Rotor (GFK)

Rotorzahl z: 2  
Anströmgeschw. c: 1,1 – 2,5 m/s  
Gewicht m: 179 kg

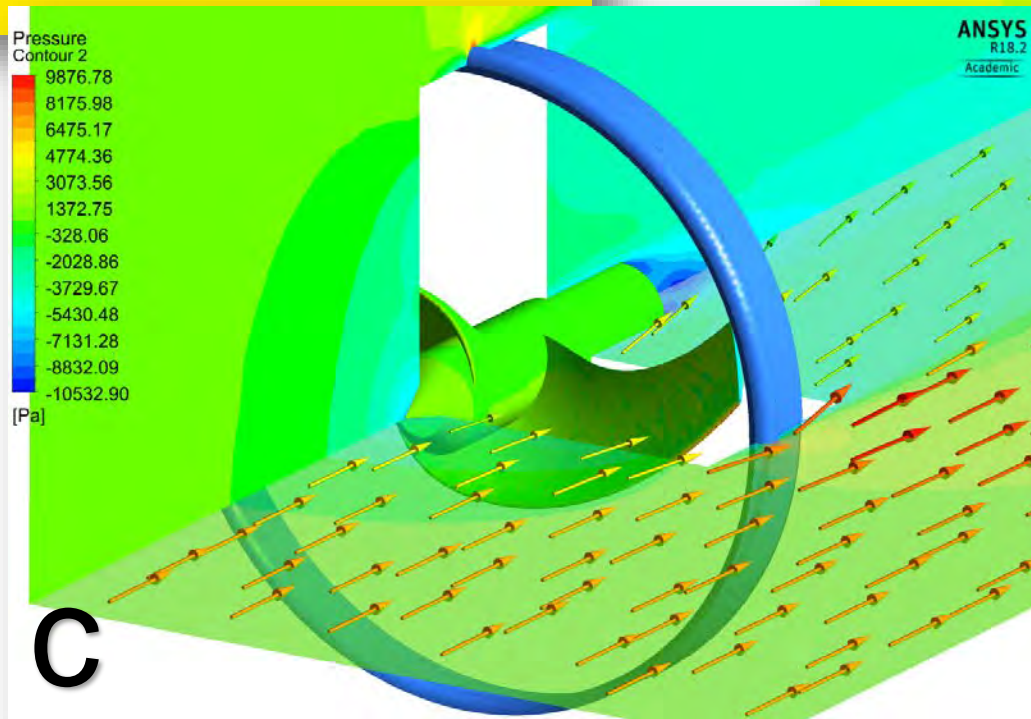
# Hydrokinetische Turbine



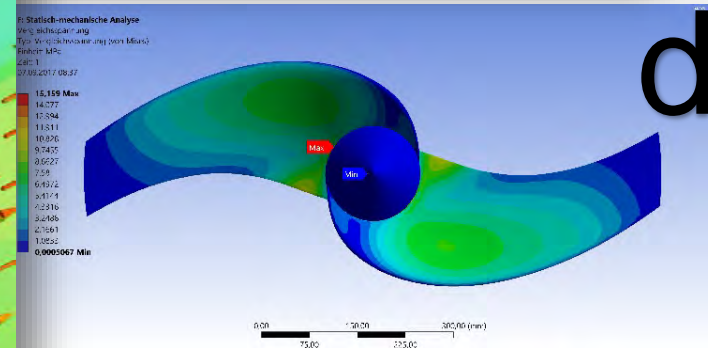
**a**



**b**



**c**



**d**

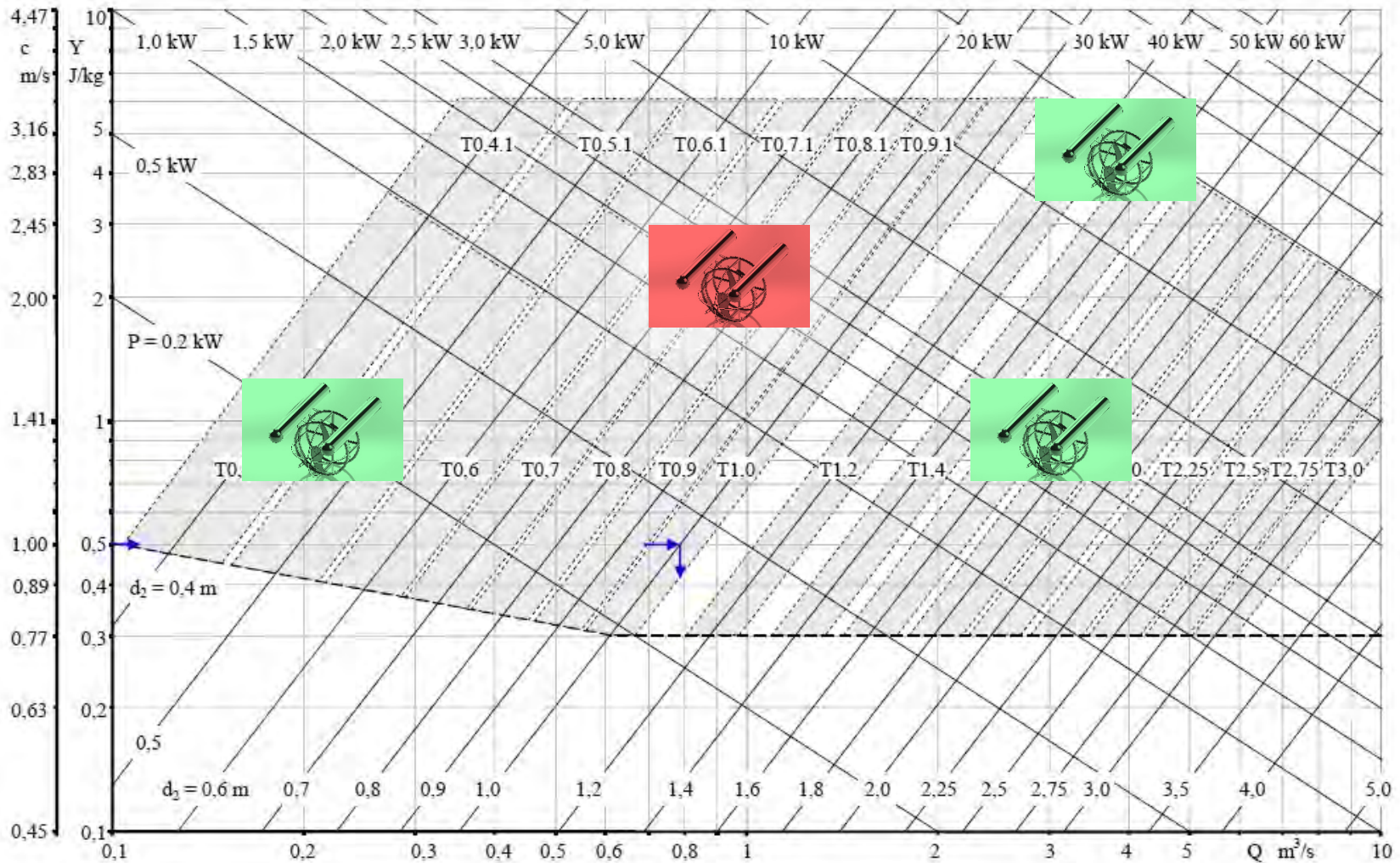
# Digitalisiert. Automatisiert. Kostenminimiert.

Was wollen wir machen?

Welche Vorteile ergeben sich dadurch?

Wie soll es gemacht werden?

# Hydrokinetische Turbine

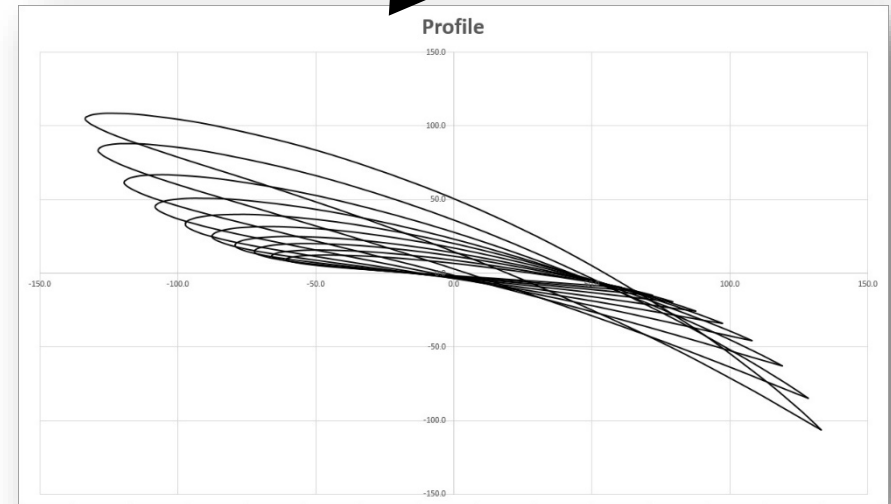


# Auslegung

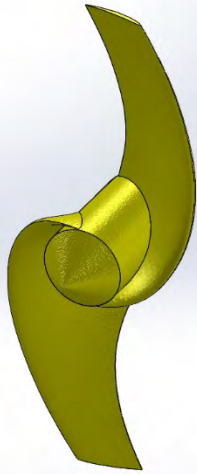
Werte:														
c1 in m/s	c2 in m/s	c3 in m/s	n in U/min	n in U/s	omega	Lambda	u2 in m/s	u2 in m	r2 in m	A in m2	Q in m3/s	tau		
3.500	0.889	0.611	170.000	2.833	12.566	5.770	5.655	0.900	0.450	0.619	0.929	2.000		
											Y theo (c1)	Y real (c2)	Y optimal (16/27)	d Nahe
											0.395	0.667	0.667	0.143
											Zwischen real und optimal nur der mathematische Unterschied, ob 16/27 in oder ausserhalb der Klammer		r Nahe	
													0.0755	
Dichte	dynamische Visko n	dynamische Visko n	kinematische Visko v											
998.203	1.000	0.001	0.0000010018002											
kg/m3	mPa*s	Pa*s												
Profilschnitt Nr.														
Einheit	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j				
$\frac{r}{r_2}$		0.163	0.256	0.349	0.442	0.535	0.628	0.721	0.814	0.907	1.000			
r	m	0.074	0.115	0.157	0.199	0.241	0.283	0.325	0.366	0.408	0.450			
d	m	0.147	0.231	0.314	0.398	0.482	0.565	0.649	0.733	0.816	0.900			
$c_u = \frac{v}{A_n} = c_1$	m/s	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500			
$u = \pi \cdot n \cdot d$	m/s	0.924	1.449	1.975	2.501	3.026	3.552	4.078	4.603	5.129	5.655			
$c_{u2} = \frac{v_{u2}}{u}$	m/s	1.218	0.776	0.570	0.450	0.372	0.317	0.276	0.244	0.219	0.199			
$c_2 = \sqrt{c_{u2}^2 + c_{z2}^2}$	m/s	1.932	1.689	1.905	1.966	1.945	1.833	1.625	1.520	1.516	1.513			
$c_w = \sqrt{c_{u2}^2 + (c_{z2}/2)^2}$	m/s	1.619	1.549	1.527	1.517	1.511	1.508	1.506	1.505	1.504	1.503			
$w_1 = \sqrt{c_w^2 + u^2}$	m/s	1.762	2.086	2.480	2.916	3.378	3.856	4.345	4.842	5.344	5.850			
$w_2 = \sqrt{c_w^2 + (u + c_{u2} \cdot r)^2}$	m/s	2.615	2.884	2.954	3.010	3.114	3.149	3.205	3.275	3.355	3.445			
$w_w = \sqrt{c_w^2 + (u + c_{u2} \cdot r/2)^2}$	m/s	2.145	2.372	2.712	3.111	3.545	4.002	4.475	4.958	5.449	5.947			
$\beta_1 = \arcsin \frac{c_w}{w_1}$	°	58.977	45.984	37.216	30.957	26.365	22.894	20.196	18.048	16.301	14.856			
$\beta_2 = \arcsin \frac{c_w}{w + c_{u2} \cdot r}$	°	35.007	35.980	39.514	26.948	23.818	21.192	19.011	17.195	15.666	14.872			

- Eingabemaske
- Anströmgeschwindigkeit, Drehzahl, Durchmesser, Rotorblattanzahl

- Automatischer Export der Profilkordinaten und Konstruktionswinkel in das CAD-Programm (Solidworks)

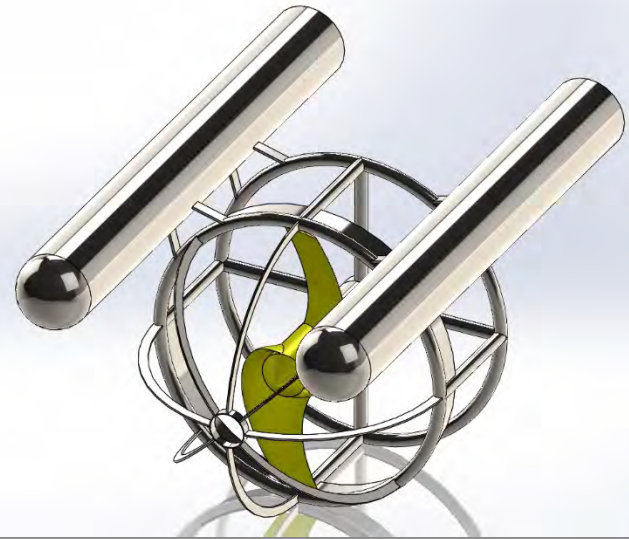


# Konstruktion

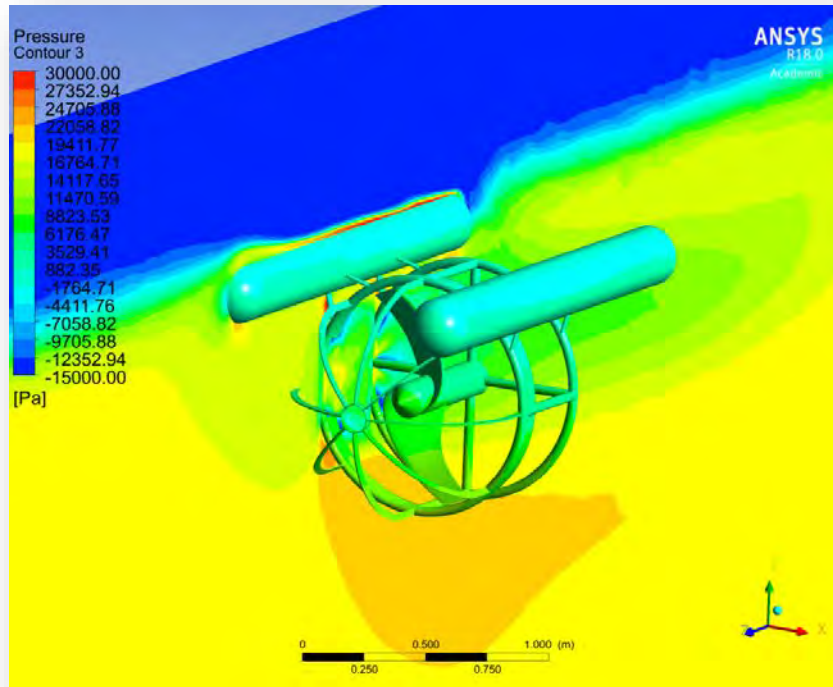


- Skalierung der Rahmenkonstruktion entsprechend der Rotorgröße

- Automatischer Import aller Konstruktionsdaten mit aktiver Datenverbindung

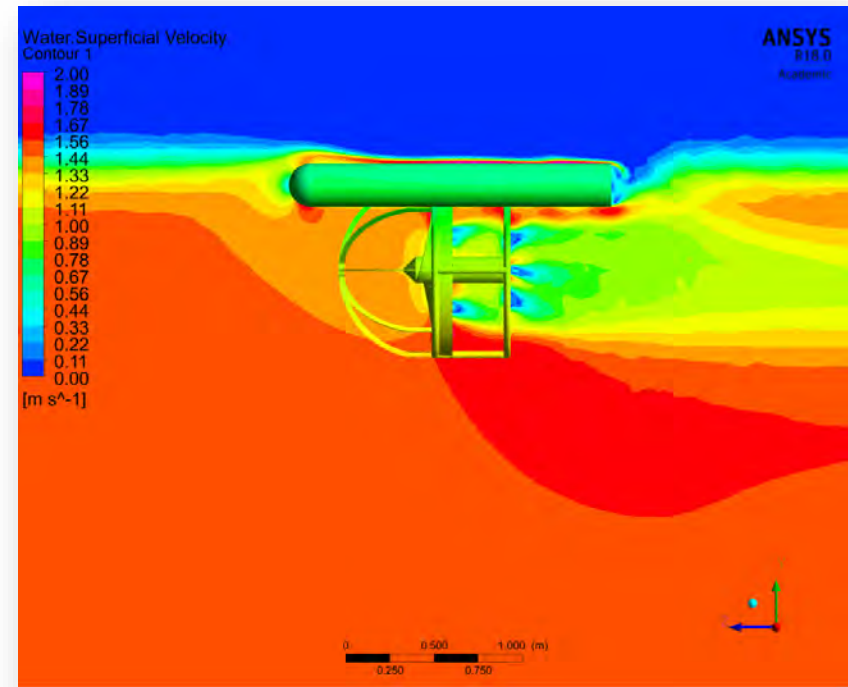


# Simulation



- Schwimmfähigkeit
- Betriebsverhalten
- Materialbelastung

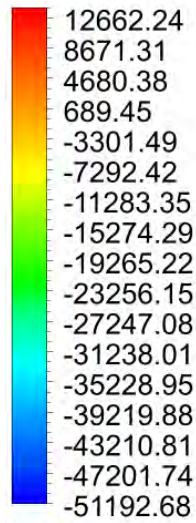
- Leistung und Drehzahl resultierend aus Anströmgeschwindigkeit und Geometrie
- Axialbelastung → Verankerung



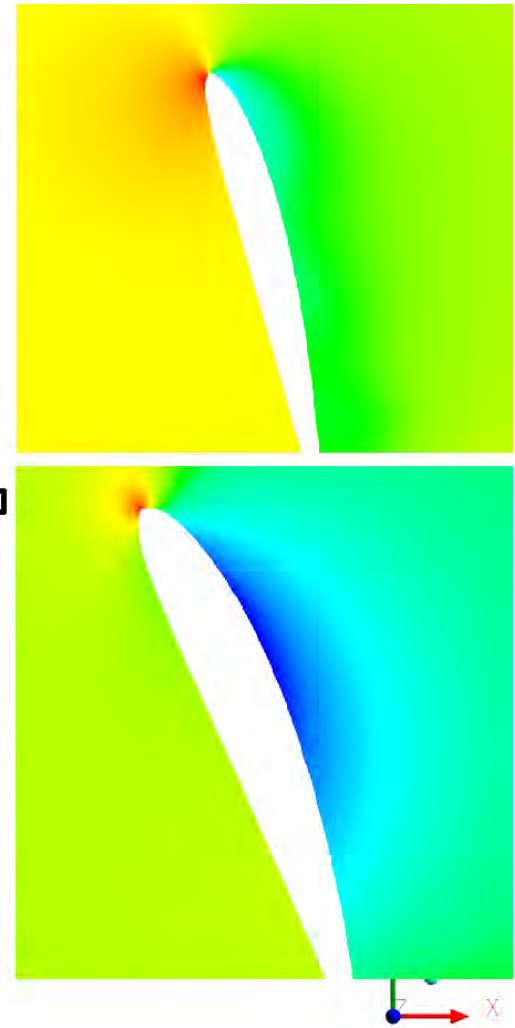
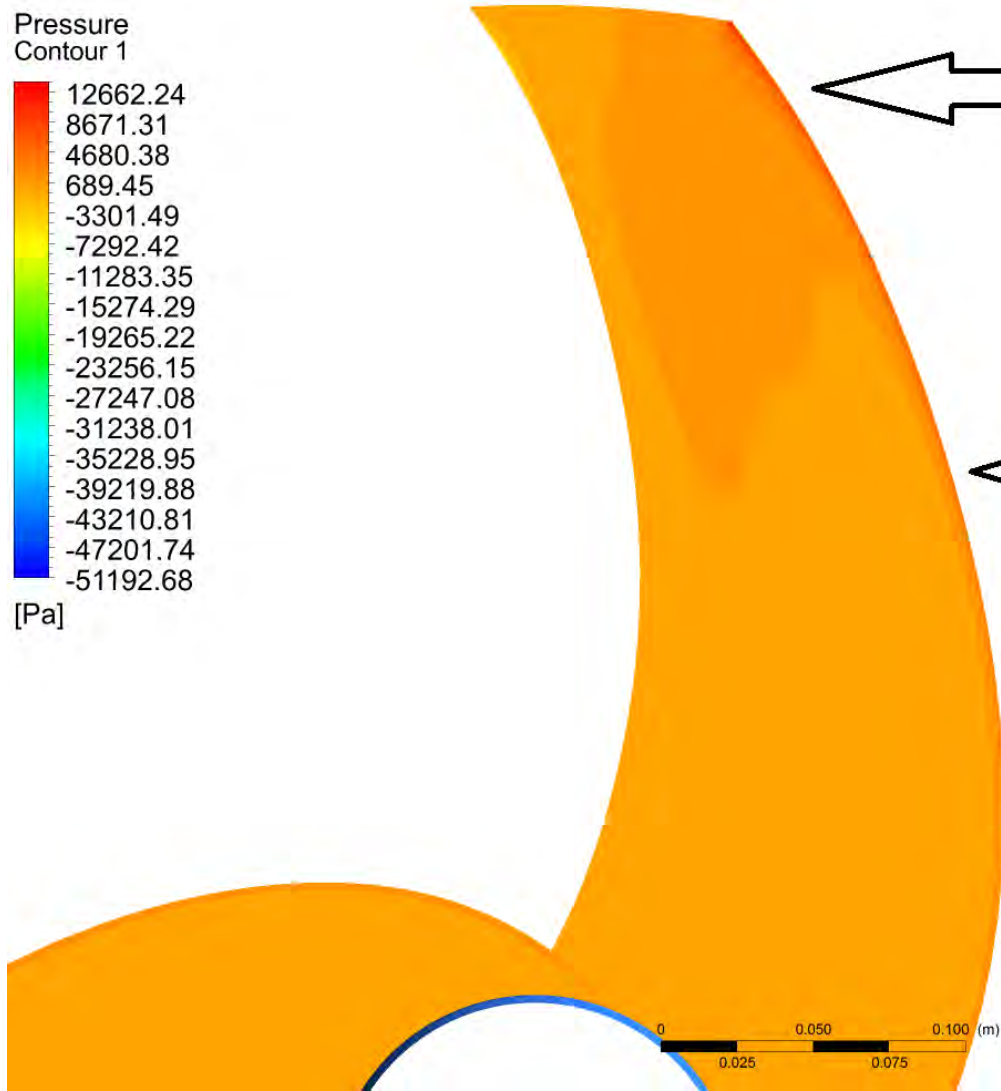


# Optimierung

Pressure  
Contour 1



[Pa]



# Fazit

- Theoretische Grundlagen konnten durch das Anlagenkonzept bestätigt werden
- Kontinuierliche Energieentnahme möglich
- Strömungstechnische Optimierung durch numerische Simulationen in die Praxis übertragbar
- Digitaler teilautomatisierter Auslegungsprozess reduziert Zeit- und Kostenaufwand

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!