

# **LEBENSLAUF**





**DI Rudolf Peyreder**Head of Axial RD
Hydraulischer Prüfstand, Linz

2011 – 2017 Studium Maschinenbau, TU Graz

Masterarbeit am Insitut für hydraulische Strömungsmaschinen

2017 – 2021 Forschungsingenieur Andritz, Hydraulischer Prüfstand Linz

Schwerpunkt auf der Entwicklung von Axial-Turbinen

Seit 2021 Head of Axial RD

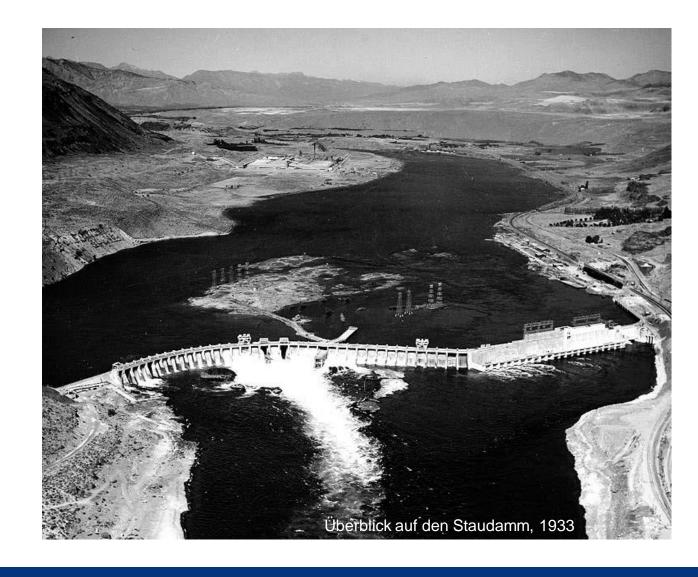


01	HISTORIE	ZUSAMMENFASSUNG
	HYDRAULISCHE ENTWICKLUNG	
	ANLAGENMESSUNG	
	TASK FORCE	

# **HISTORIE**



- 1930 1933: Kraftwerk wurde errichtet
  - Erster Staudamm am Columbia River
  - 4 Propeller Turbinen (1x15MW, 3x20,7MW)
- Bis 1953: Stetige Erweiterung der Kapazität
  - 6 Kaplan Turbinen mit jeweils 22,5MW
- 1974 1979: Erweiterung um ein zweites Power House auf der Südseite
  - 8 Rohrturbinen mit ja 51,3MW
  - Ersten installierten Rohrturbinen in den USA
- 2006: Auftrag an Andritz zur Erneuerung aller Kaplan Turbinen
- 2016: Auftrag an Andritz zur Erneuerung der Propeller Turbinen B1-4





HISTORIE ZUSAMMENFASSUNG

HYDRAULISCHE ENTWICKLUNG

ANLAGENMESSUNG

TASK FORCE

**MODELLVERSUCH** 

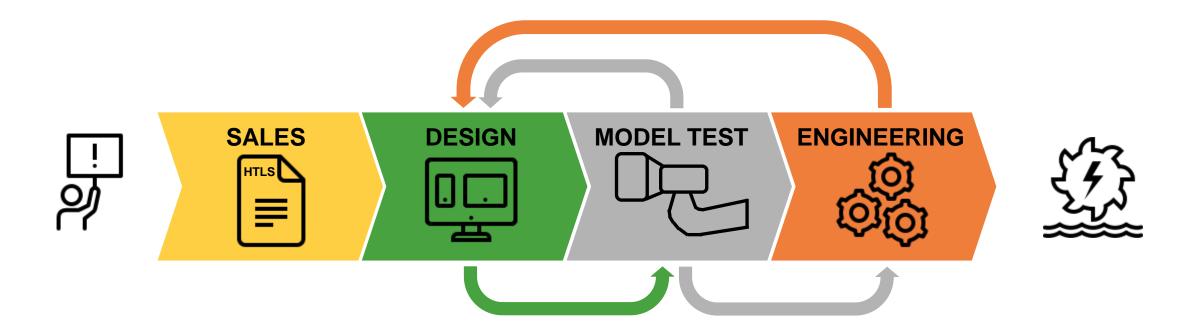


- Bestehende Propeller Turbinen aus 1930
- Laufräder mit 6 Flügeln
- Laufradumbau:
- Neue Propeller Laufräder mit 4 Flügeln
  - Leistungserhöhung um 25%
- Neues Wasserführungsschild
- Entwicklung ohne Modellversuch (CFD Only) um Zeitplan zu ermöglichen

# **EXKURS: ENTWICKLUNGSPROZESS**



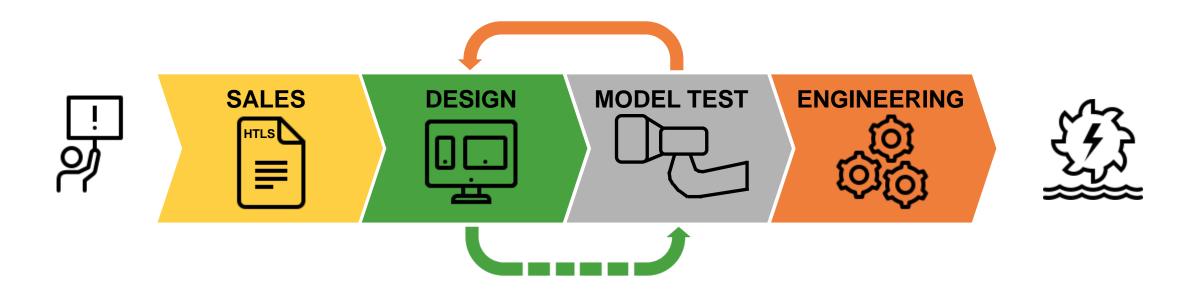
#### Klassisch



# **EXKURS: ENTWICKLUNGSPROZESS**



CFD only

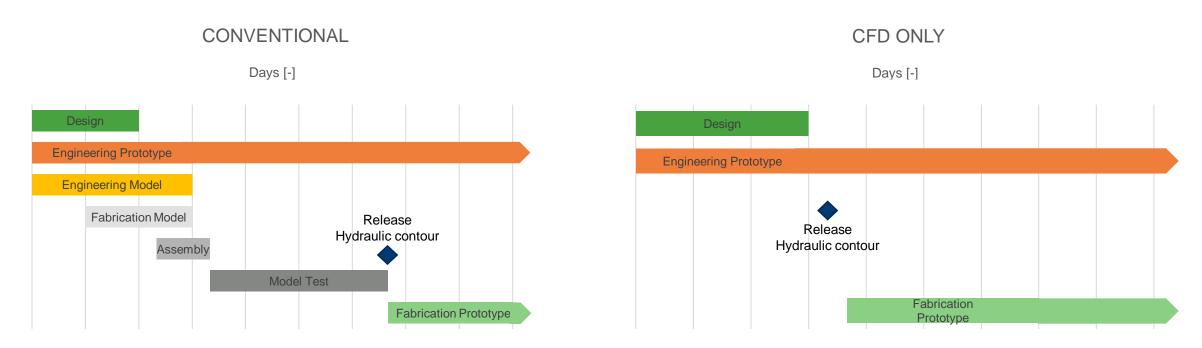




# **EXKURS: ENTWICKLUNGSPROZESS**



## Zeitschiene einer typischen CFD Only Entwicklung

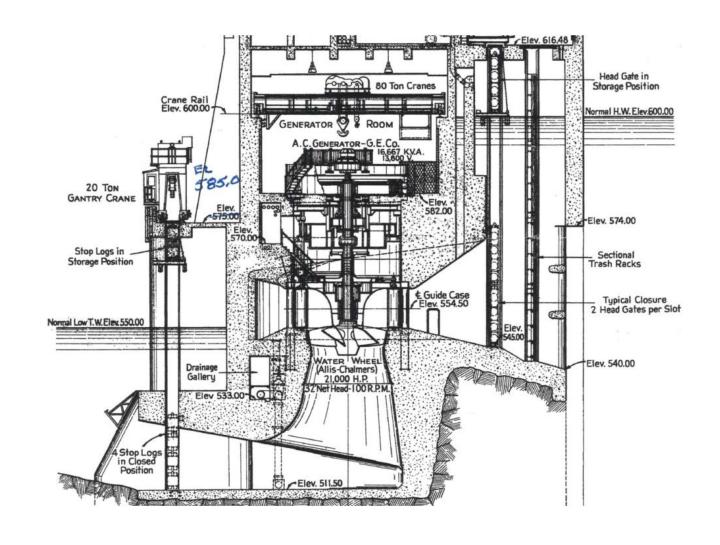


Verkürzung der Entwicklungszeit um mehr als 50%



## Aussergewöhnliche Geometrie

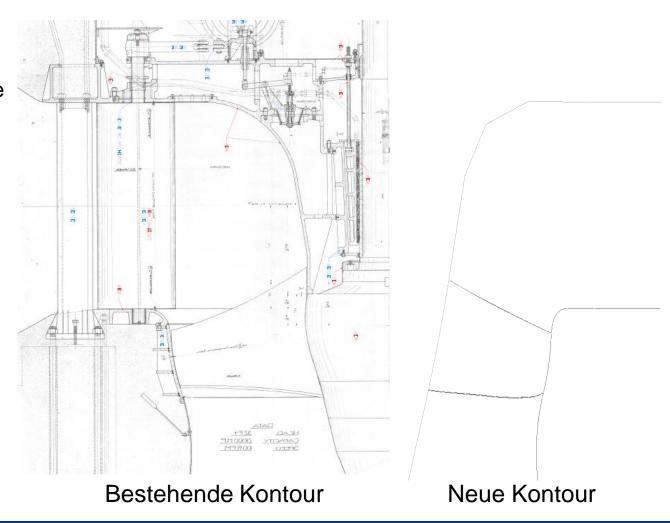
- Spirale mit einem nach hinten versetzen Sporn
- Halbkugeliger Laufradmantel mit sehr kleiner Einschnürung
- Saugrohr eine Abwandlung eines
   "Moody Draft tubes" jedoch ohne dazugehörigen
   Konus
- Dammbalkenschlitze sind mit dem Unterwasser verbunden und bleiben auch im Betrieb offen





## Laufradgeometrie

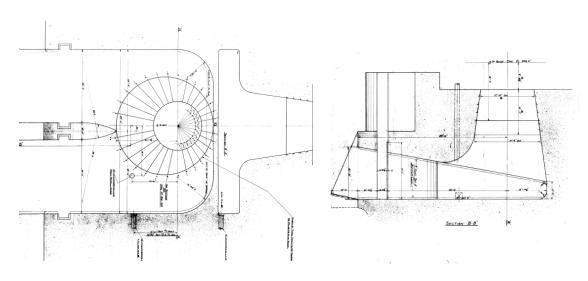
- Umbau der Laufradnabe auf eine moderne konische Kontour
- Nabenverhältnis drastisch reduziert
- Anpassung des Wasserführungsschilds

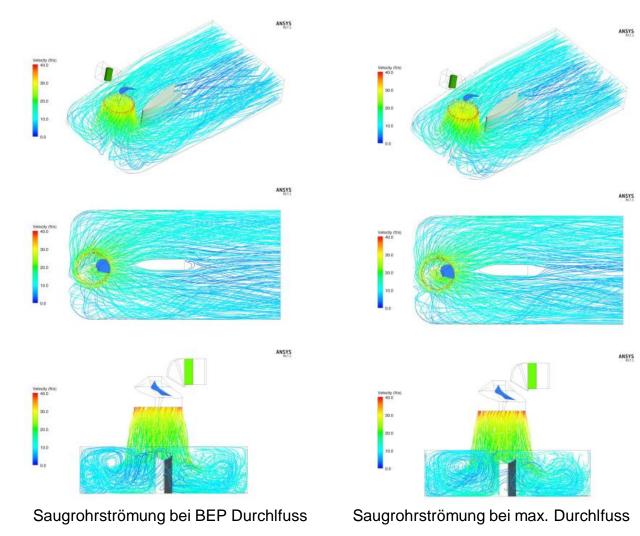




## Saugrohr

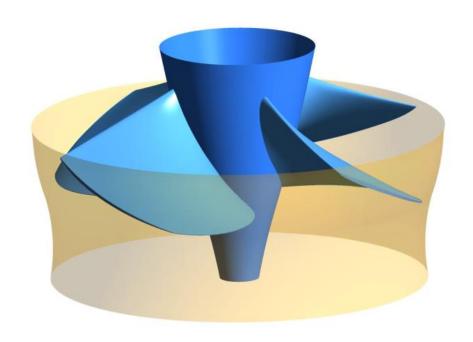
- Modelierung basierend auf Zeichnungen von 1930 – keine 3D Vermessung möglich
- Intensives Laufraddesign zur Optimierung der Laufradabströmung zur Stabilisierung der Saugrohrströmung

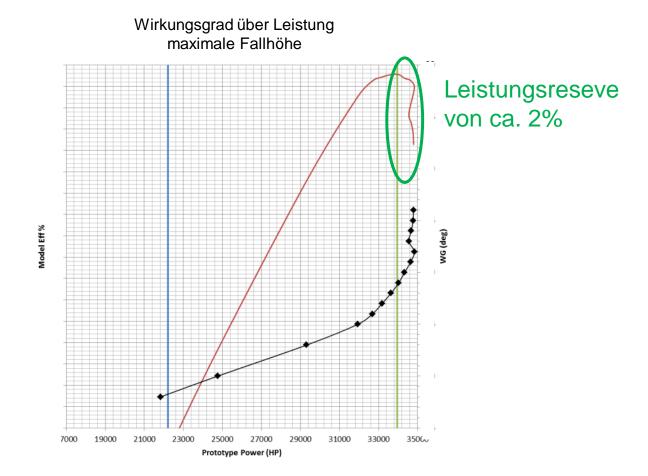






• Freigabe des Laufrades für die Großanlagenfertigung Anfang 2017







HYDRAULISCHE ENTWICKLUNG

ANLAGENMESSUNG

TASK FORCE

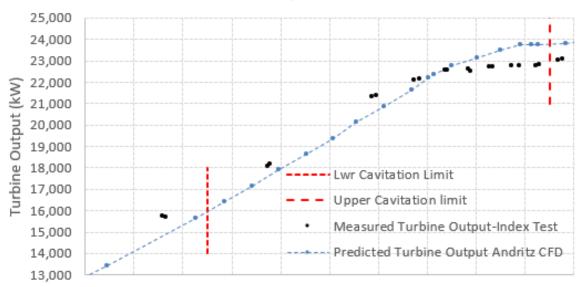
**MODELLVERSUCH** 

# **ANLAGENMESSUNG**



- Laufradinbetriebnahme Mitte 2021
- Erste Rückmeldung meldeten erhöhte Vibrationen in Teillast
- Anlagenmessung im Oktober 2021
- Erste Ergebnisse zeigen bis zu 5% Minderleistung!
- Vibrationsanalyse zeigt hohe Vibrationen in Teillast
- Leistungsschwankungen in Teillast bis zu 10%!

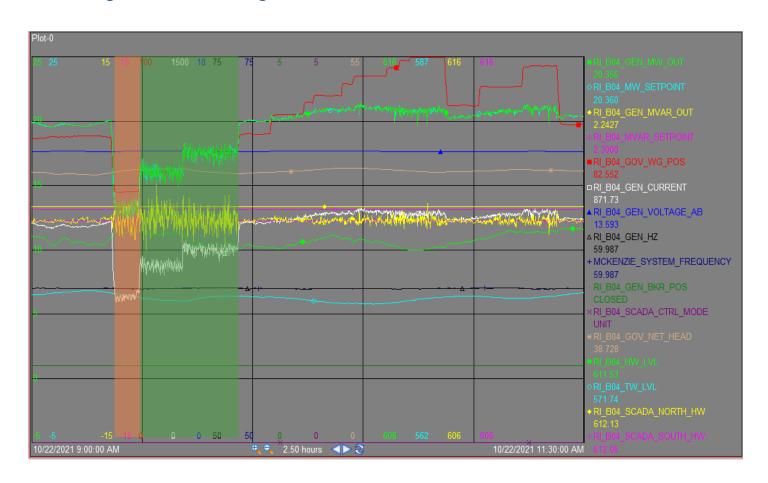
#### B4 Index Test, Turbine Output 42 Ft Net Head, October 2021

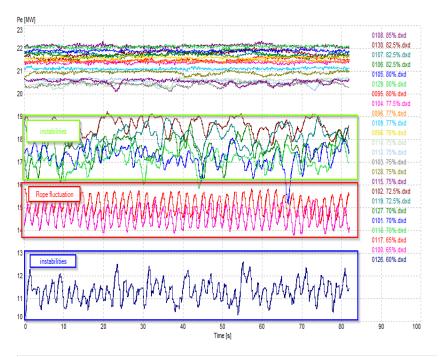


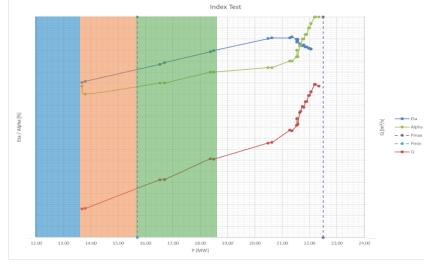
Turbine Discharge (cfs)

# **ANLAGENMESSUNG**

## Leistungsschwankungen in Teillast









HISTORIE ZUSAMMENFASSUNG

HYDRAULISCHE ENTWICKLUNG

ANLAGENMESSUNG

TASK FORCE

**MODELLVERSUCH** 



- Task force eingeleitet im Dezember 2021
- Leitung durch Arno Gehrer

#### **Team**

- Bernd Nennemann, Eric Theroux, Maxime Gauthier, Teemu Jurvansuu, Rudolf Peyreder, Erich Wurm, Marcelo Bergweiler, Sam Kent, Mathias Meusburger,...
- Javier di Mauro, Arno Gehrer

#### Mechanisch

- Shaft line analysis
- Prüfung möglicher Optimierung des Reglers
  - PSS Power Stablization System

#### Großanlage

Tests mit geschlossener Saugrohrrezirkulation

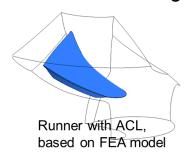
#### **Hydraulics**

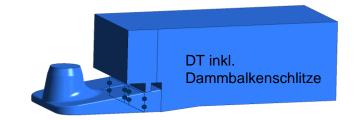
- CFD
  - Nachrechnung der Leistungskurven
  - Transiente Simulation zur Untersuchung der Teillastinstabiltäten
  - Untersuchung möglicher Laufradmodifkationen
- Model Iversuch
  - Nachweis der Leistungskurven
  - Untersuchung der Teillastinstabiltäten

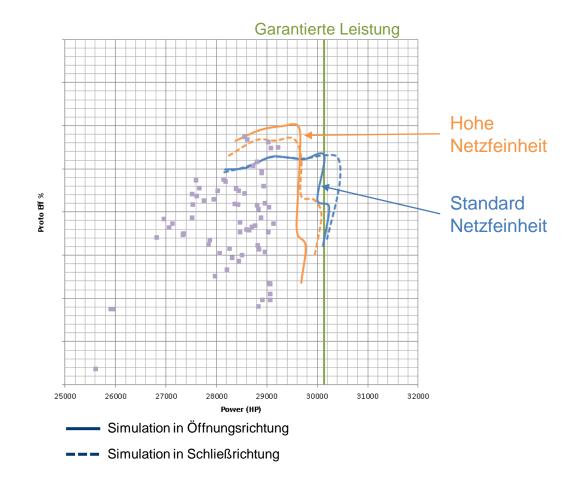


## CFD – Nachrechnung der Leistungskurven

- Während der Entwicklung wurden einige Vereinfachungen des Simulationsmodels angenommen:
  - Spirale wurde bei der Entwicklung nur vereinfacht inkludiert
  - Antikavitationsleiste (ACL) nicht berücksichtigt
  - Offene Dammbalkenschlitze vernachlässigt
- Zusätzliche Verbesserung des Modells:
  - Verfeinerung der Netze von allen Komponenten
  - Untersuchung unterschiedlicher Turbulenzmodelle



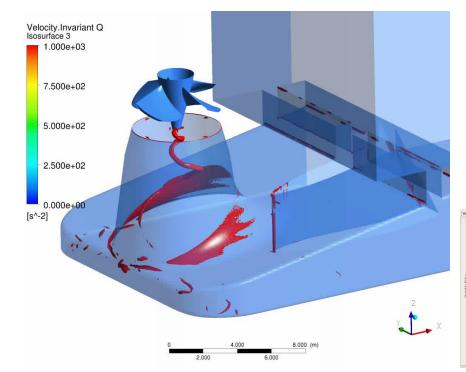


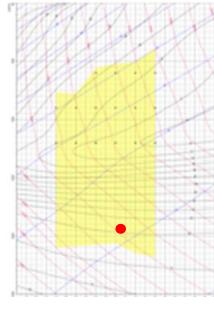




## CFD – Transiente Simulation zur Untersuchung der Teillastinstabiltäten

- Transiente Simulation mit sehr langer Laufzeit
  - ~8.5 Tage pro Operationspunkt
- Leistungsschwankung von ~1.2MW
  - entspricht etwa Großanlagenwerten
- Osszilation entsteht durch eine Schwankung des Druchflusses
  - Verursacht durch eine Interaktion zwischen Teilltastzopf und Saugrohrpfeiler



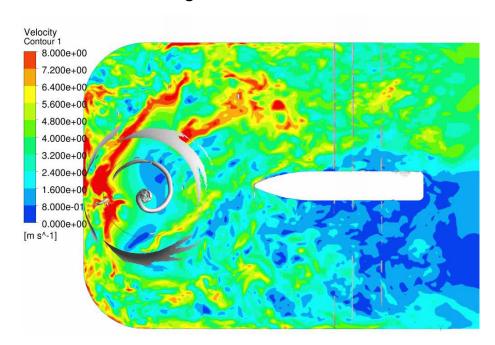




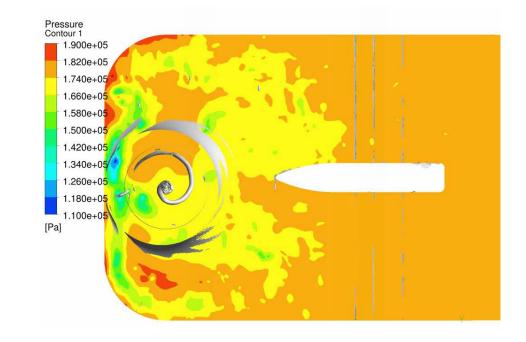


## CFD – Transiente Simulation zur Untersuchung der Teillastinstabiltäten

- Geschwindigkeit im Saugrohr
  - Unterer Kanal schlecht gefüttert
  - Schwankungen nur im oberen Kanal



- Druck im Saugrohr
  - Blockage(Druckanstieg) wenn der Zopf am Pfeiler anschlägt

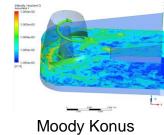




#### CFD – Untersuchte Modifikationen

- Vielzahl von möglichen Modifkationen untersucht
- Laufrad
  - Modifkation durch Biegen / Schneiden der Austrittskante
  - Spezialhaube
- Saugrohr
  - Moody Konus
  - Zusatzrampe
  - Pfeilermodifkation
  - Saugrohrfinnen
- Headcover
  - Unterschiedliche Formen
  - Vortex Vanes
- Belüftung

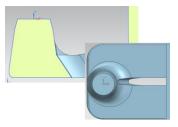


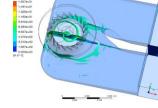


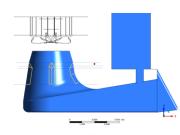


Sepzialhaube

Zusatzrampe



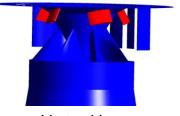


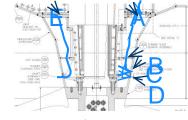


Pfeilermodifikation

Pfeilermodifikation

Fins





**Vortex Vanes** 

Belüftung



HISTORIE	ZUSAMMENFASSUNG
HYDRAULISCHE ENTWICKLUNG	
ANLAGENMESSUNG	
TASK FORCE	





• Modellversuch am Prüfstand des Instituts für hydraulische Strömungsmaschinen an der TU Graz





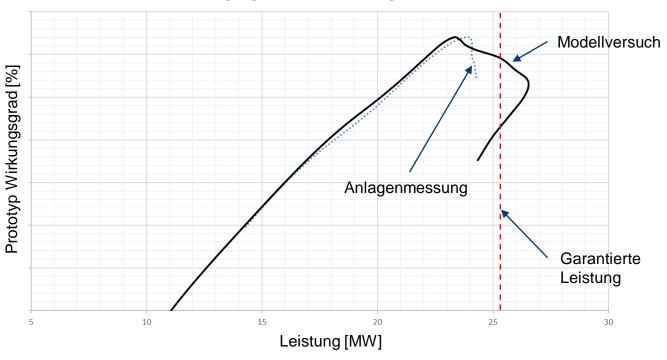




## As-Built – Wirkungsgrad

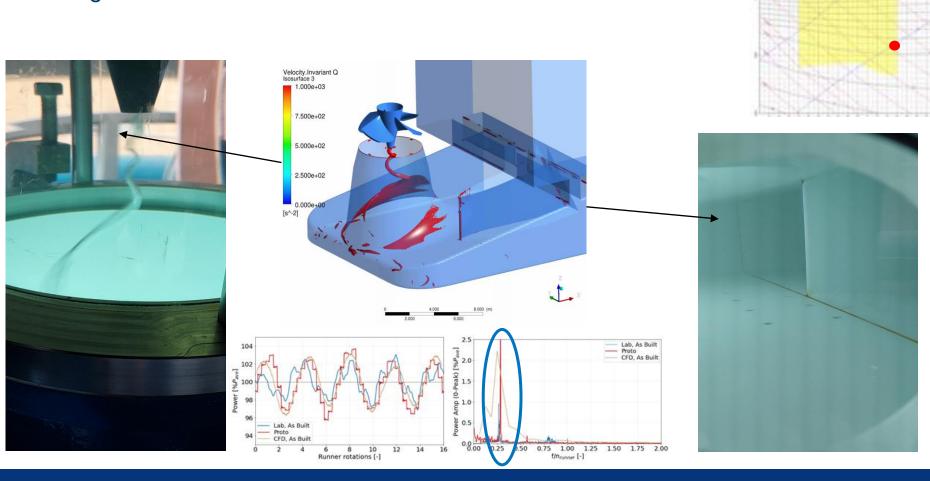
- Gute Übereinstimmung von Teillast bis Gipfel
- Starke Abweichung in Volllat
- In der Messung am Modellversuch kann die garantierte Leistung erreicht werde!

## Wirkungsgrad Messung Hmax



## As-Built – Leistungsschwankungen:

- Kavitierender Zopf unter Anlagenbedingungen
- Signifikante
   Leistungsschwankung
   in vergleichbarer Höhe
   zur Anlage
- Alle Signale haben eine dominante Frequenz bei ~0,27-0,28 f/n





#### As-Built – Erkenntnisse und mögliche Gründe für die Abweichung

#### **Erkenntnisse**

- Leistung
  - Gute Übereinstimmung von Teillast bis Gipfel
  - Starke Abweichung in Volllast
- Leistungsschwankungen können im Modellversuch repliziert werden
- Modellversuchsergebnisse korellieren mit CFD-Entwicklung von 2016
  - Abweichung zum Prototype deuten auf geometrische Unterschiede zwischen Modell und Großanalge hin

#### **Root causes**

- Hauptverdächtiger: Saugrohr oder Unterwasserbecken
- Saugrohr wurde mittels Tauchern auf Blockaden,.. untersucht
  - → keine Erkenntnisse
- Alte Zeichnungen zeigen Unebenheiten im Unterwasser
  - → Wurden während eines Umbaus ~1970 geglättet
- Homologität der Zeichnungen
  - → Kann nicht evaluiert werden...

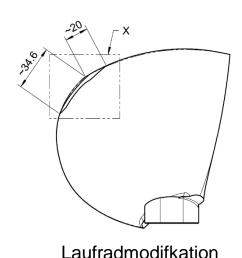


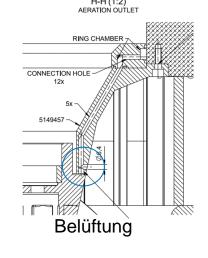


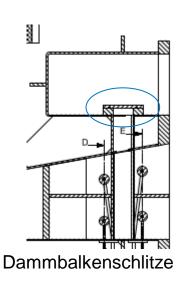


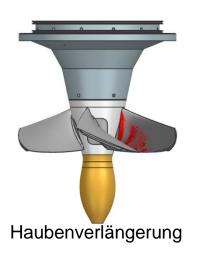
#### Überblick der untersuchten Modifkationen

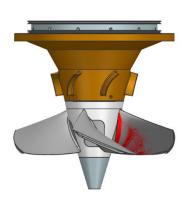
- Laufrad ohne Antikavitationsleiste
  - → kein Verbesserung der Leistung
- Modifikation des Laufrades
  - → keine Verbesserung der Leistung
- Geschlossene Dammbalkenschlitze
  - → Kein Einfluss
- Laufradhaube
  - → geringfügige Verbesserung der Leistungsschwankungen
- Belüftung
  - → Verschlechterung der Leistungsschwankungen
- Vortex vanes
  - → Signifikante Verbesserung der Leistungsschwankungen



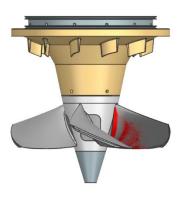








Vortex Vanes low



Vortex Vanes high



H-H (1:2) AERATION OUTLET

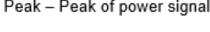
RING CHAMBER

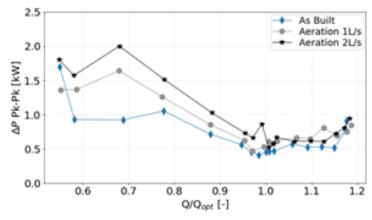
CONNECTION HOLE



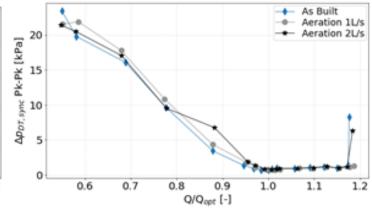
- Belüftung dämpft den Teillastzopf
- Die Belüftung wirkt sich negativ auf die Leistungsschwankungen und Druckschwankungen aus
- Ergebnis deckt sich mit internen Erfahrungen zu erzwungenen Schwingungen

12x 5149457 Peak - Peak of power signal





Peak - Peak of DT synchronous pressure



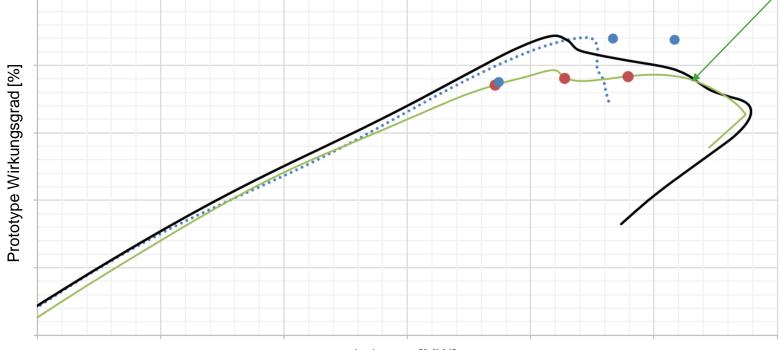
#### Einfluss der Vortex Vanes "Low"

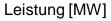
Runner as built, VortexVanesLow, sigmaP+sigmaH P[MW] · · · · · Index-test\approx\Psp,nsp

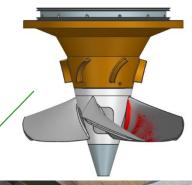
Runner as built, Model, sigmaH P[MW]

Runner as built, VortexVanesLow, sigmaP+sigmaH P[MW]

P\_target MW





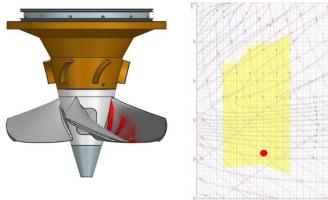




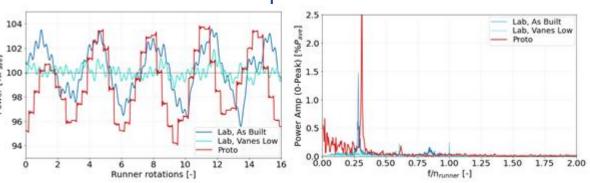


#### Einfluss der Vortex Vanes "Low"

- Vortex vanes "low" unterdrücken das Erscheinen eines Teilastzopfes
- Die dominante Zopffrequenz ~0,3 x n wird nahezu vollständig unterdrückt
- Vortex vanes zeigen eine Reduzierung der Leistungsschwankungen über den gesamten Betriebsbereich





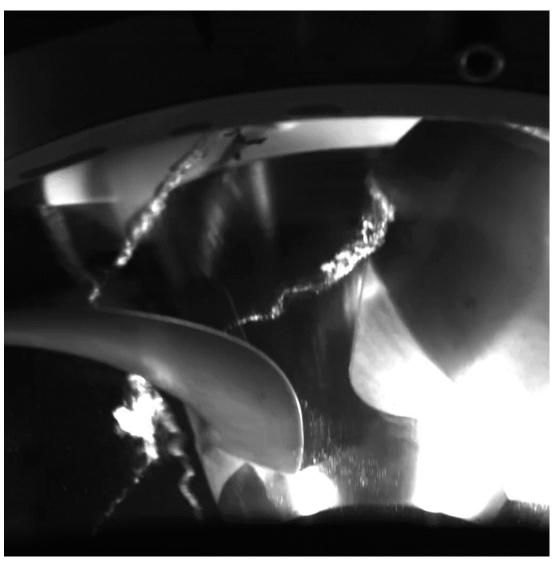








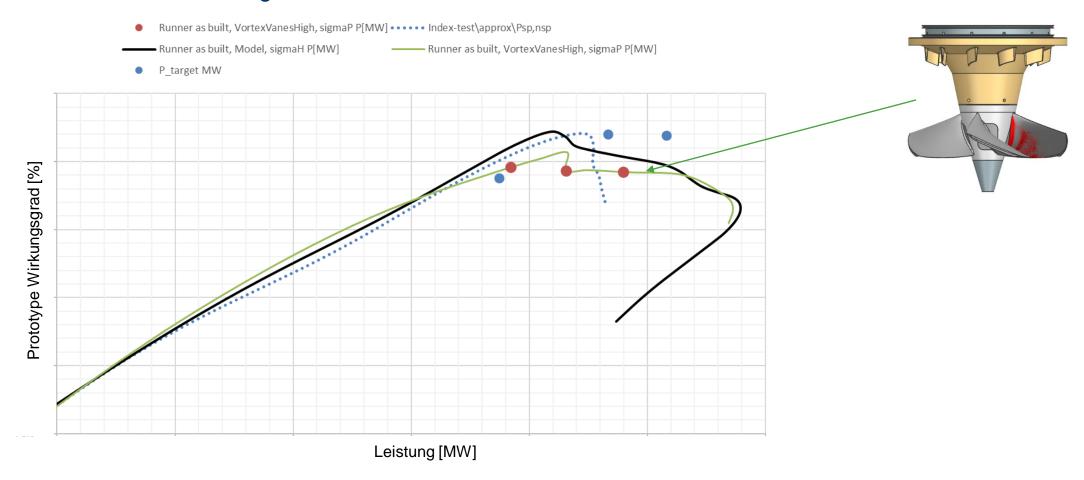








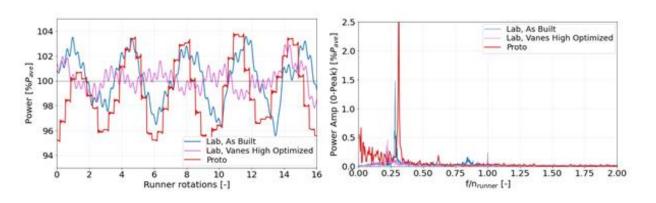
## Einfluss Vortex Vanes "High"

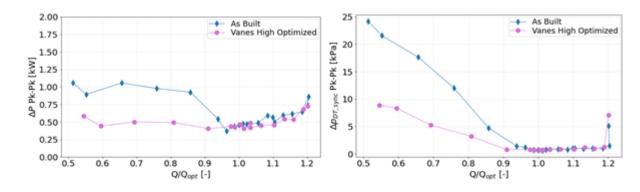




#### Einfluss der Vortex Vanes "High"

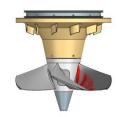
- Zopf wird durch die Vortex Vanes "High" vollkomen unterdrückt
- Vortex Vanes zeigen eine Reduzierung der Leistungsschwankungen über den gesamten Betriebsbereich von SNL bis zum Gipfel
- Auch die Druckpulsation im Saugrohrkonus wird deutlich reduziert
- Vortex Vanes ermöglichen einen 0-100% Propellerbetrieb

















Einfluss der Vortex Vanes "High" – speed no load

As-Built

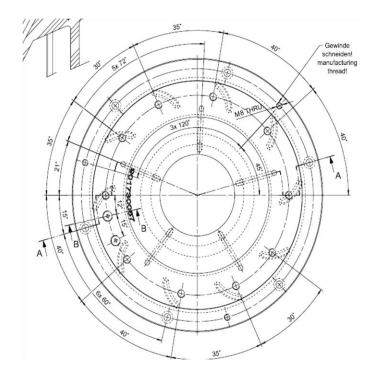


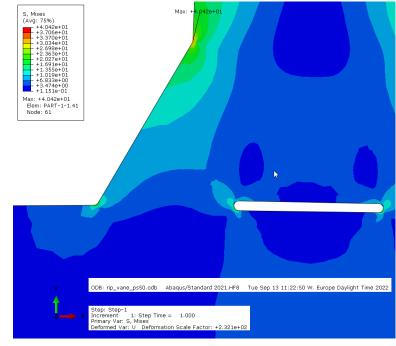
## Mit Vortex Vanes High



#### **Teillastinstabilität**

- Als vorgeschlagene Lösung wurden die Vortex Vanes "High" gewählt, um die Leistungsschwankungen zu verringern
- Mechanische Integrität: Machbarkeit für Prototyp wurde geprüft
  - FEM-Simulation zur Überprüfung von Spannungen beim Schweißen
- Form der Vortex Vanes optimiert für einfache Herstellung (gewalztes Blech)



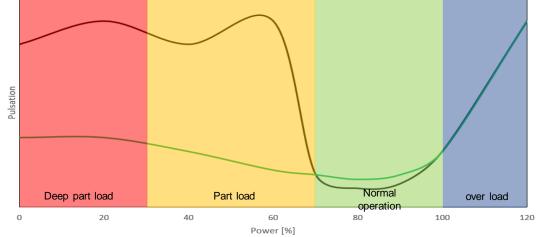


# **EXKURS: 0-100% PROPELLER**



- Vortex Vanes sorgen f
  ür eine deutliche Verbesserung der Pulsationen und Leistungsschwankungen im Teillastbereich bis zur Leerlaufdrehzahl
- Ermöglicht eine wesentliche Verkürzung der Synchronistationszeiten und erlaubt einen Regelbetrieb von 0-100% Leistung

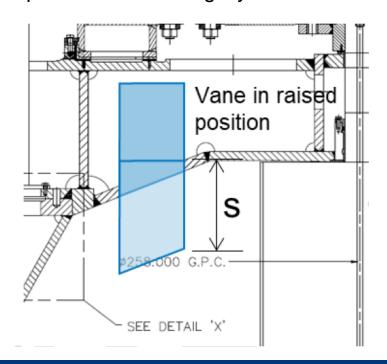


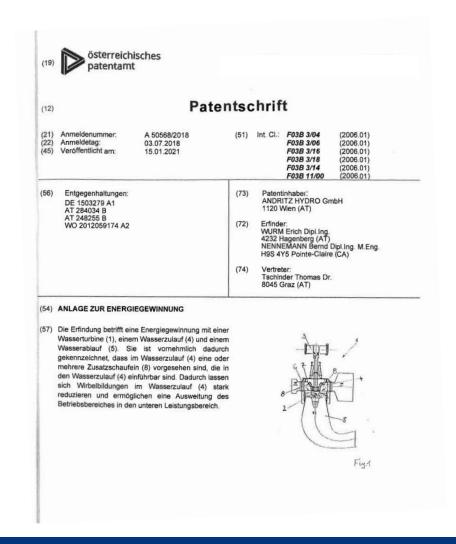


# **EXKURS: 0-100% PROPELLER**



- ANDRITZ hat ein Verfahren zur Verbesserung des Teillastverhaltens entwickelt
- Patent f
  ür spezielles Minderungssystem erteilt







HISTORIE	06 ZUSAMMENFASSUNG
HYDRAULISCHE ENTWICKLUNG	
ANLAGENMESSUNG	
TASK FORCE	

# ZUSAMMENFASSUNG



## Hydraulische Entwicklung

- Auftrag zur Erneuerung von 4 Propeller Turbinen
  - Leistungssteigerung um 25%
  - CFD Only Entwicklung
- Nach Inbetriebnahme zeigt eine Anlagenmessung:
  - Garantierte Leistung kann nicht erreicht werden
  - Starke Leistungsschwankungen in Teillastbereich
- Initierung einer Task Force
  - CFD zeigt keine klare Tendenz für die fehlende Leistung
  - Transiente Simulationen zeigen eine Interaktion des Teillastzopfes mit dem Saugrohrpfeiler

# ZUSAMMENFASSUNG



#### Modellversuch

- As-built
  - Gute Übereinstimmung zwischen Anlagenmessung und Modellversuch unterhalb des Gipfel, starke Abweichung in Vollast
  - Garantierte Prototypturbinenleistung kann basierend auf dem Modelltest erreicht werden
  - Auswertung dynamischer Daten (dynamische Drehmoment- und Druckmessungen)
    - Dominierende Zopffrequenz- und Drehmomentschwingungen vergleichbar mit CFD und Anlagenmessung
- Die Ergebnisse der Modellversuchs korrelieren gut mit den Erwartungen des CFD-Designs im Jahr 2016
  - Design (mit kleinen Optimierungen) wäre auch nach dem Modellversuch akzeptabel gewesen
  - Abweichungen zur Anlagenmessung deuten auf Inkonsistenzen in der Homologie zwischen Modell und Prototyp hin
- Vortex Vanes stabilisieren und erweitern den Arbeitsbereich in Richtung Teillast
  - Der Zopf wird vollständig unterdrückt
  - Die Amplitude der Leistungsschwankungen wird deutlich reduziert

# **DANKSAGUNG**



- An alle Kollegen von Andritz Graz, Krienz, Linz, Montreal, Peterborough für die passionierte Arbeit und hervoragenden Ergebnisse
- An Prof. Meusburger, Prof. Benigni und das Team des HFM für die intensive Zusammenarbeit während des Modellversuches





