



DIVE Turbinen
GmbH & Co. KG

Ersatz historischer
Francis-Turbinen
durch drehzahlgeregelte
Propellerturbinen

Christian Winkler // Dipl. Wi. Ing.
Vertriebsleiter & Produktmanager



Agenda

- Wer und Wo - DIVE Turbinen GmbH & Co.KG
- Technik Allgemein
- Produktportfolio
- **Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1**
- **Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2**

Wer? & Wo?

Turbinen

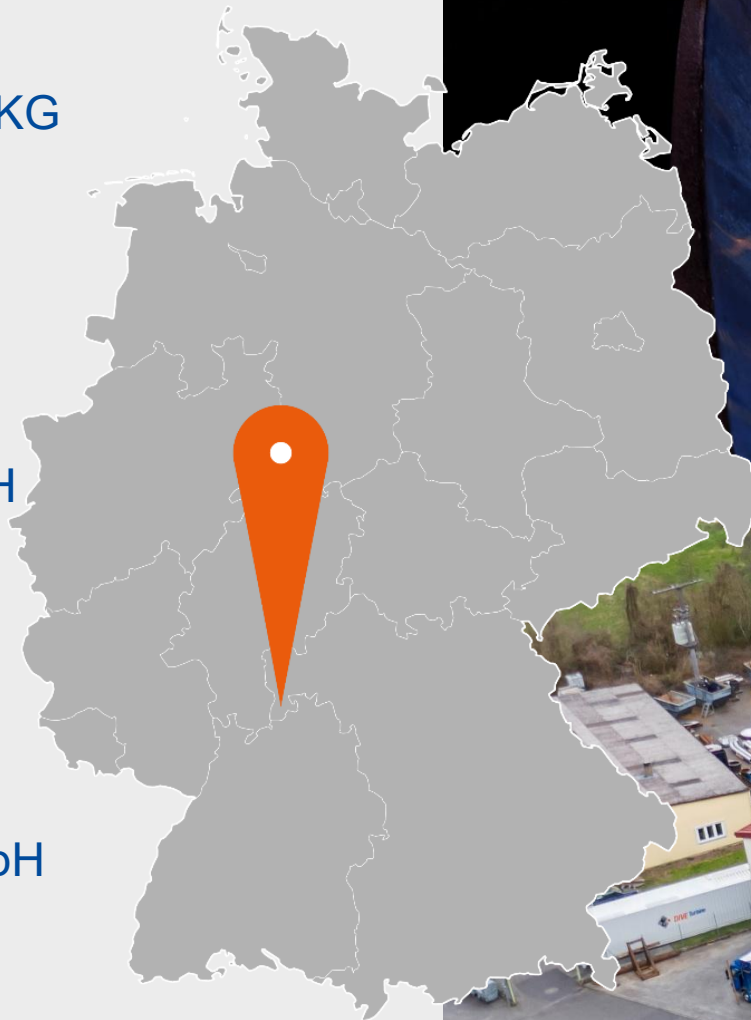
DIVE Turbinen GmbH & Co.KG
Amorbach - Deutschland

Maschinenbau

FELLA Maschinenbau GmbH
Amorbach – Deutschland

Generatoren

Oswald Elektromotoren GmbH
Miltenberg - Deutschland



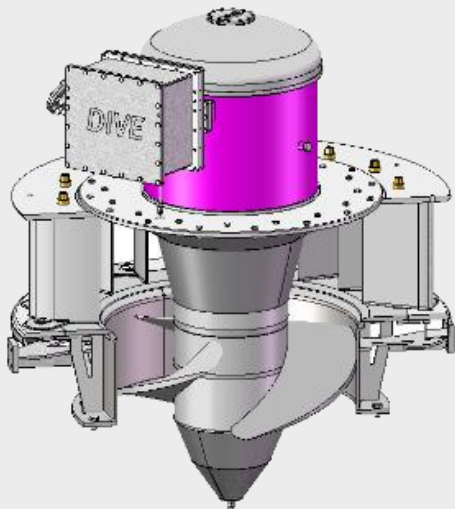
Kernmerkmale einer DIVE-Turbine

- Feste Laufradschaufeln und verstellbarer Leitapparat
- Drehzahlvariabel (optional)
- PM-Generator dauerhaft überspült oder überspülbar – immer hochwassersicher
- Einzigartige zentrale Lagereinheit für Turbine und Generator
- Patentierte berührungslose (verschleißfreie) Dichtung
- Dauerhafte Durchgangsdrehzahl möglich
- Kompakt - Kein Maschinenhaus notwendig
- Leise & vibrationsarm



Produktportfolio & Anwendungsbereiche

DIVE-Turbine

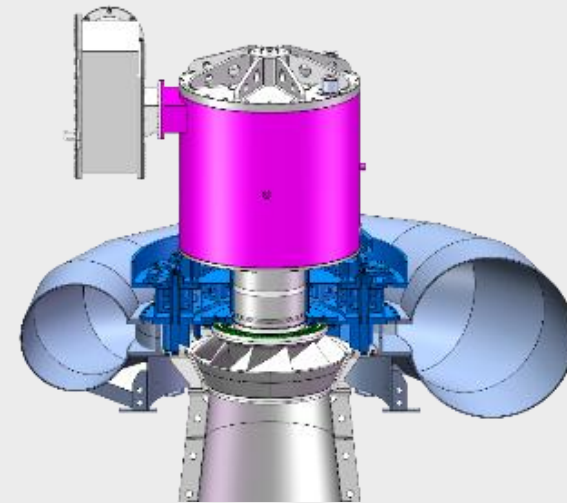


Niedergefälle

2m - 20m

100kW – 5MW

DIVE-HAX-Turbine

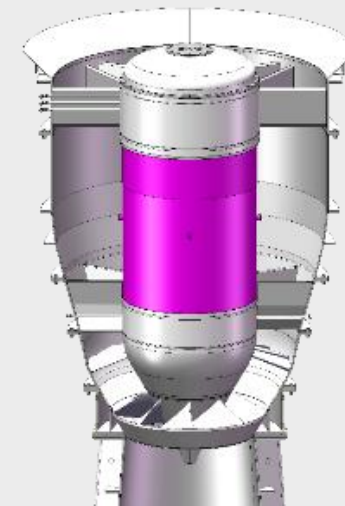


Mittelgefälle

20m - 120m

100kW – 5MW

DIVE-COAX-Turbine

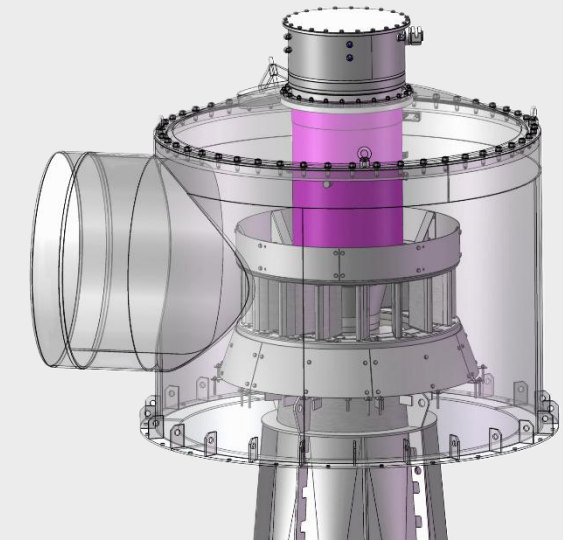


In-Pipe-Lösung

5m - 50m

100kW – 5MW

DIVE-Druckkammer



Druckkammer-Lösung

3m - 30m

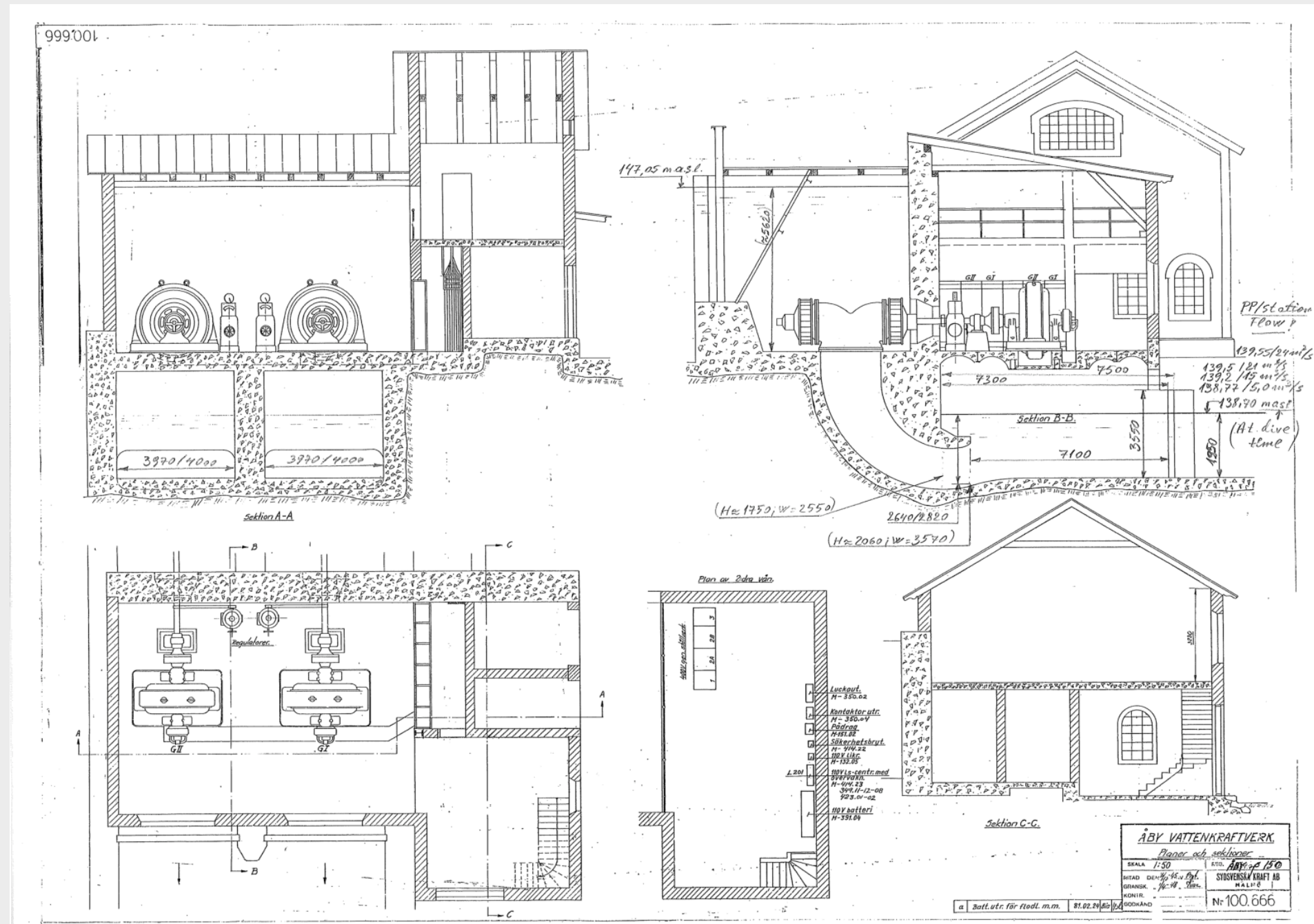
100kW – 5MW

Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

WASSERKRAFTWERK ABY

Fallhöhe	7,85 m
Wassermenge	2 x 8,00 m ³ /s
Leistung	2 x 400 kW
Inbetriebnahme	1916

Historische Zeichnung: Kraftwerk Äby mit horizontaler Doppel-Camelback-Francis-Turbine und direkt angetriebenen Synchrongeneratoren



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

WASSERKRAFTWERK ABY – Standort

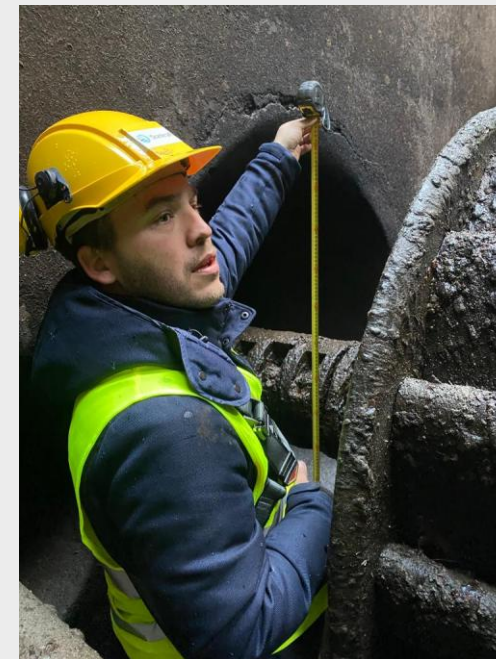


56.913774,
14.012191



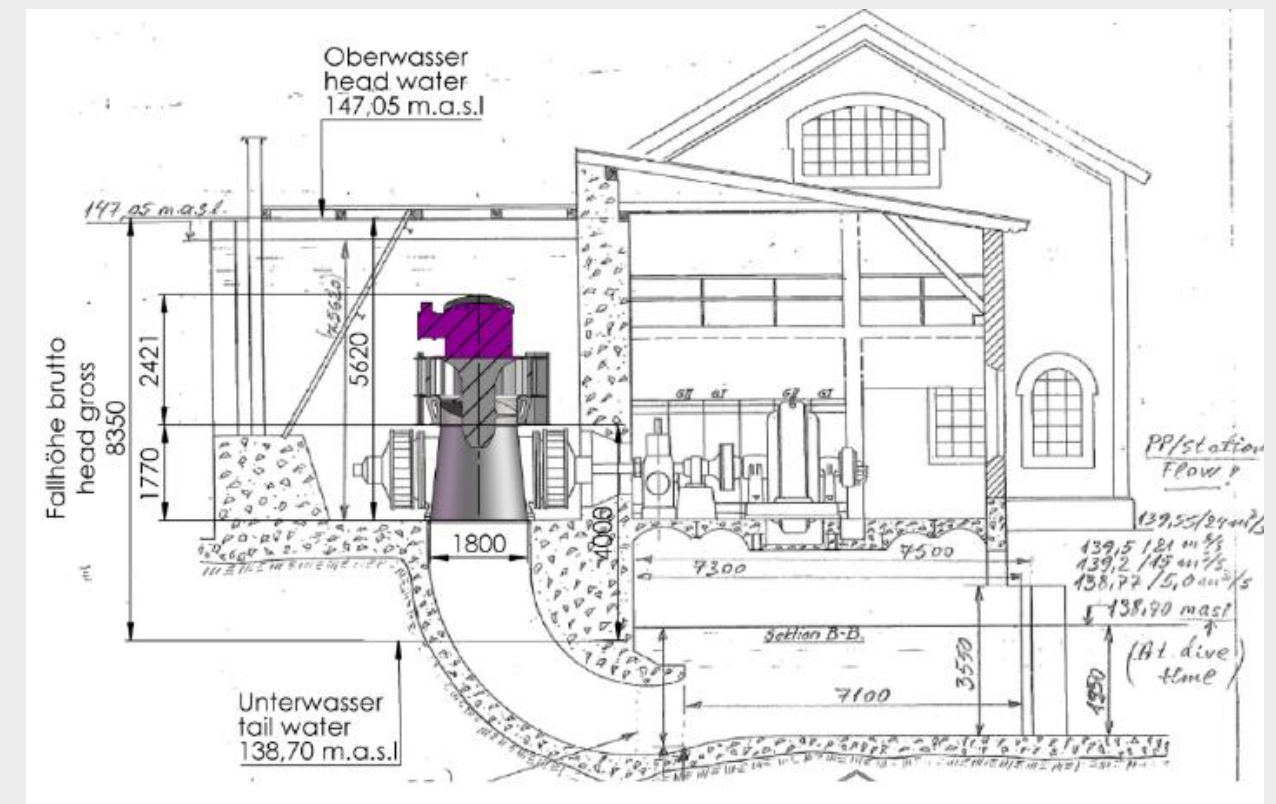
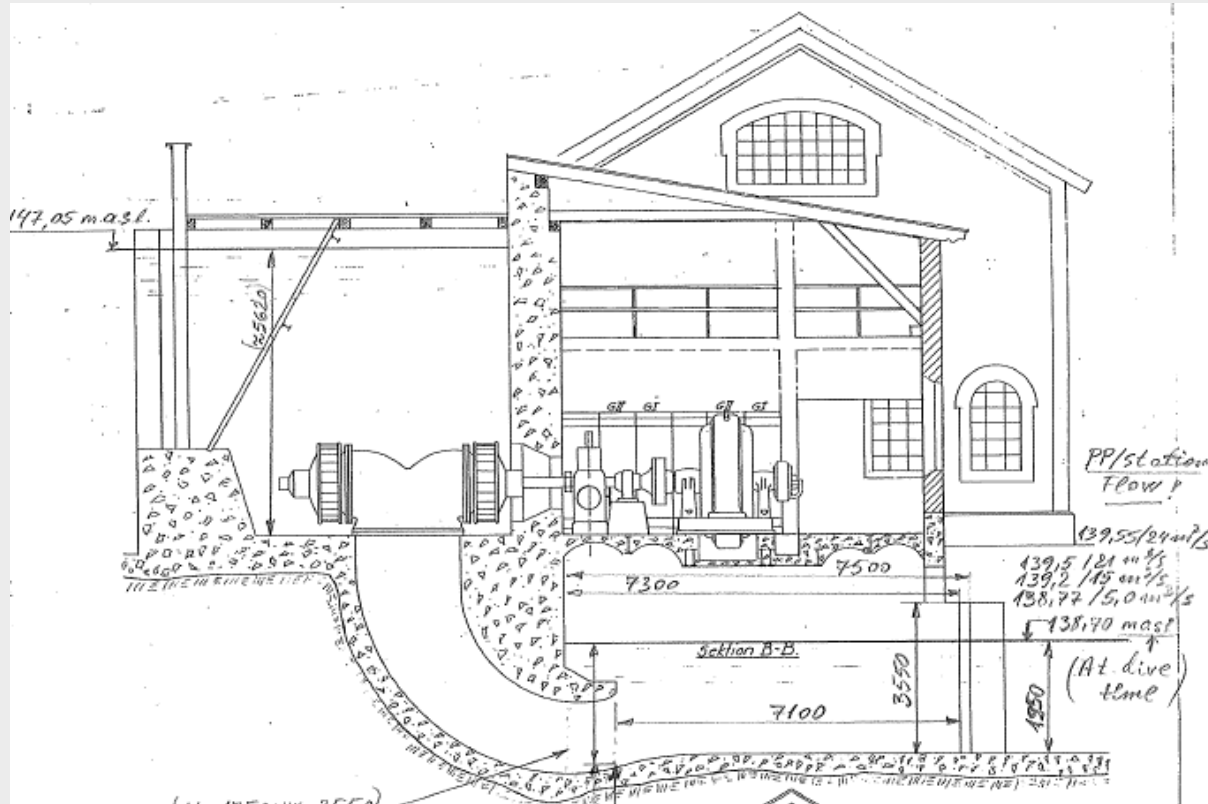
Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Erster Schritt im November 2022: Besichtigung der historischen (1916) und noch immer funktionsfähigen Maschinen



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Konzeptentwurf mit Turbinen-Generator-Einheit in der alten Wasserkammer auf dem alten Saugrohr



$P_{alt} = 2 \times 400 \text{ kW}$

$Q_{alt} = 2 \times 8,00 \text{ m}^3/\text{s}$



$P_{neu} = 2 \times 500 \text{ kW}$ (Steigerung um 25%)

$Q_{neu} = 2 \times 8,00 \text{ m}^3/\text{s}$



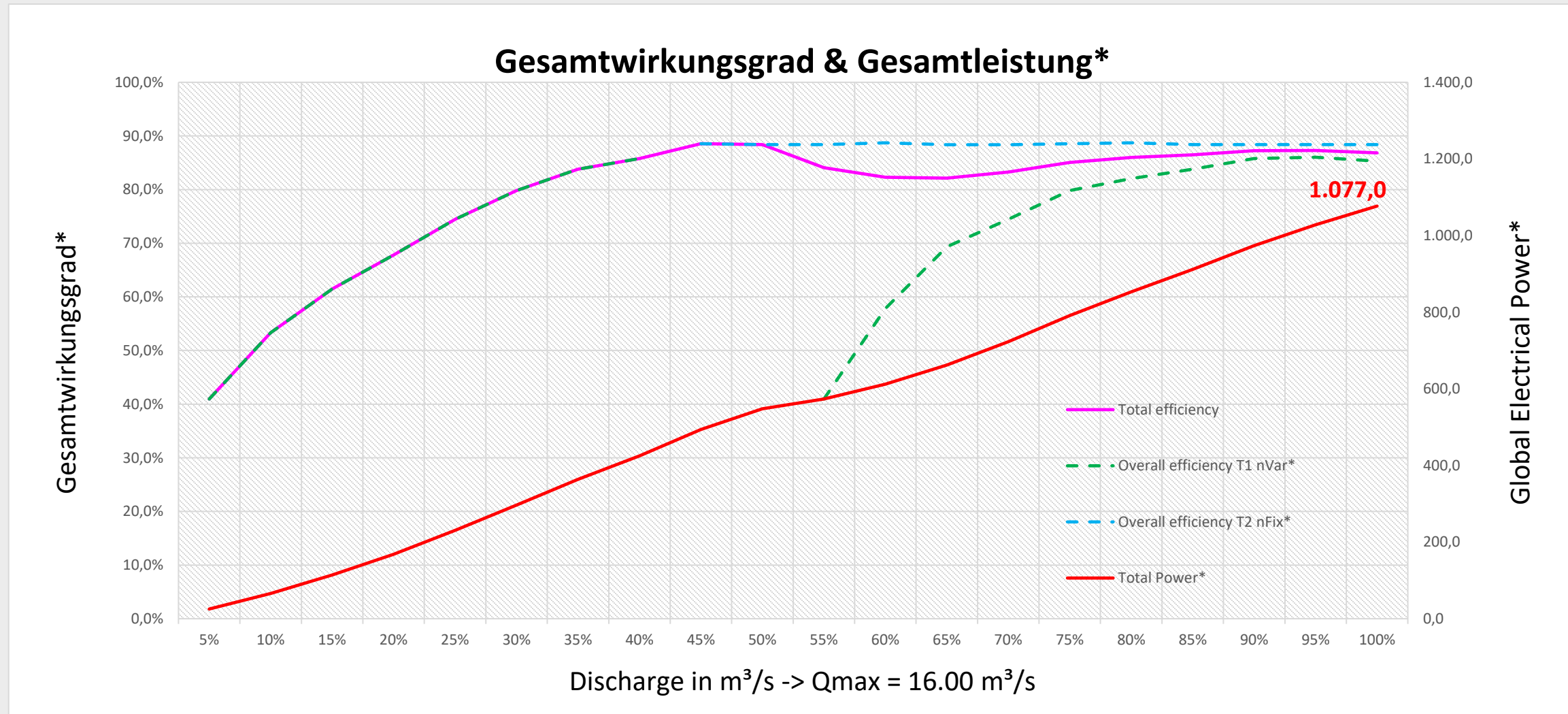
Generator: PMG

Leitapparat: verstellbar

Drehzahl: 1 x nVar & 1 x nFix

Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Wirkungsgrade & Leistung - Kombination nFix & nVar

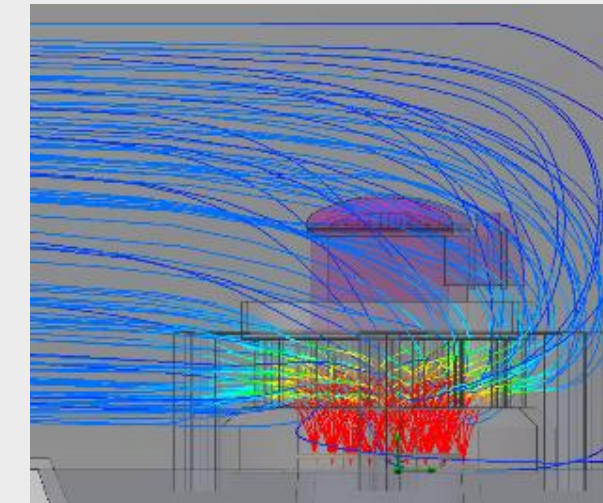
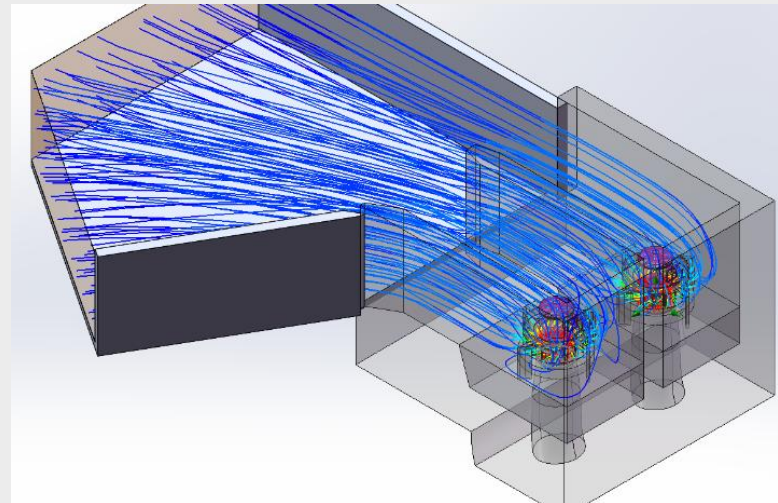
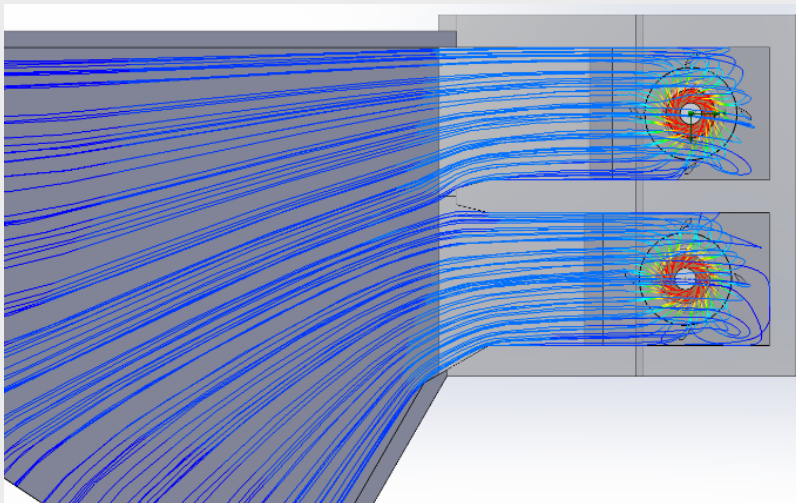
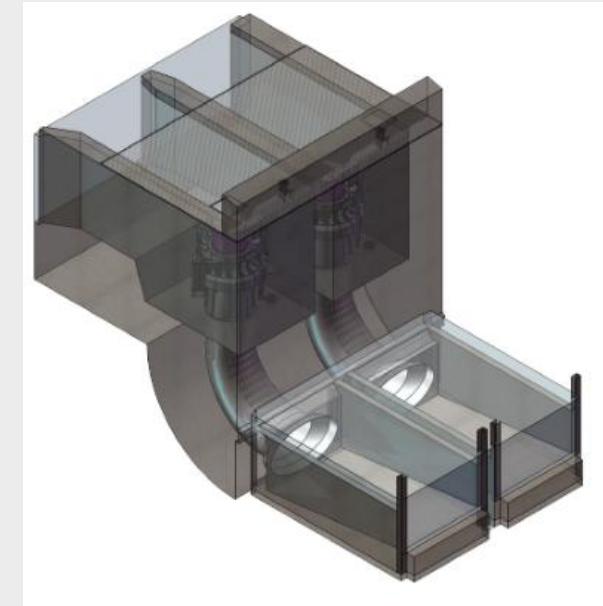
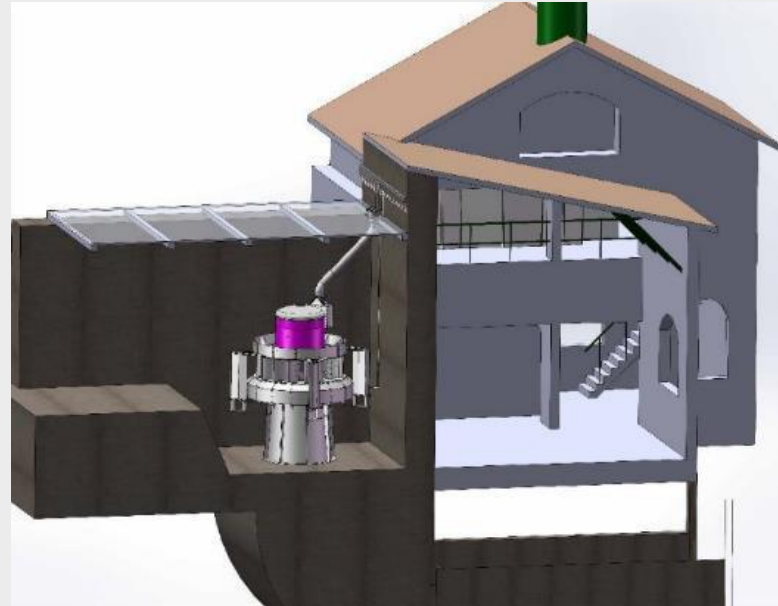
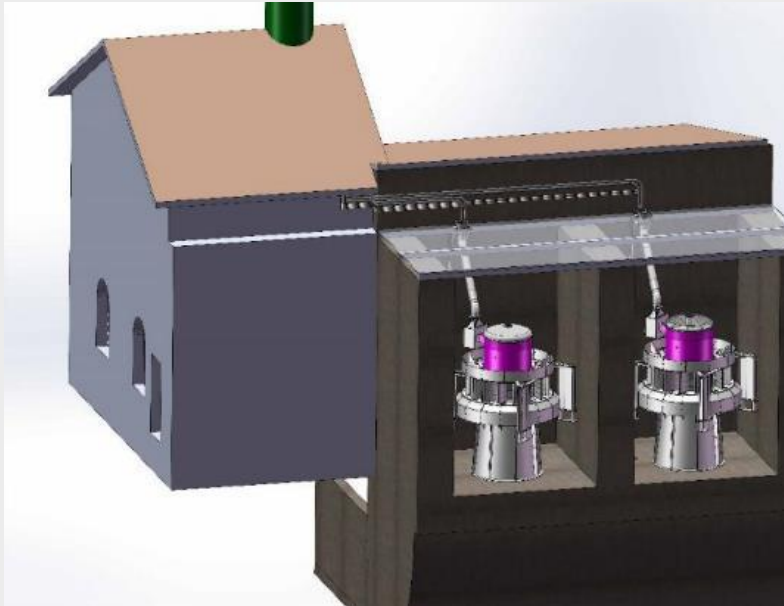


* Gesamtwirkungsgrad und Gesamtleistung (el.) inkludiert die Verluste von Saugrohr, Turbine, Generator und Wechselrichter!

Eta max Turbine inkl. Saugrohr: 91.44 % - Eta max Generator: 98.00 % - Eta max Wechselrichter: 97.00 %

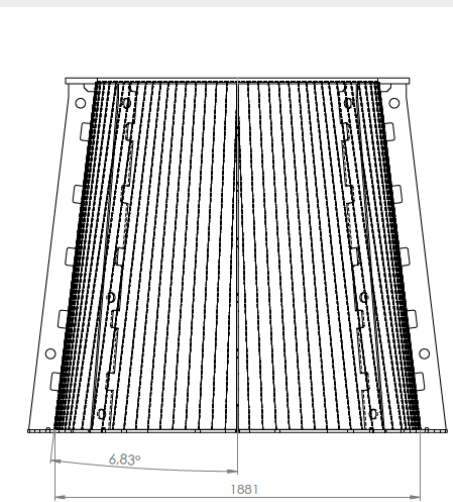
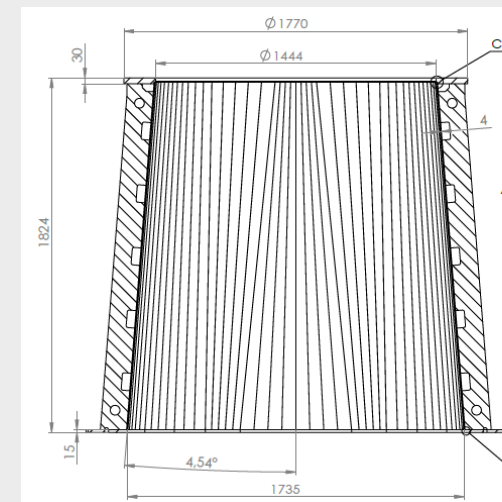
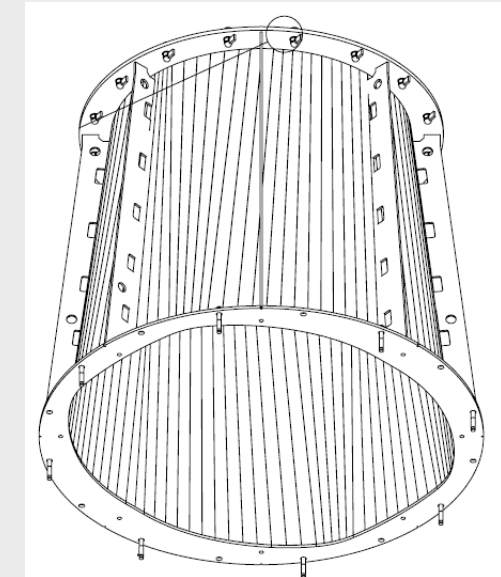
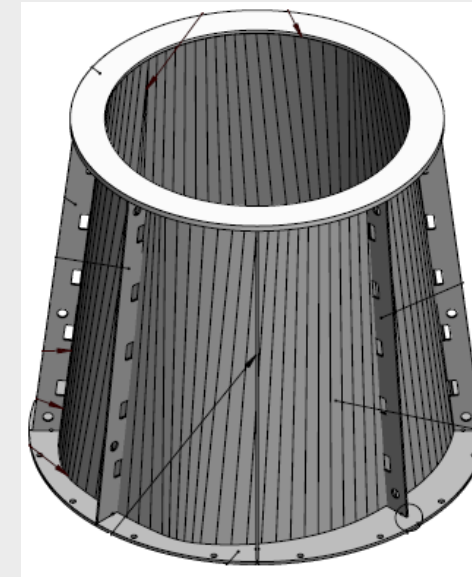
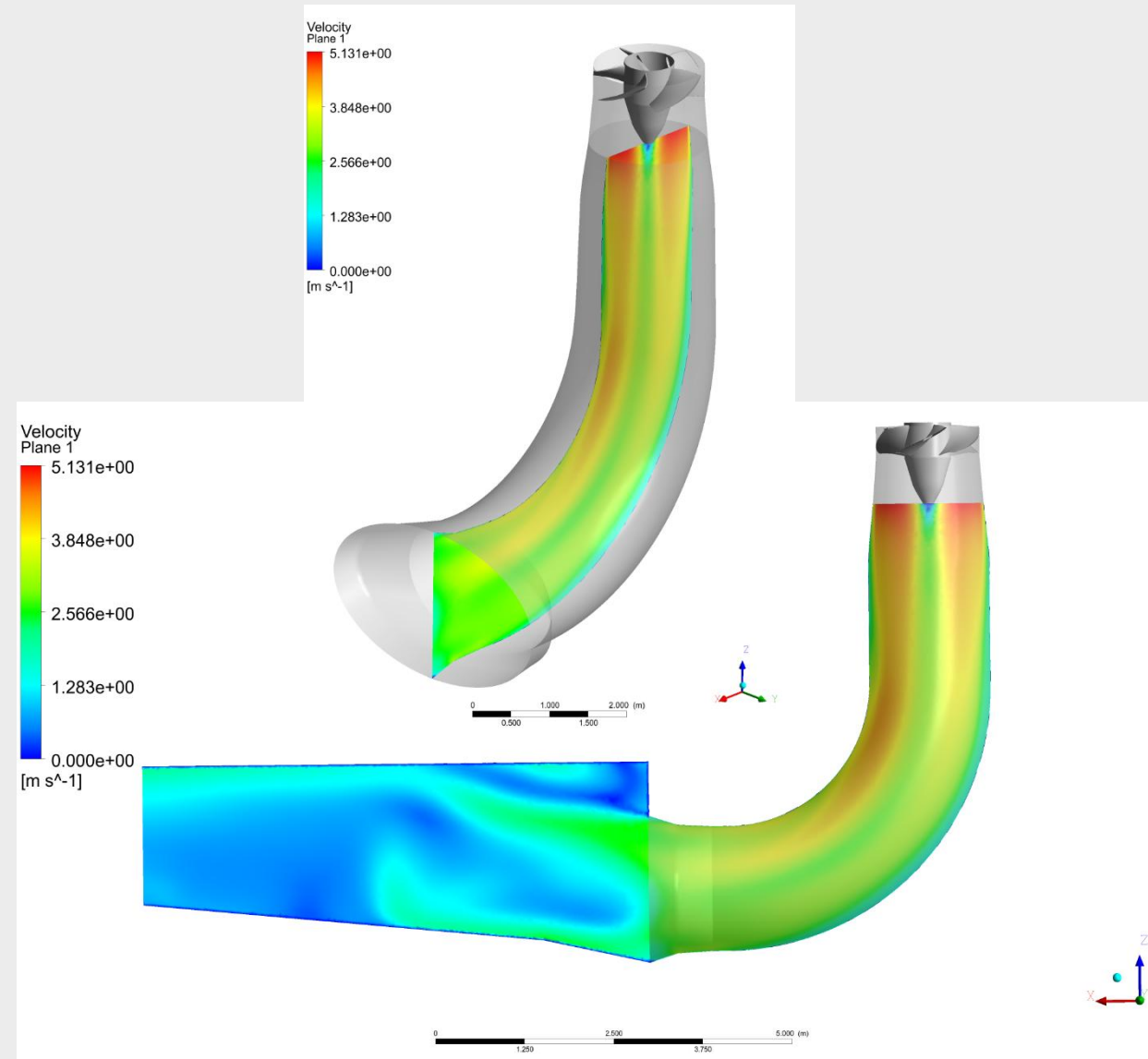
Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Simulation der Anströmung der Turbinen in den alten Turbinenkammern mit der neuen (höheren) Einbaulage.



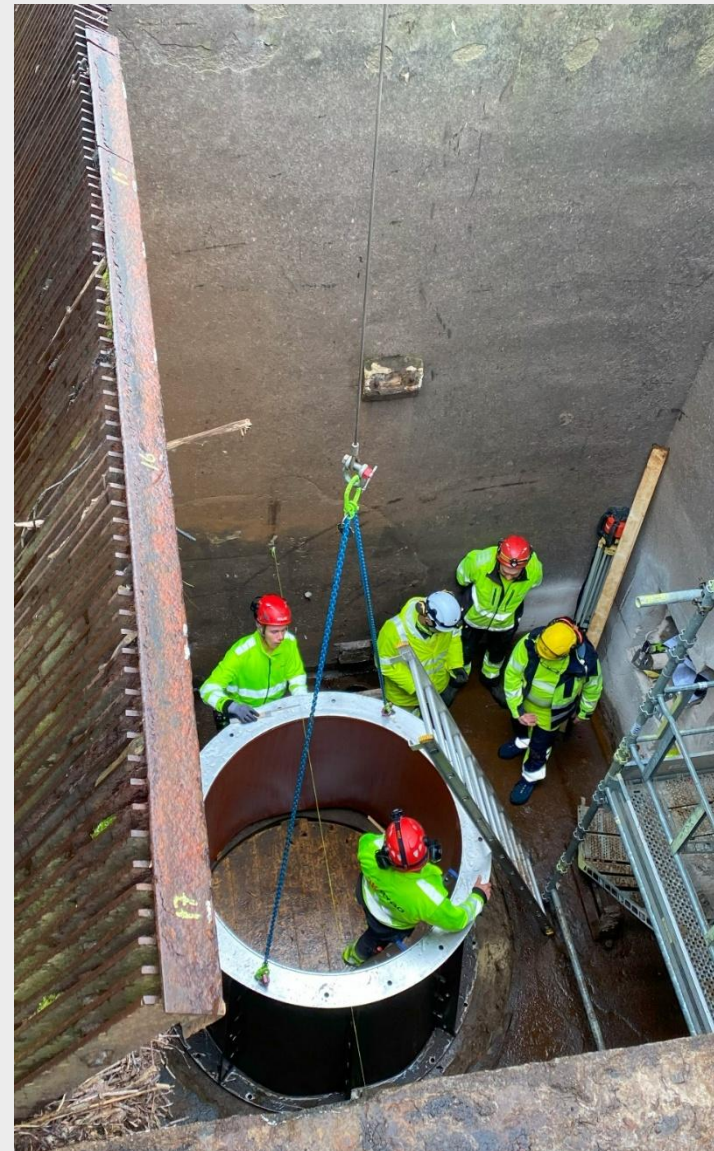
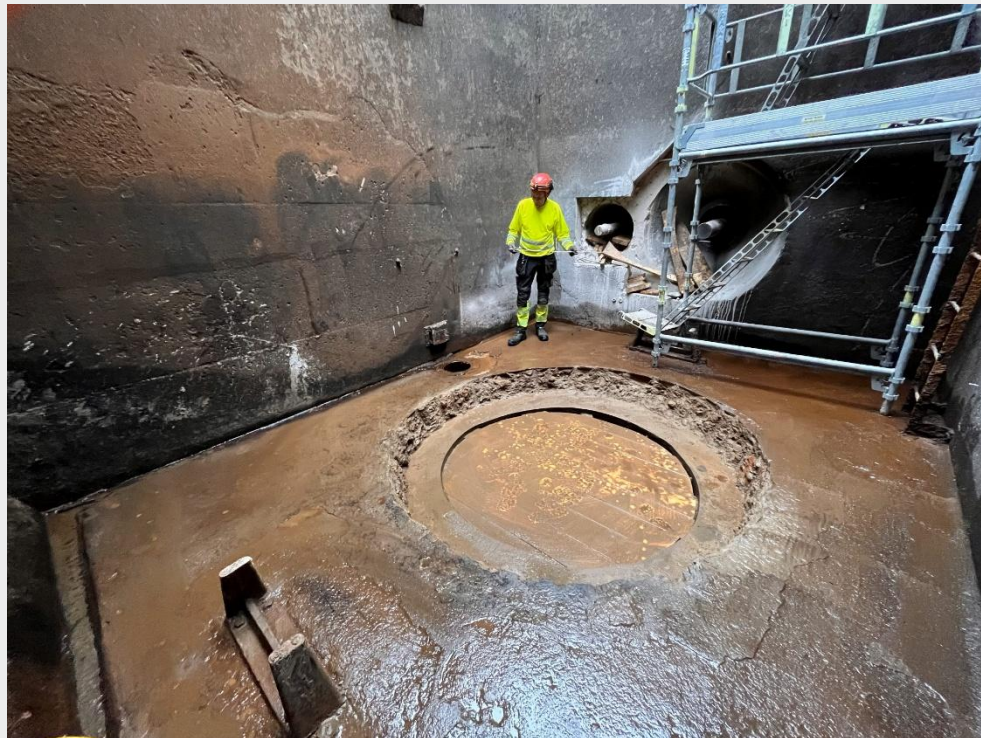
Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Entwurf und Simulation der neuen Turbine, des neuer Adapterkonus in Kombination mit dem alten Saugrohr.



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Demontage der alten Turbinen im September 2023 und Montage des neuen Saugrohr-Adapterkonus im Oktober 2023.



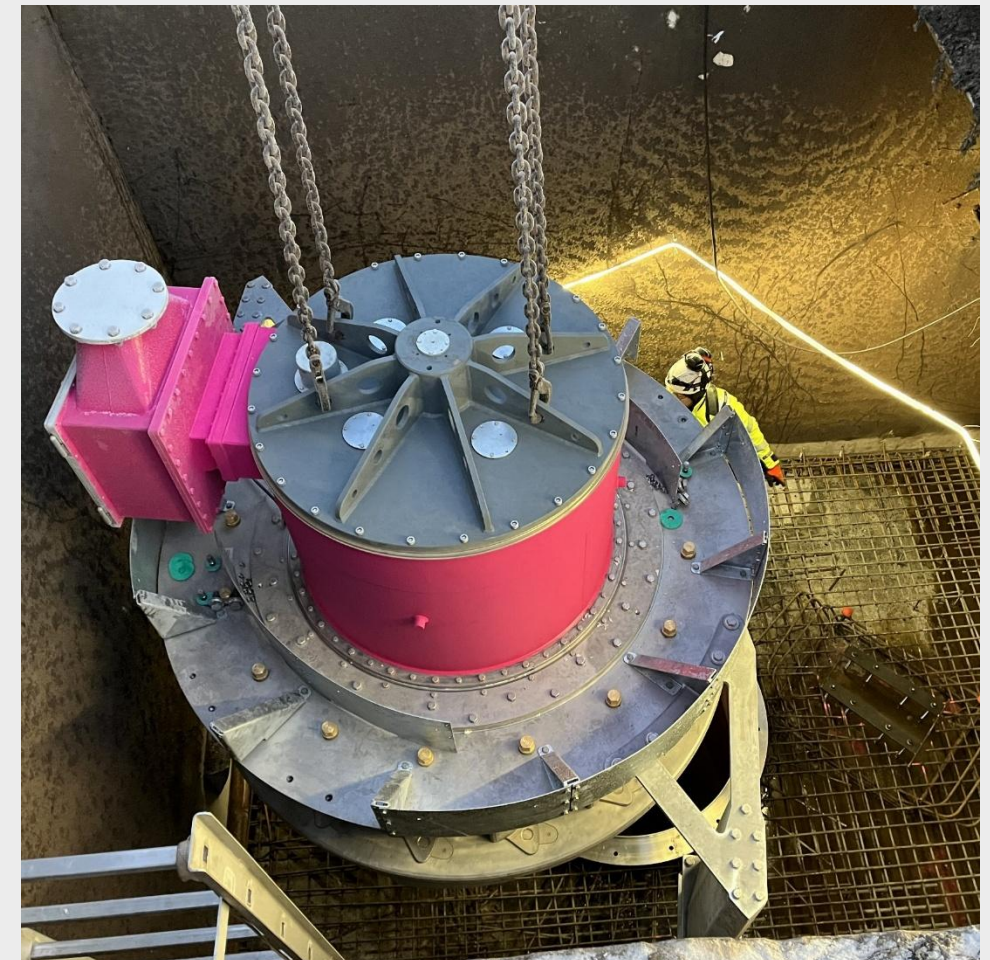
Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Werksabnahmeprüfungen und Versand der komplett vormontierten und vorab getesteten Turbinen-Generator-Einheit und der Wechselrichter im Dezember 2023 in Deutschland.



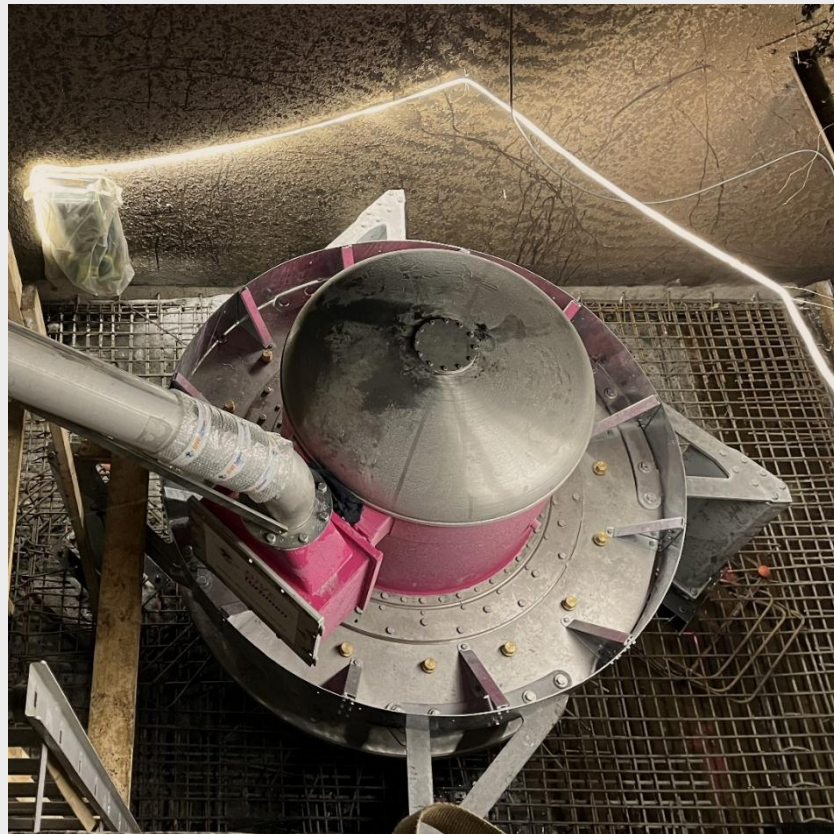
Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Montage und Einbringung der kompletten Turbinen-Generator-Einheit im Dezember 2023.



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Installation der beiden Turbinen-Generator-Einheiten nach 3 Tagen abgeschlossen.
Bereit für die Weihnachtsfeiertage im Dezember 2023.



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

Parallel dazu Installation der Schaltschränke und HPU's im Dezember 2023, sowie Verkabelung und Verrohrung im Januar 2024.



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 1

WASSERKRAFTWERK ABY

Wer sind Gunhild und Ivar?

Gemäß schwedischer Tradition wurden die Anlagen nach ihrem Netzanschlussdatum benannt.

Gunhild, die Anlage mit fester Drehzahl, wurde am 30. Januar 2024 angeschlossen und arbeitet mit einer Leistung von bis zu 550 kWe.

Ivar, die Anlage mit variabler Drehzahl, wurde am 31. Januar 2024 angeschlossen und arbeitet mit einer Leistung von bis zu 535 kWe.

Zusammen ersetzen sie die über 100 Jahre alten Francis-Camelback-Turbinen und steigern die elektrische Leistungsabgabe von max. 800 kWe auf max. 1.085 kWe (+ 35,26 %). Mit verbesserten Teillastverhalten insb. bei sehr niedrigen Abflüssen im Sommer bis zum minimalen Durchfluss von 0,80 m³/s.



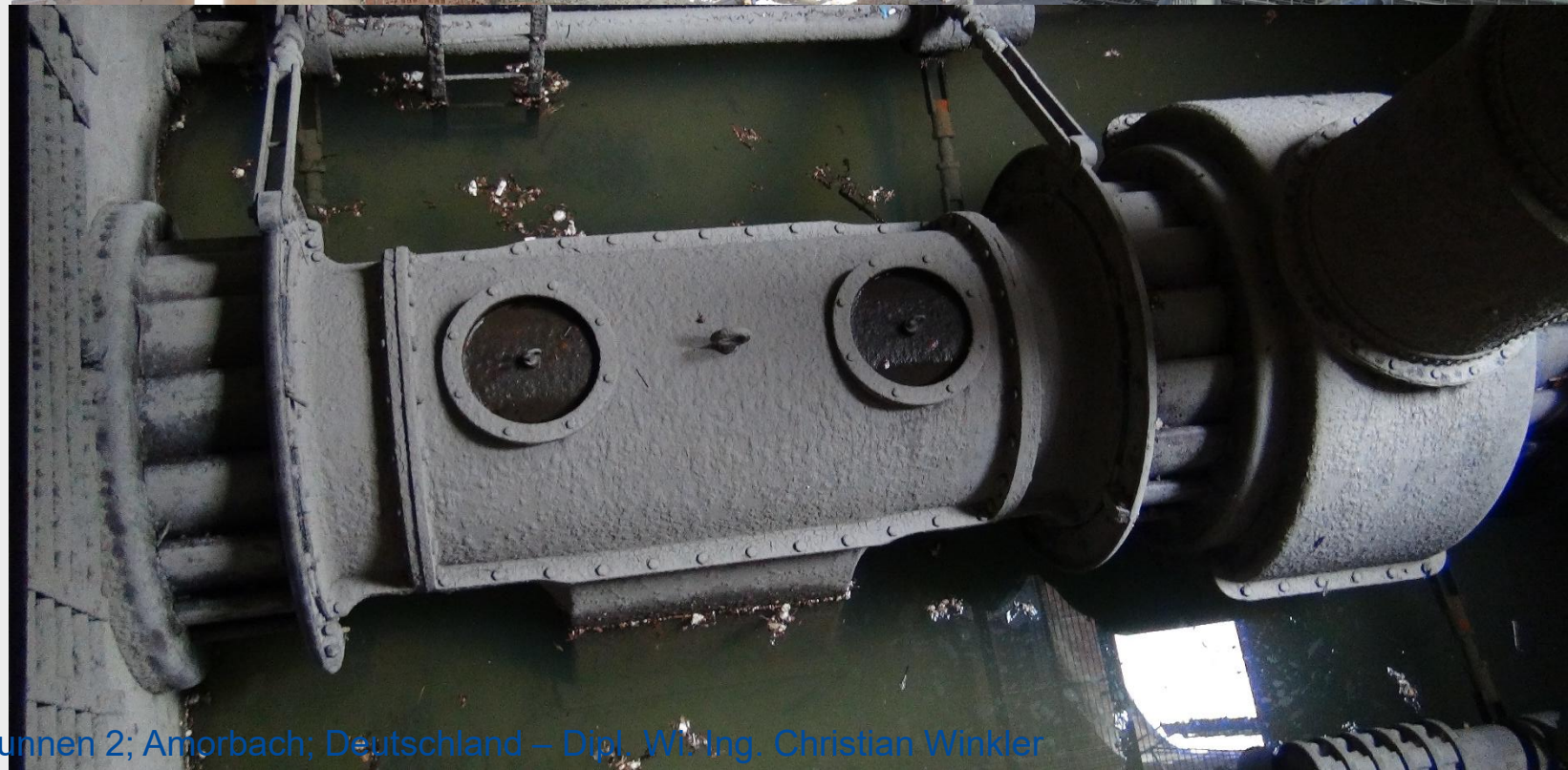
Camelback - Beispiele

WASSERKRAFTWERK MANCIOUX

Fallhöhe	7,30 m
Wassermenge	2 x 10,00 m ³ /s
Leistung	2 x 600 kW
Inbetriebnahme	2021

Palt = 2 x 450 kW → Pneu = 2 x 600 kW

Qalt = 8,00 m³/s → Qneu = 10,00 m³/s



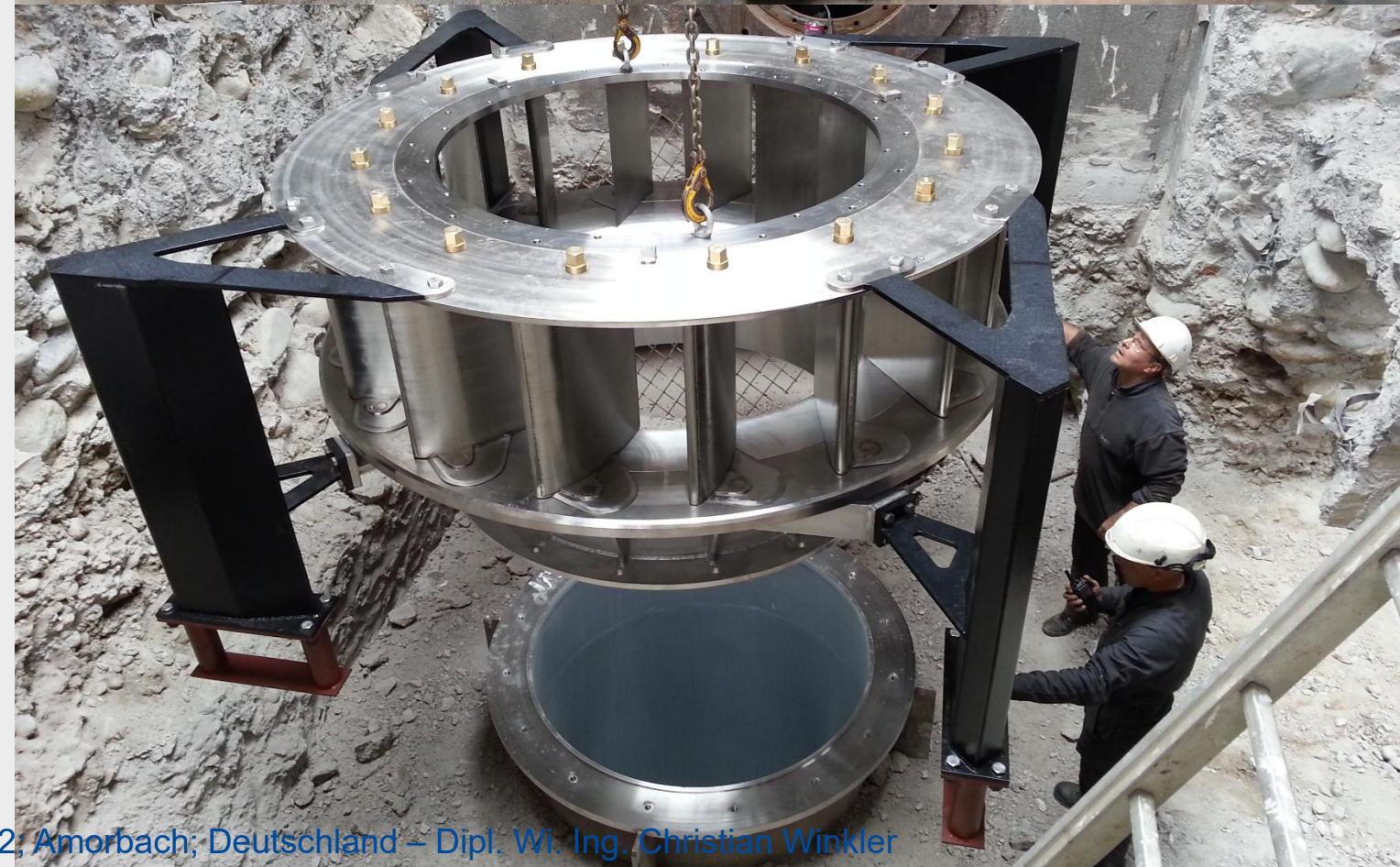
Camelback - Beispiele

WASSERKRAFTWERK GUILHOT

Fallhöhe	10,50 m
Wassermenge	3 x 10,60 m ³ /s
Leistung	3 x 900 kW
Inbetriebnahme	2014

$P_{alt} = 3 \times 700 \text{ kW}$ \longrightarrow $P_{neu} = 3 \times 900 \text{ kW}$

$Q_{alt} = 3 \times 8,50 \text{ m}^3/\text{s}$ \longrightarrow $Q_{neu} = 3 \times 10,60 \text{ m}^3/\text{s}$

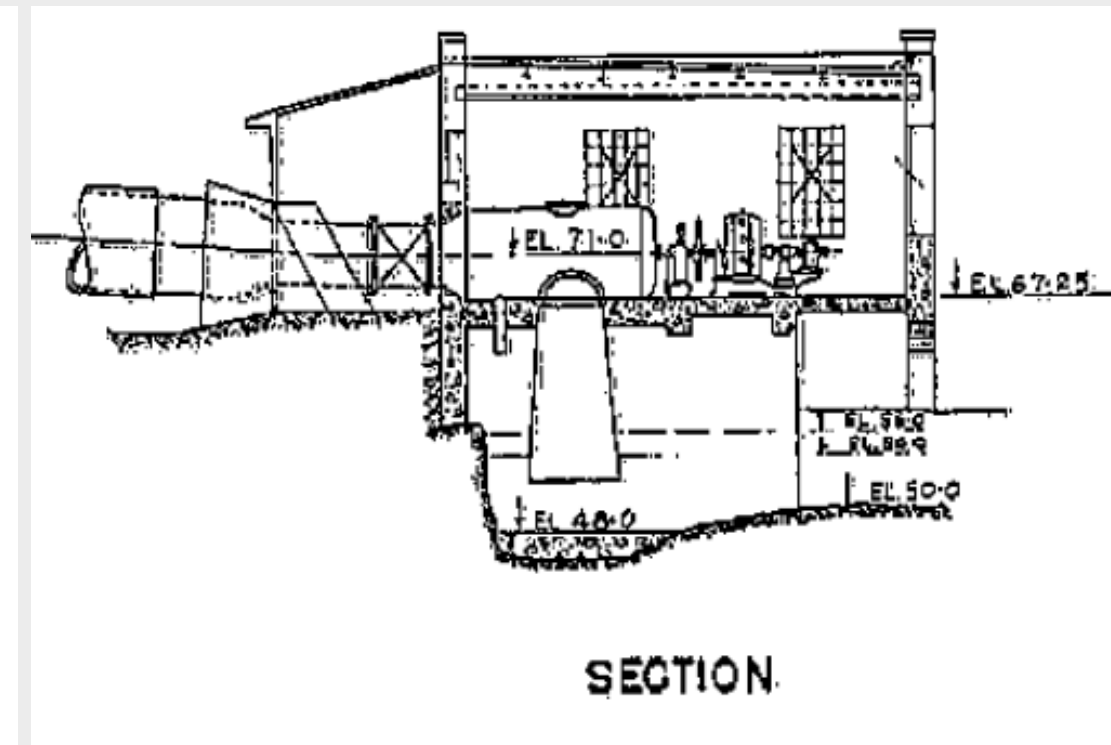
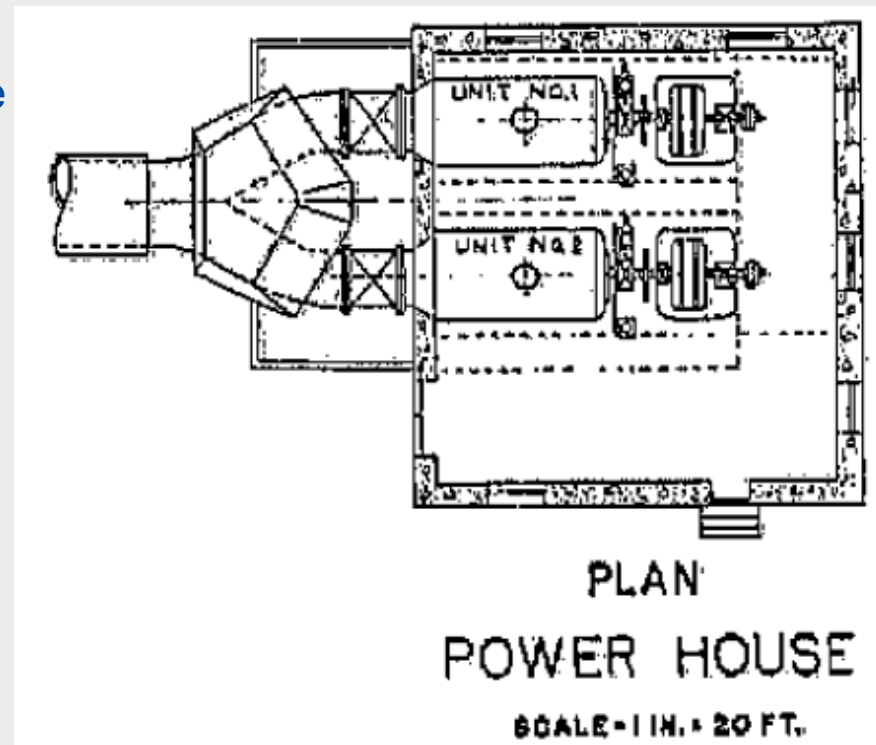


Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

WASSERKRAFTWERK Bingham Chute

Brutto Fallhöhe	14,30 m
Wassermenge	2 x 5,60 m ³ /s
Leistung	2 x 450 kW
Inbetriebnahme	1921

Historische Zeichnung: Kraftwerk Bingham Chute mit horizontaler Doppel-Camelback-Francis-Turbine in einer Druckkammer aus Stahl, sowie direkt angetriebenen Synchrongeneratoren



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

WASSERKRAFTWERK Bingham Chute – Standort



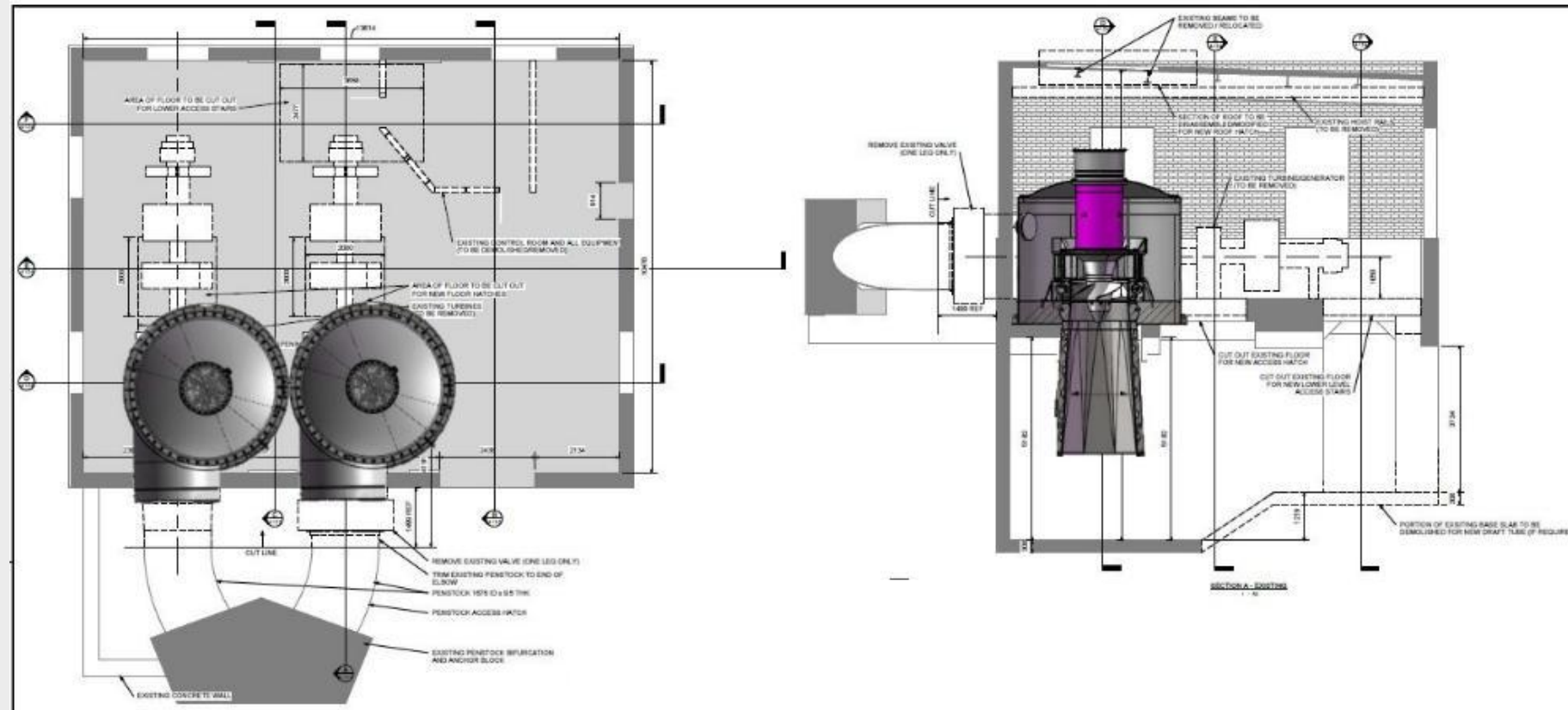
Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

Erster Schritt im Mai 2025: Besichtigung der historischen (1921) und noch immer funktionsfähigen Maschinen



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

Konzeptentwurf mit Turbinen-Generator-Einheit in neuer vertikaler Wasserkammer aus Stahl.



$P_{alt} = 2 \times 450 \text{ kW}$

$Q_{alt} = 2 \times 5,60 \text{ m}^3/\text{s}$



$P_{neu} = 2 \times 984 \text{ kW}$ (Steigerung um 118%)



$Q_{neu} = 2 \times 8,35 \text{ m}^3/\text{s}$

Generator: PMG

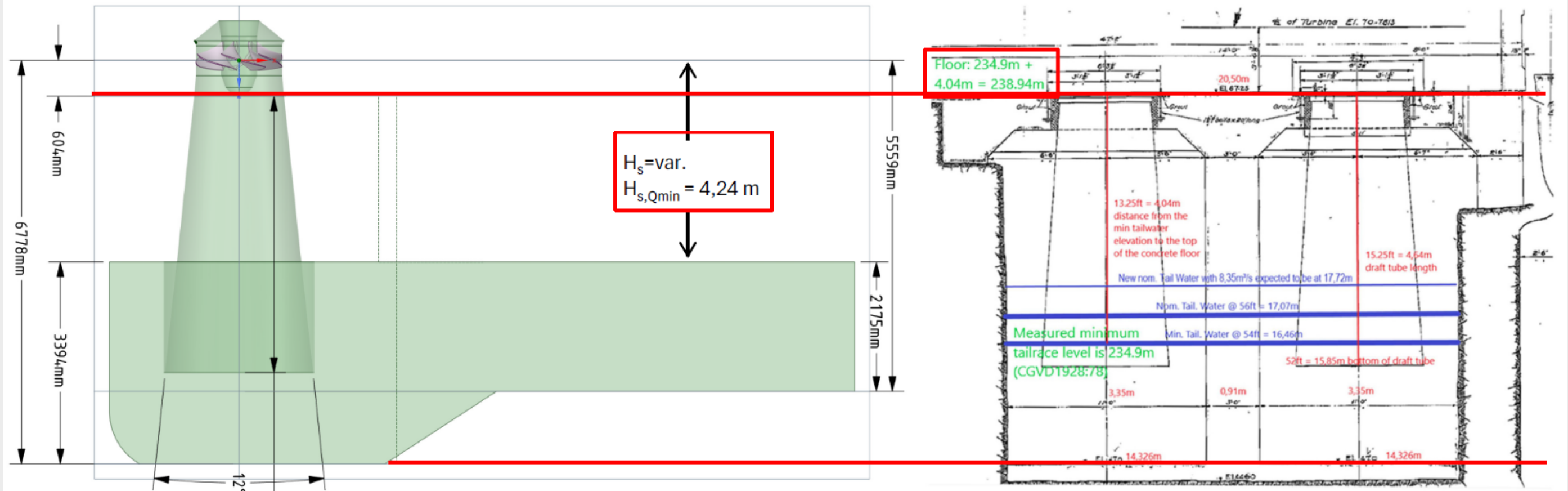
Leitapparat: verstellbar

Drehzahl: 1 x nVar & 1 x nFix

Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

Kritische Einbaulage - Berechnung des Kavitationskoeffizient Sigma-Plant der Turbinen bei gegebener Einbaulage

$$\sigma_{plant-H,max(Q_{min}=10\% \text{ Turbine } Q)} = \frac{10 - z_{Turbine} / 900 - H_S}{H_{max}} = \frac{10 - (238.94 + 0.604) / 900 - 4.24}{14.00} = 0.392$$

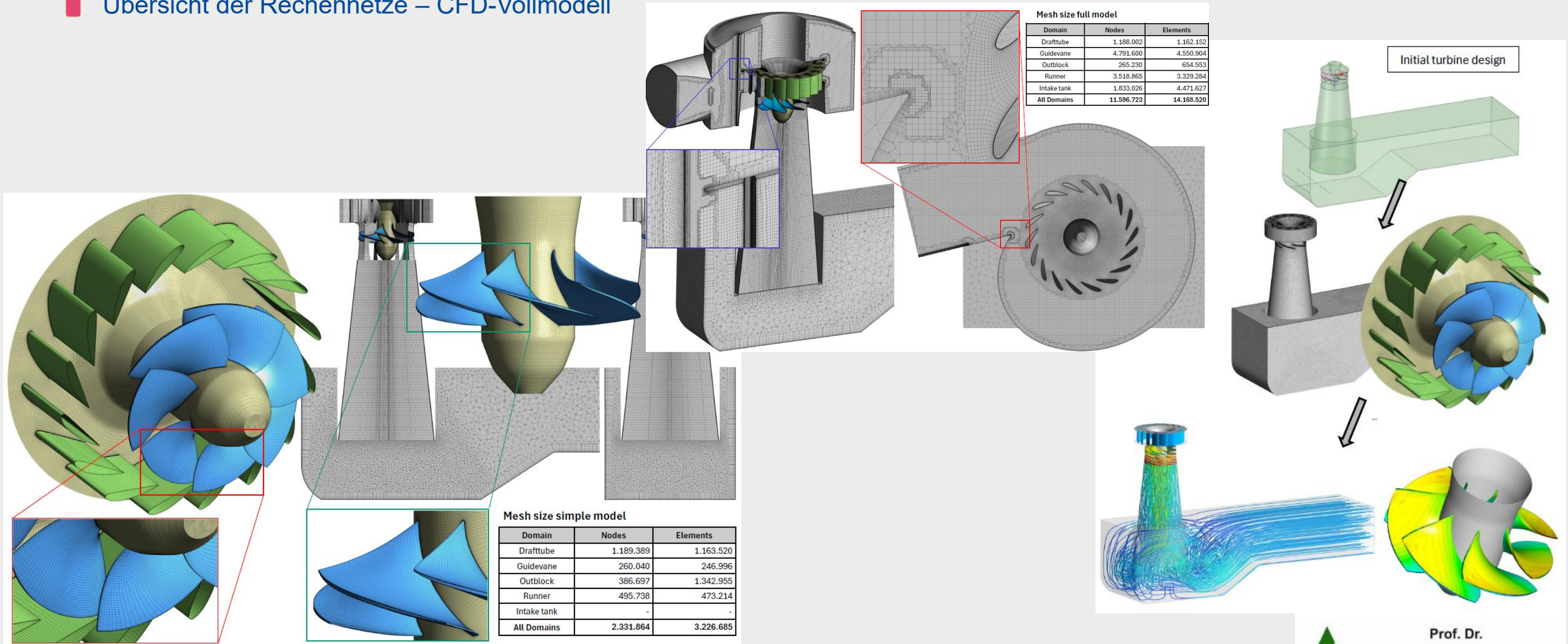


Kritischer Wert bei $Q_{min} = 0,80 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 0,392$

Bei $Q_{max} = 8,35 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 0,645$ weniger kritisch

Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

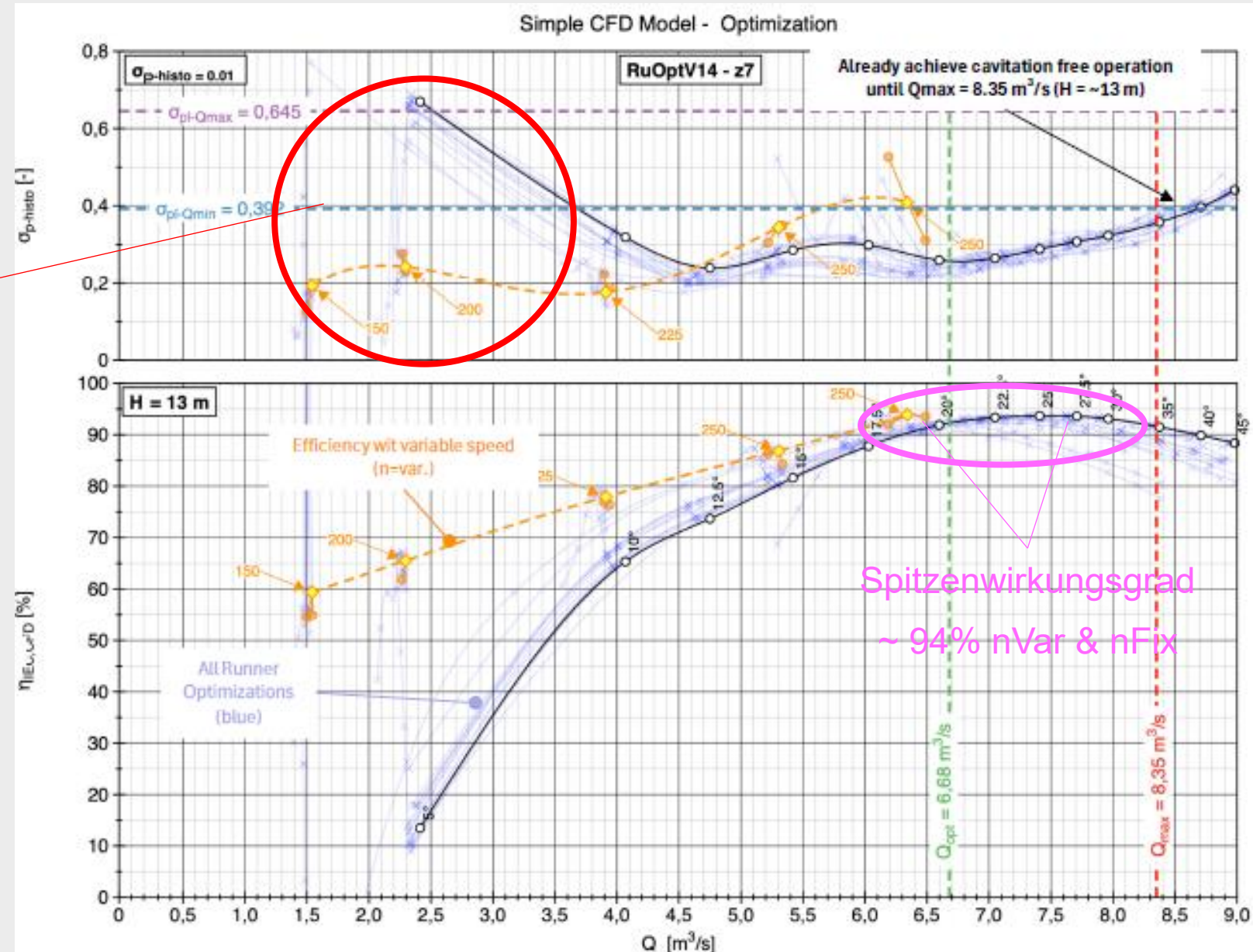
Übersicht der Rechenetze – CFD-Vollmodell



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

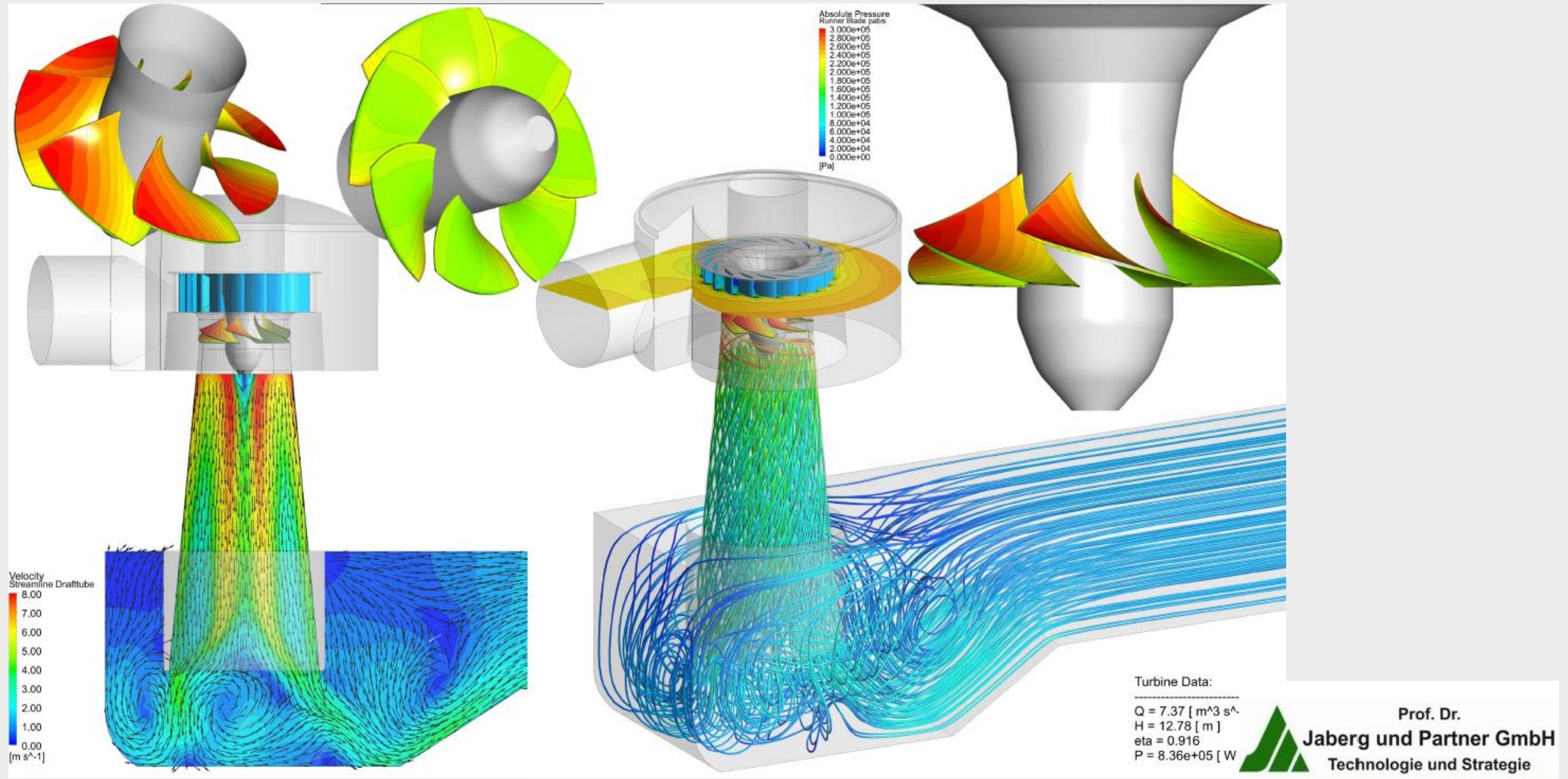
Übersicht der berechneten Ergebnisse für die Turbinenoptimierung mit 7 Laufradschaufeln und 18 Leitschaufeln.

Erweiterung des Betriebsbereiches unter $2,50 \text{ m}^3/\text{s}$ durch nVar Betrieb



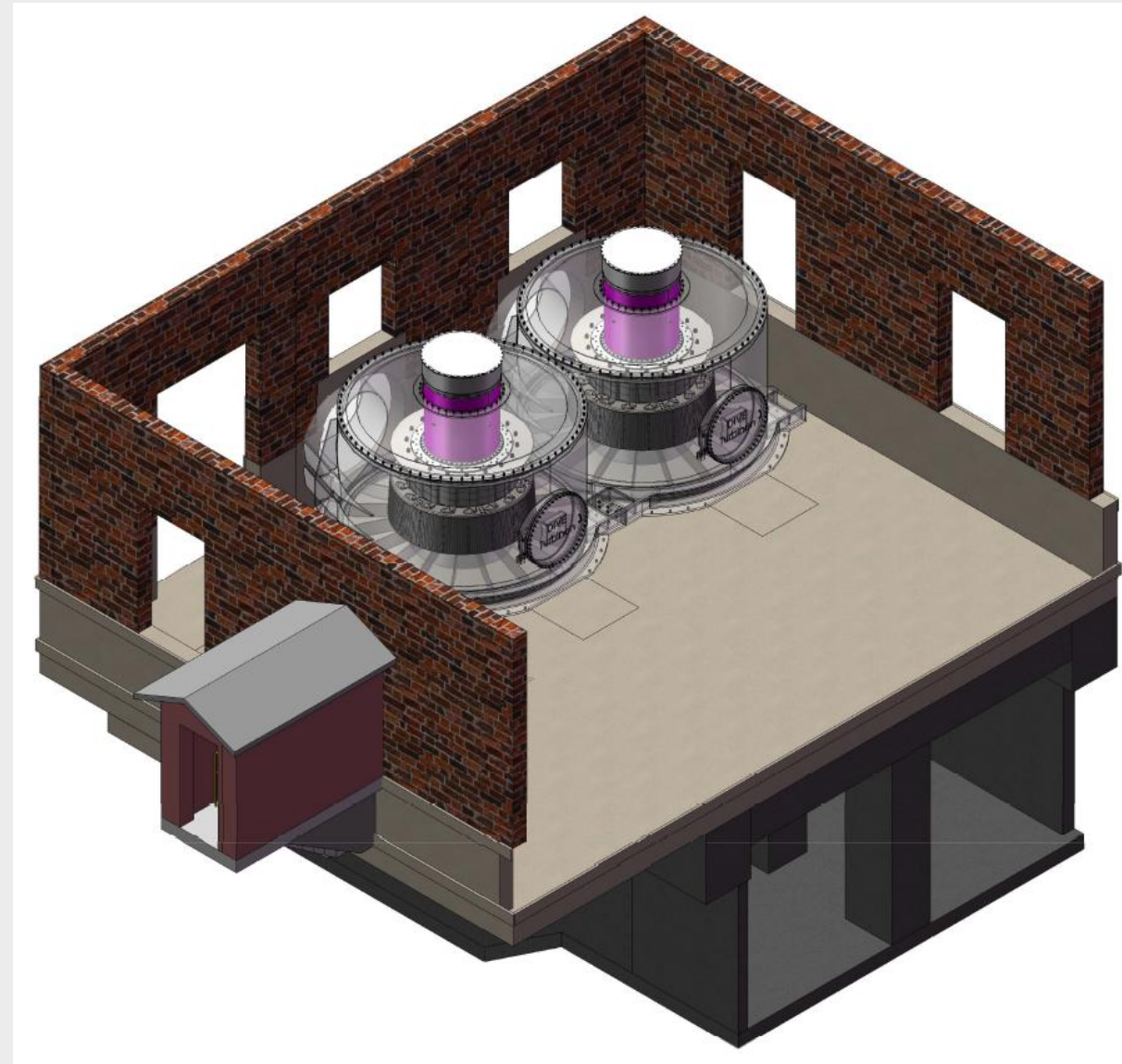
Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

Übersicht der berechneten Ergebnisse für die Turbinenoptimierung mit 7 Laufradschaufeln und 18 Leitschaufeln.



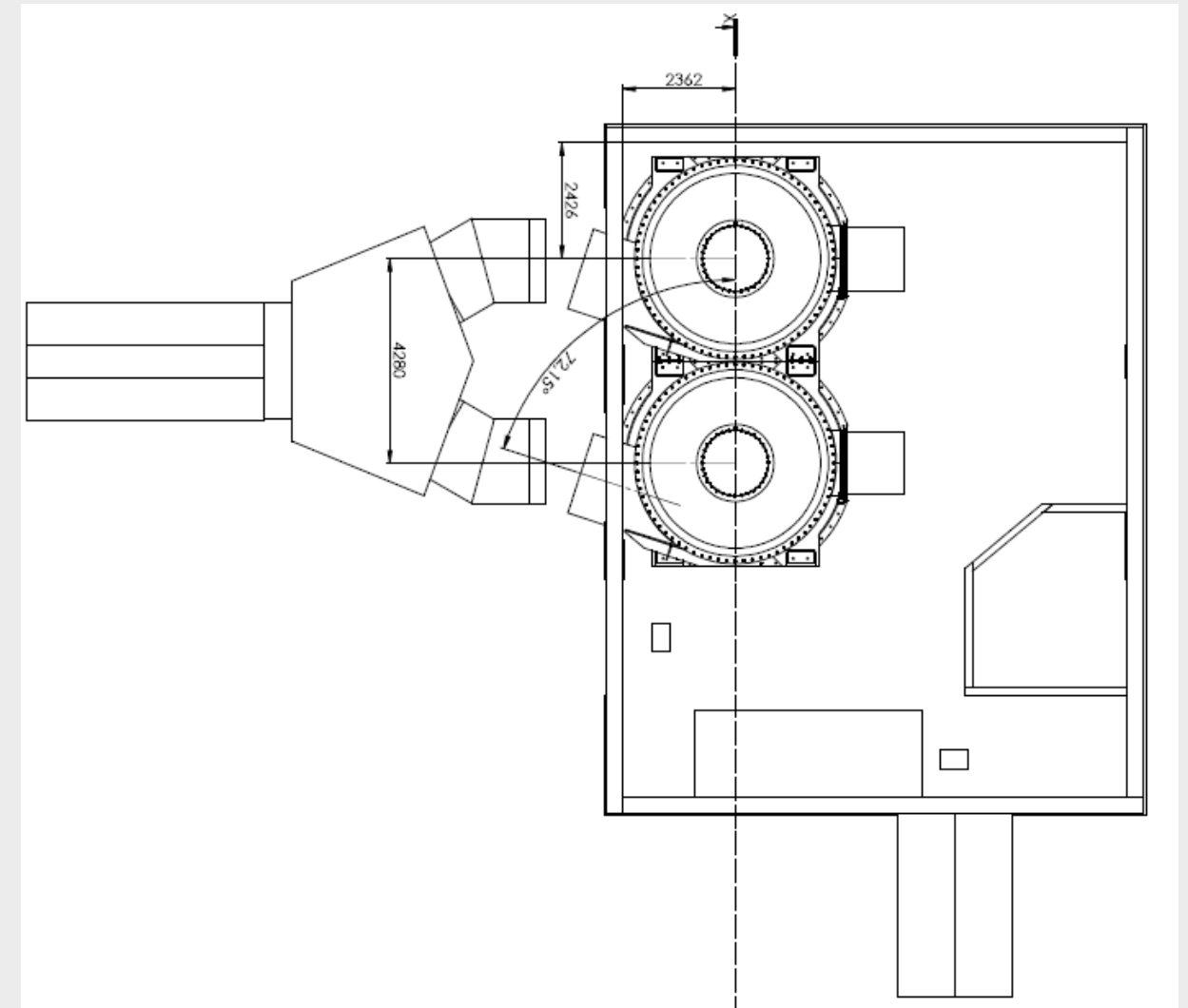
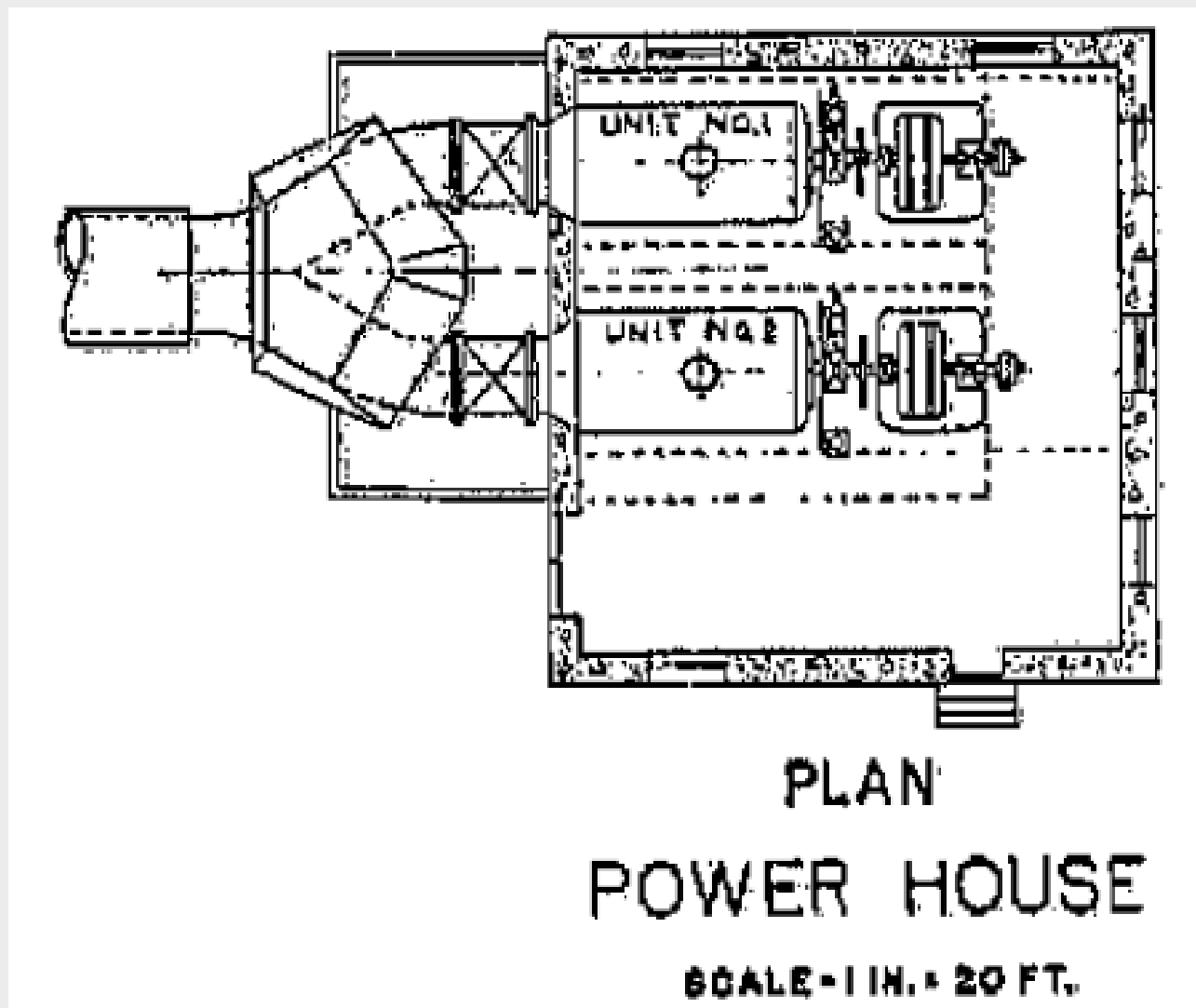
Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

Bauwerksintegration – beengte Platzverhältnisse – keine Änderungen am Auslauf möglich



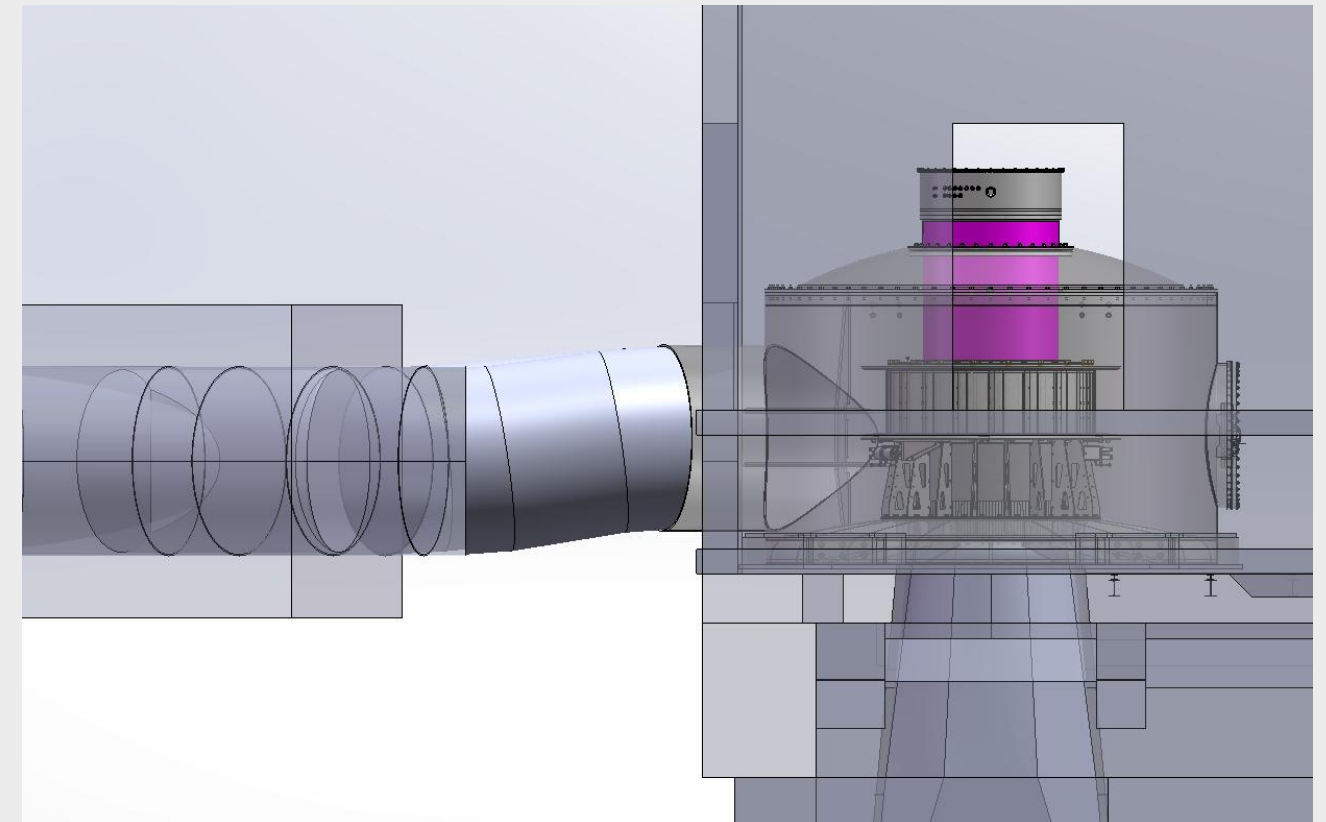
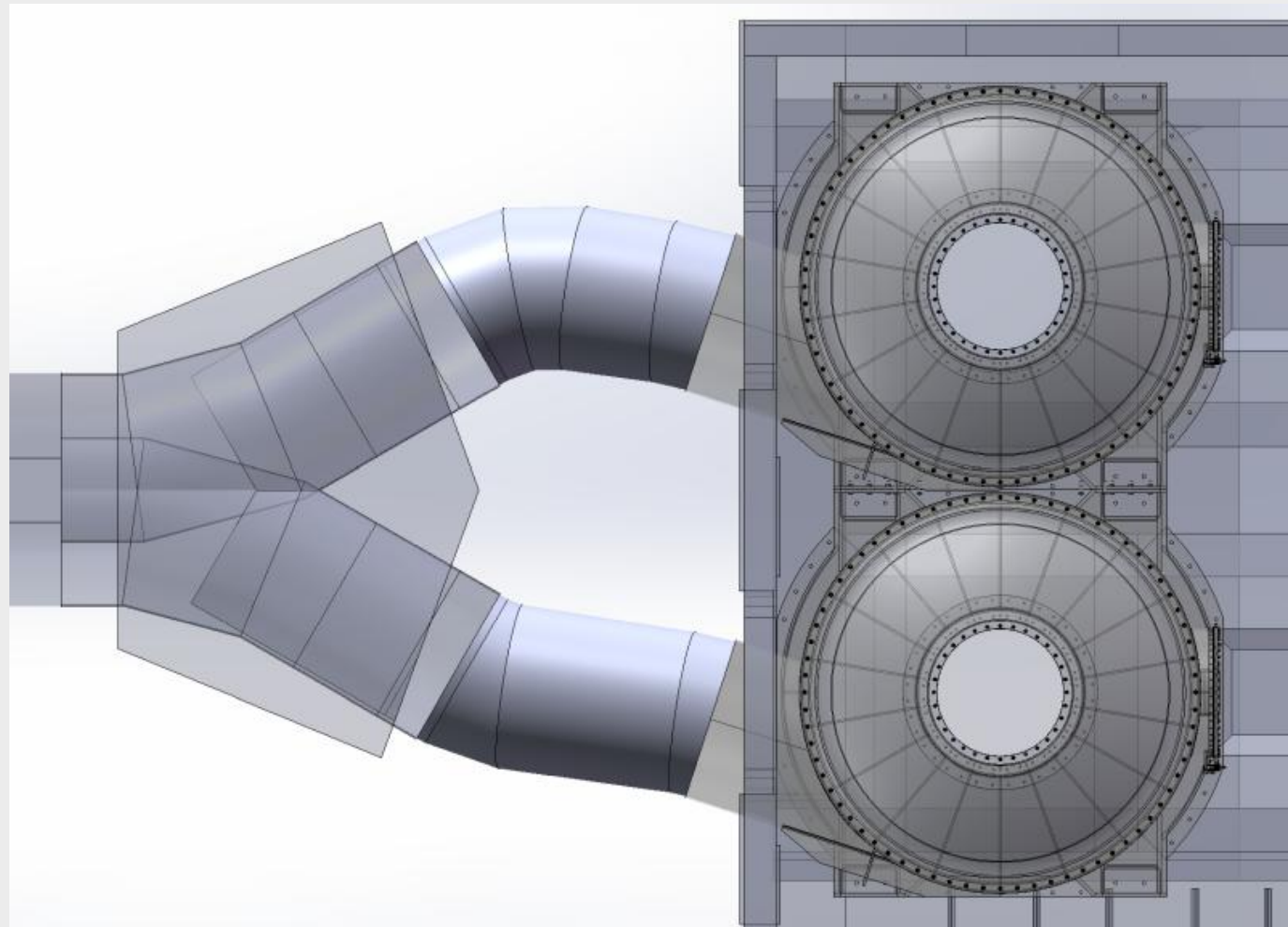
Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

Bauwerksintegration – beengte Platzverhältnisse – keine Änderungen am Krafthaus sowie Thrustblock möglich



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

Kritischer Übergang vom alten Druckrohr auf die neue Turbinenkammer – beengte Platzverhältnisse



Ersatz historischer Francis-Turbinen – Case 2

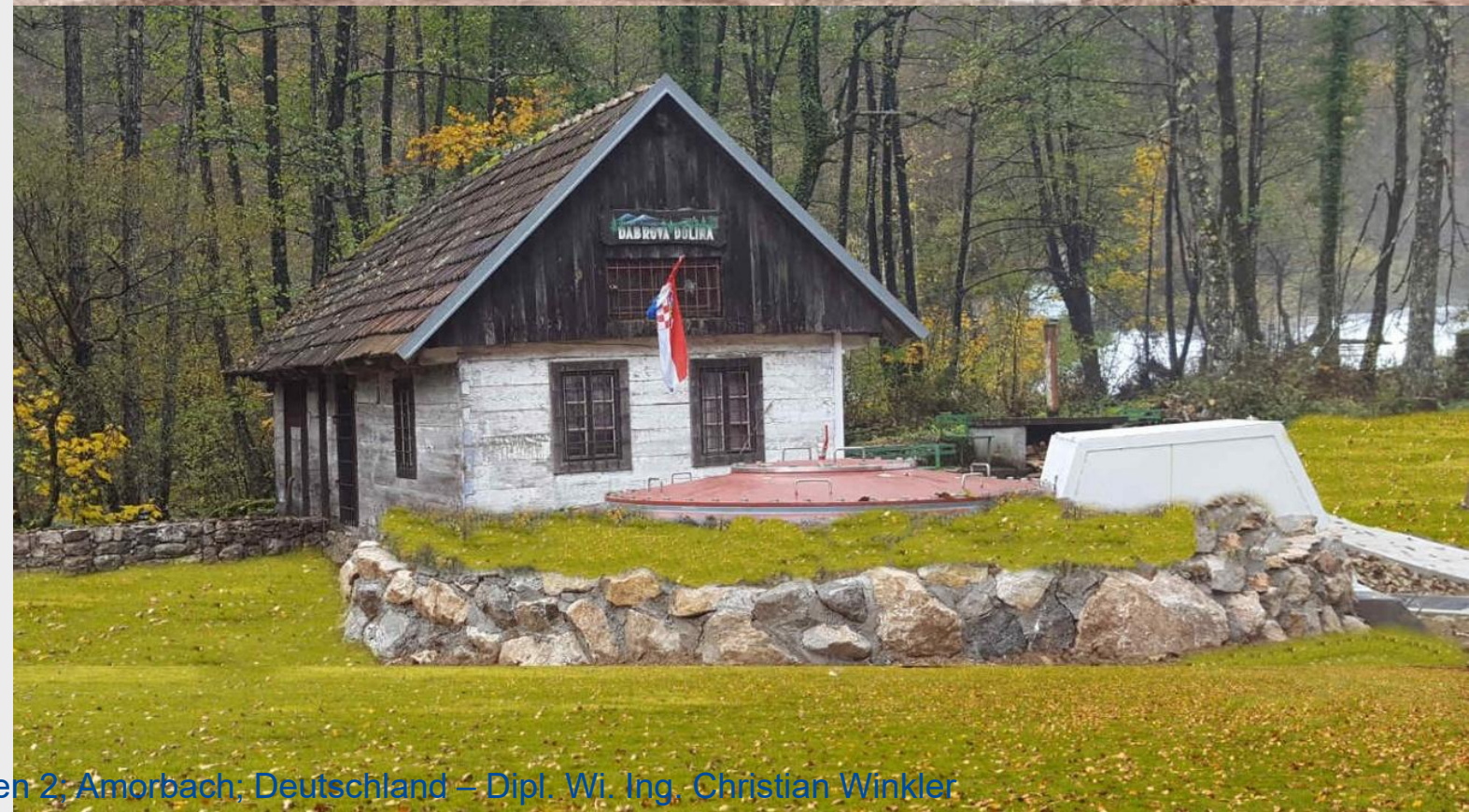
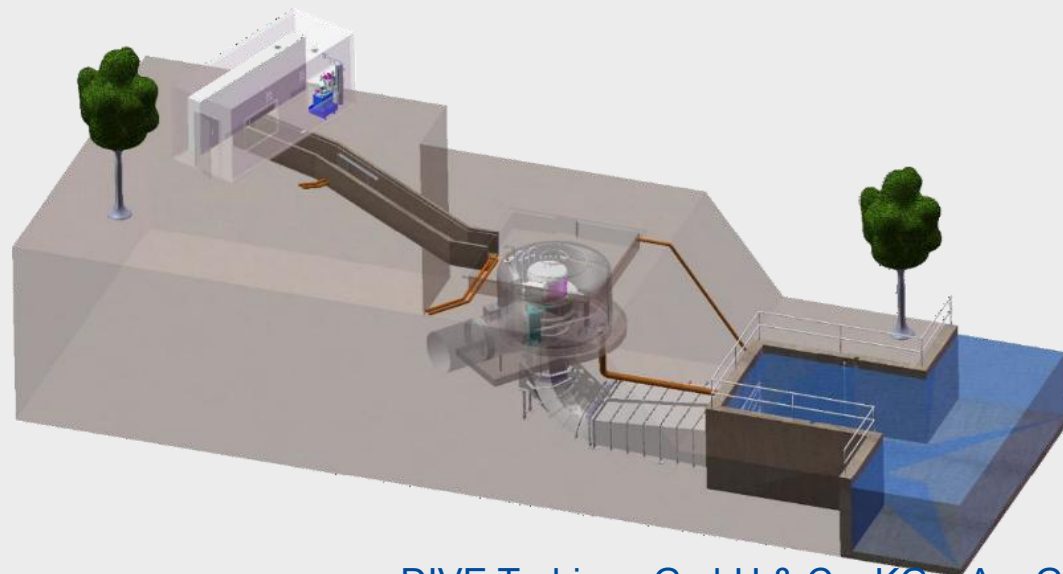
Gründe warum sich der Kunde für Lösung mit der **DIVE-Druckkammer** entschieden hat

1. Horizontale Lage des Druckrohrs im Krafthaus! -> damit wäre eine SAXO nur mit erheblichen Bauaufwand (Tiefbau) möglich
2. Beengte Platzverhältnisse -> damit nicht ausreichen Grundfläche für zwei Spiralturbinen parallel
3. PM-Generator dauerhaft überspült oder überspülbar – immer hochwassersicher und keine Kühlung nötig
4. Installation am gleichen Einbauort (Saugrohr) wie die alten Turbinen
5. Hohe Flexibilität dank Drehzahlvariation bzgl. Kavitationsverhalten; Q_{min} und schwankender Fallhöhen
6. Wartungsarmer Anlagenbetrieb, insb. verschleißfreie Dichtung

DIVE-Druckkammer Beispiele

WASSERKRAFTWERK DABROVA

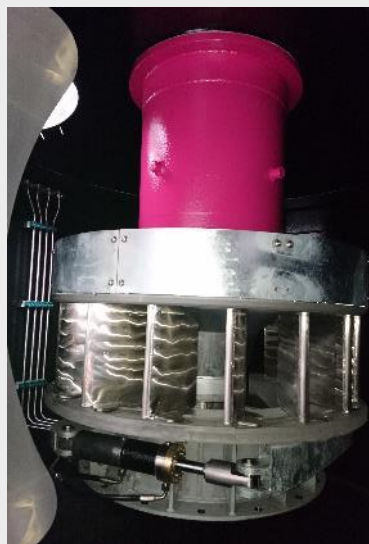
Fallhöhe	7,31 m
Wassermenge	5,50 m ³ /s
Leistung	280 kW
Inbetriebnahme	2016



DIVE-Druckkammer Beispiele

WASSERKRAFTWERK SERE

Fallhöhe	8,65 m
Wassermenge	2,00 m ³ /s
Leistung	138 kW
Inbetriebnahme	2022



DIVE-Druckkammer

Beispiele

**WASSERKRAFTWERK
BRUCKHÄUSL-WÖRGL**

Fallhöhe	10,00 m
Wassermenge	4,80 m ³ /s
Leistung	389 kW
Inbetriebnahme	2011





DIVE ***Turbinen***
GmbH & Co. KG

Am Grundlosen Brunnen 2
DE-63916 Amorbach
Deutschland

Christian Winkler
Dipl. Wi. Ing.
Vertriebsleiter & Produktmanager

Christian.winkler@dive-turbine.de
www.dive-turbine.de

