

# SENSITIVITÄTSANALYSEN ZUR OPTIMALEN BATTERIEGRÖÖE FÜR KAPLANTURBINEN IM REHYDRO-PROJEKT

13. Februar 2026

**Johanna Schedlberger, ANDRITZ HYDRO**

Electrical Engineer R&D

[Johanna.Schedlberger@andritz.com](mailto:Johanna.Schedlberger@andritz.com)

Co-Autoren

**Kadam Serdar**, Principal Engineer EPS System Calculation

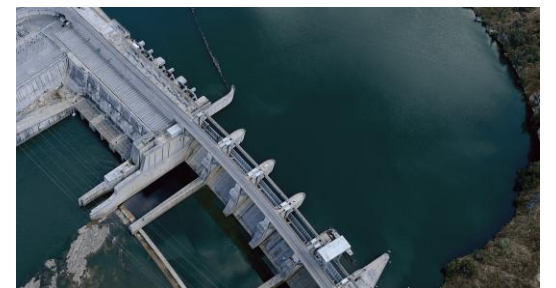
**Stefan Pröll**, Mechanical Research Engineer

**Wurm Erich**, Principal Engineer Axial Engineering

- EU-gefördertes Forschungs- und Innovationsprojekt zur Modernisierung bestehender Wasserkraftwerke.
- Fokus auf Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Flexibilität im europäischen Energiesystem.
- Bestehende Anlagen aus den 1960er–1980er Jahren werden modernisiert und nachgerüstet.
- Einsatz von Demonstrationsstandorten als reale Testumgebungen.

## Projektpartner

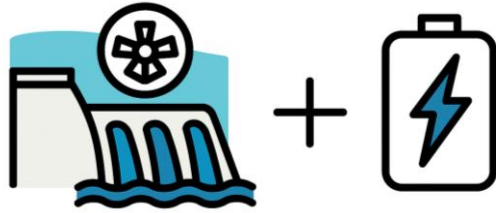
- 22 Partner aus 7 europäischen Ländern
- Partner aus:
  - Wasserkraftbetreiber – und hersteller
  - Forschungseinrichtungen und Universitäten
  - Suppliers
  - Verbände
- Projektkoordination: SINTEF Energy Research (Norwegen)



# ReHydro – Forschungs- und Innovationsschwerpunkte

- Hybridisierung mit Batteriespeichern
- Aalwanderung
- Digitalisierungswerkzeuge
- eDNA-Metabarcoding
- Sedimenterosions-Monitoring
- Erweiterte Regelung für drehzahlvariable Pumpspeicher
- Lebenszyklusanalyse (LCA) und Biodiversitäts-Fußabdruck
- Multi-Markt-Optimierungswerkzeuge

# Schwerpunkte von Andritz im ReHydro-Projekt



Eigene Darstellung

- Hybridisierung mit Batteriespeichern
  - Kombination von Wasserkraft und Batterien erhöht die Systemflexibilität im Strommarkt.

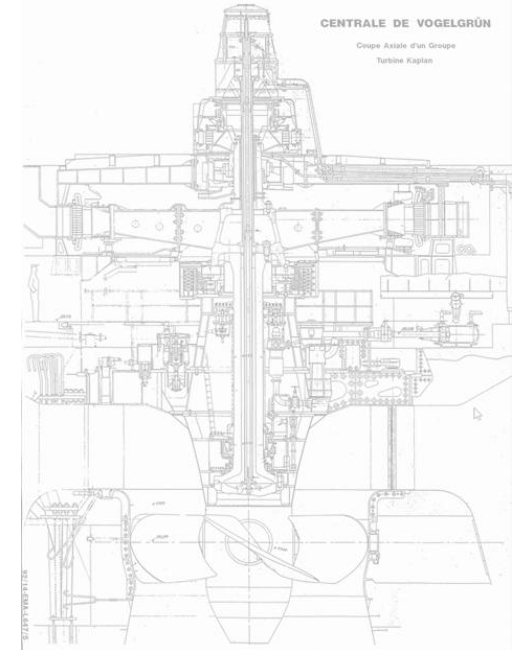


Eigene Darstellung

- Sediment-Monitoring
  - Moderne Überwachungskonzepte reduzieren Verschleiß und verlängern die Lebensdauer von Turbinen.

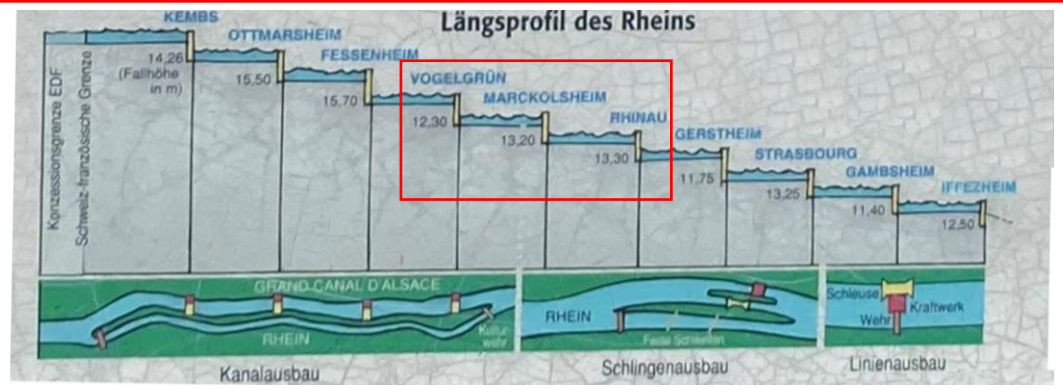

# Task 2.1 im ReHydro-Projekt

Die Aufgabe 2.1 im ReHydro-Projekt besteht darin, die Auswirkungen von Verschleiß und Ermüdung auf verschiedene Turbinengrößen zu analysieren und die optimale Auswahl der dafür geeigneten Batterie zu bestimmen.

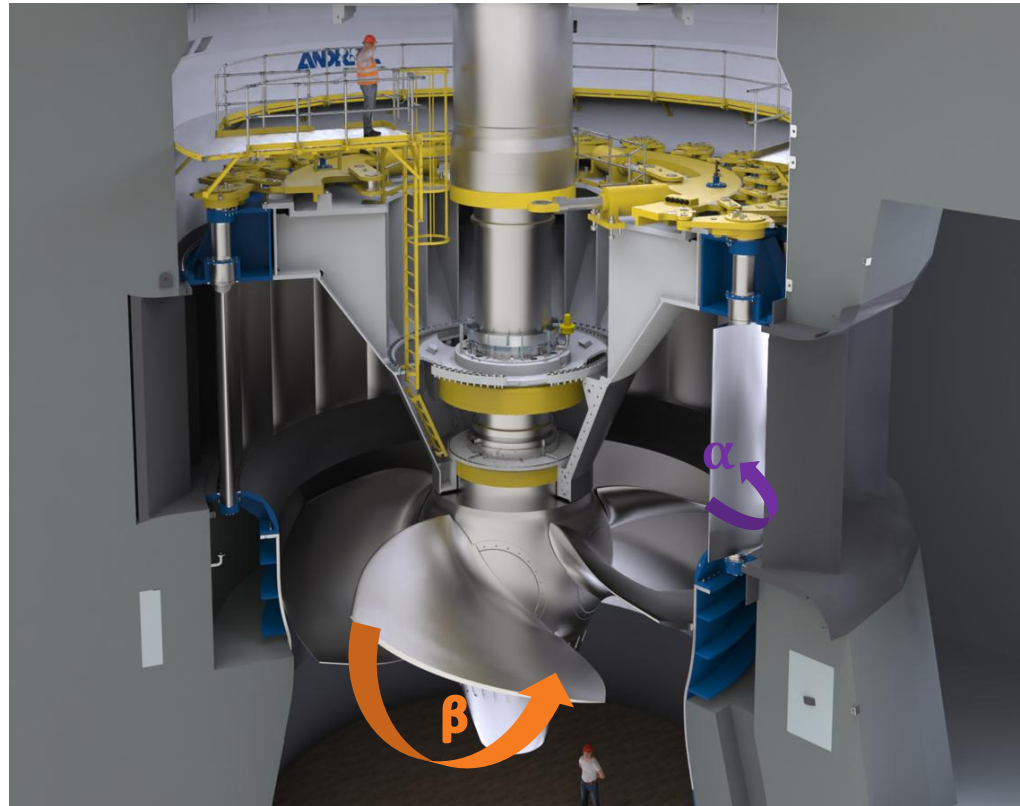


**Niederdruckmaschine** – existierende Maschinen – Vogelgruen, Markolsheim, Rhinau  
Fallhöhe 10 m  
Laufraddurchmesser 6.9 m  
Leistung 50 MW

**Virtuelle Hochdruckmaschine**  
Fallhöhe 40 m  
Laufraddurchmesser 8.6 m  
Leistung 180 MW

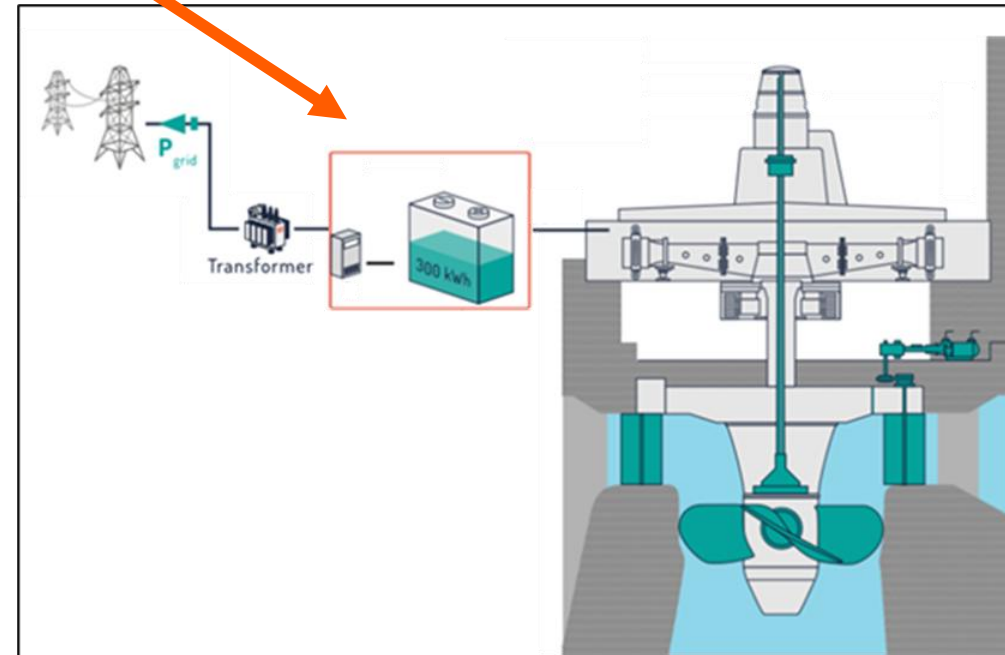


- Algorithmus zur optimalen Batteriegrößenbestimmung, um die Lebensdauer der Turbinenkomponenten zu erhöhen



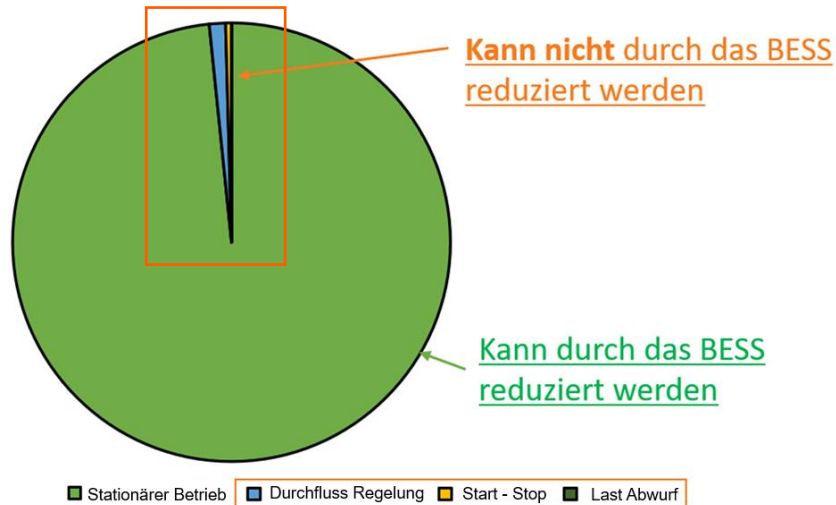
© ANDRITZ HYDRO

MW bzw. MWh?



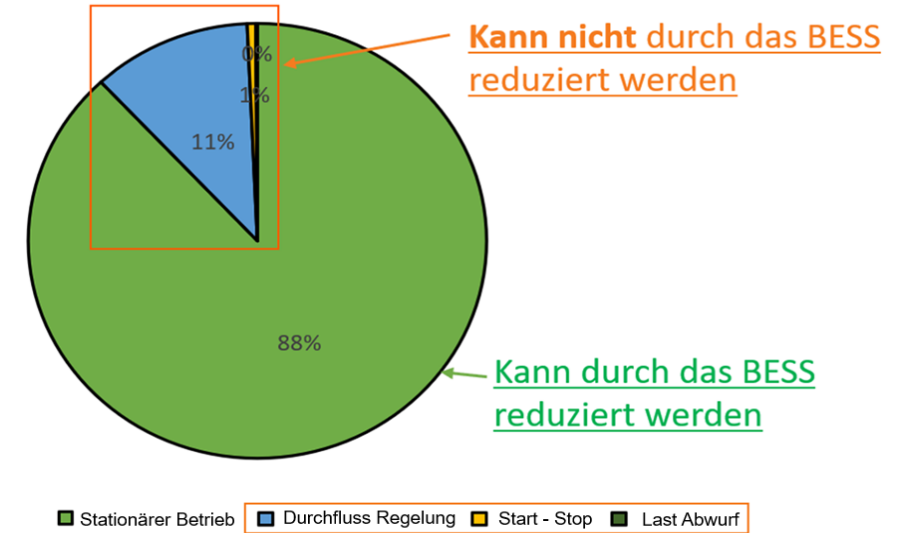
Xflexhydro.com

- Betriebsbedingungen, die Lastzyklen verursachen (Ermüdung)



- Start-Stopp-Vorgänge: ca. 960 Lastzyklen
- Durchflussregelung: ca. 486 700 Lastzyklen
- Lastabwürfe: ca. 360 Lastzyklen
- Stationärer Betrieb: ca.  $4,0 \times 10^7$  Lastzyklen

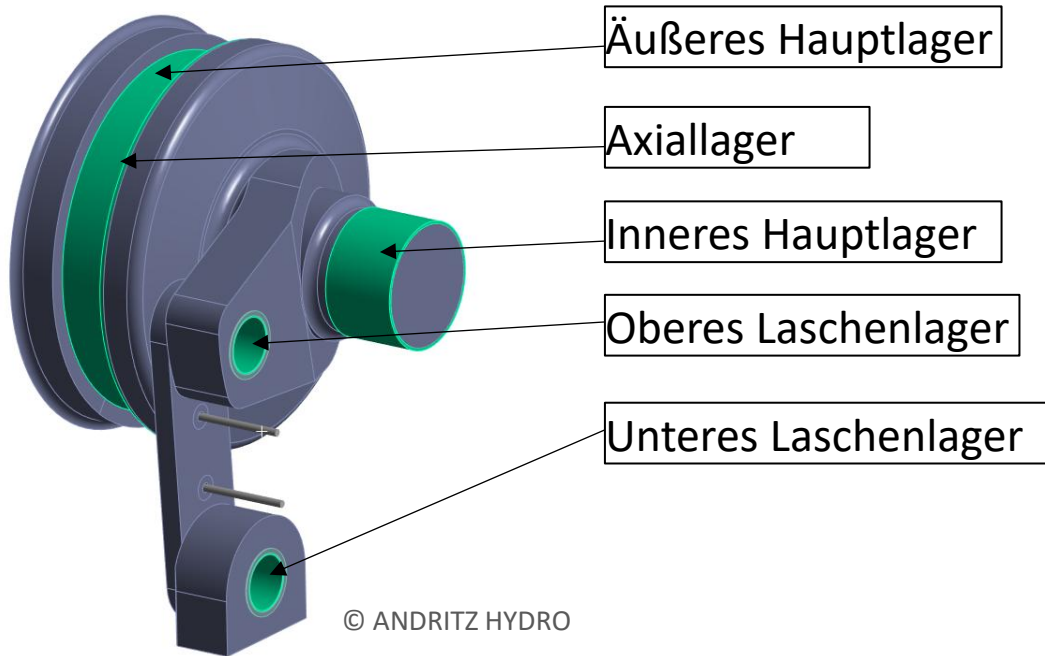
- Betriebsbedingungen, die Lagerverschleiß verursachen



- Start-Stopp-Vorgänge: 1%
- Durchflussregelung: 11%
- Lastabwürfe : >1%
- Stationärer Betrieb: 88%

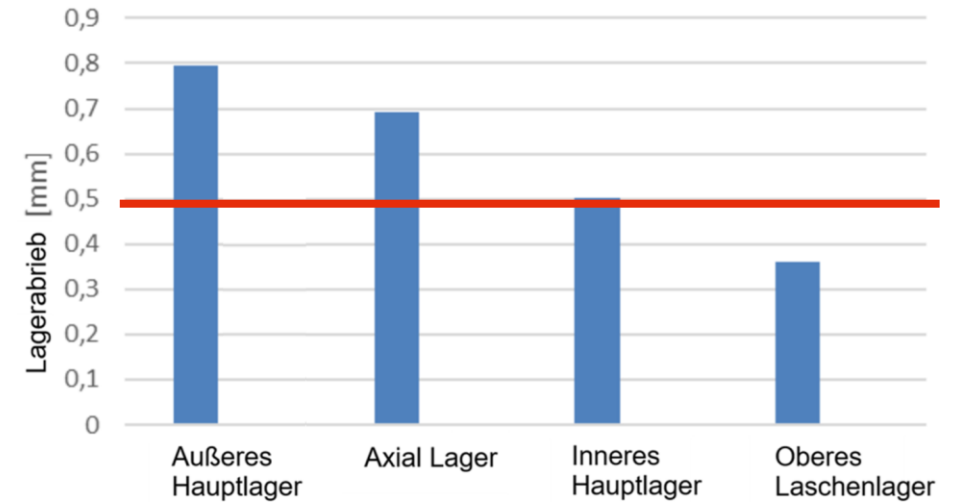
# Verschleiß der Laufradkomponenten

## ARCHARD – Wear - FEM – Modell



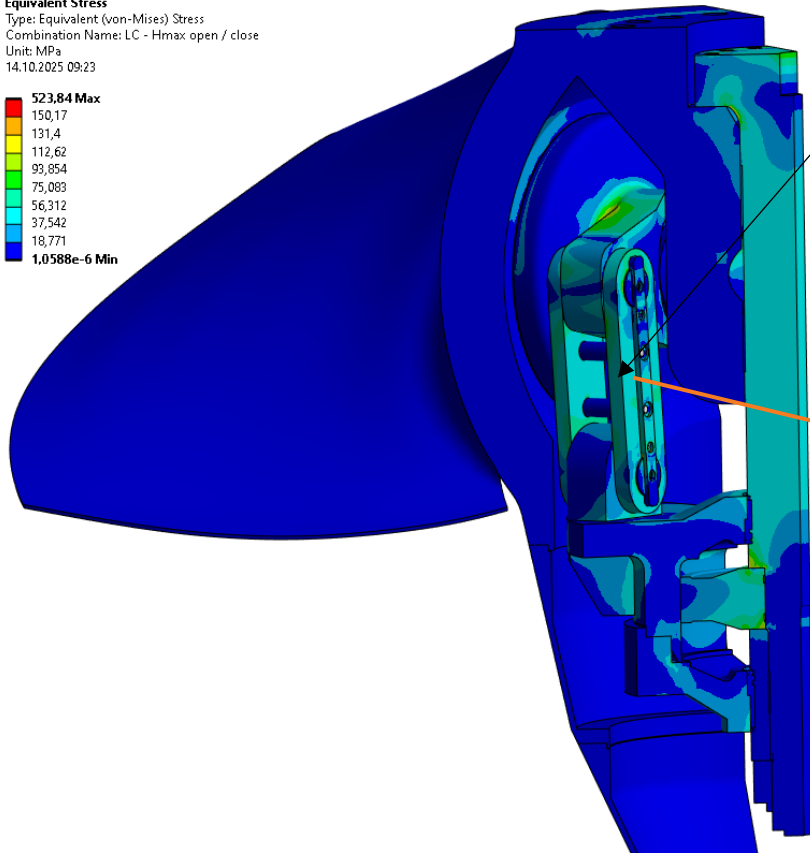
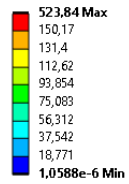
Verwendete Lager-  
materialeigenschaften: Bronze  
Dichte =  $8000\text{kg/m}^3$   
E-Modul =  $100.000\text{MPa}$   
Reibungskoeffizient =  $0,13$

Lagerabrieb für Hrated BP

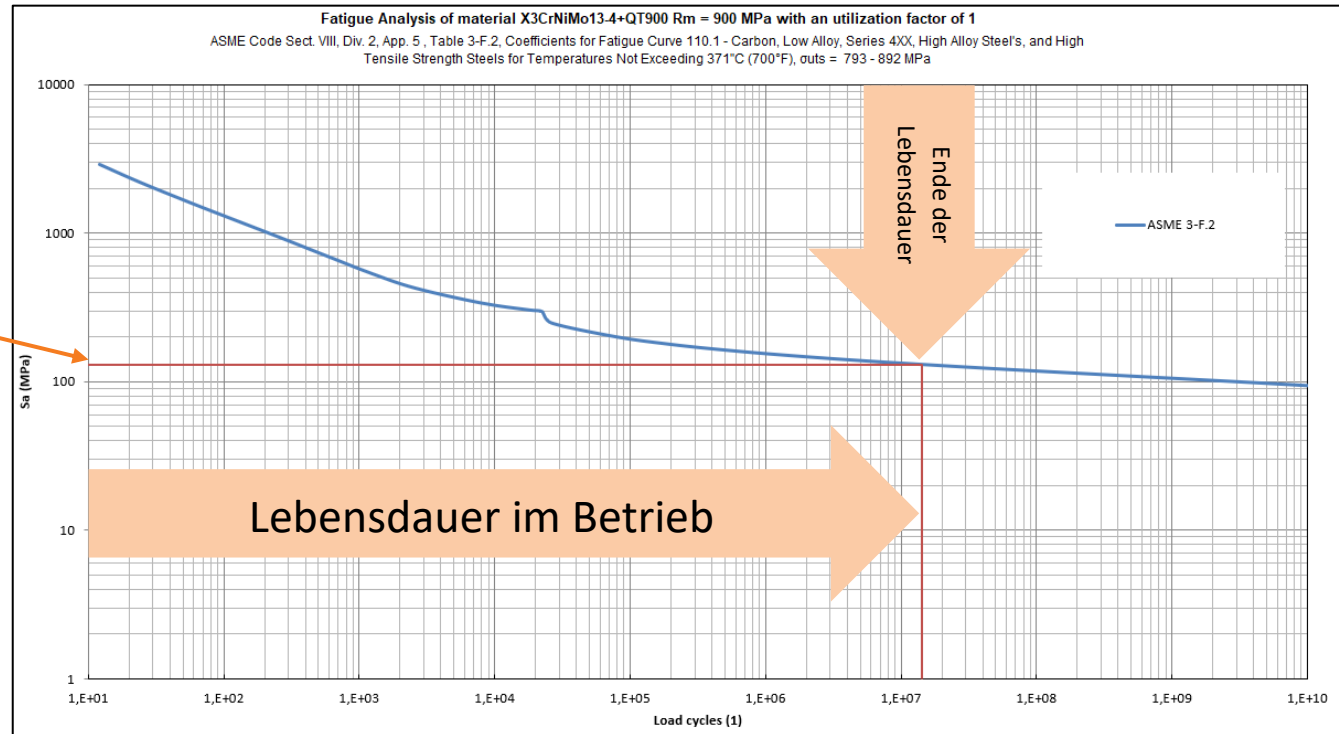


## FEM – Analyse der Ermüdungsspannungen in exponierten Bauteilen

Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Combination Name: LC - Hmax open / close  
Unit: MPa  
14.10.2025 09:23



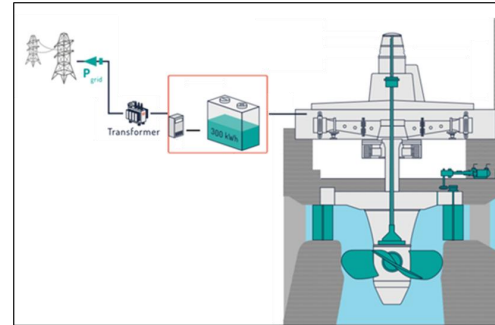
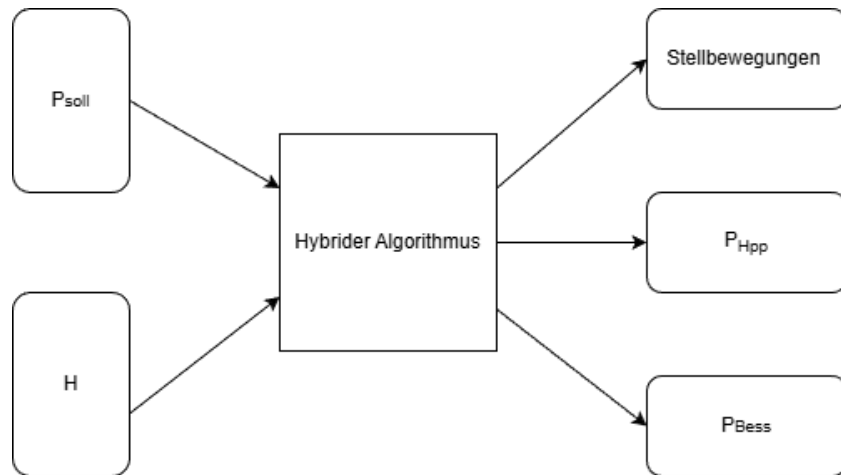
Innere/äußere Lasche



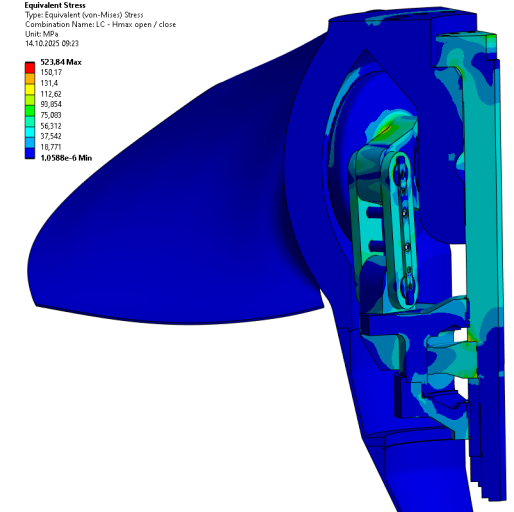
©ANDRITZ HYDRO

# Übersicht System für Analyse

- Teil 1: Algorithmus mit Ausgangsgrößen der Stellbewegungen

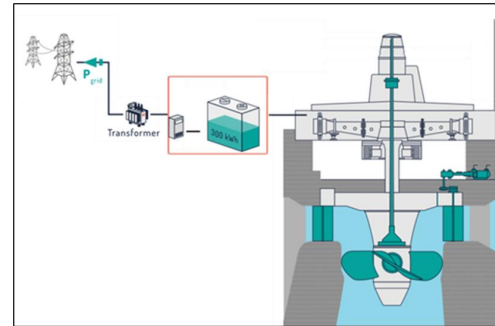
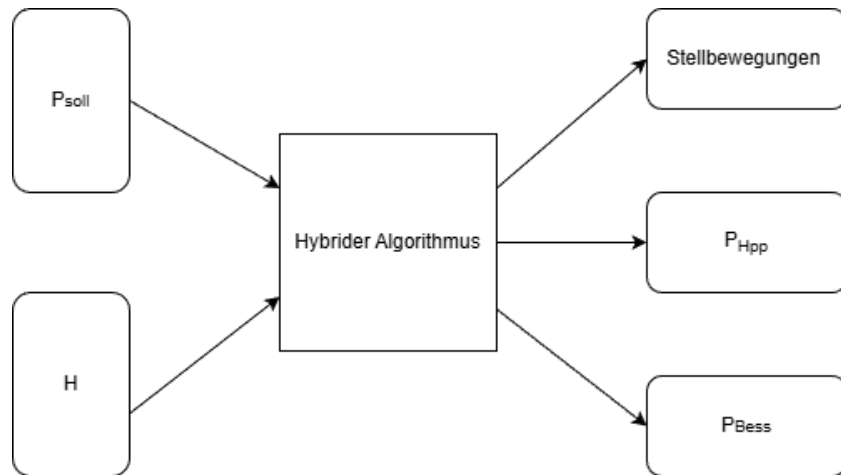


- Teil 2: FEM – Modell und Analyse Verschleiß und Ermüdung

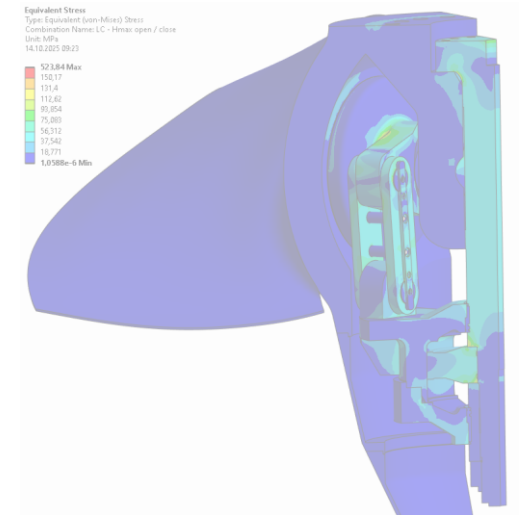


# Übersicht System für Analyse

- Teil 1: Algorithmus mit Ausgangsgrößen der Stellbewegungen

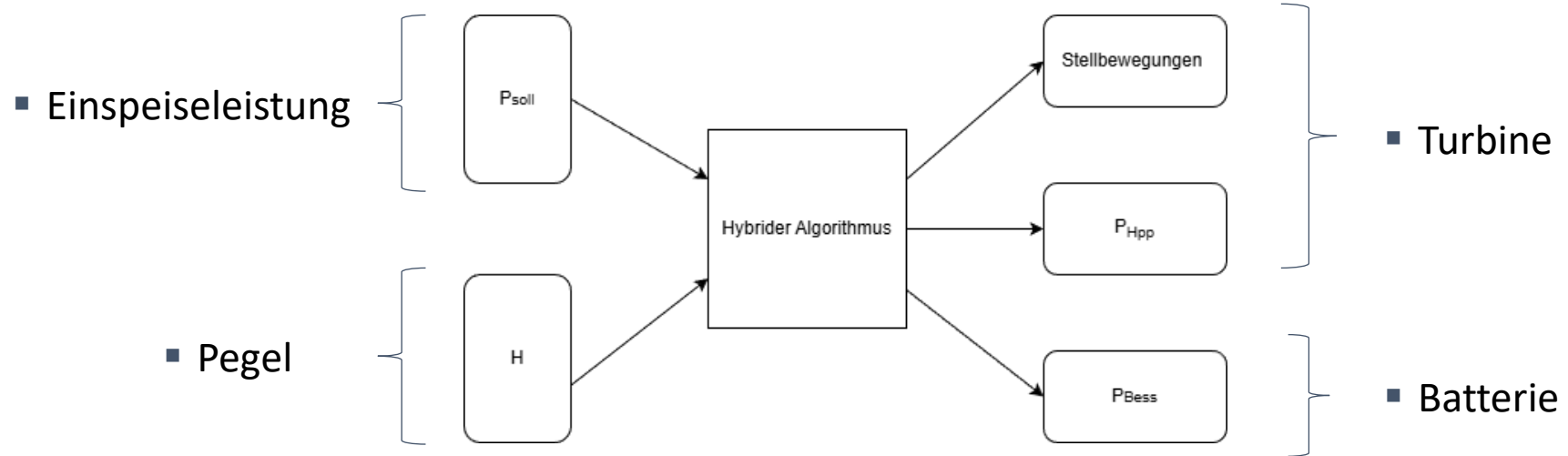


- Teil 2: FEM – Modell und Analyse Verschleiß und Ermüdung



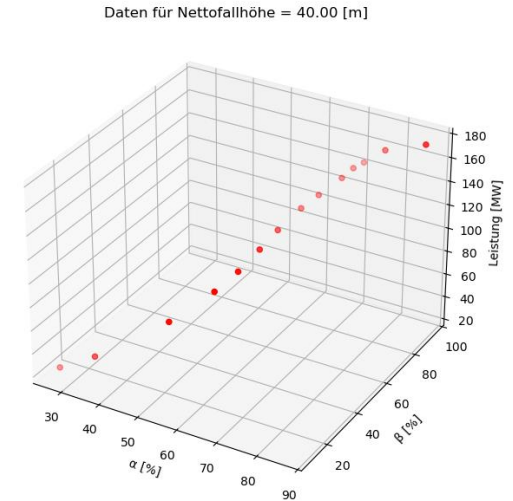
# Entwicklung des Hybriden Algorithmus

- 1.Schritt: Modell für Turbine und Batterie
- 2.Schritt: Hybrider Algorithmus
- 3.Schritt: Bestimmung Batteriegröße
- 4.Schritt: Beurteilung der Lebensdauersteigerung der Komponenten



- Modell Turbine
  - Cam - Daten von Turbine vorhanden (Betrieb mit bester Effizienz)
  - Turbinenmodell: empirische Formel
  - Parametiert mit  $s \in [0,1]$ , Umrechnung auf Stellgrößen  $\alpha$  und  $\beta$

$$P_{\text{turb}}(s) = a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0$$



- Modell Ladezustand [1] BESS (Battery Energy Storage System) mit angenommenen Wirkungsgrad  $\eta = 0.95\%$  (Entladen und Laden) und 1 C-Rate (1C bedeutet, dass die Batterie in einer Stunde vollständig geladen oder entladen werden kann)

$$SOC(P_{Bess}) = \begin{cases} P_{Bess} \cdot \eta_{\text{laden}} \cdot 1/dt, & P_{Bess} < 0 \\ P_{Bess}/\eta_{\text{entladen}} \cdot 1/dt, & P_{Bess} \geq 0 \end{cases}$$

- Optimierungsproblem (1) mit geforderter Einspeiseleistung  $P_{\text{soll}}$
- Minimierung Änderung der Stellbewegung  $\Delta\beta$ ,  $\Delta\alpha$  und Vorzeichenwechsel  $\text{sgnc}(\beta)$ ,  $\text{sgnc}(\alpha)$ ,
- mit Gewichtungsfaktoren  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_{\text{sgn2}}$ ,  $\omega_{\text{sgn1}}$
- unter den Nebenbedingungen (u.d.N) (2), (3), (4), (5), (6)

$$\begin{aligned} \underset{P_{\text{Hpp}}, P_{\text{Bess}}}{\text{minimize}} \quad & ||P_{\text{soll}} - P_{\text{Hpp}} - P_{\text{Bess}}|| + \omega_1 |\Delta\alpha| + \omega_2 |\Delta\beta| \\ & + \omega_{\text{sgn2}} \text{sgnc}(\beta) + \omega_{\text{sgn1}} \text{sgnc}(\alpha) \end{aligned} \quad (1)$$

u.d.N:

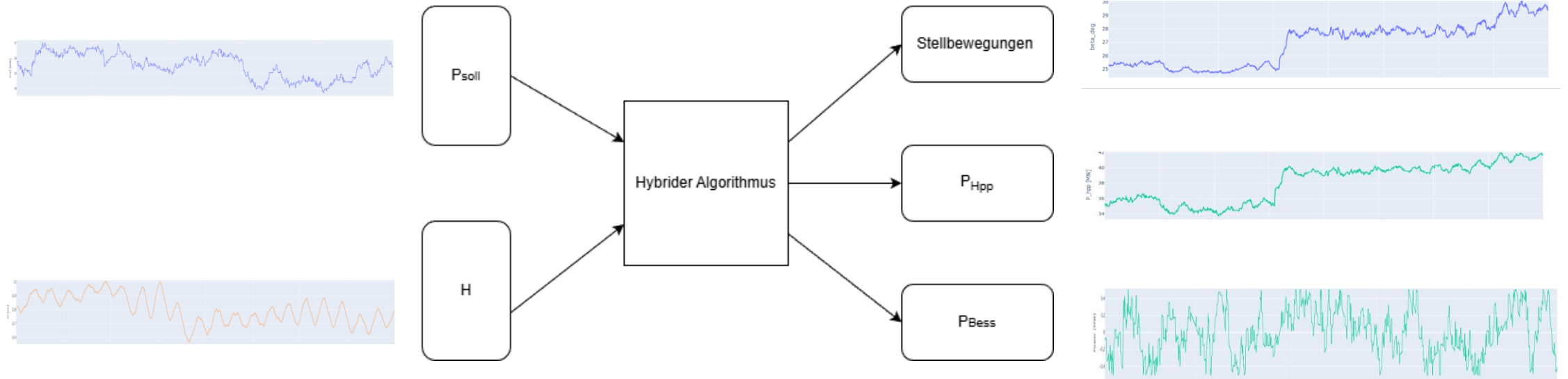
$$\text{SOC}_{\text{min}} \leq \text{SOC} \leq \text{SOC}_{\text{max}} \quad (2)$$

$$P_{\text{Bess}} \leq P_{\text{dis}} \quad (3)$$

$$P_{\text{Bess}} \leq P_{\text{ch}}, \quad (4)$$

$$|\alpha - \alpha_{t-1}| \leq \text{rateLim}\alpha \quad (5)$$

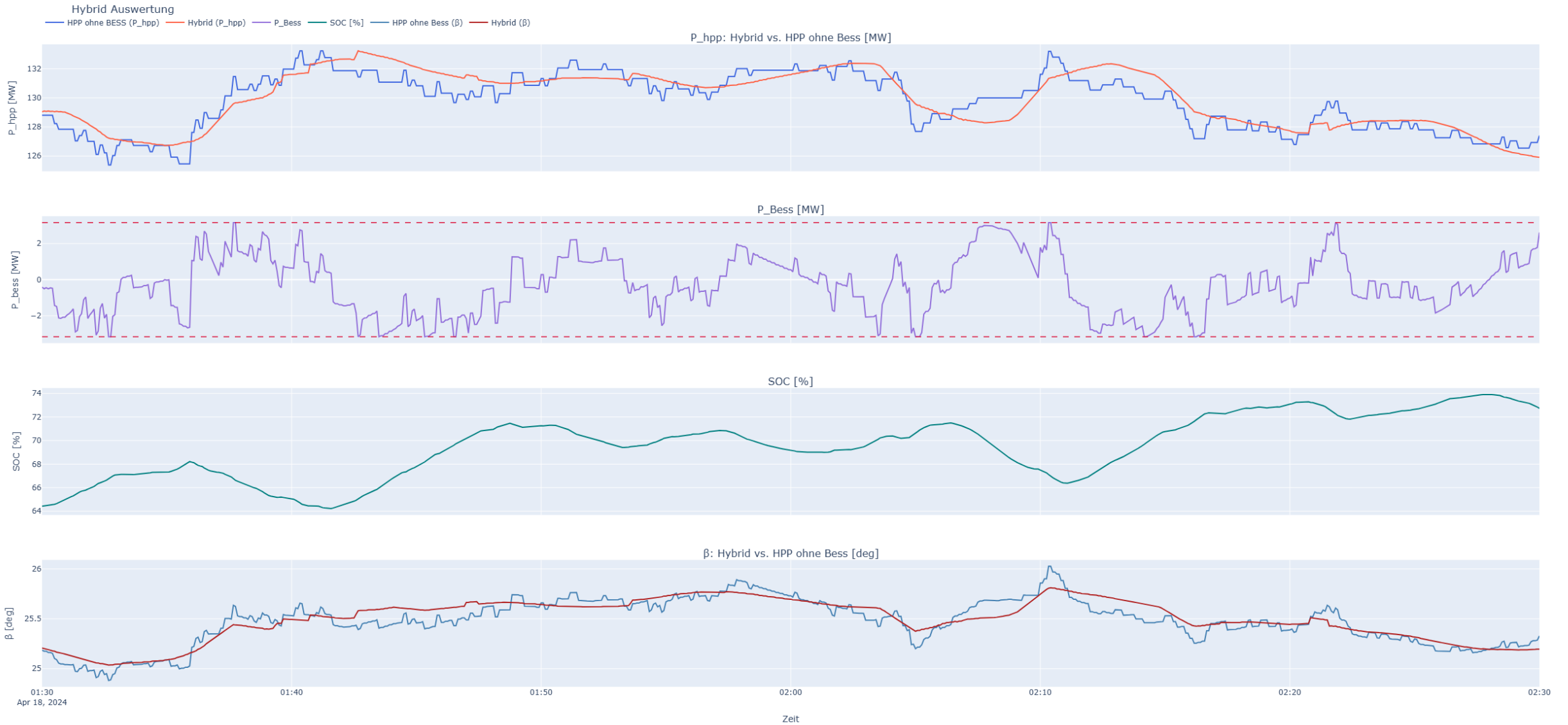
$$|\beta - \beta_{t-1}| \leq \text{rateLim}\beta \quad (6)$$



- Konstante Parameter für Simulation:
  - BESS-Größe
  - Turbinendaten
  - 5-Sekunden-Zeitintervall

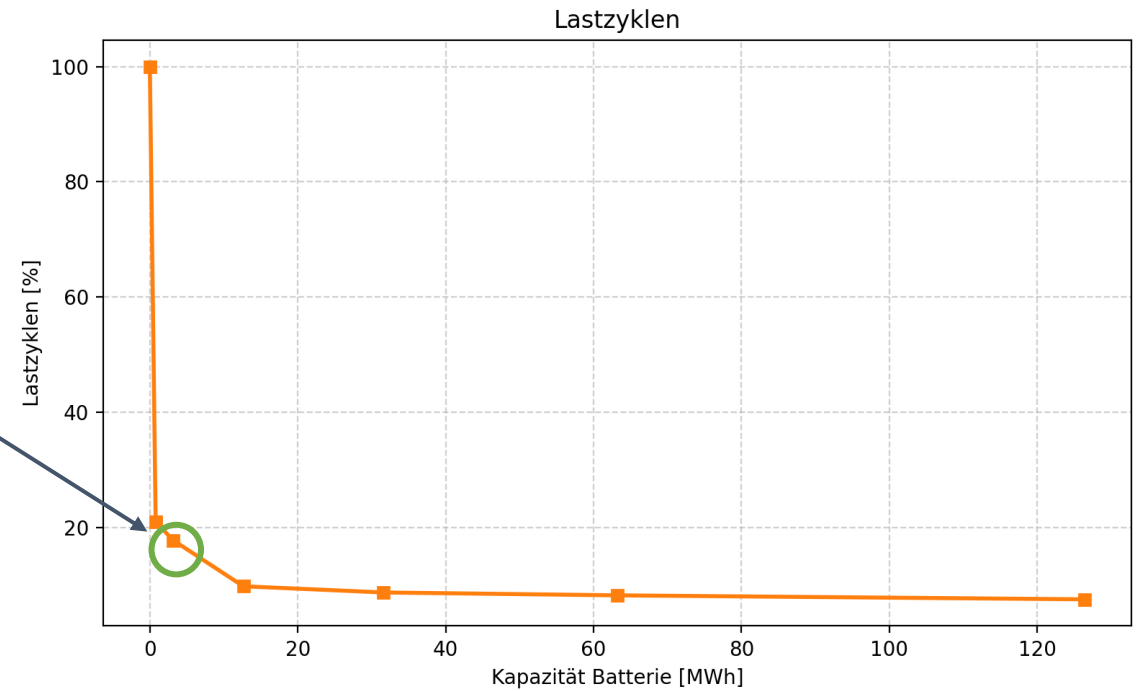
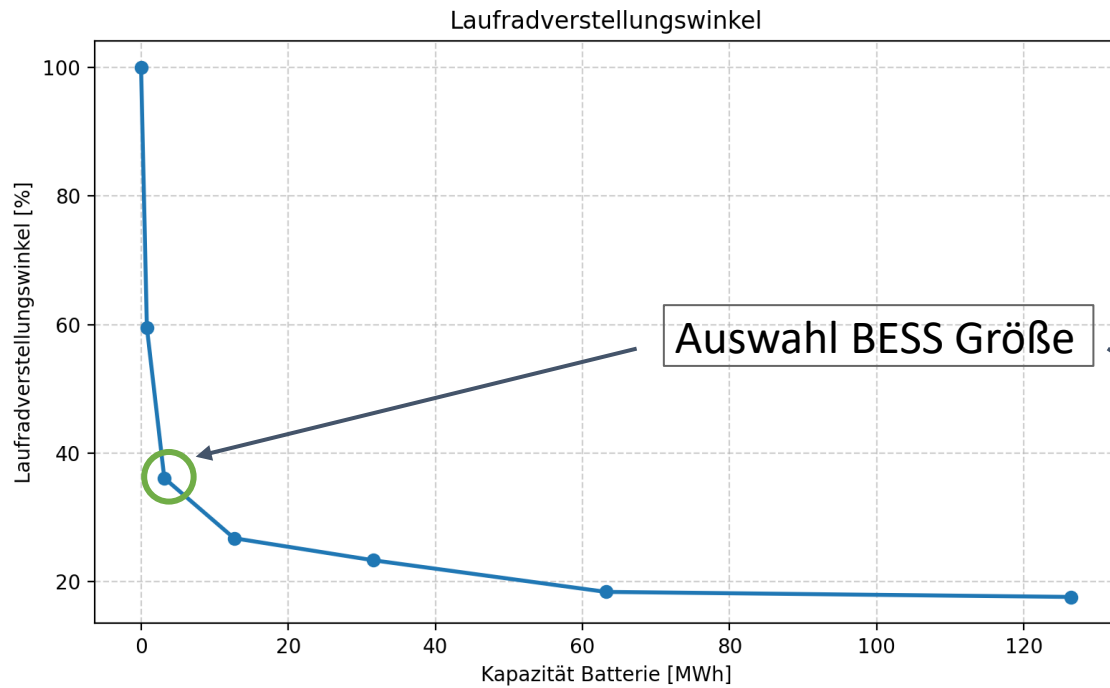
- Annahmen
  - Tag im April
  - Offline Simulation
  - Prädiktionshorizont

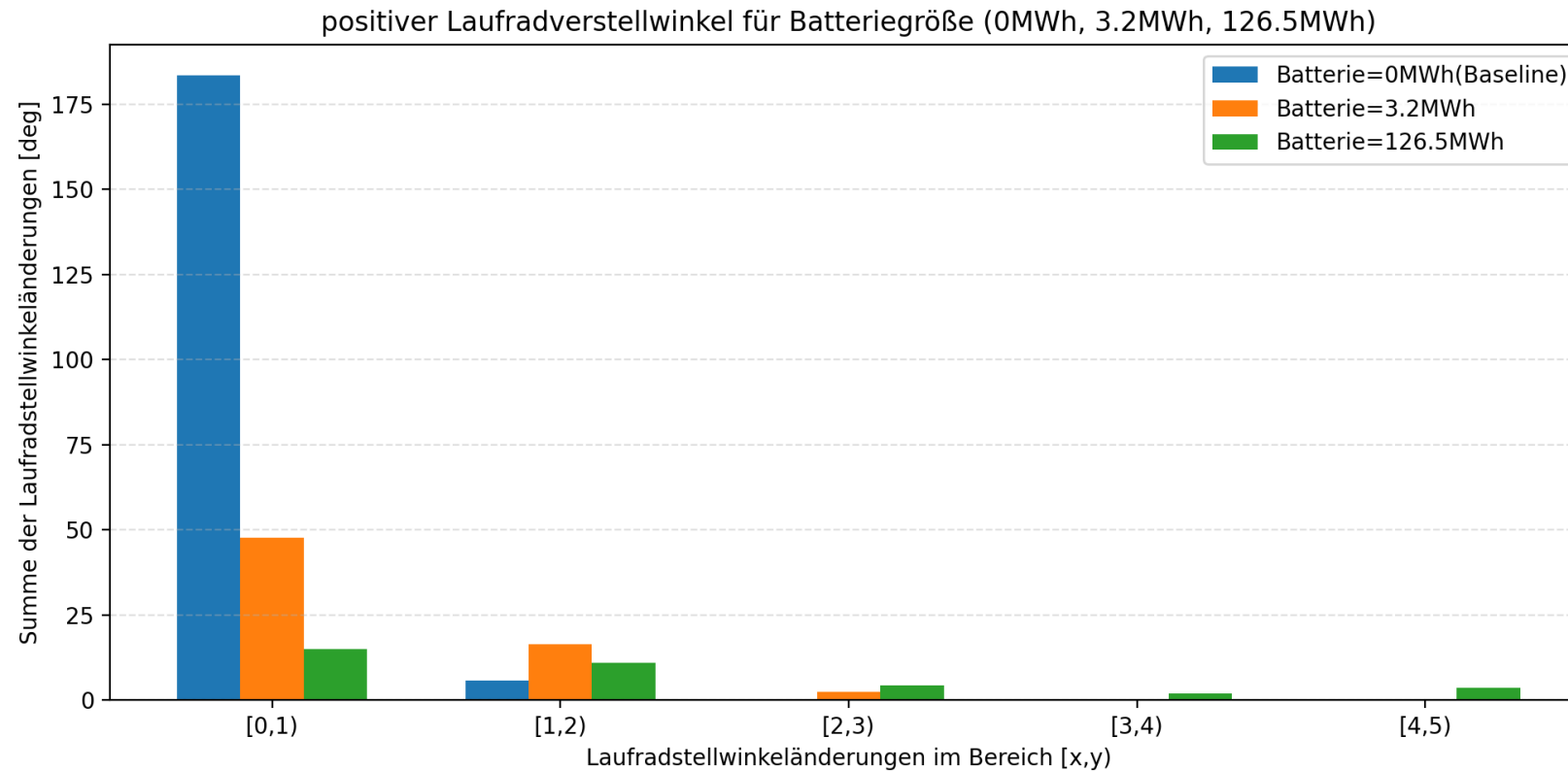
# Ergebnis Algorithmus



- Beziehung zwischen Rotationswinkel der Laufschaufeln und Batteriegröße → Verschleiß

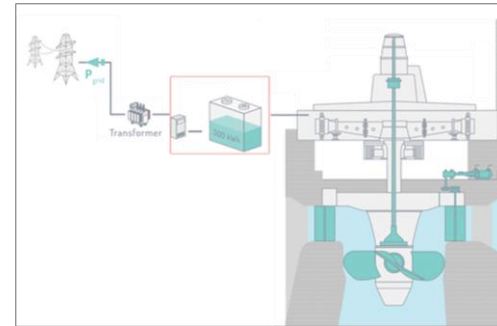
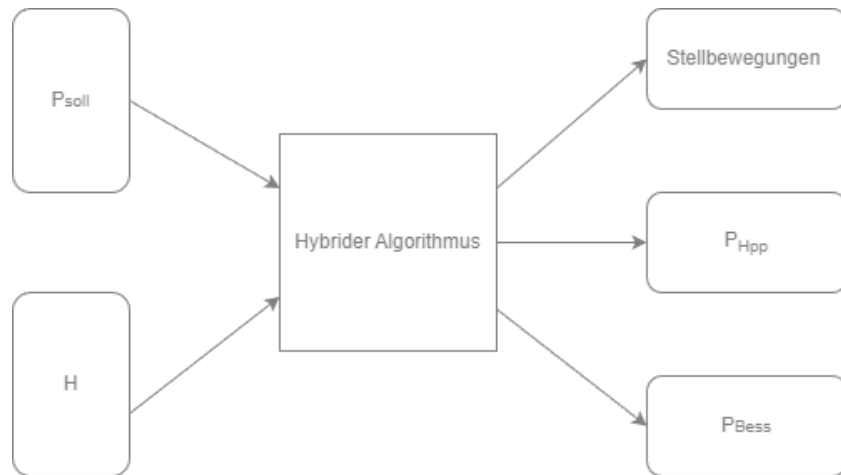
- Beziehung zwischen Gesamtzahl der Lastwechsel (Zyklen) und Batteriegröße → Ermüdung





# Übersicht System für Analyse

- Teil 1: Algorithmus mit Ausgangsgrößen der Stellbewegungen

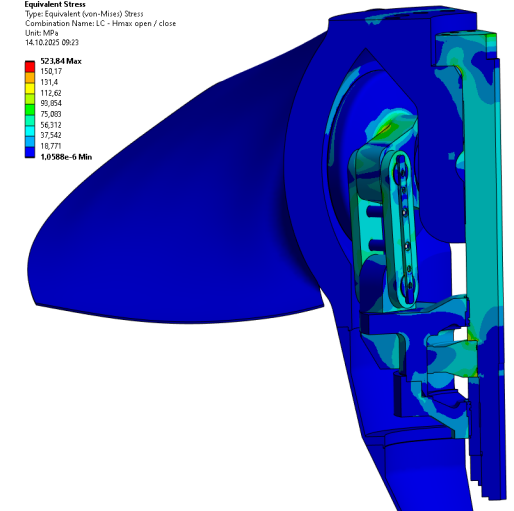


- Teil 2: FEM – Modell und Analyse Verschleiß und Ermüdung



Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Combination Name: LC - Minus open / close  
Unit: MPa  
Date: 14.10.2015 09:23

523.84 Max
150.17
131.4
112.62
95.854
75.003
56.312
37.542
18.771
1.01986e-6 Min



# Verschleiß und Ermüdung bewerten

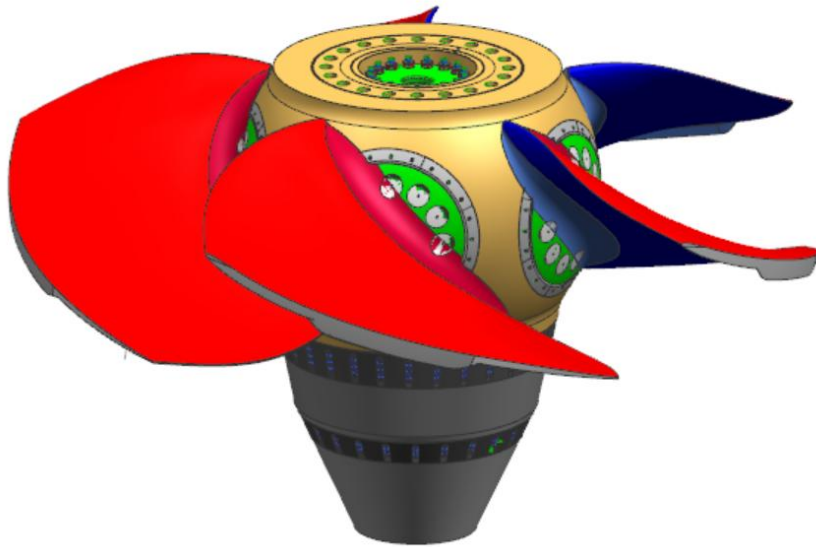
CAD – Modell der Turbine



FEM – Model

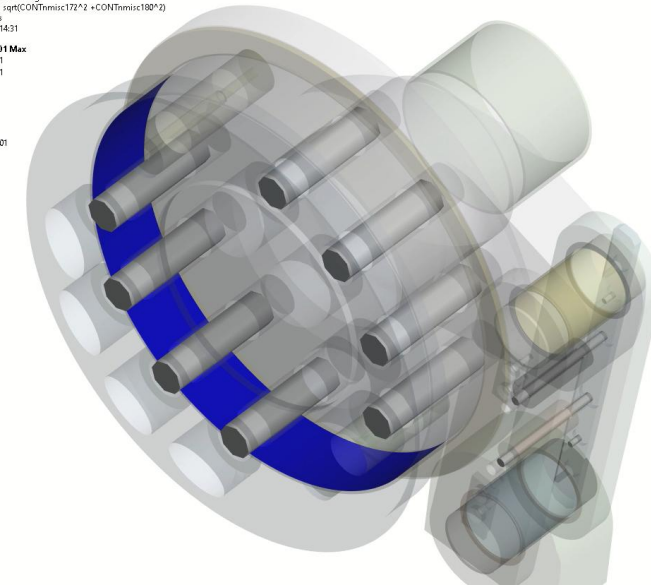


ARCHARD – WEAR



C: SUBM OP88 Hmax EXC V-Machine Bronze  
WEAR - outer bearing  
Expression:  $\text{sprt}(\text{CON}T_{\text{mic}}172^{\circ}2 + \text{CON}T_{\text{mic}}180^{\circ}2)$   
Time: 2,01 s  
21.10.2025 14:31

Color	Value
Red	0,53101 Max
Orange	0,47201
Yellow	0,41301
Light Green	0,354
Green	0,295
Light Blue	0,236
Blue	0,177
Dark Blue	0,118
Black	0,059001 Min



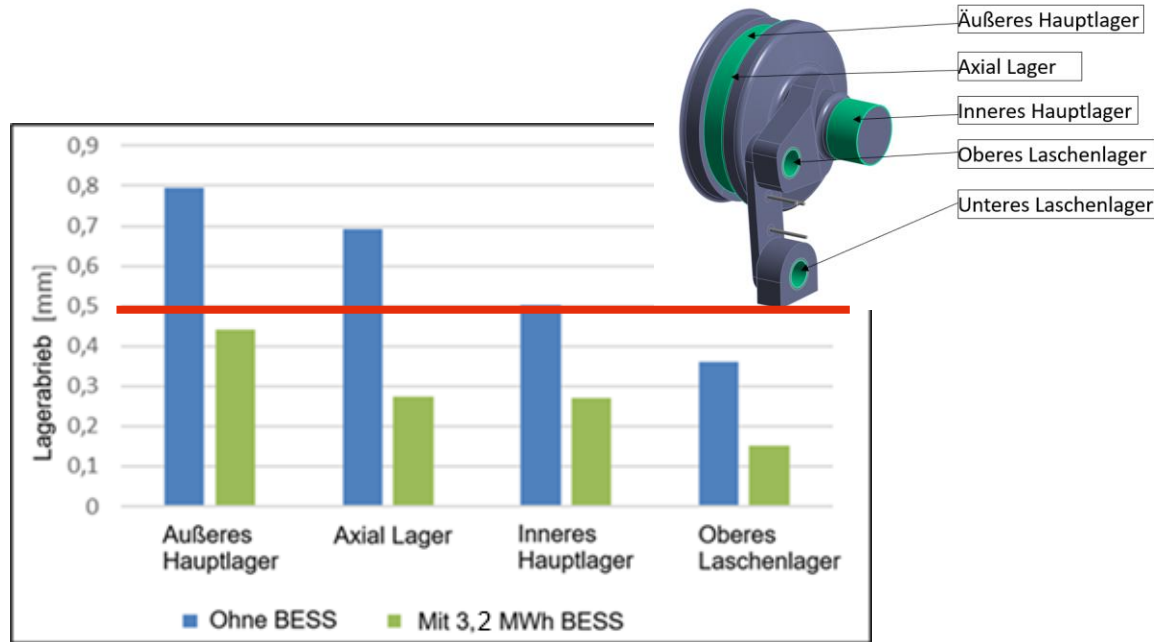
©ANDRITZ HYDRO

- Virtuelle Hochdruckmaschine
- Fallhöhe 40 m
- Laufraddurchmesser 8.6 m

# Virtuelle Hochdruckmaschine

- Basierend auf 9.000.000 Lastwechsel in 40 Jahren für kleine Reglierbewegungen und 1.000.000 Lastwechsel in **40 Jahren** für große Regulierungsbewegungen

- FEM – Modell zur Ermüdungsspannungsanalyse von exponierten Bauteilen mit 3.2MWh Batterie



### Bauteile

- Kolben Stange- P420QH
- Kurbel - GX4CrNi13-4+QT1
- Oberer Kuppelbolzen - X3CrNiMo13-4+QT780
- Innere- äußere Lasche - X3CrNiMo13-4+QT900**
- Unterer Kuppelbolzen - X3CrNiMo13-4+QT780
- Servo Gehäuse- G20Mn5+QT
- Kolben - S355J2G3+N
- Zylinderdeckel- G20Mn5+QT

**> 7x Lebensdauer**

**Bereits ein kleines BESS-System ist in der Lage, den Verschleiß und die Ermüdung durch die Reduktion kleiner Stellbewegungen signifikant zu verringern.**

**Für ältere Turbinen, die nicht für hohe Regelzyklen (z. B. im Rahmen der Frequenzregelung) ausgelegt wurden, stellt die Hybridisierung eine wirkungsvolle Möglichkeit dar, die Betriebsdauer bzw. Service-Life der Komponenten deutlich zu verlängern.**

