

LEITUNGSSTEIGERUNG BEI GLEICHZEITIGER ERHÖHUNG DER FLEXIBILITÄT BEI SPEICHERKRAFTWERKEN DURCH GEZIELTE DRUCKSTOSSSIMULATION

Stefan Höller, Helmut Jaberg

Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen

Technische Universität Graz

Graz, 15. Februar 2018

EnInnov2018

15. Symposium Energieinnovation | 14.02.–16.02.2018

Einleitung

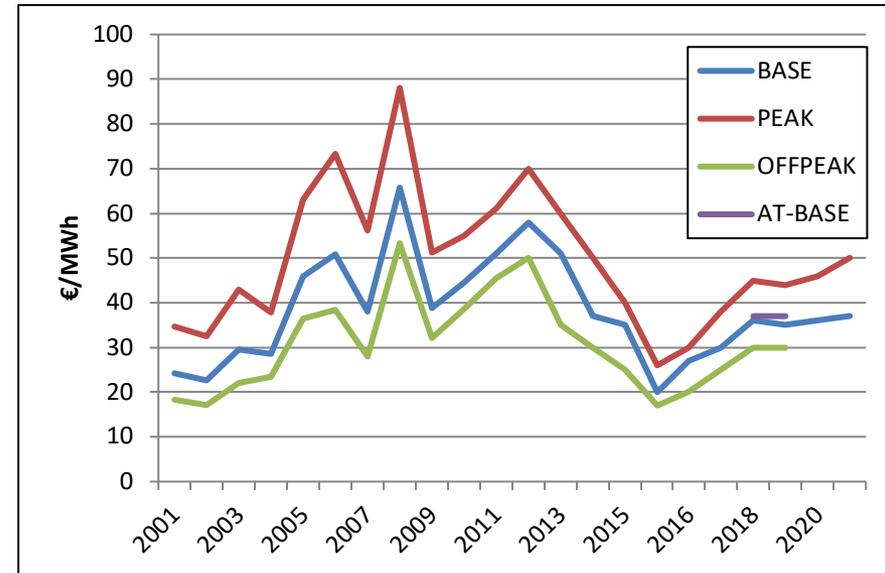
- fallende Energiepreise, dzt. leichte Erholung
- hohe Volatilität in Übertragungsnetzen durch Einspeisecharakteristik von erneuerbaren Energien auch bei hoher Prognosegenauigkeit
- Große Nachfrage an Netzdienstleistungen wie Frequenz- oder Leistungsregelung

Die Presse vom 26.01.2018:

Die Presse

Österreich nähert sich dem Blackout

- Chancen für bestehende Speicherkraftwerke durch erhöhte Flexibilität der Anlagen



Quelle: EEX

Druckstoß

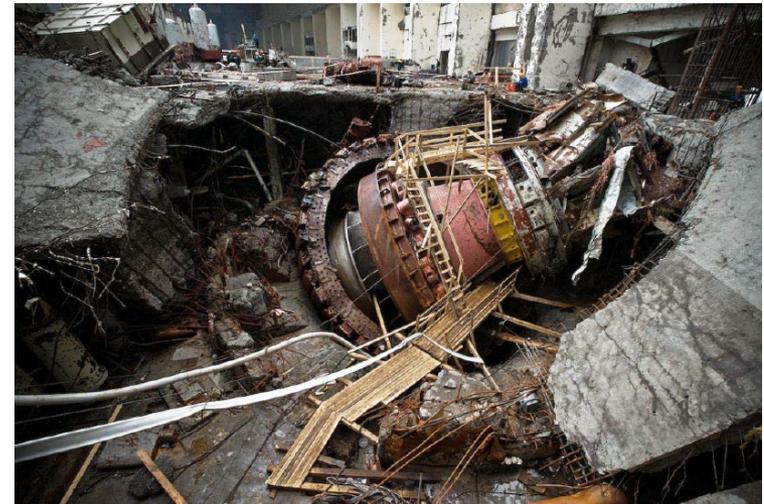
Starker, plötzlicher Anstieg des Innendrucks in einer Rohrleitung aufgrund schlagartiger, spontaner Verzögerung der Strömungsgeschwindigkeit.

Dieser Druckanstieg kann im Katastrophenfall zum Bersten der Rohrleitung führen.

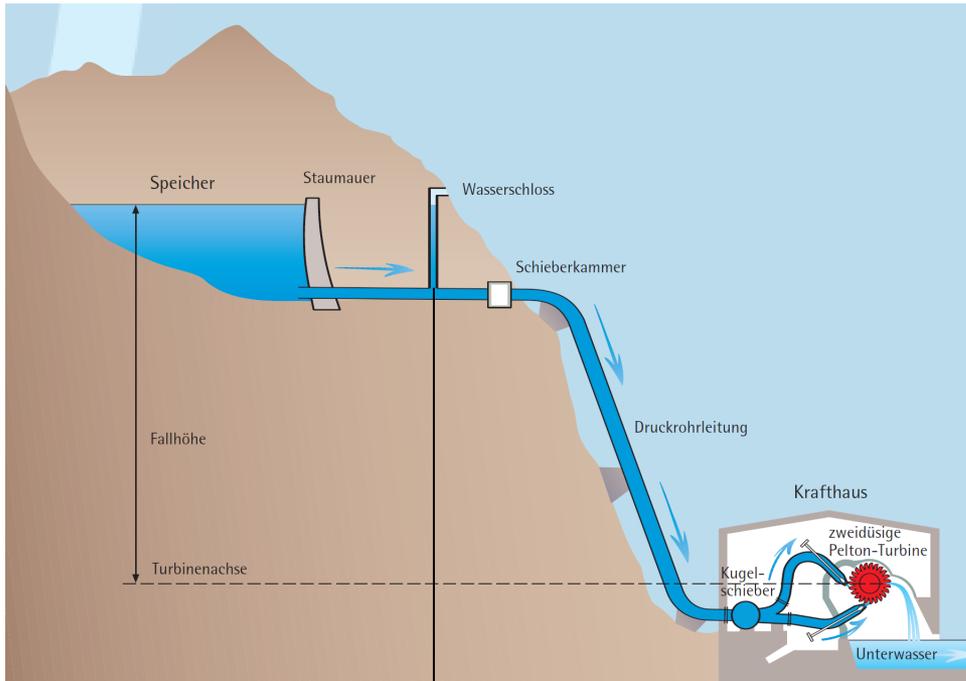
Mit Druckstoßberechnung können Gefahren identifiziert und Gegenmaßnahmen ergriffen werden, damit die Katastrophe gar nicht erst eintritt.



Bruch einer Druckrohrleitung, Argentinien

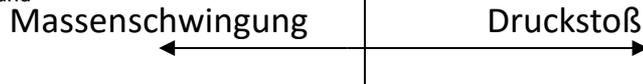


Havarie in russischem Kraftwerk Sayano-Shushenskaya am 17.08.2009



- Hydraulische Trennung von Druckrohrleitung und Horizontalstollen
- Druckwelle wird bereits am Wasserschloss reflektiert
- Wasserschloss stellt Ausgleichsvolumen zur Verfügung
- Verbesserung der Regelung; flexiblerer Kraftwerksbetrieb

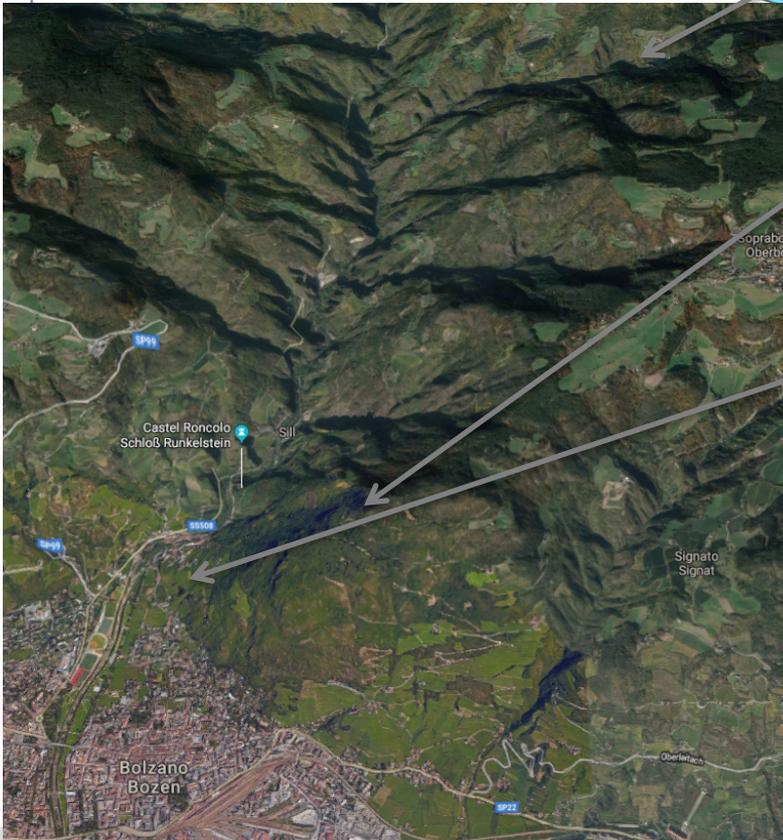
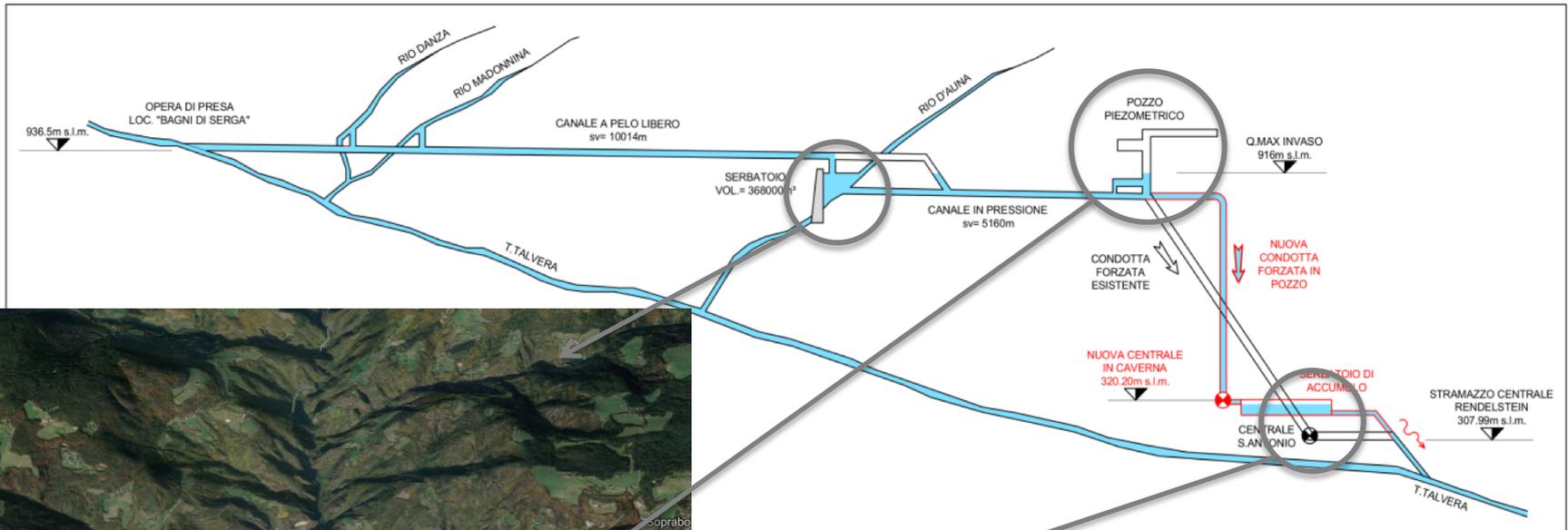
Quelle: Verbund



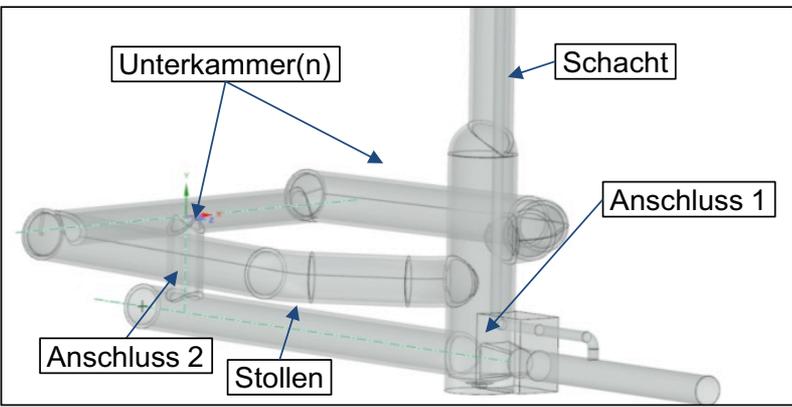
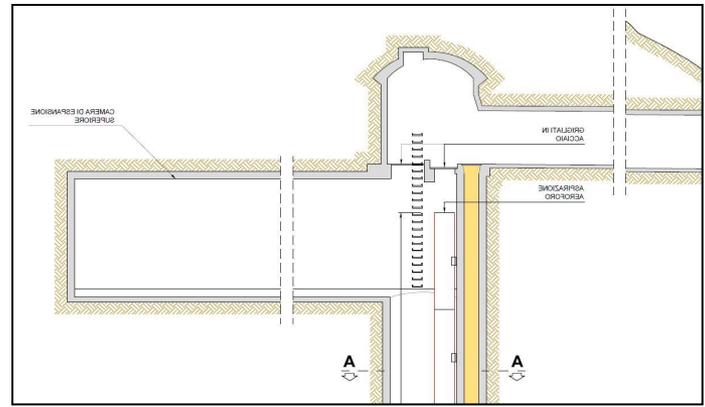
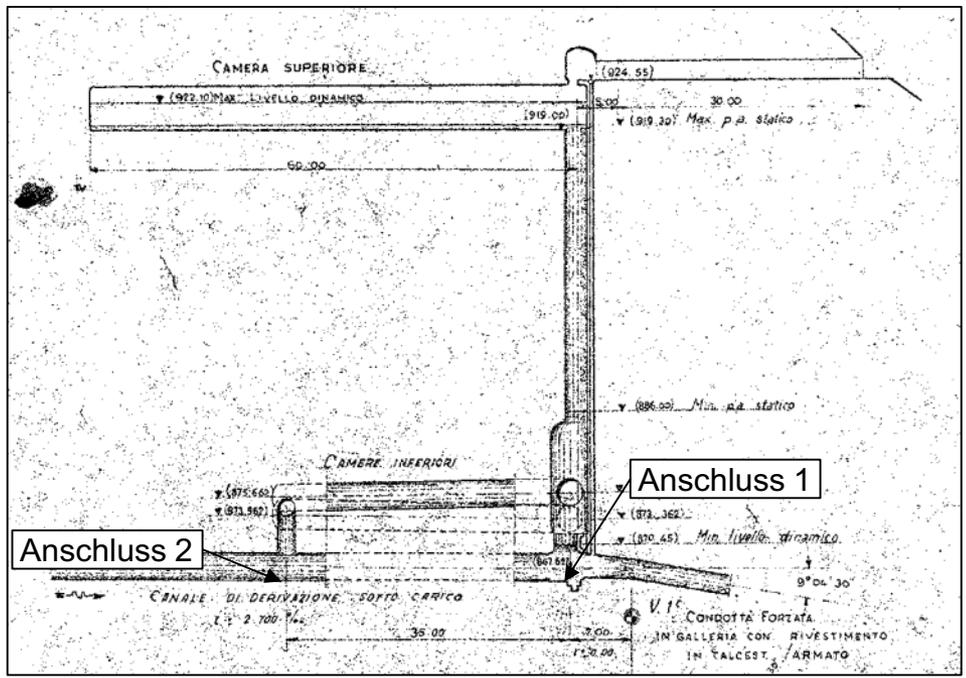
$$\frac{c_1^2}{2 \cdot g} + z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = \frac{c_2^2}{2 \cdot g} + z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + h_V + \frac{1}{g} \int_1^2 \frac{dc}{dt} ds \quad \longrightarrow \quad \Delta H = \frac{L}{g} \cdot \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{L}{g \cdot A} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Geschwindigkeitsänderungen \longrightarrow Druckschwankungen

Kontinuität: $A_1 \cdot c_1 = A_2 \cdot c_2$ + $A_{WS} \cdot \frac{\Delta z_{WS}}{\Delta t}$

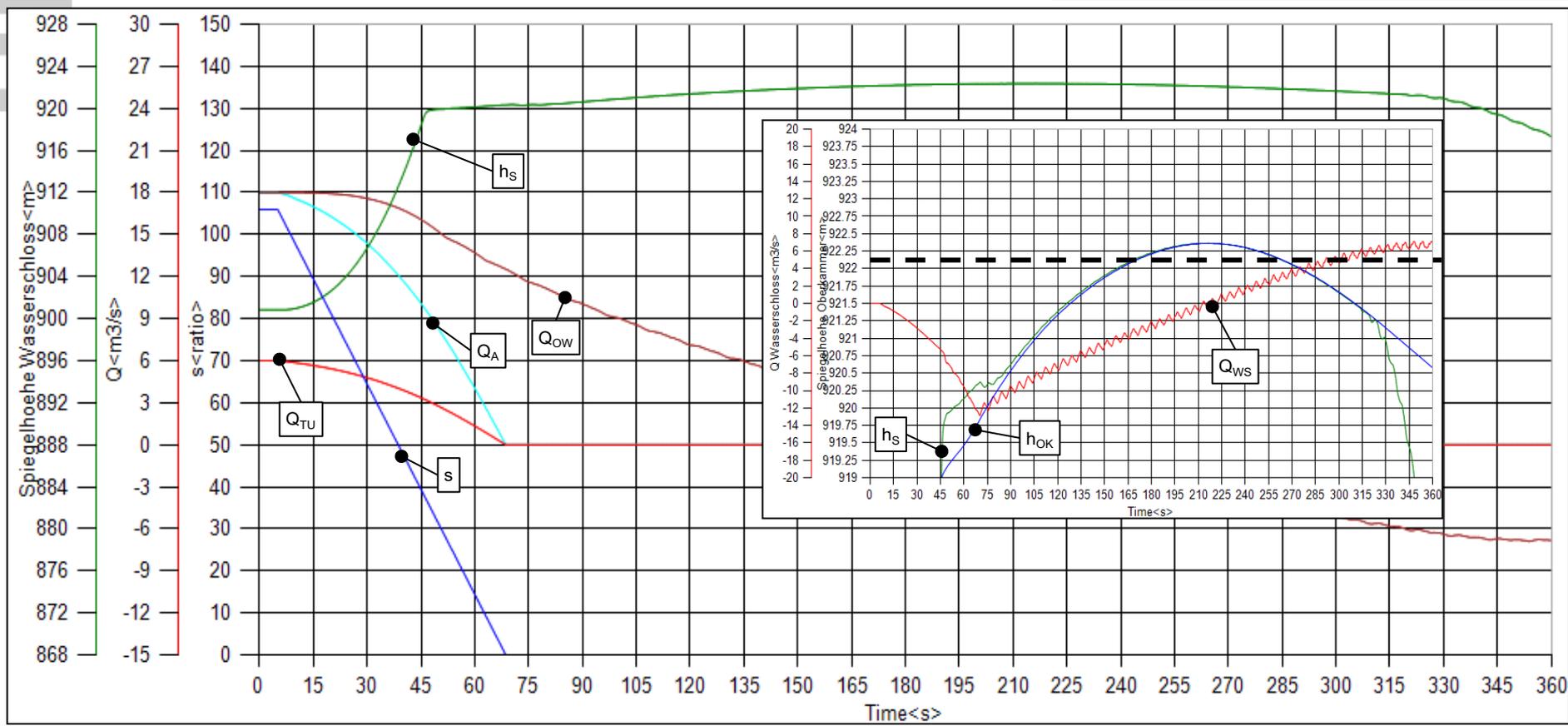


$H_{OW,max}$	$H_{OW,min}$	$H_{Maschine}$	$H_{brutto,max}$	$H_{brutto,min}$	$P_{max,IST}$
müNN	müNN	müNN	mWS	mWS	MW
916	890	320	596	570	70



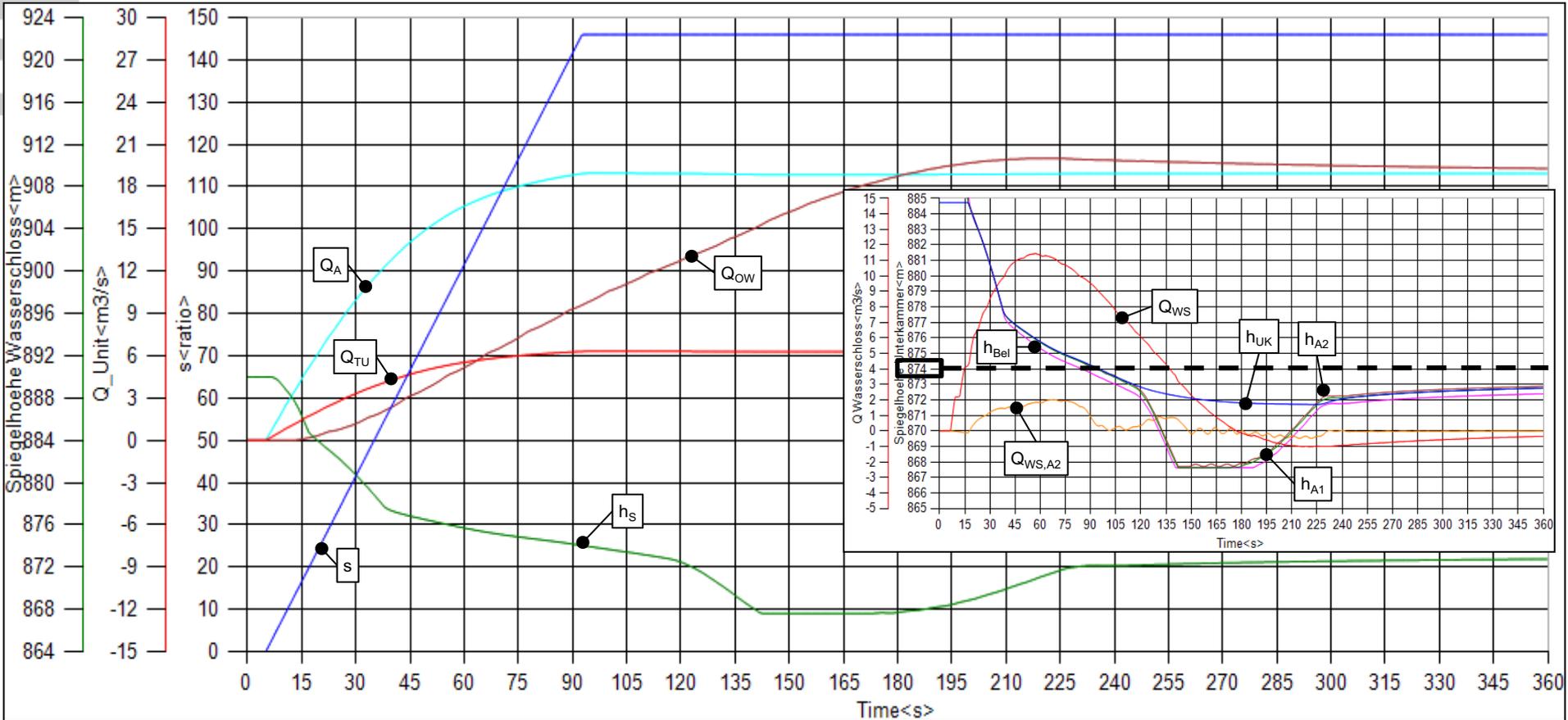
Simultanes Abstellen aller Turbinen bei maximalem Pegelstand im Speichersee; 130 % P_{IST} führt zu Überschreitung des maximal zulässigen Pegelstandes

- s ... Nadelhub der Pelton-Düsen
- h_s ... Spiegelhöhe im Wasserschloss-Schacht
- h_{OK} ... Spiegelhöhe in der Wasserschloss-Oberkammer
- Q_{TU} ... Durchfluss durch eine Turbine
- Q_A ... Durchfluss durch alle Turbinen
- Q_{OW} ... Ausfluss aus dem Speicher Wangen (- \triangleq Einströmen)
- Q_{WS} ... ges. Ausfluss aus dem Wasserschloss (- \triangleq Einströmen)



Simultanes Starten aller Turbinen bei minimalem Pegelstand im Speichersee;
 130 % P_{IST} führt zu einem Leersaugen des Wasserschlusses mit Lufteintrag in das Triebwassersystem

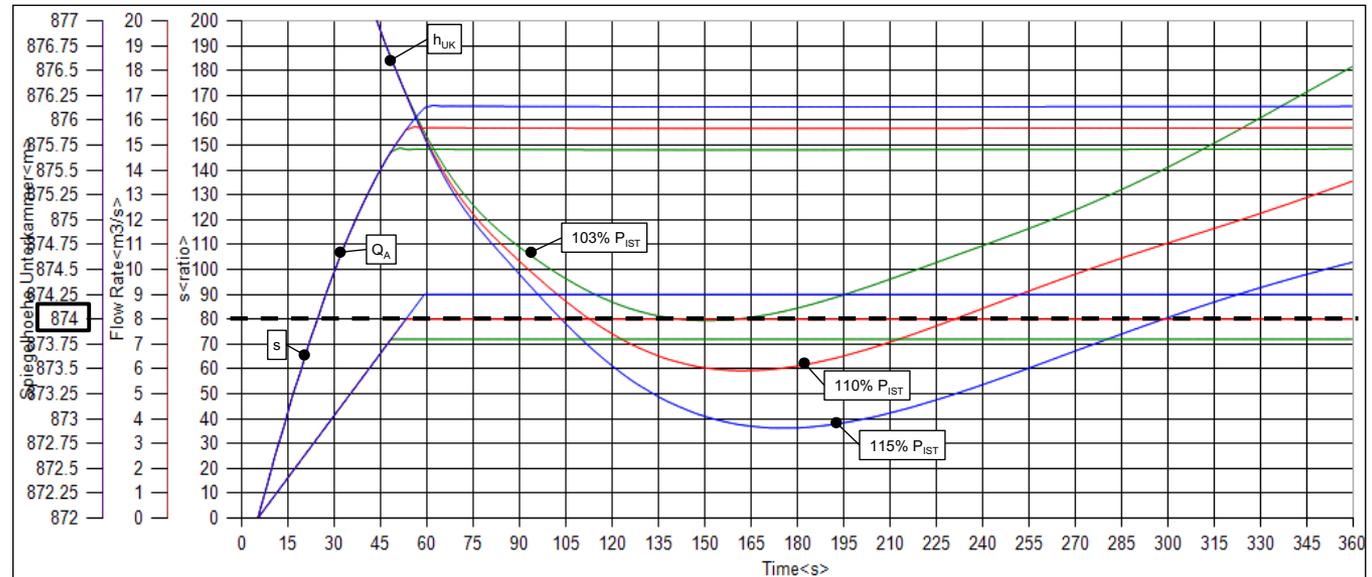
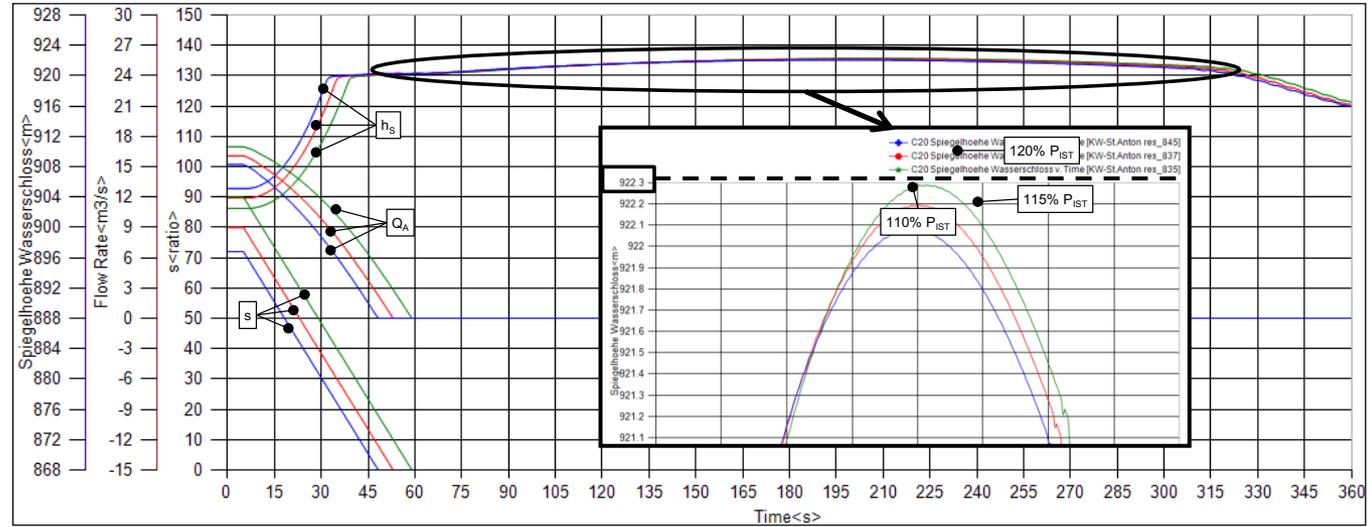
- h_{UK} ... Spiegelhöhe in der Wasserschloss-Unterkammer
- h_{Bel} ... Spiegelhöhe in der Belüftungsleitung
- h_{A1} ... Spiegelhöhe über Anschluss 1
- h_{A2} ... Spiegelhöhe über Anschluss 2
- $Q_{WS,A2}$... Ausfluss aus Anschluss2 (- \triangle Einströmen)
- Q_{Bel} ... Ausfluss aus der Belüftungsleitung (- \triangle Einströmen)



Abstellen bei max. Fallhöhe

Stufenweise Reduktion der Anlagenleistung bis zulässige Grenzen eingehalten werden

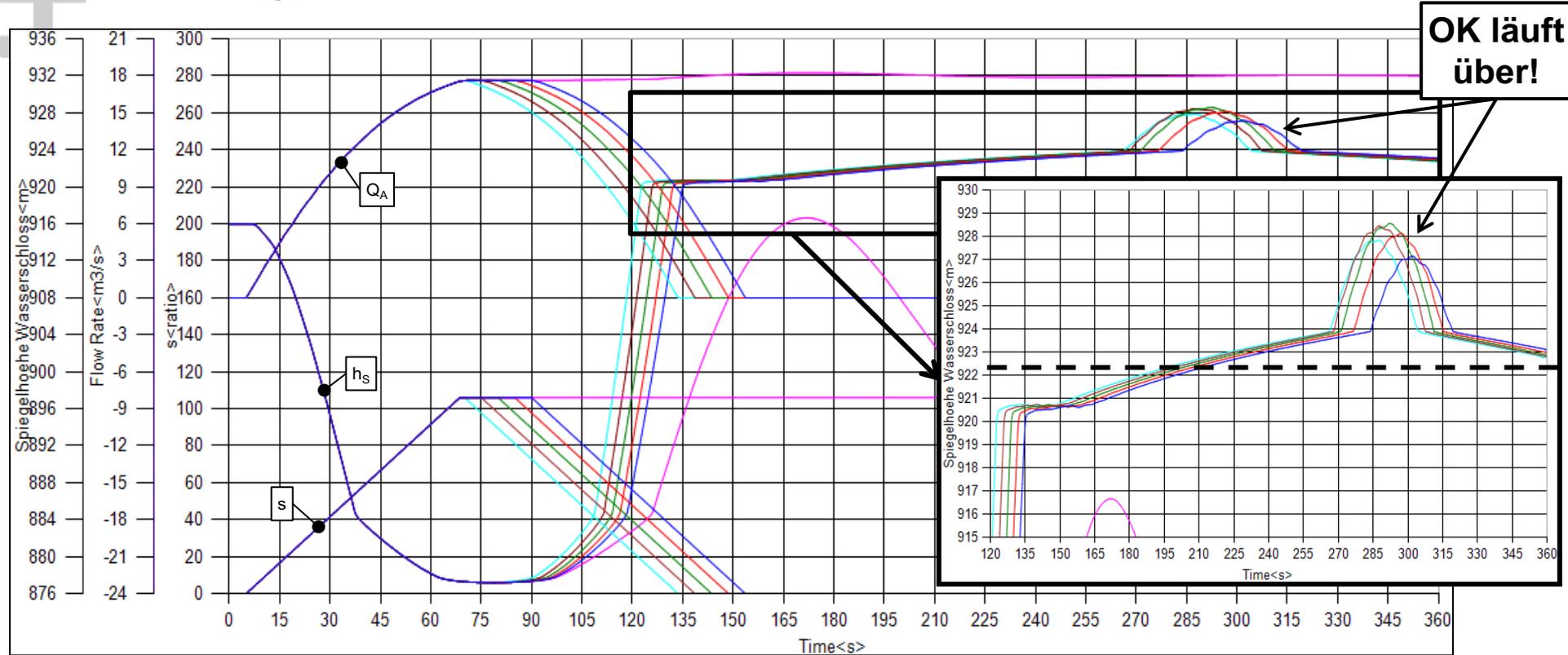
Starten bei min. Fallhöhe

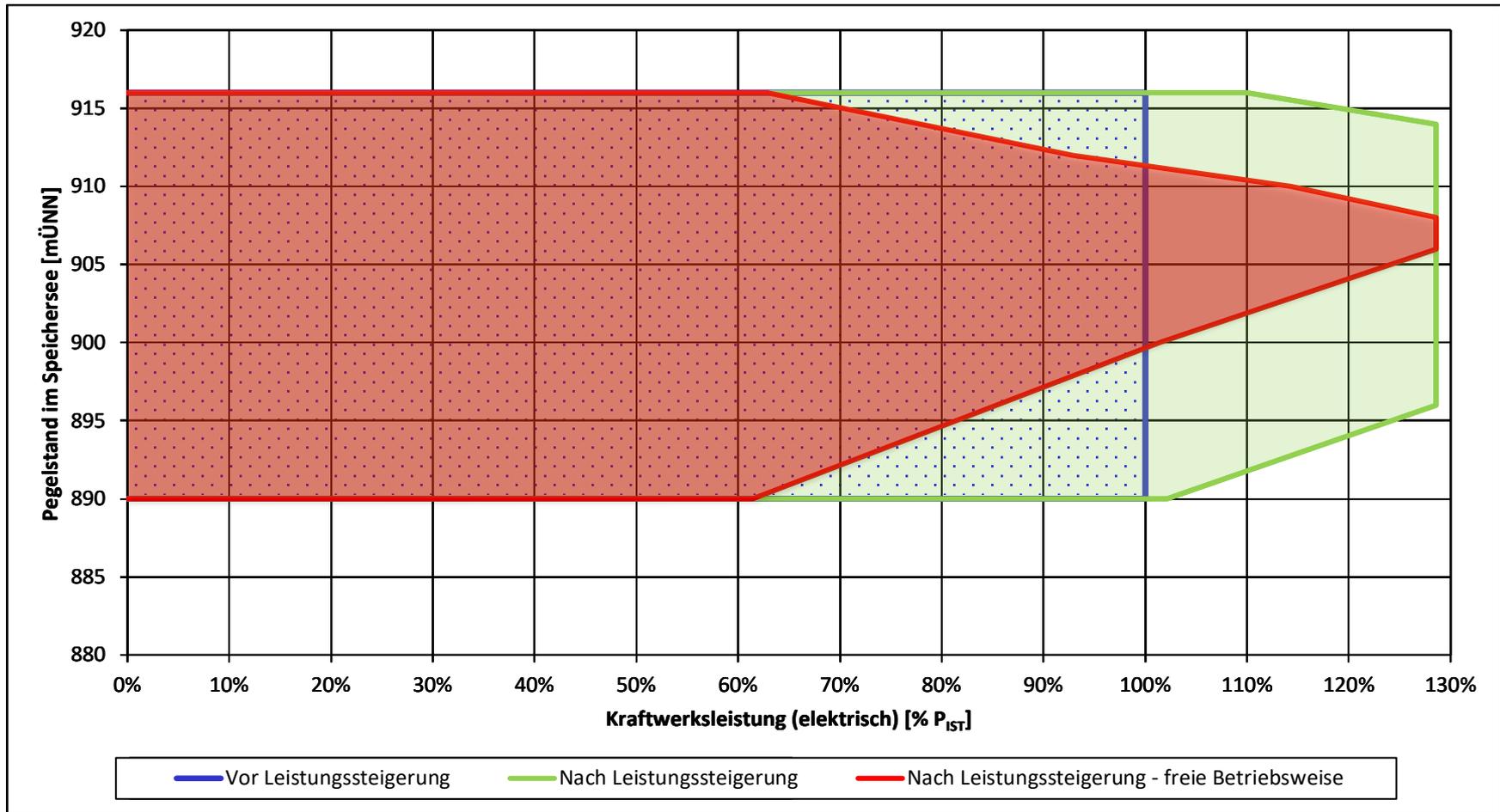


Kombinierte Start/Stopp Vorgänge können Resonanzeffekte Auslösen!

Bei freier Fahrweise der Kraftwerksanlage für Netzregelung können diese nicht ausgeschlossen werden!

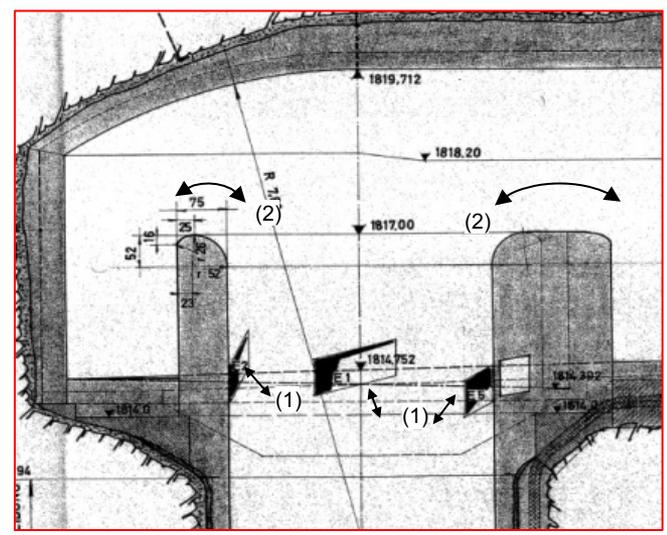
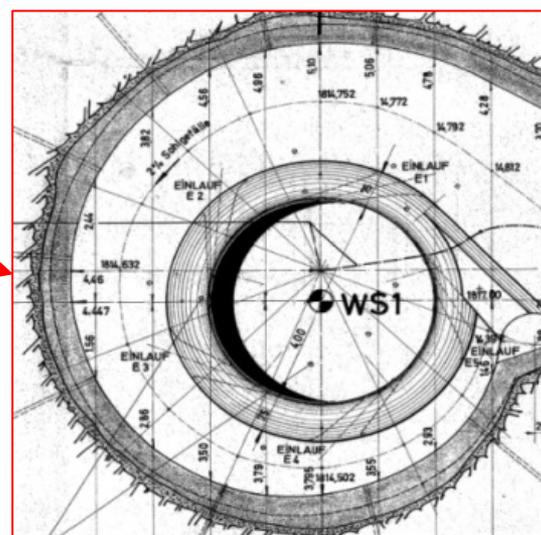
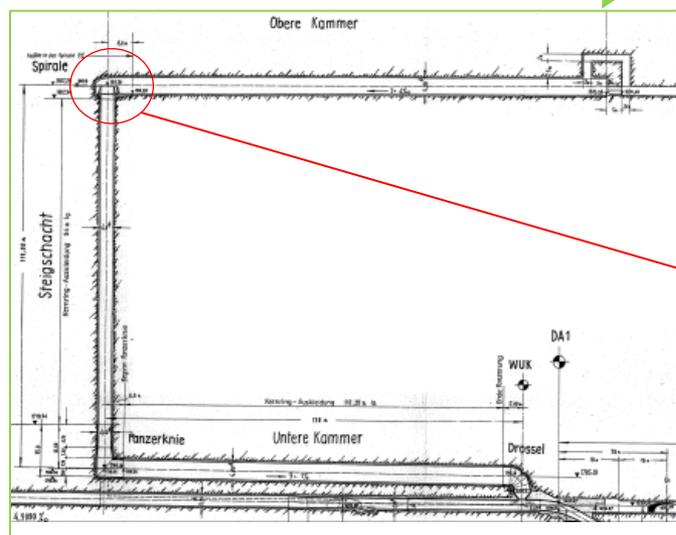
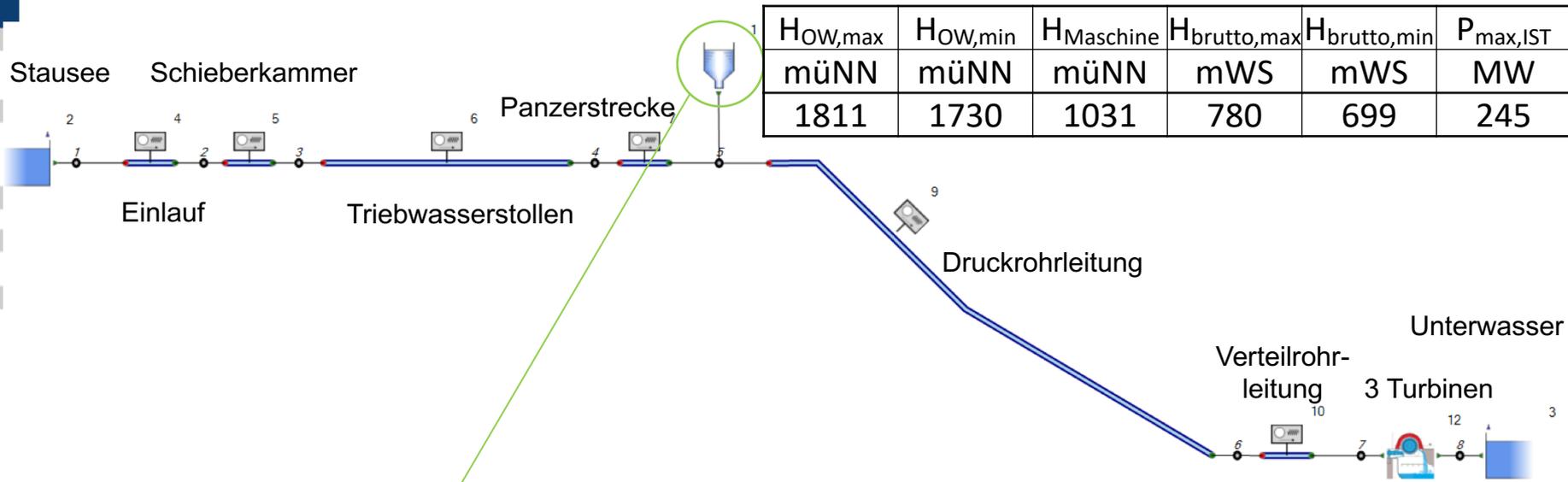
130% P_{IST} bei maximalem Pegelstand im Speichersee



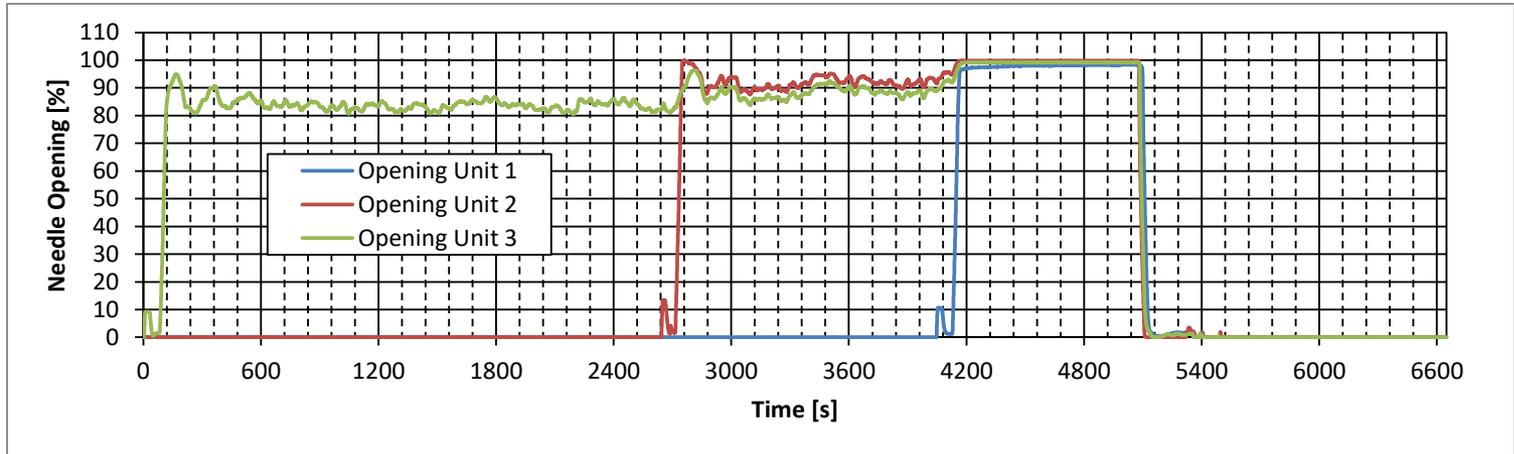


Beschränkung des zulässigen Betriebsbereichs durch Leistungssteigerung und insbesondere bei freiem Kraftwerksbetrieb notwendig

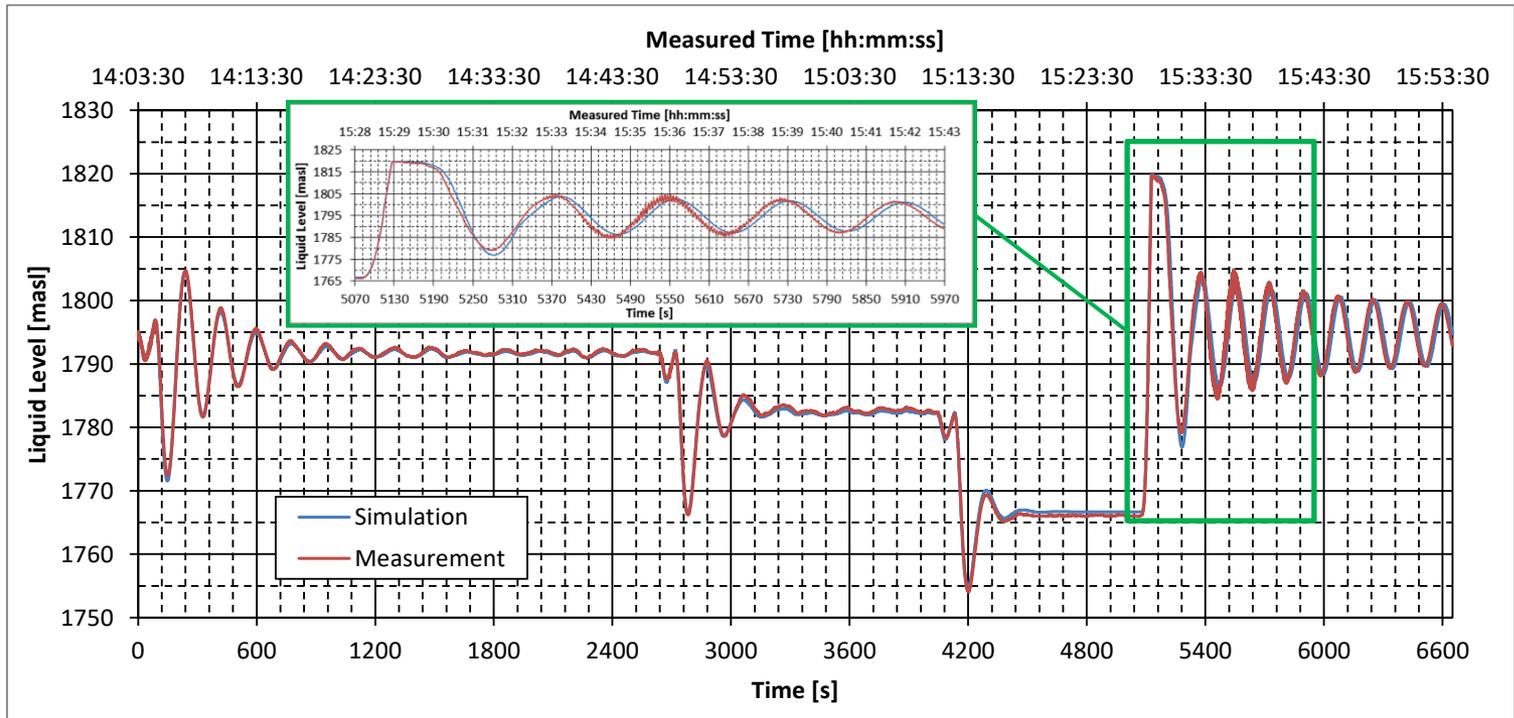
Wasserschloss



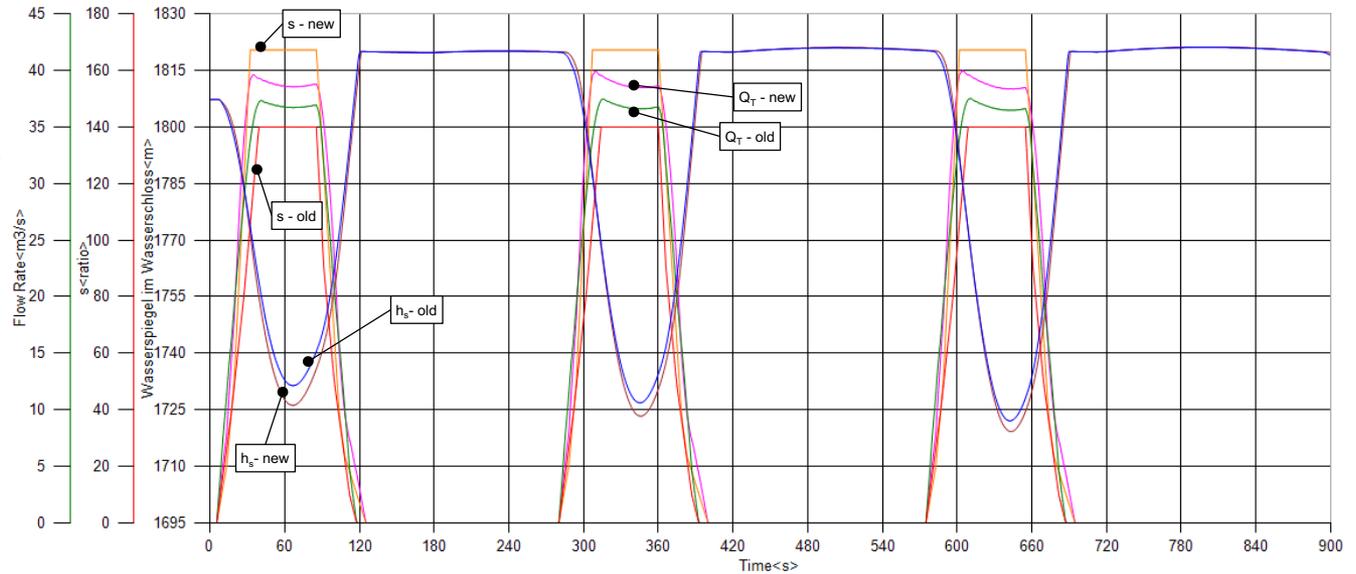
Düsen-
stellung



Pegelstand im
Wasserschloss

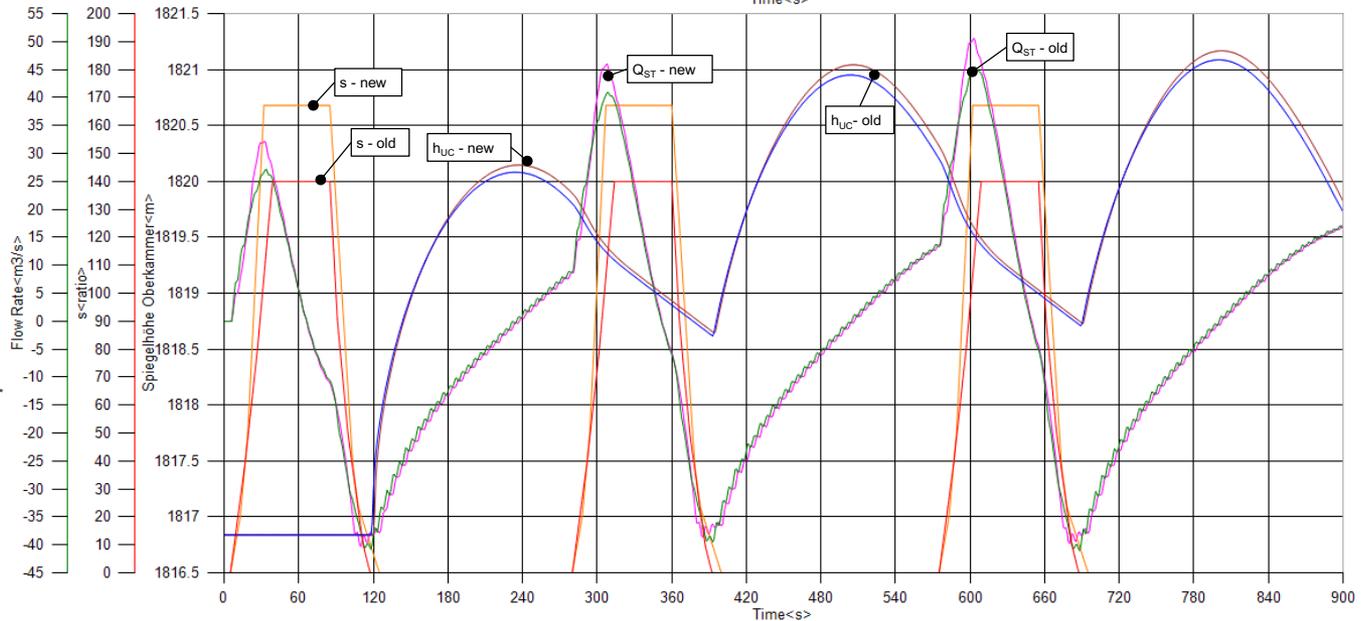


Düsenadelstellung (s)
 Turbinendurchfluss (Q_T)
 Pegelstand im
 Wasserschloss (h_s)

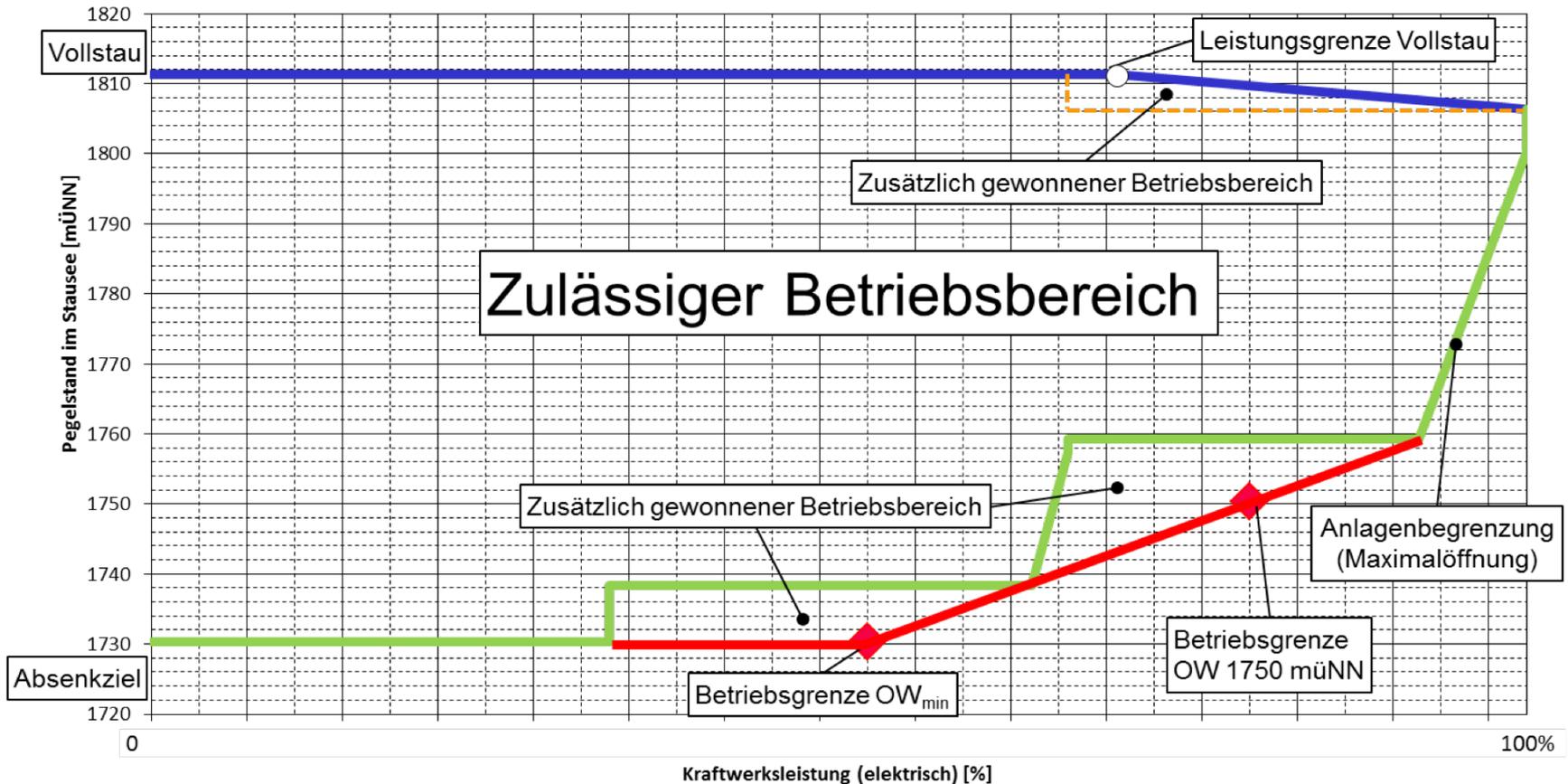


Zyklische
 Mehrfachanregung des
 Wasserschlosses in
 Resonanz zur
 Eigenschwingung des
 Triebwassersystems

Düsenadelstellung (s)
 Stollendurchfluss (Q_{ST})
 Pegelstand in der
 Wasserschloss-Oberkammer
 (h_{UC})



Zulässiger Betriebsbereich nach Leistungssteigerung für flexiblen, dynamischen Betrieb



Zusammenfassung

- Leistungssteigerung auch mit bestehender Kraftwerksinfrastruktur möglich
- Flexibler Kraftwerksbetrieb eröffnet zusätzliche Ertragsmöglichkeiten durch Netzdienstleistungen
- Flexibler und dynamischer Anlagenbetrieb führt zu höheren Anlagenbelastung
- Eventuell zusätzliche Betriebseinschränkungen notwendig
- Umfangreiche Untersuchungen für sicheren Kraftwerksbetrieb unumgänglich