

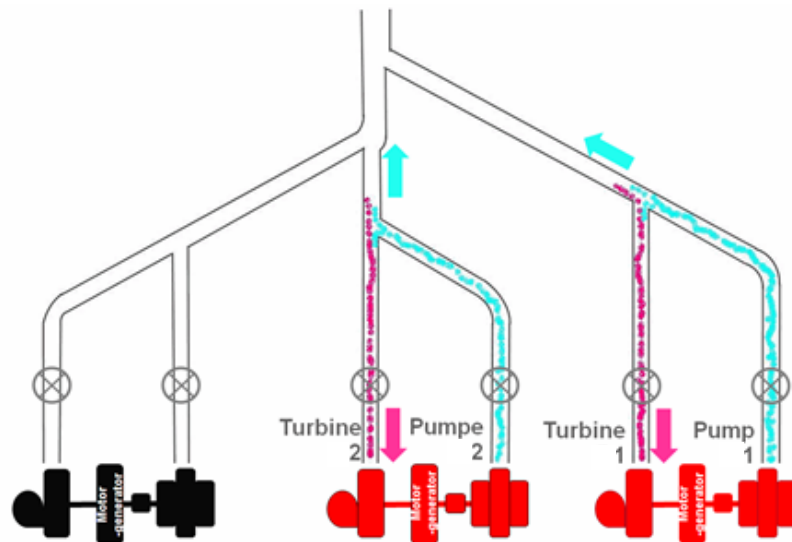
100% Flexibilität bei Pumpspeichieranlagen

Hydraulischer Kurzschluss als zusätzlicher Betriebsmodus –
Simulation und Validierung

Markus Mosshammer, Stefan Höller, Helmut Jaberg

Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen

Technische Universität Graz



Graz, 11. Februar 2016

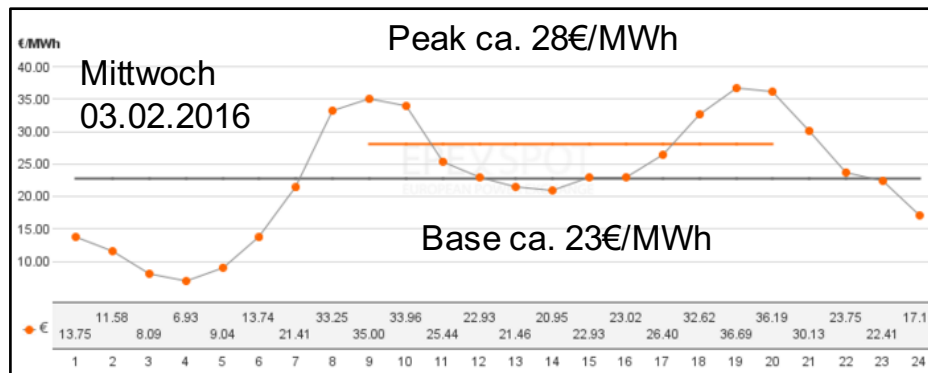
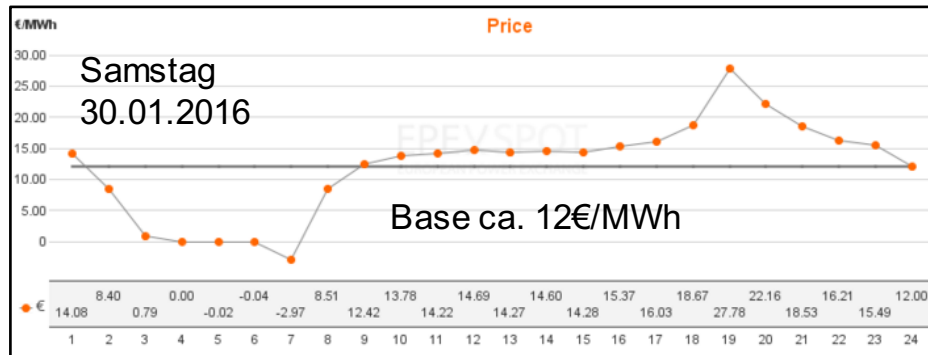
EnInnov2016

14. Symposium Energieinnovation | 10.02.–12.02.2016

Einleitung

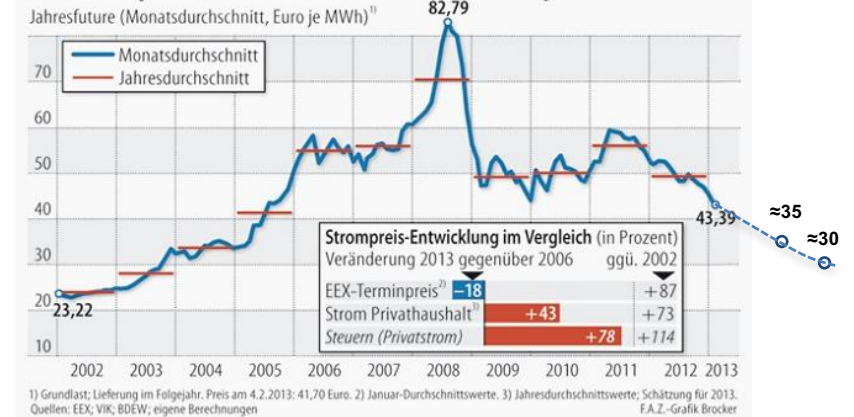
Strompreis zwingt Betreiber zu handeln:

- Neuprojekte i.d.R. „on hold“
- Refurbishment
- Erweiterung Leistungsportfolio

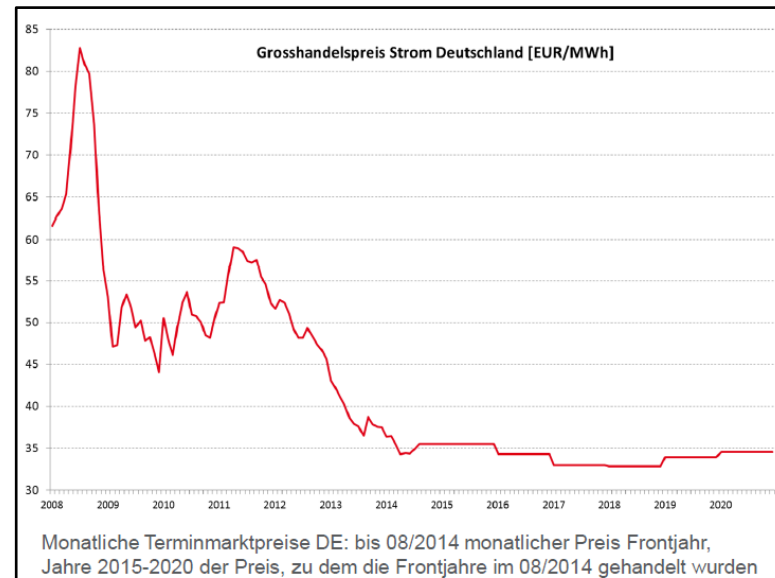


Quelle: EEX European Power Exchange, abgerufen am 04.02.2016
<http://www.epex.spot.com/en/market-data/intraday/>

Der Strompreis an der Börse EEX sinkt auf Mehrjahrestief



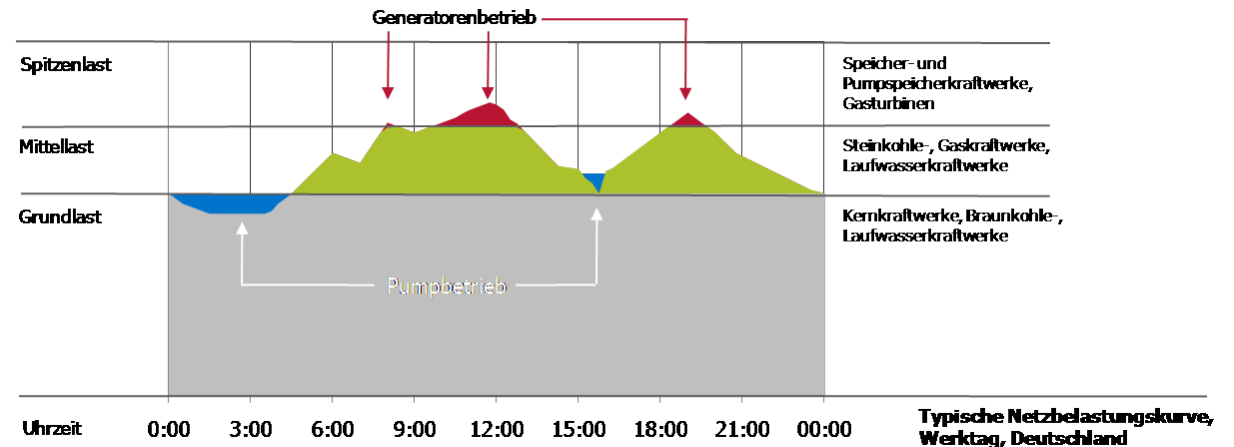
Quelle: FAZ



Quelle: Vortrag Hr. Gaal; Praktikerkonferenz 2015, Graz

Historie

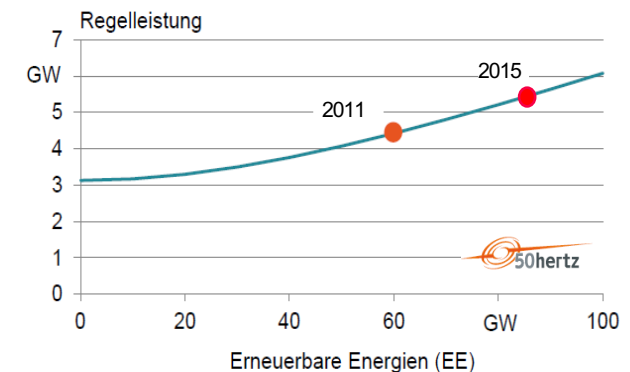
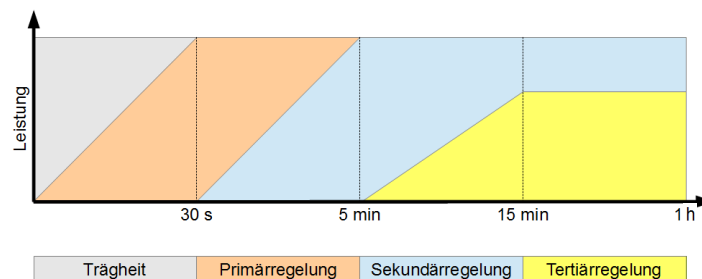
Bis Ende der 1990er Jahre Schwerpunkt eines Pumpspeicherkraftwerkes vor allem im Wälzbetrieb (24h) zur Lastglättung



Quelle: Vortrag Dr. Ensslin – Praktikerkonferenz 2013, Graz

Unter anderem der Ausbau erneuerbarer Energien forderte:

- Primärregelung
- Sekundärregelung (+30-70 MW Regelleistung pro GW Wind/PV)
- Phasenschieberbetrieb



→ tw. extrem dynamische Fahrweise der Pumpspeicherkraftwerke

Umsetzung

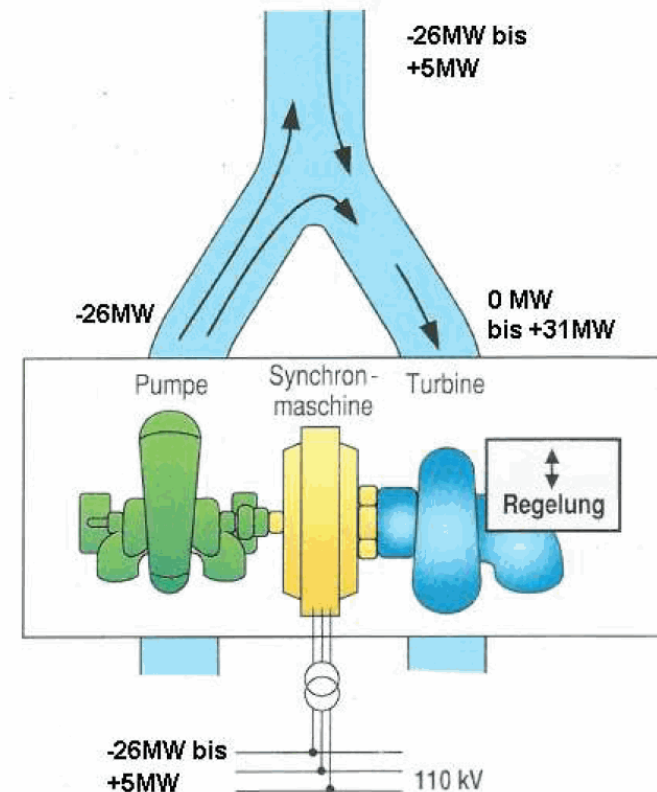
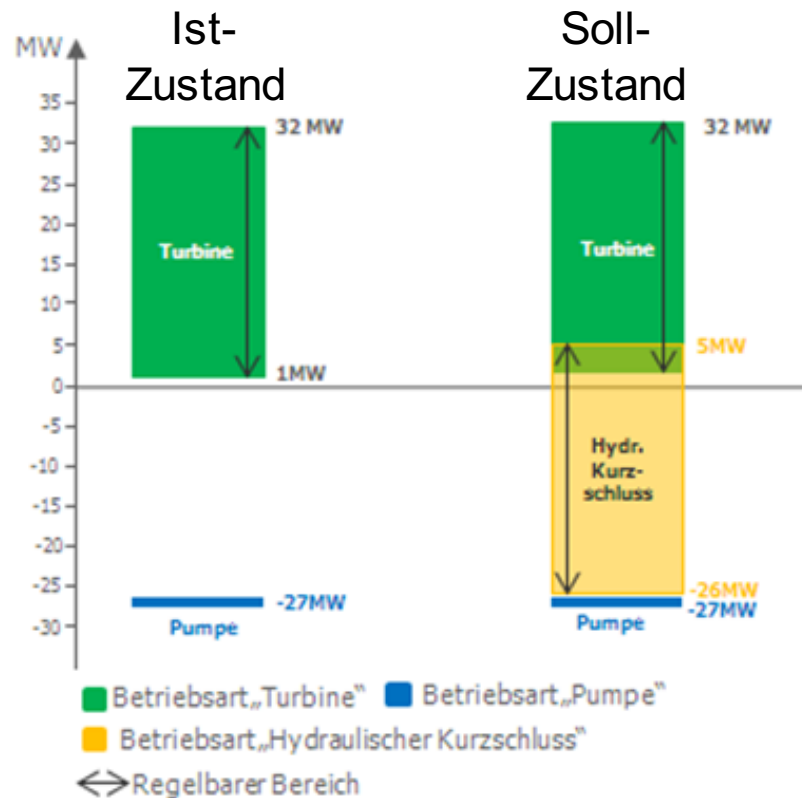
Um SRL anbieten zu können, muss das Kraftwerk entsprechend „regelbar“ sein:

1. Zeitliche Regelbarkeit – Leistungsgradienten entscheidend
 - dynamische Beanspruchung Komponenten → Dauerfestigkeit, Ermüdung,...
 - geänderte Strömungssituation in Rohrleitungen, Armaturen,...
 - Druckstoßproblematik
2. Regelband – möglichst nahtloser Bereich gewünscht
 - Turbinen i.d.R. sehr gut regelbar → Positive SRL-Angebot nahezu durchgehend
 - Pumpen im drehzahlstarren Betrieb – Bezugsleitung von Pegelständen abhängig bzw. nahezu konstant → Negatives SRL-Angebot nur diskret

Möglichkeiten:

- Drehzahlregelung
- Mischbetrieb
- Hydraulischer Kurzschluss

Hydraulischer Kurzschluss



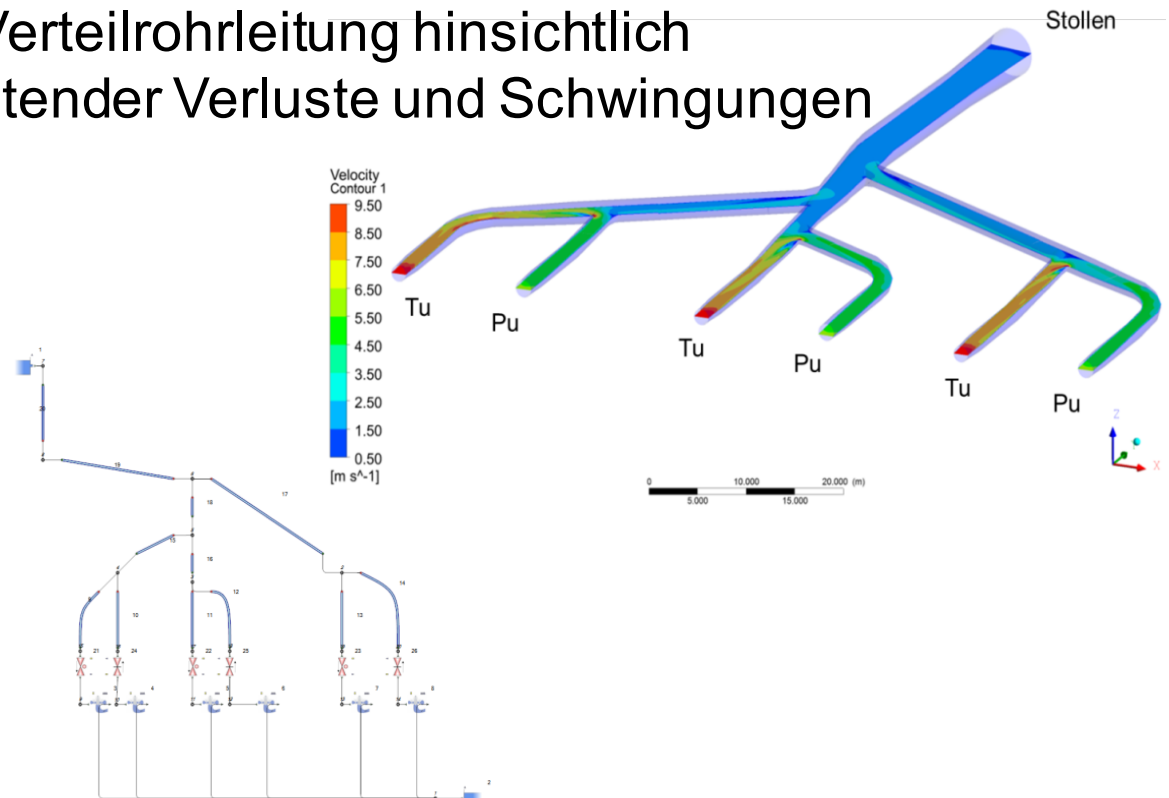
Prinzip des hydraulischen Kurzschlussbetriebs
(Quelle: Voith Hydro AG, Heidenheim)

Überlagerung des Netzbezugs der Pumpe mit direktem, mechanischem Antrieb durch die Turbine desselben Pumpspeichersatzes

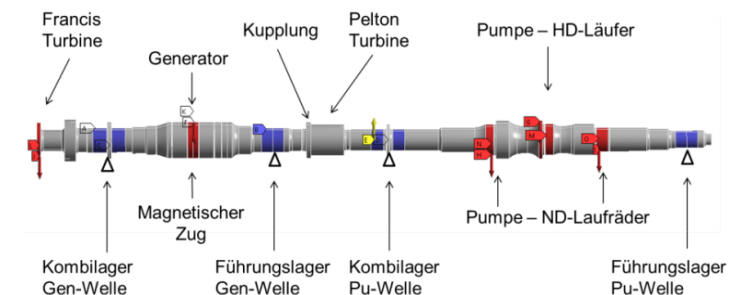
Durchgeführte Untersuchungen

Analyse der bestehenden Verteilrohrleitung hinsichtlich Strömungsverhalten, auftretender Verluste und Schwingungen (Druckpulsationen)

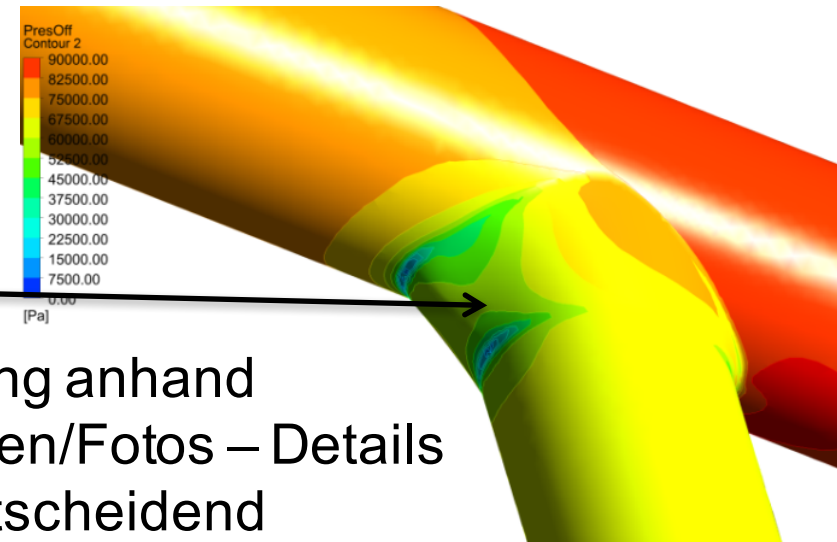
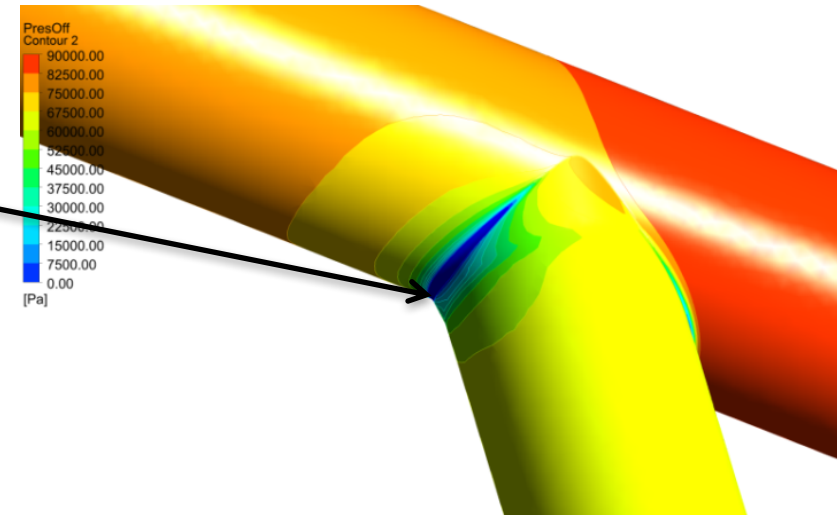
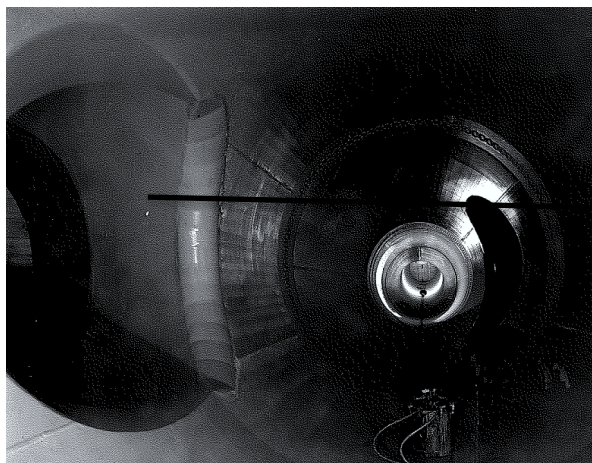
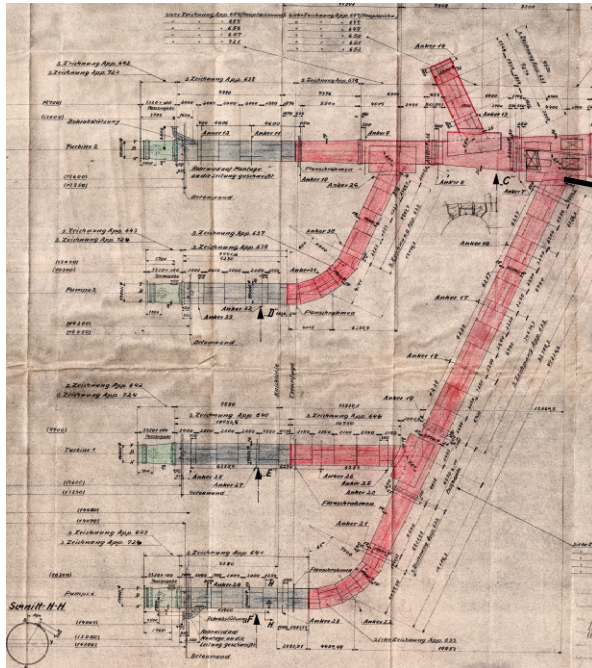
Druckstoßberechnung der Kraftwerkskonfiguration



Auswirkungen auf die die mechanischen Belastungen der Antriebswelle

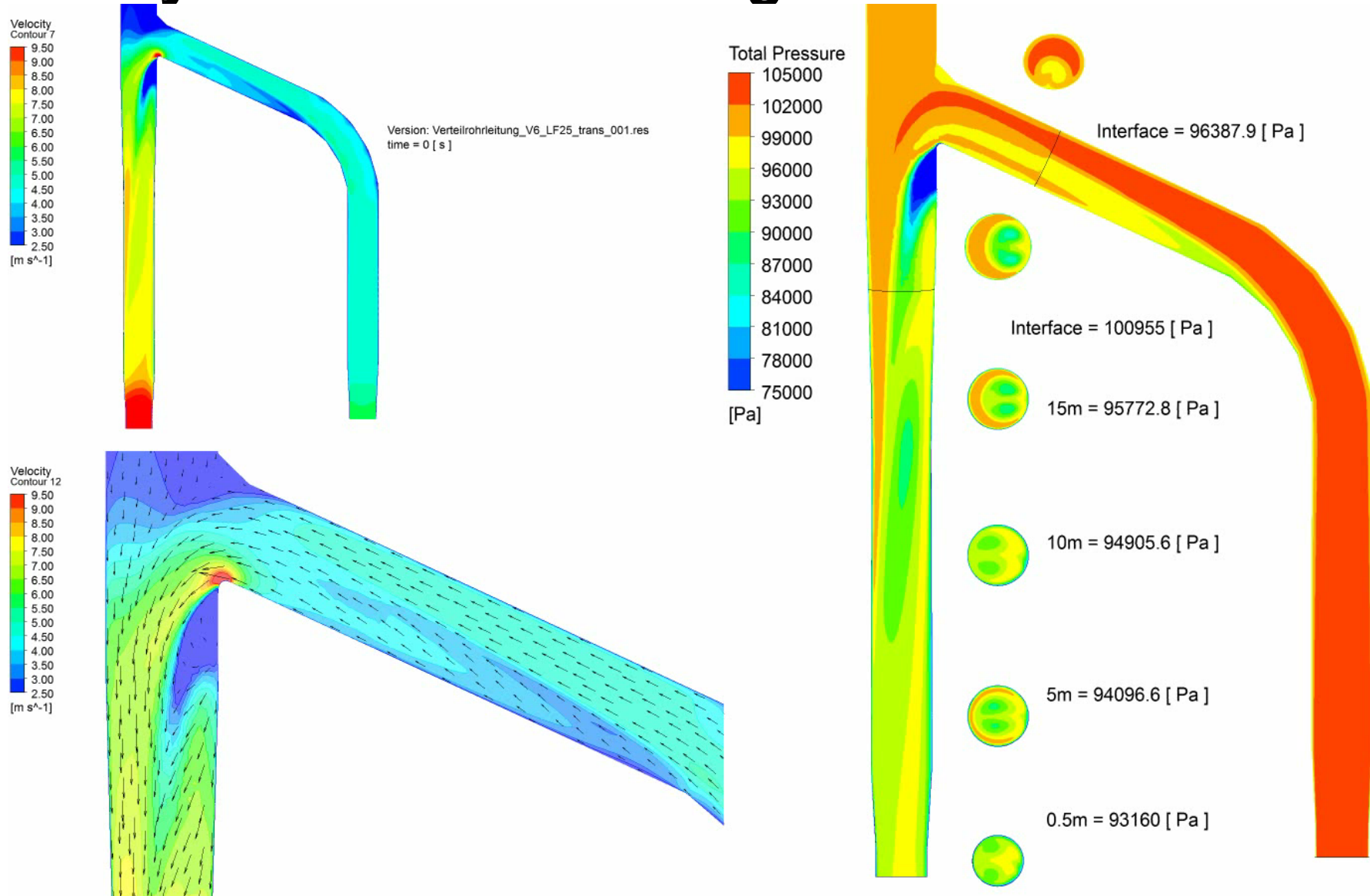


Analyse Verteilrohrleitung



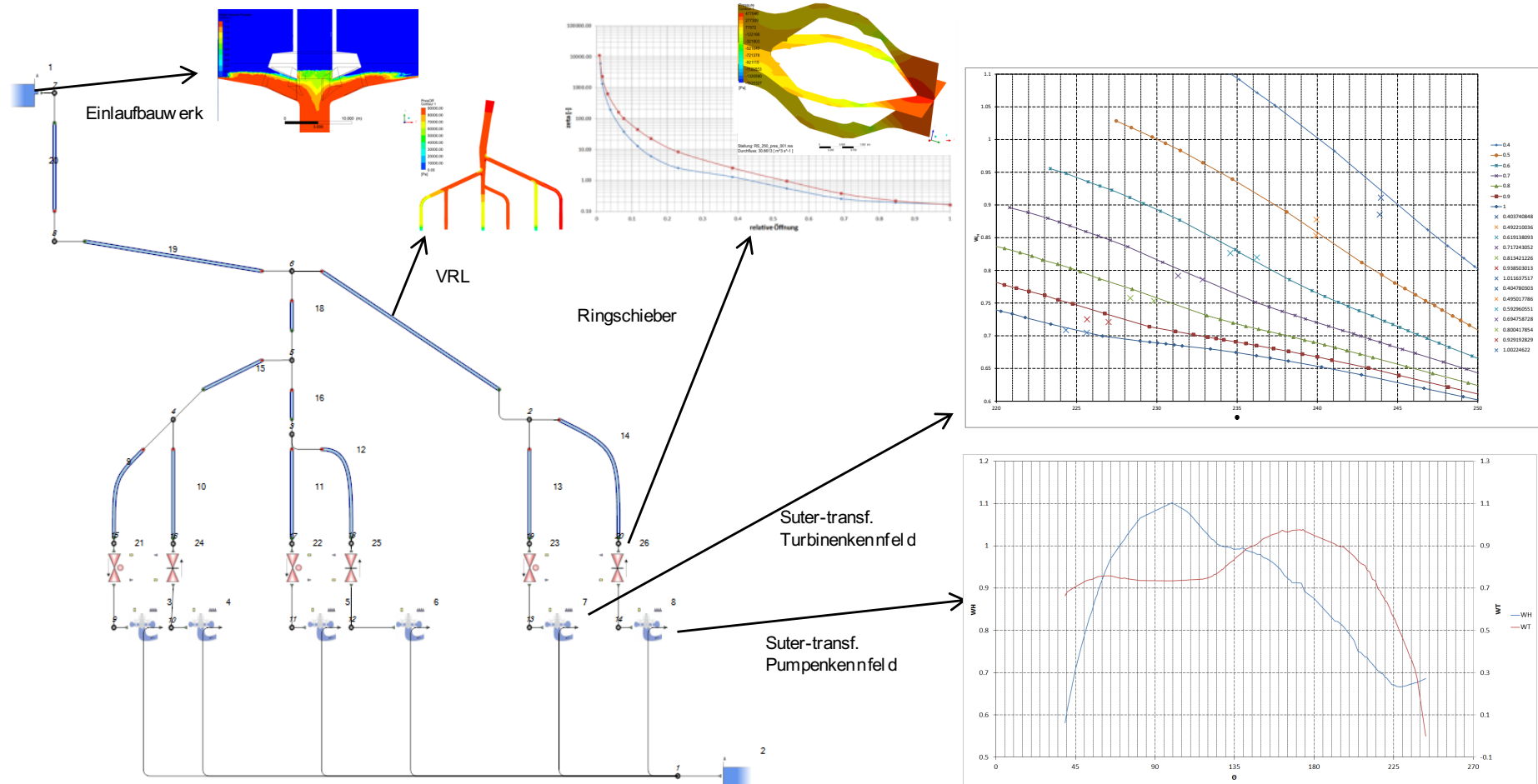
Modellierung anhand
Zeichnungen/Fotos – Details
oftmals entscheidend

Analyse Verteilrohrleitung



Druckstoßberechnung

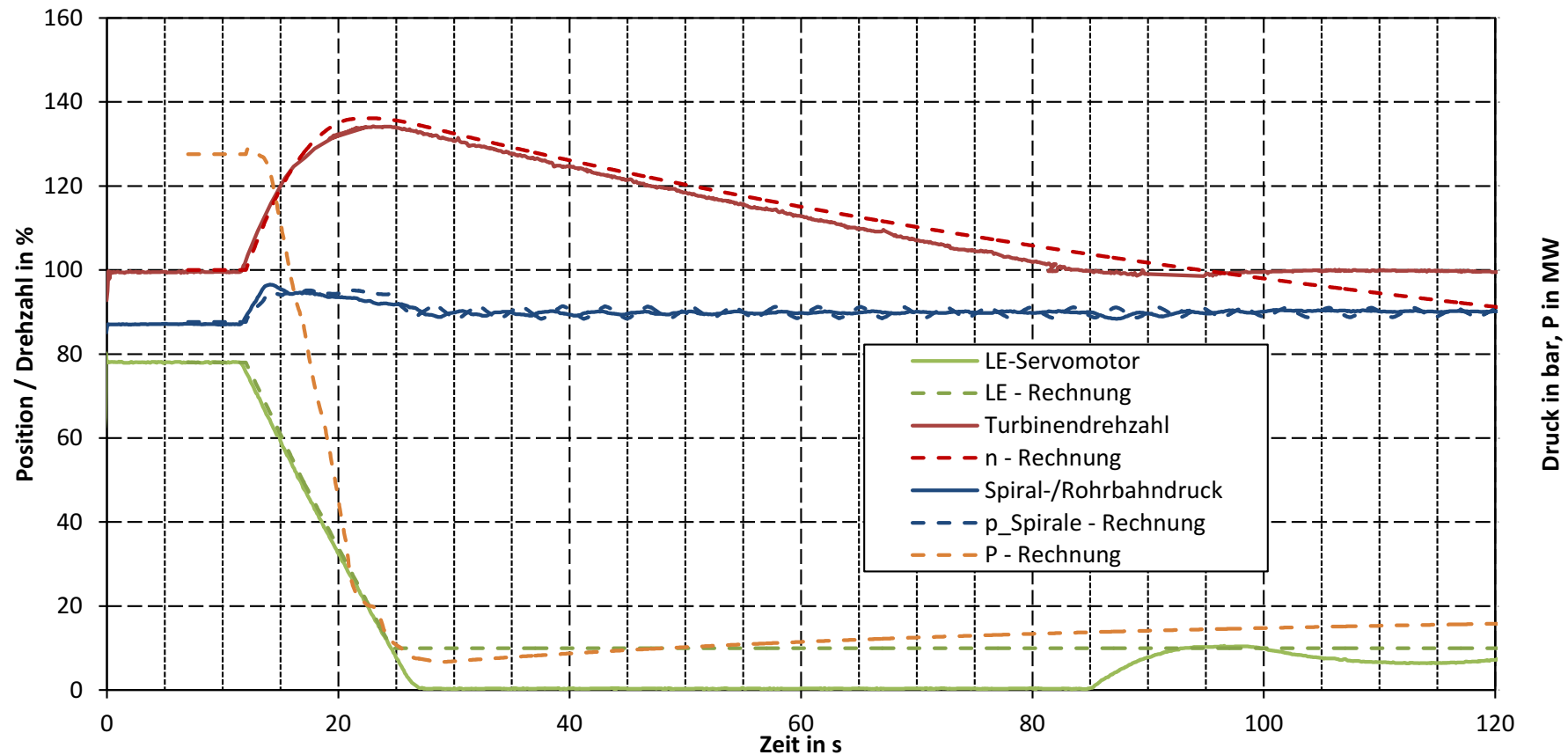
Modellierung des gesamten Kraftwerks nötig



Druckstoßberechnung

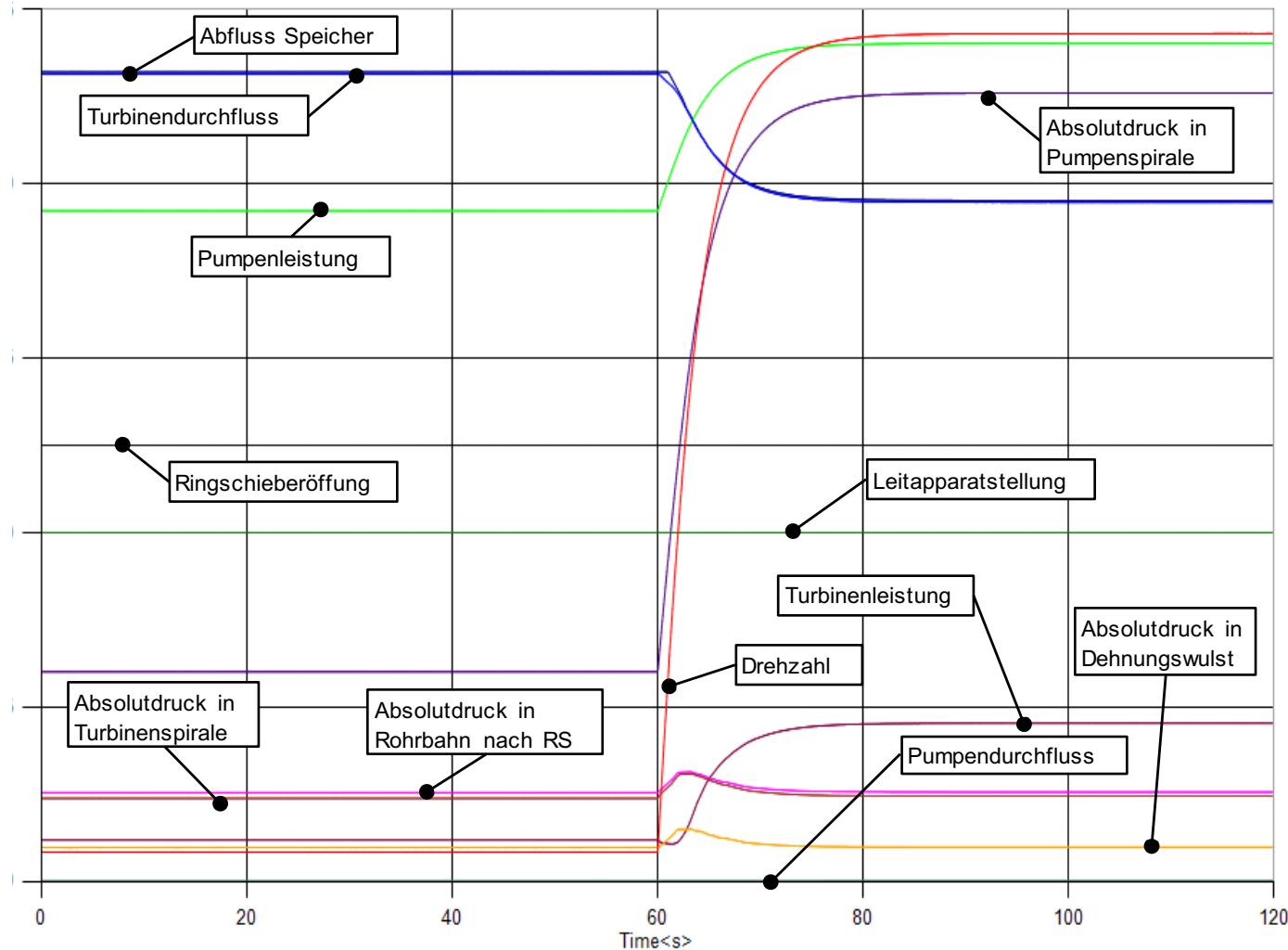
Idealerweise ist ein Vergleich der Rechenergebnisse mit gemessenen Lastfällen zur Validierung der korrekten Modellbildung möglich

Bsp.: Validierung des Simulationsmodells für TU1-Aus bei 80% Last



Anmerkung: Kleinste Leitapparatstellung des übermitteltes Kennfelds 40%, Kennfeld bis 10% extrapoliert; kleinere Öffnungen mit Drosselorgan nachgebildet;
Aus diesem Grund war es nicht möglich, eine Synchronisation der Maschinen nachzubilden (wie in den Messergebnissen ab Sekunde 85 gezeigt)

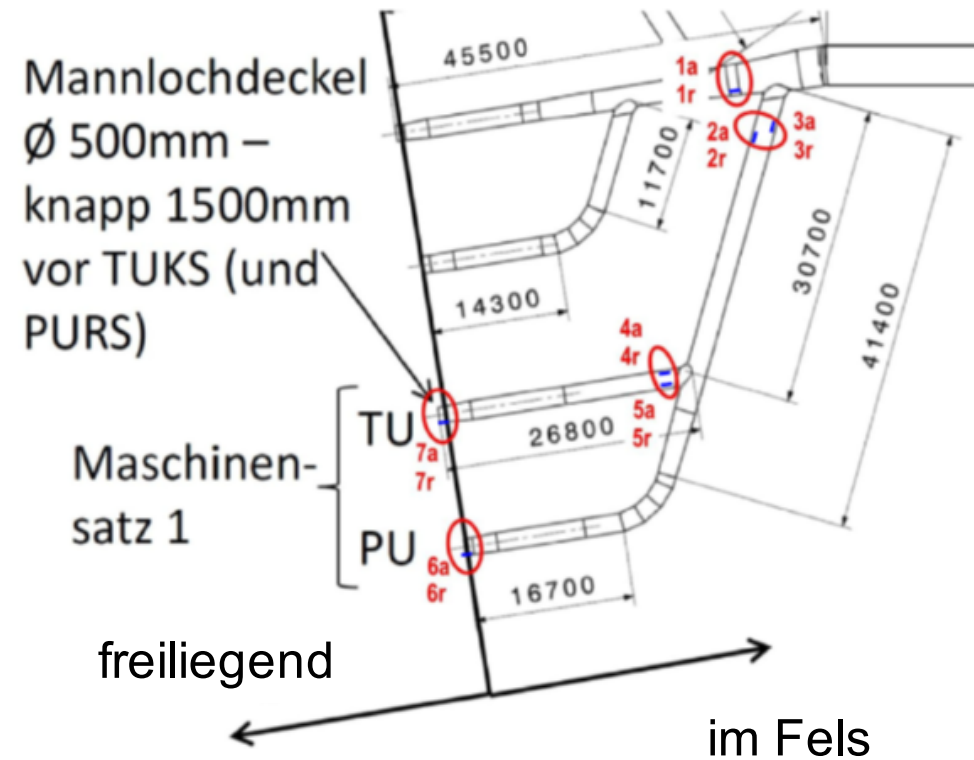
Druckstoßberechnung



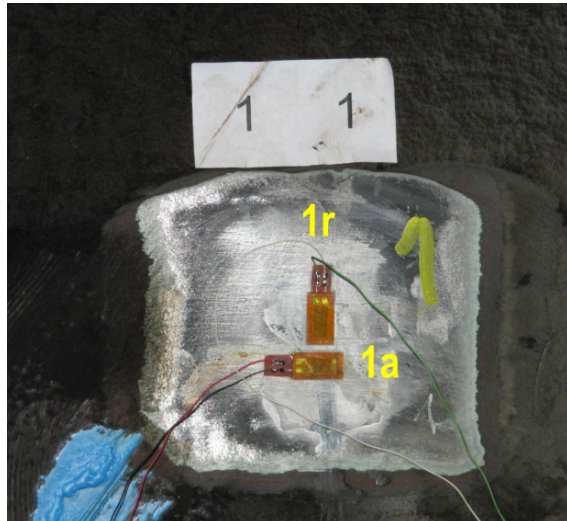
Kritischster Lastfall: HKS M2 (geringste Verluste in VRL) – Le 100%, schließt nicht; RS blockiert (öffnet nicht); Netztrennung Generator; OW = max. ; UW = min.

Validierung

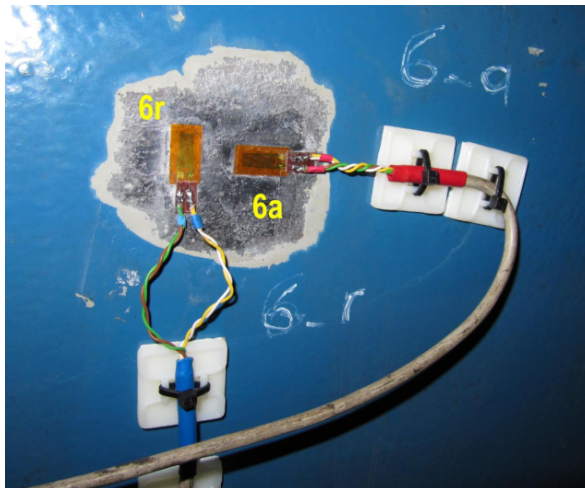
- Zur Validierung der Ergebnisse aus den numerischen Berechnungen wurden Messungen im Kraftwerk durchgeführt
- Anbringung von 7x2 DMS um Messungen in axialer (a) und radialer (r) Richtung zu ermöglichen
- Messgrößen:
 - Niveau OW/UW
 - Position RS/KS/Le
 - Durchfluss Pu/Tu
 - Rohrbahndruck vor KS/nach RS
 - Spiralendruck
 - Wirkleistung



Messtechnik



Applizierung von DMS in bzw.
an der Verteilrohrleitung

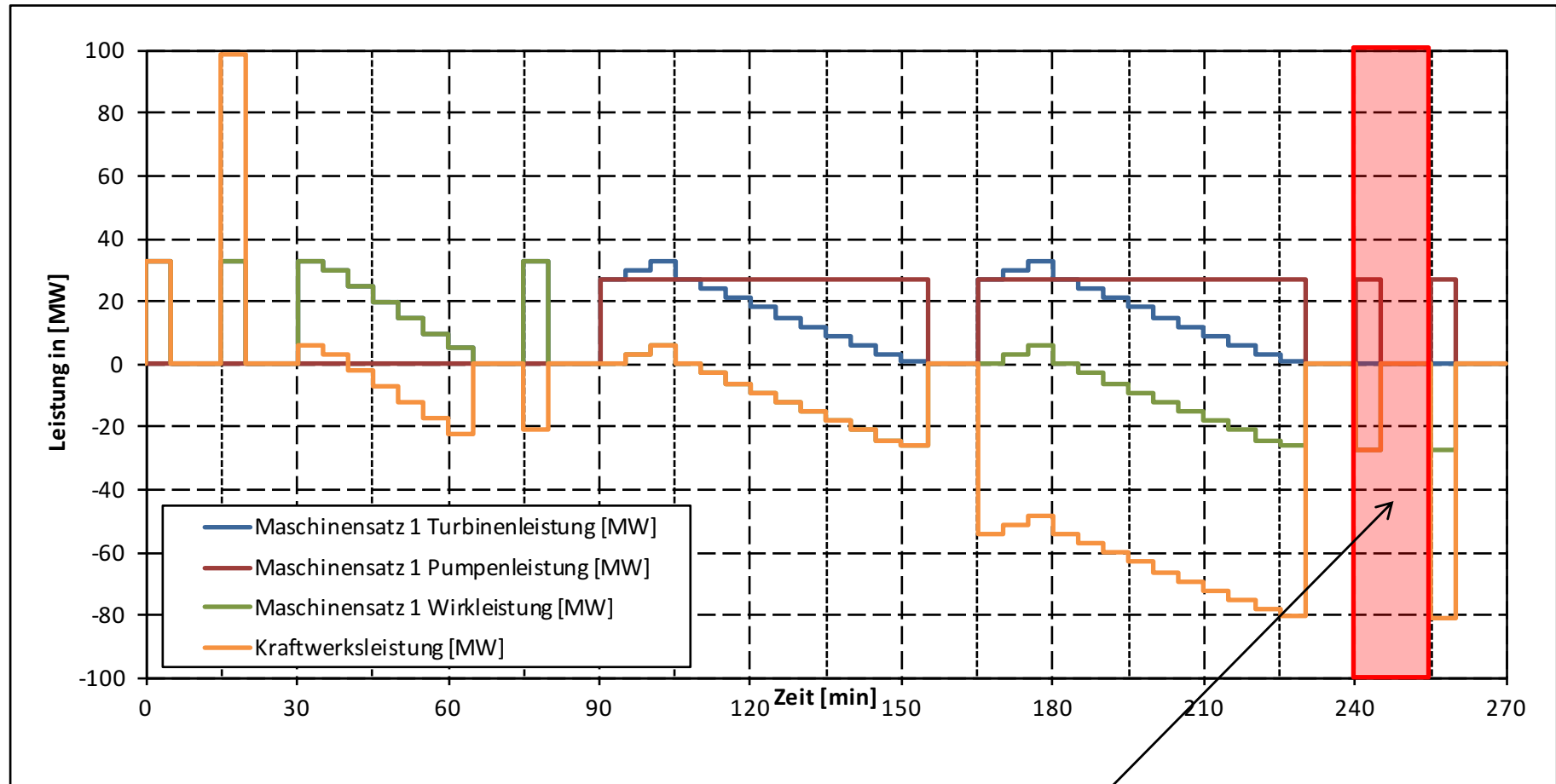


Bestehender Mannlochdeckel



Messkampagne

Leistungsverlauf am Maschinensatz 1 im Zuge der Messkampagne



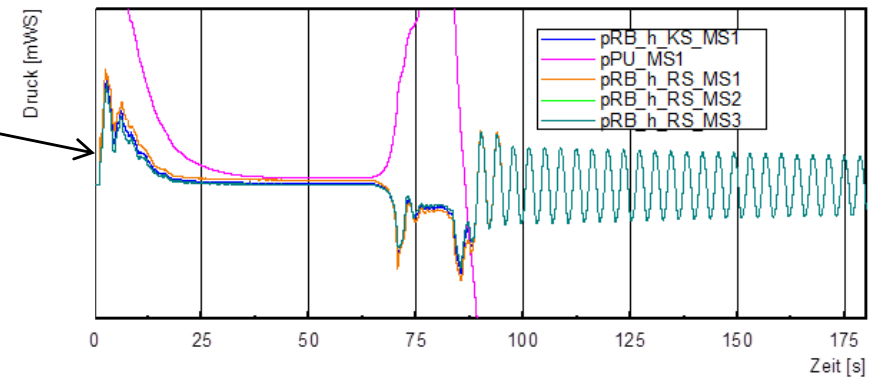
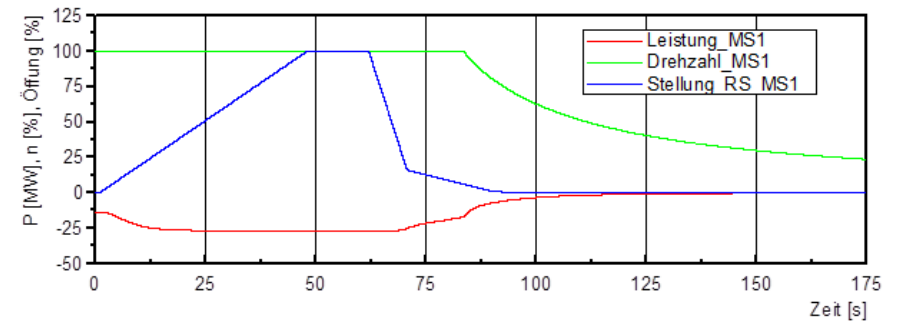
Exemplarisch: Betriebspunkt 7 – 240-255 min $\Rightarrow$ Pumpe 1

Vergleich: Messung – Simulation

Betriebspunkt 7:

Starten der Pumpe aus synchronisiertem Betrieb, gefolgt von einem kurzen stationären Betrieb, und das darauffolgende Abstellen der Pumpe simuliert.

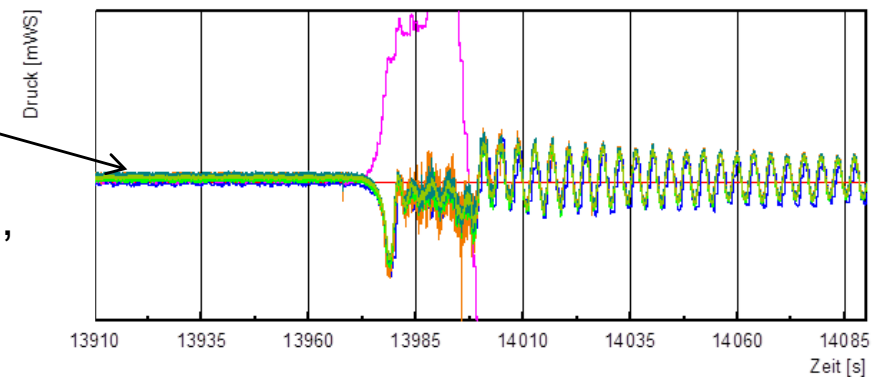
Druckverläufe der Simulation



gerechnete Druckverläufe (siehe Berechnungsbericht [1])

Gemessene Druckverläufe

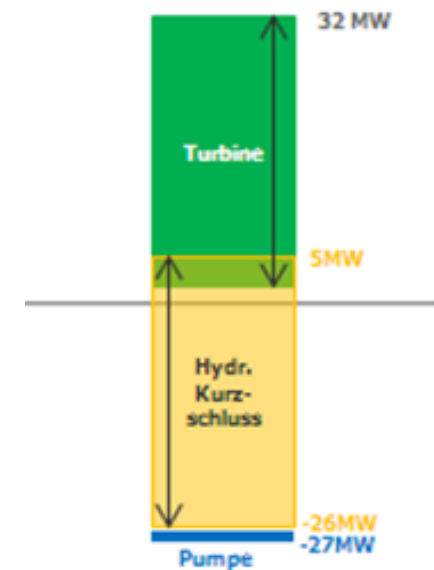
Der Vergleich zeigt sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnungsergebnissen, sowohl den zeitlichen Verlauf, als auch die Höhe der Druckschwankungen betreffend.



gemessene Druckverläufe (BP7)

Zusammenfassung

- SRL zunehmend erforderlich bzw. Möglichkeit um bestehende PSW wirtschaftlicher zu betreiben (nicht unbedingt zur Freude der Betriebsmannschaft!)
- Die durchgeführten Messungen belegen die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der numerischen Simulationen (sowohl Drücke, als auch Spannungen und Frequenzen)
- Durch eine genaue Analyse des Gesamtsystems können neue, effizientere Betriebsmodi wie beispielsweise der Hydraulische Kurzschluss auch in bereits bestehenden Anlagen realisiert werden



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

