HPP GRANDE DIXENCE: INBETRIEBNAHMEVERSUCHE AN EINER SICHERHEIT-DROSSELKLAPPE

In Zusammenarbeit mit:

Praktikerkonferenz Wasserkraft

Graz

13. September 2023

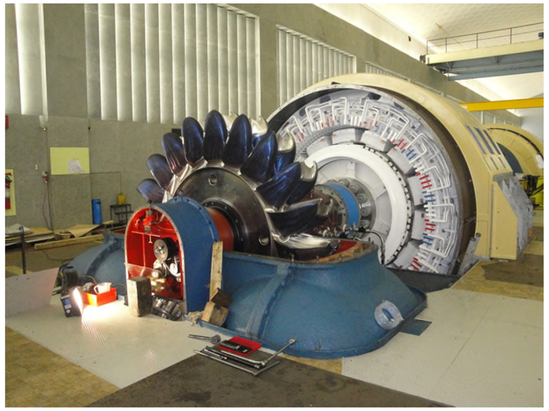
Dipl-Ing HES Gaspoz Anthony

HYDRO-Exploitation SA

- Dr. Nicolet Christophe (Power Vision)
- Dr Sébastien Alligné (Power Vision)

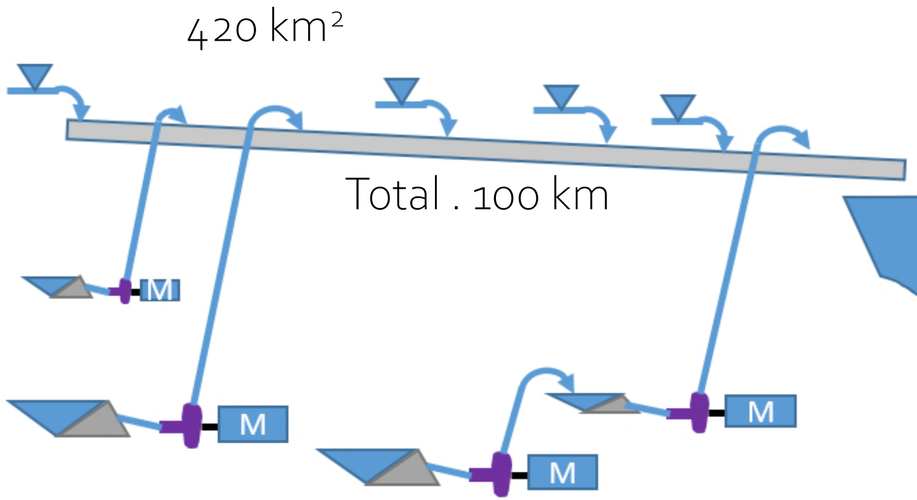
Sommaire

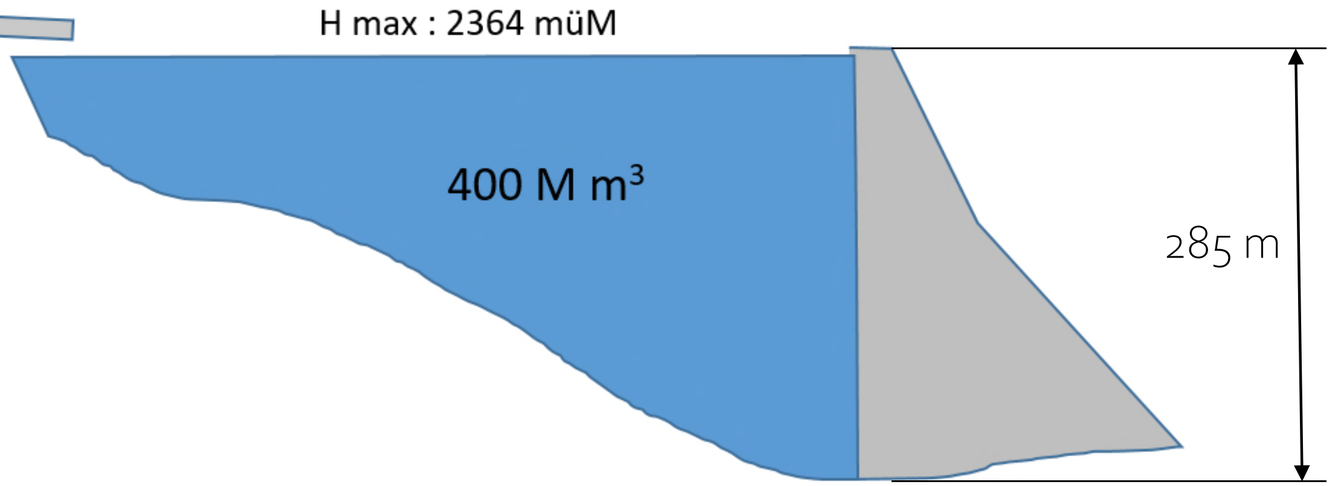
- Einführung - HPP Grande Dixence
- Sicherheit Drosselklappen
- Numerische Berechnungen
- Inbetriebnahme Versuche
  - Öffnung unter Druckdifferenz
  - Schliessung im fliessenden Wasser
- Schlussfolgerung
- Fragen - Bemerkungen



HPP Grande Dixence

Staumauer und Adduktion



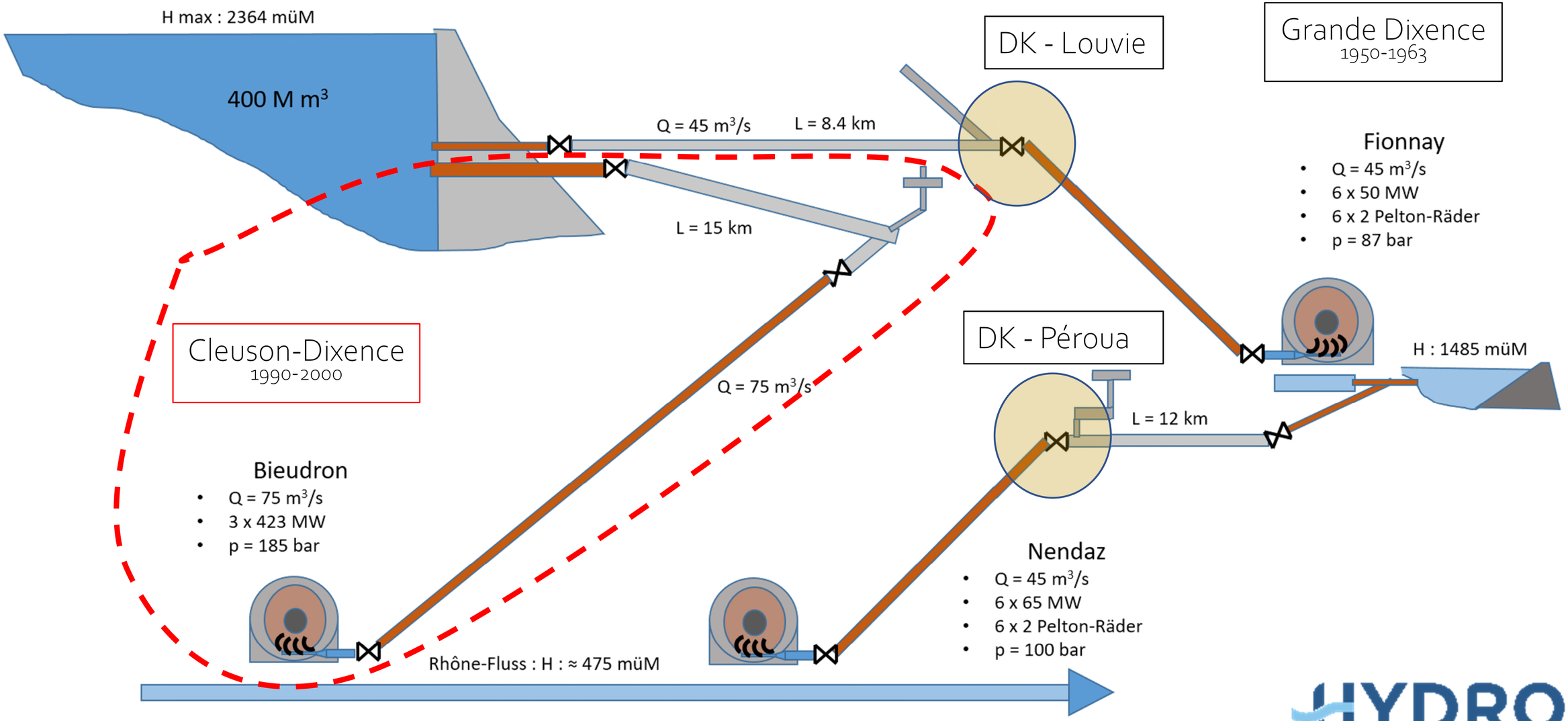


Pumpstation

- Zmutt : 92 MW
- Stafel : 23.5 MW
- Ferpècle : 20.5 MW
- Arolla : 45 MW

HPP Grande Dixence

Kraftwerke - GD



Sicherheits-Drosselklappen

DK - Louvie

Durchmesser : 3000 mm
Nominal Druck : 22 bar

DK - Péroua

Durchmesser : 3000 mm
Nominal Druck : 10 bar

Numerische Berechnungen

Einflussparameter

DK – Eigenschaften

- Geometrie
  - Durchmesser
  - Teller-Konstruktion
  - Exzentrizität
- Schliesszeit
  - Im Totwasser
  - Mit Nominal-Durchfluss
  - Im Katastrophenfall
- Ventile (kleine)

Rest der Anlage

- Betrachtete Situation
  - Betrieb
  - Katastrophenfall
    - Anfangsbedingungen
    - Bruch-Durchmesser
    - Bruch-Position
- Obere Elemente
  - Reservoir-Niveau
  - Galerie
  - Wasserschloss
- Unterwasser Elemente
  - Ventile
  - Druckleitung
  - Zentrale

Beanspruchungen auf die Klappen-Elemente und benachbarte Rohre

- Pflichtheft
- Einstellparameter

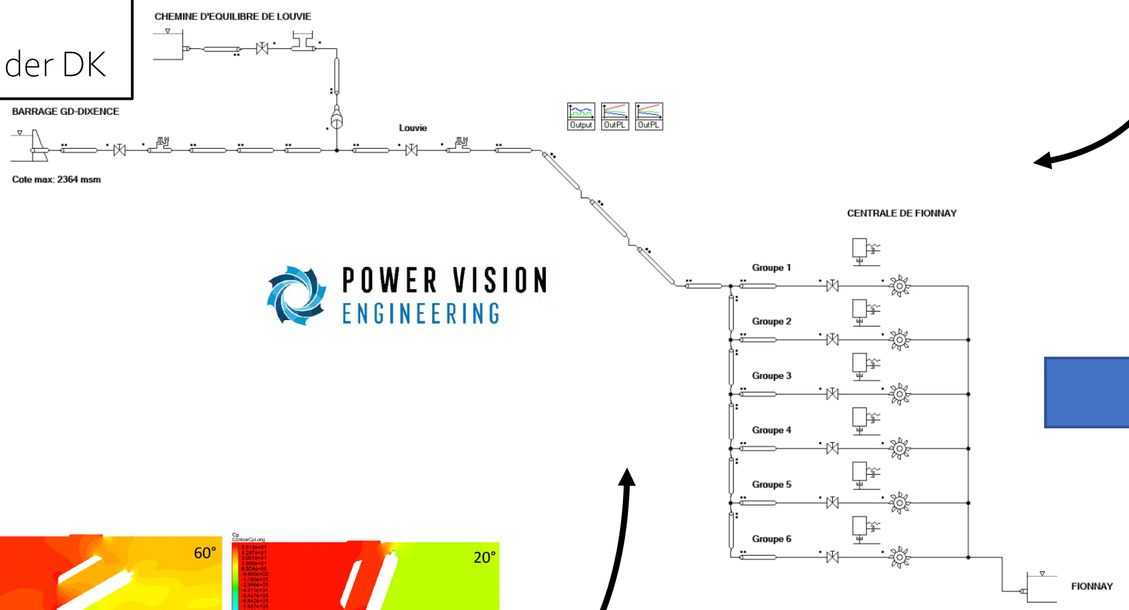
Numerische Berechnungen

Bau des Modells

Scenario

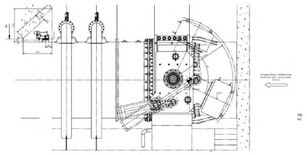
- Anfangsbedingungen
- Aktion auf Elemente
  - Lastaufnahme
  - Rohrbruch
  - Start der Schliessung der DK

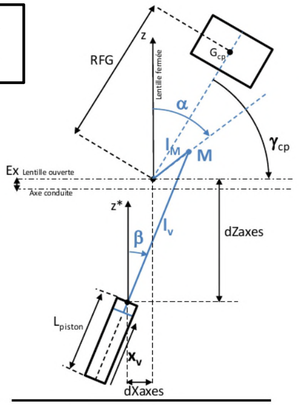
1-D Model der Anlage



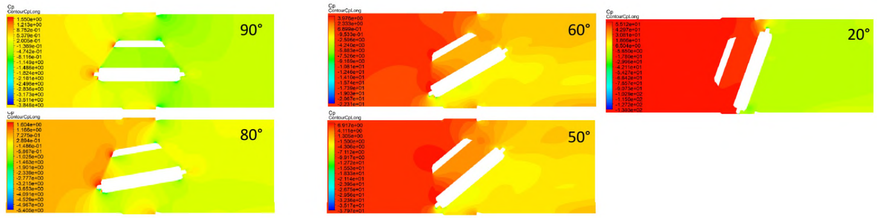
POWER VISION ENGINEERING

Dynamik der DK





CFD der DK



- Koeffiziente der Klappe (kM, kQ, kFi)

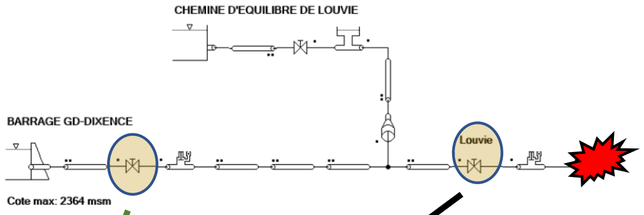
Konsequenzen

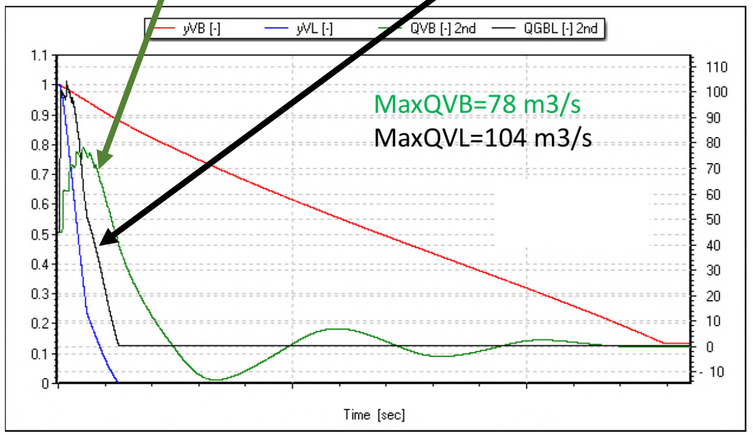
- DK
  - Schliesszeit der DK
  - Druck Ober-Wasser Rohr
  - Moment auf der Welle
  - Druck im Zylinder
- Oben
  - Druck Ober-Wasser Rohr
  - Wasserschloss Niveau
  - Mass Schwingungen
- Unten
  - Druck in Druckleitung (+ und -)
  - Durchfluss

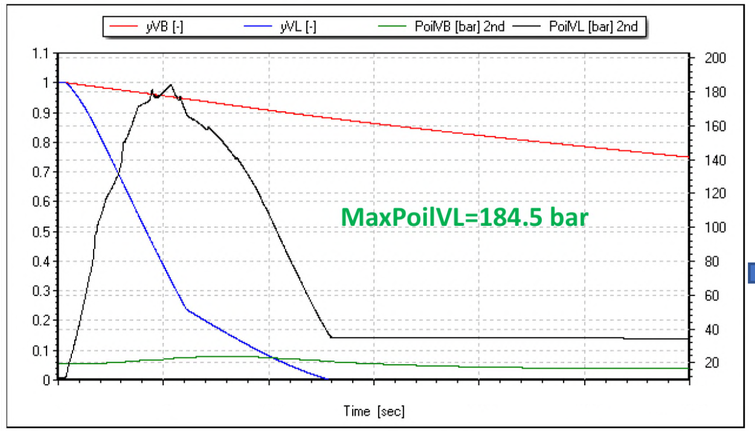
HYDRO

Numerische Berechnungen

Szenario 1







Konsequenzen

- DK-Louvie
  - p max im Zylinder = 184.5 bar
  - Bei der Änderung der Steigung des Verschlusses

Konsequenzen

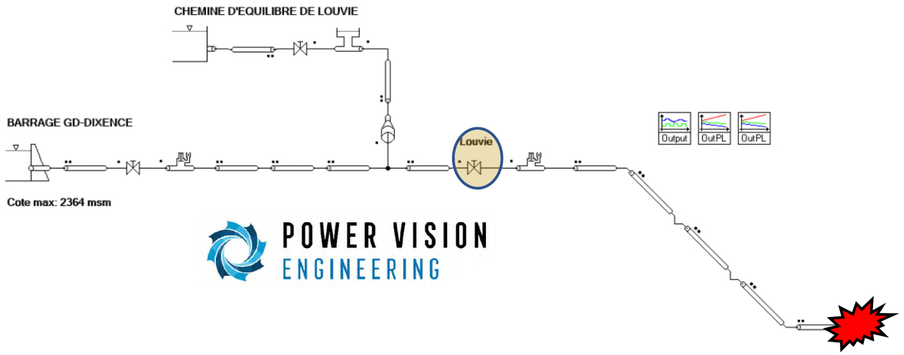
- Klappe bei Staumauer
  - Q max = 78 m³/s
- DK-Louvie
  - Q max = 104 m³/s
  - Schliesszeit : -66.6%

Wasserschloss Entleerung

- Erhöhung des Durchflusses
  - Trägheit kleiner
  - Druckverlust der Galerie nicht beeinflussend
- Abhängig von:
  - Trägheit der Galerie
  - Trägheit des Wasserschlosses
  - Verlustkoeffizient der Wasserschloss-Blende

Numerische Berechnungen

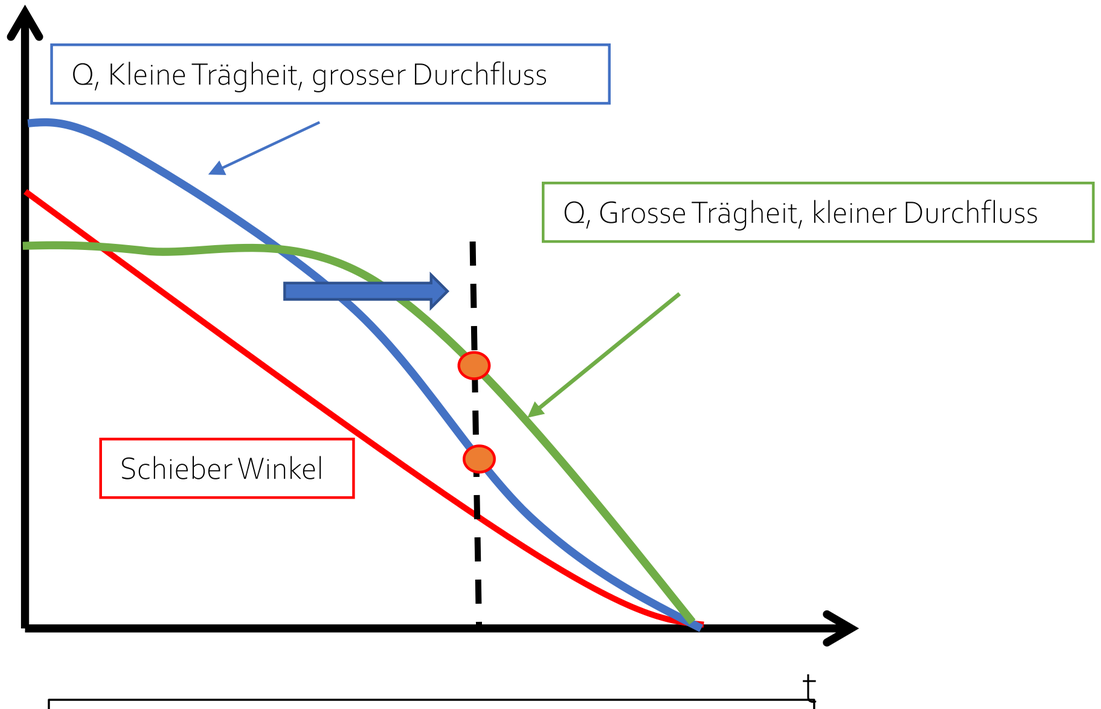
Szenario 2



Konsequenzen

- ➢ DK-Louvie
  - Q max = 85 m³/s
  - Moment auf der Welle : + 57 %

➡ Trägheit der Druckleitung



+41% Durchfluss => + 100% Moment

Hauptbedingung :
Höherer Implantationsdruck der DK

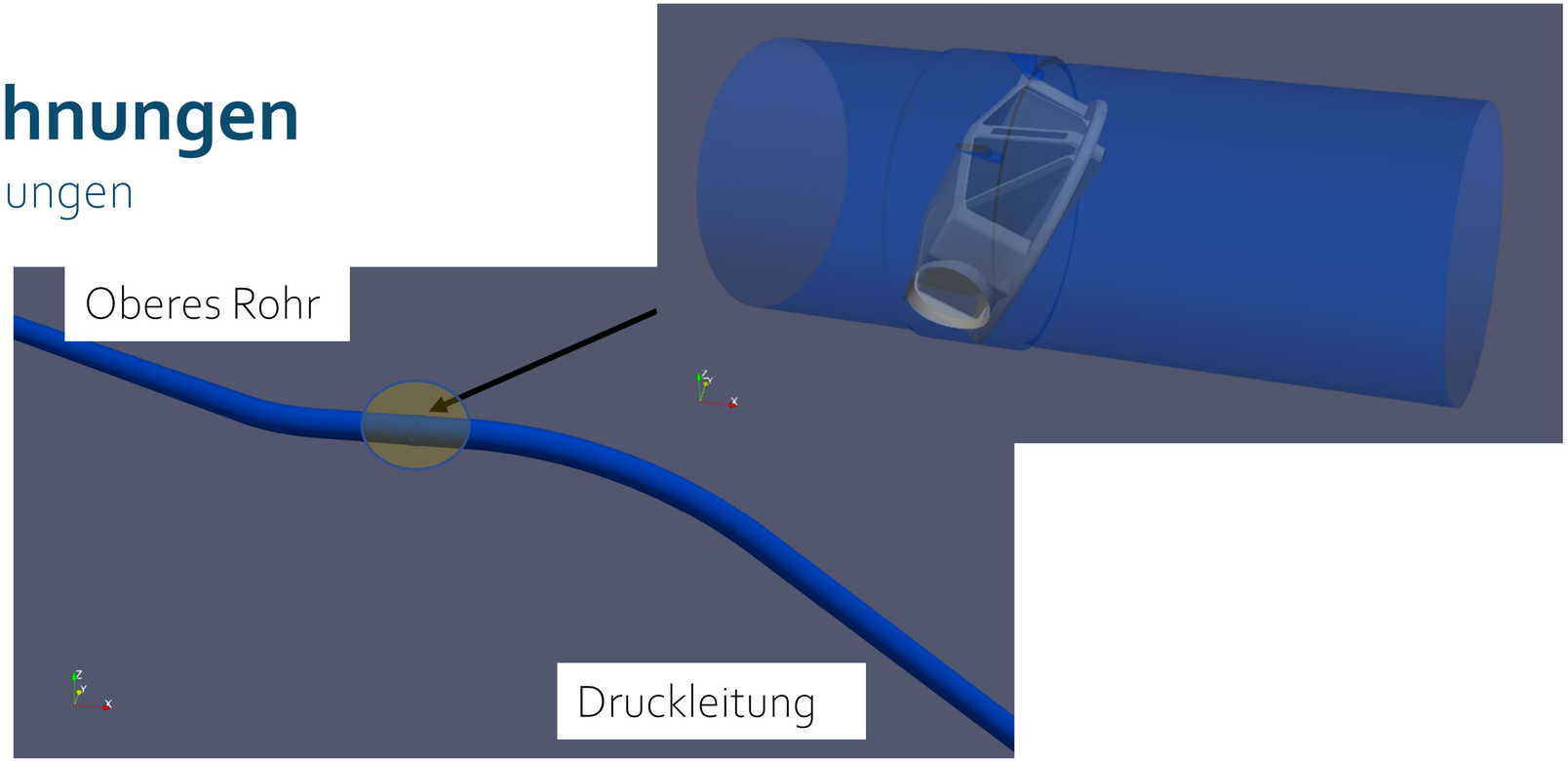
- ➢ Ventile lange zu !

Numerische Berechnungen

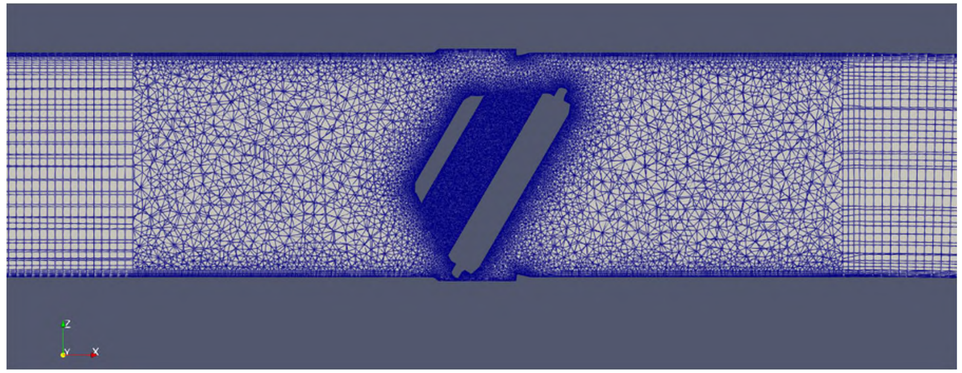
Zeitabhängige – CFD Berechnungen

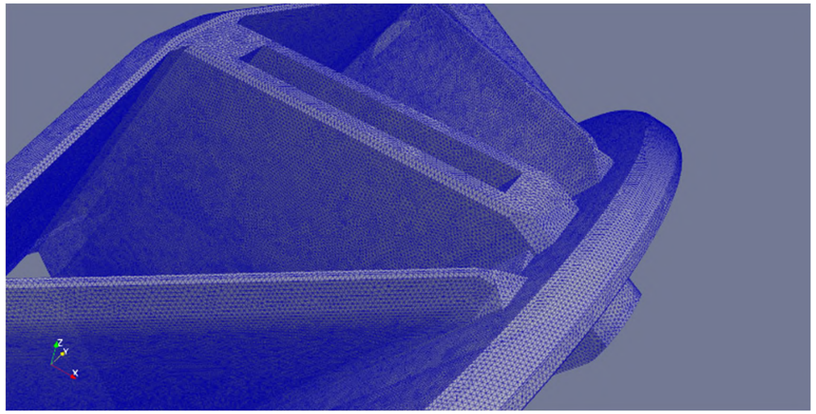
Resultate 1D-Model

- Maximale Moment
  - Durchfluss
  - Winkel



Elemente	$22.2\ 10^6$
Vernetzung	Hybrid (Tétra-Prisma)
Anzahl Layer	10
Layer ratio	1.2



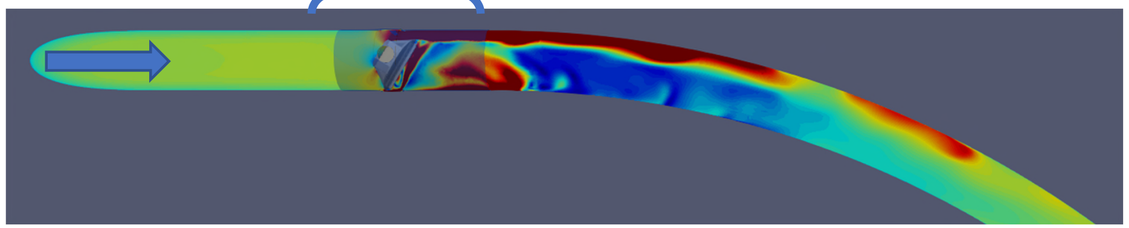


Numerische Berechnungen

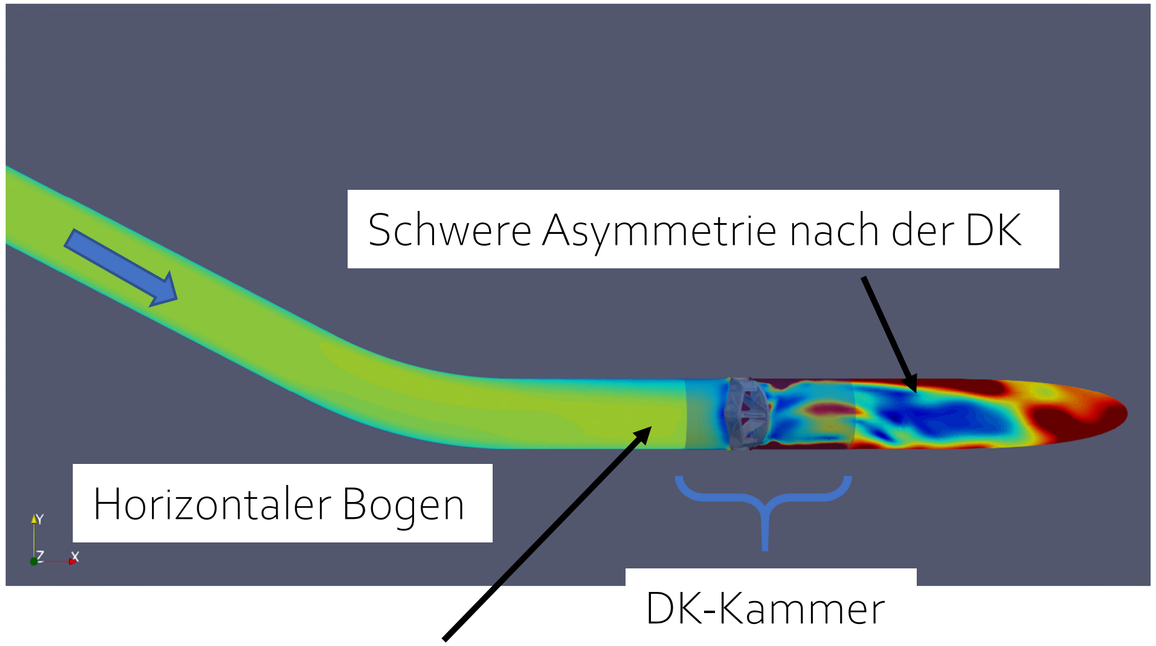
Zeitabhängige – CFD Berechnungen

DK-Kammer

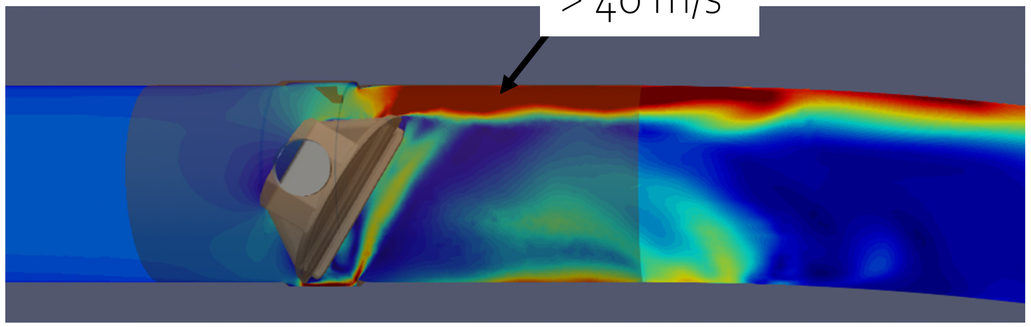
Von Seite - Geschwindigkeit



Von oben - Geschwindigkeit



> 40 m/s

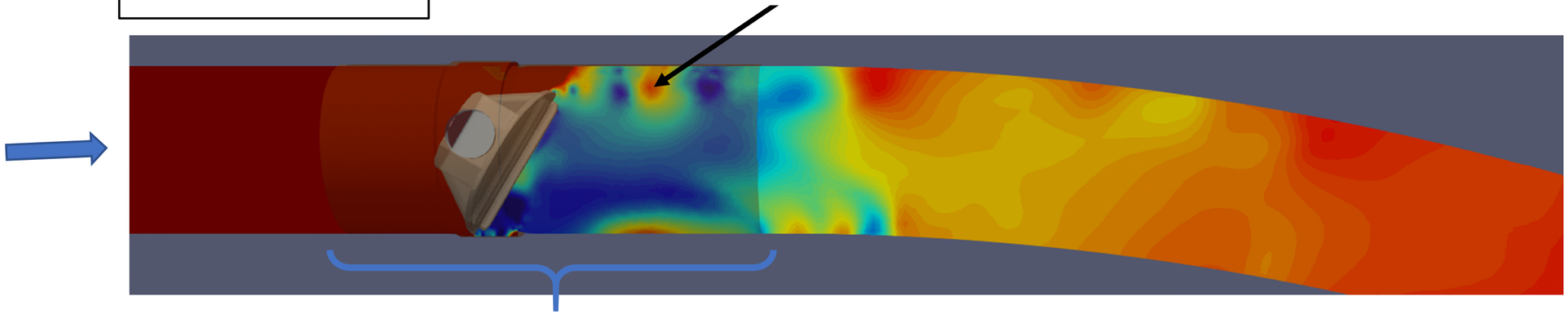


Numerische Berechnungen

Zeitabhängige – CFD Berechnungen

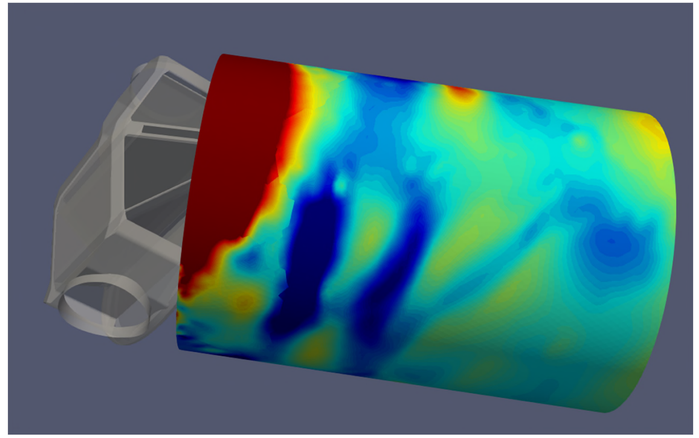
Von Seite - Druck

Wirbel Entlassung



DK-Kammer

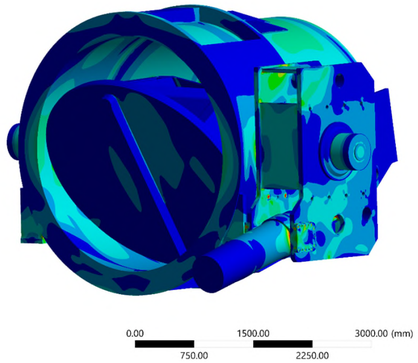
Unstationäre-Belastungen sind nicht zu vernachlässigen



Ausbaurohr - Druck

Druckfeld => FEM Berechnungen

- o Statisch
- o Harmonisch



Numerische Berechnungen

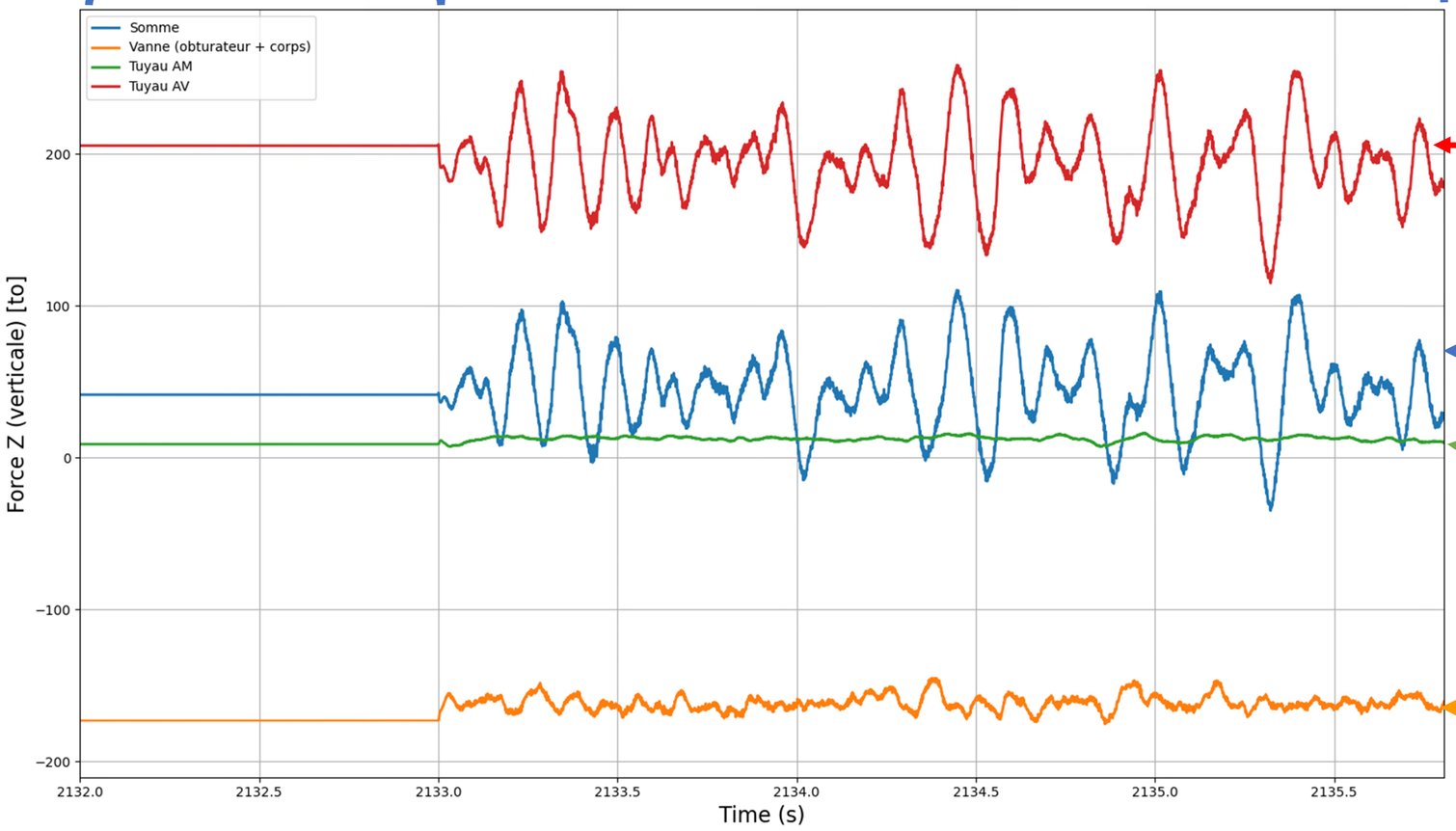
Zeitabhängige – CFD Berechnungen

Vertikale Kräfte (Axe der Klappe : Horizontal)

5 bis 10% der Tellerkraft

Stationäre - RANS

Unstationäre - URANS - Zeitabhängig



Ausbau-Rohr

Summe

Oberwasser-Rohr

DK (Teller + Körper)

Teller : circa 615 To

Inbetriebnahmeversuche

Abschätzung der Reibungen im Schließmechanismus

- Konstant Reibung
- Reibung proportional mit Teller Kraft (Reibungskoeffizient)

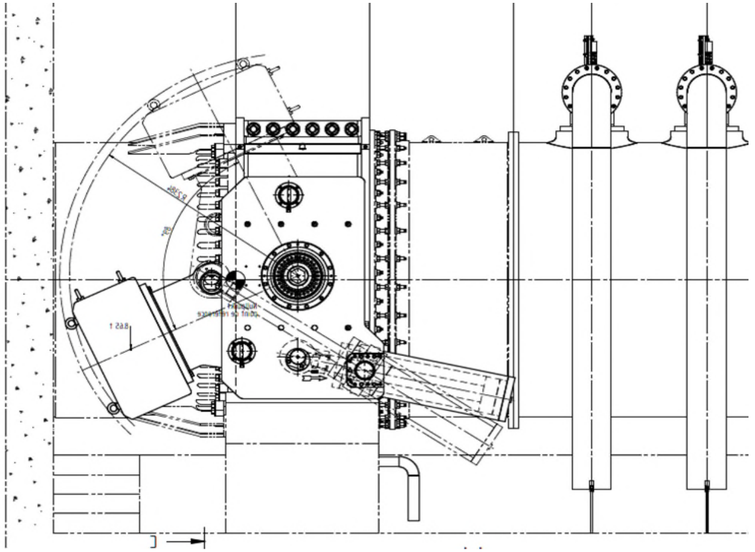
→ Öffnungsversuche unter Druckdifferenz

Messungen:

- Winkel
- Wasserdruck oben
- Wasserdruck unten
- Öldruck im Zylinder

Hochdruck Seite

p = circa 18 bar



Druckleitung Seite

p = 0-18 bar

Inbetriebnahmeversuche

Abschätzung der Reibungen im Schließmechanismus

Berechnungsprinzip

Berechnet | Gemessen mit Δp = 0 | Berechnet

$$\sum M = 0 \qquad -M_{Zyl} = M_{W-Oben} + M_{W-Unten} + M_{Gew} + M_{R-kst} + M_{R-prop} + M_{Fehler}$$

- Öldruck
- Zylinderdurchmesser
- Hebelarm

- Wasserdruck
- Exzentrizität
- Druckpunkt

- Teller Gewicht
- Schwerpunkt
- Gegengewicht

- Reibung Dichtungen
- Unbekannte konstante Reibung

- Reibung im Lager
- Reibung Manschette im Zylinder → klein

$$M_{R-prop} = \sum_{Lager} \left|\overrightarrow{F_{Zyl}} + \overrightarrow{F_{Teller}}\right| \cdot r \cdot \mu$$

← Parameter!

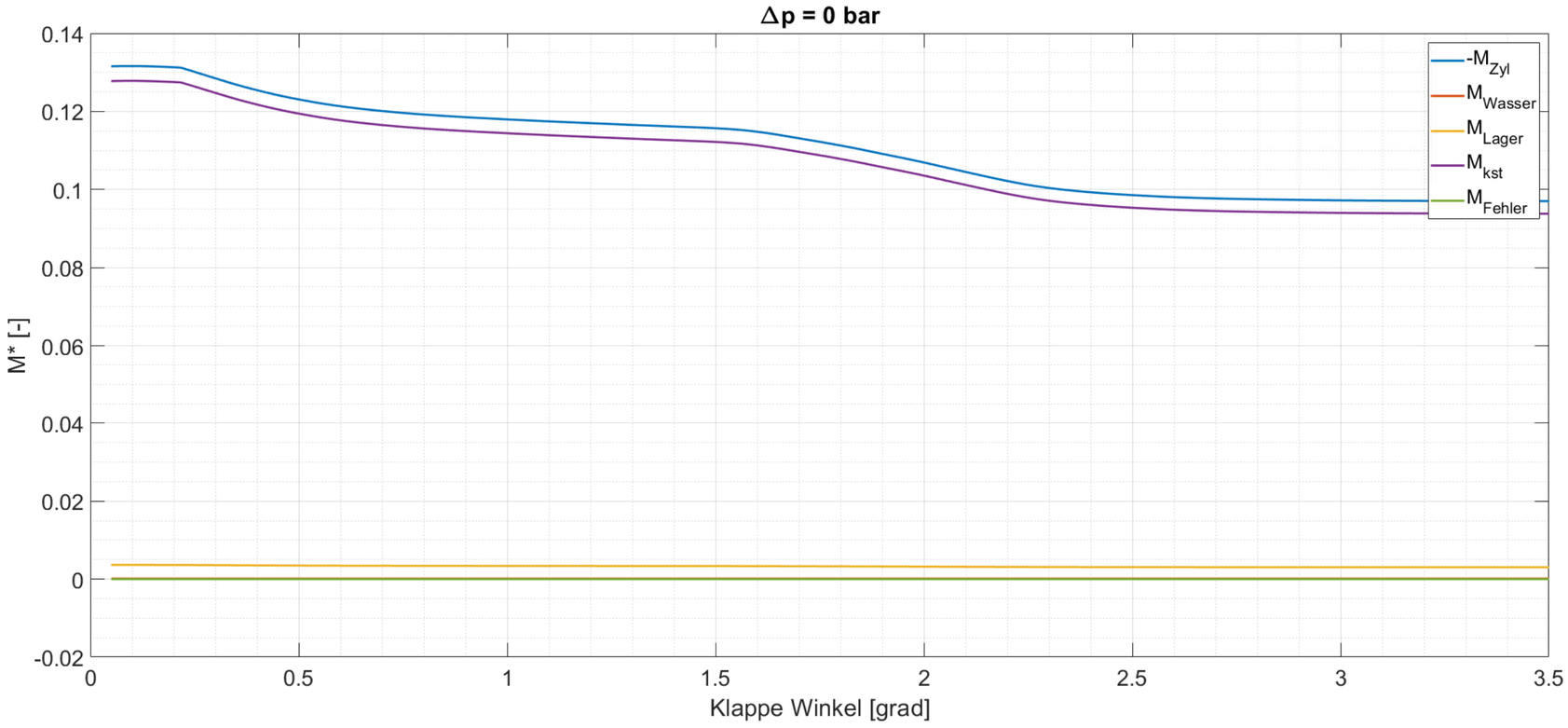
HYDRO

Inbetriebnahmeversuche

Abschätzung der Reibung im Schließmechanismus

Öffnungsversuche ohne Druckdifferenz

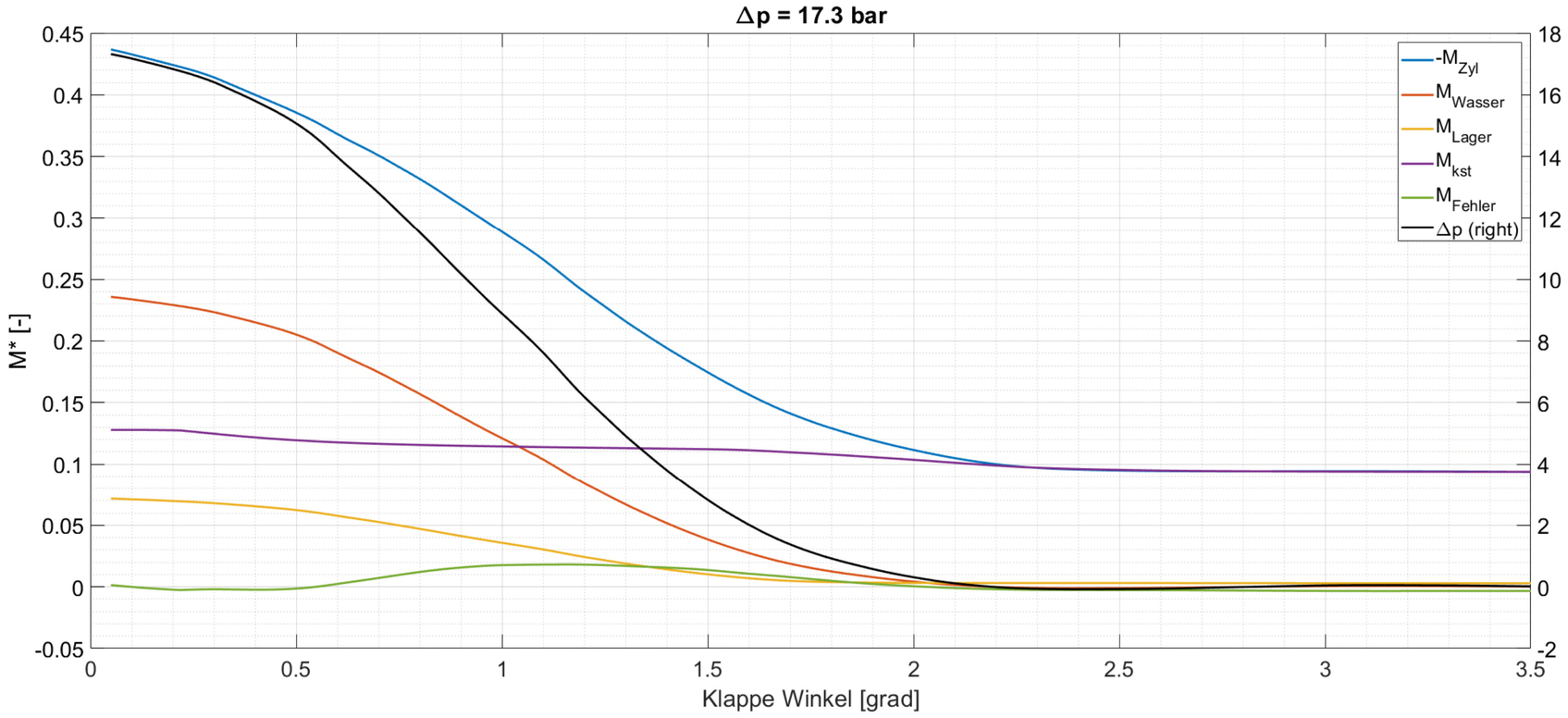
$$M_{kst} = -M_{Zyl} - M_{Lager}$$
$$M_{Wasser} = 0$$
$$M_{Fehler} = 0$$



Inbetriebnahmeversuche

Abschätzung der Reibung im Schließmechanismus

Öffnungsversuche mit 17.3 bar Druckdifferenz

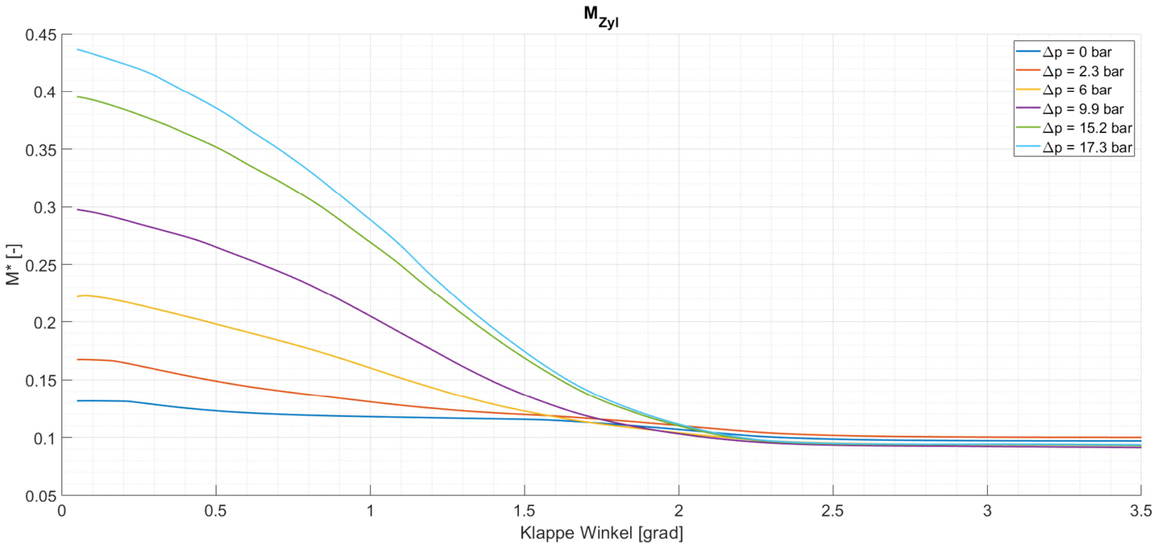


$\mu = 0.052$!

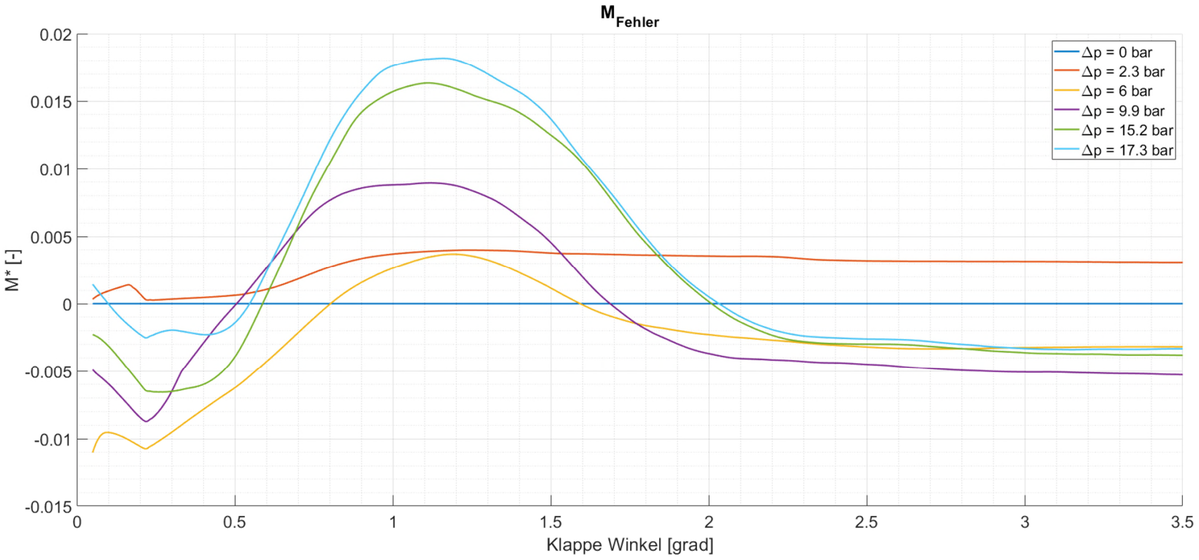
Inbetriebnahmeversuche

Abschätzung der Reibung im Schließmechanismus

Öffnungsversuche Druckdifferenz



$\mu = 0.052$!

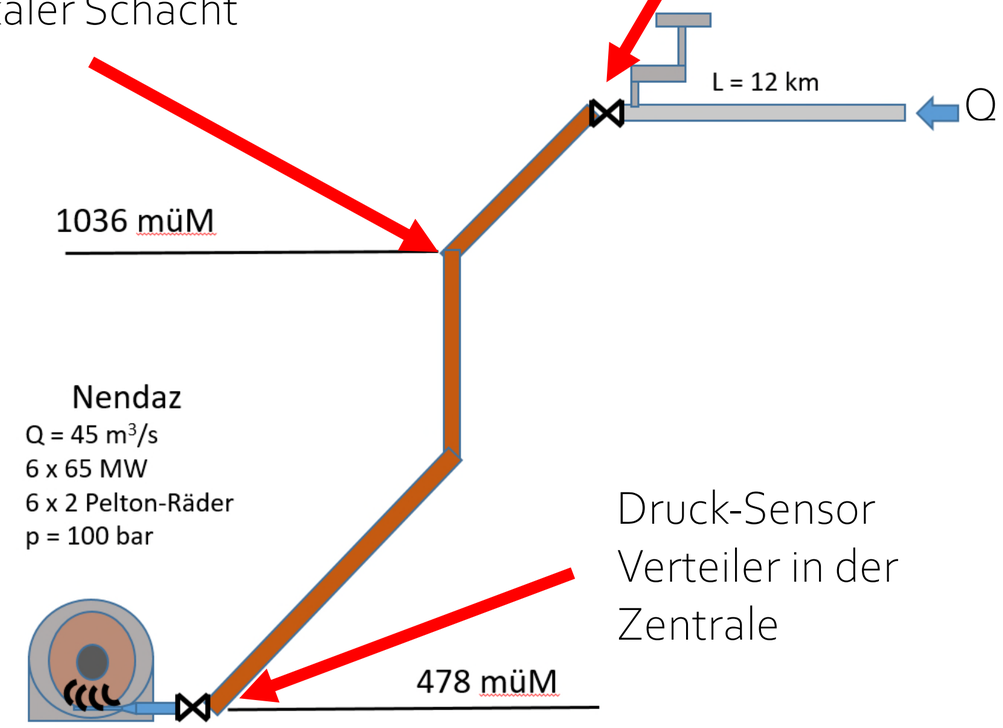


Inbetriebnahmeversuche

Schliessung mit fliessendem Wasser

DK
- Winkel
- Wasserdruck vor und nach DK
- Öldruck im Zylinder
- Ventil Stellung
- Beschleundigungssensor
- Mikrophone

Druck-Sensor
Vertikaler Schacht



Druck-Sensor
Verteiler in der
Zentrale

Synchro von 3 Datenspeicher
- ✓ Lichtwellenleiter (LWL)
- ✓ Synchro Signal TTL
- ✓ Fehlsynchro : circa 20 µs

Inbetriebnahmeversuche

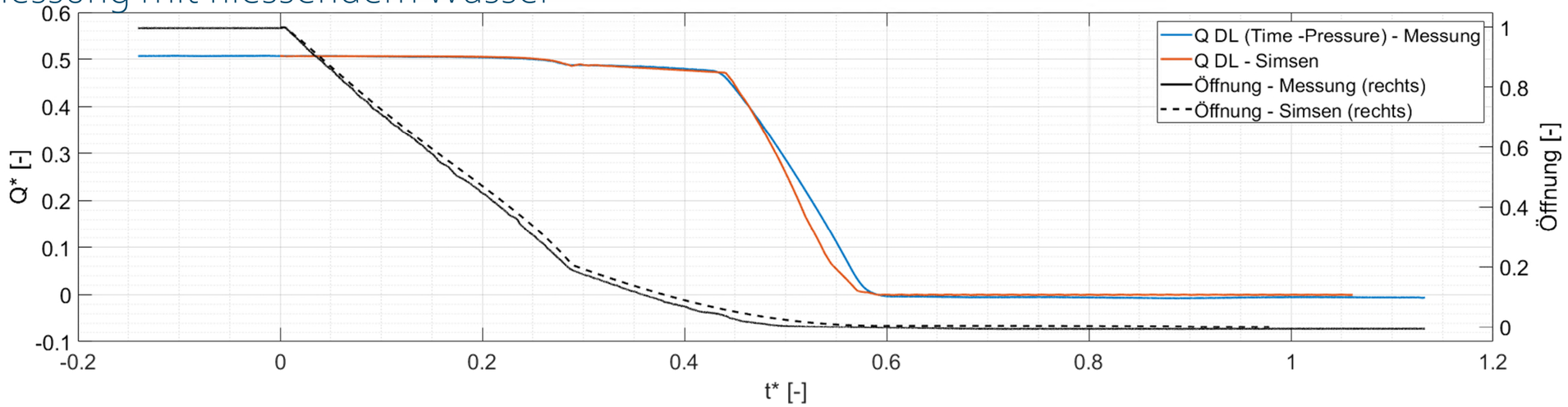
Schliessung mit fliessendem Wasser

Vorgang

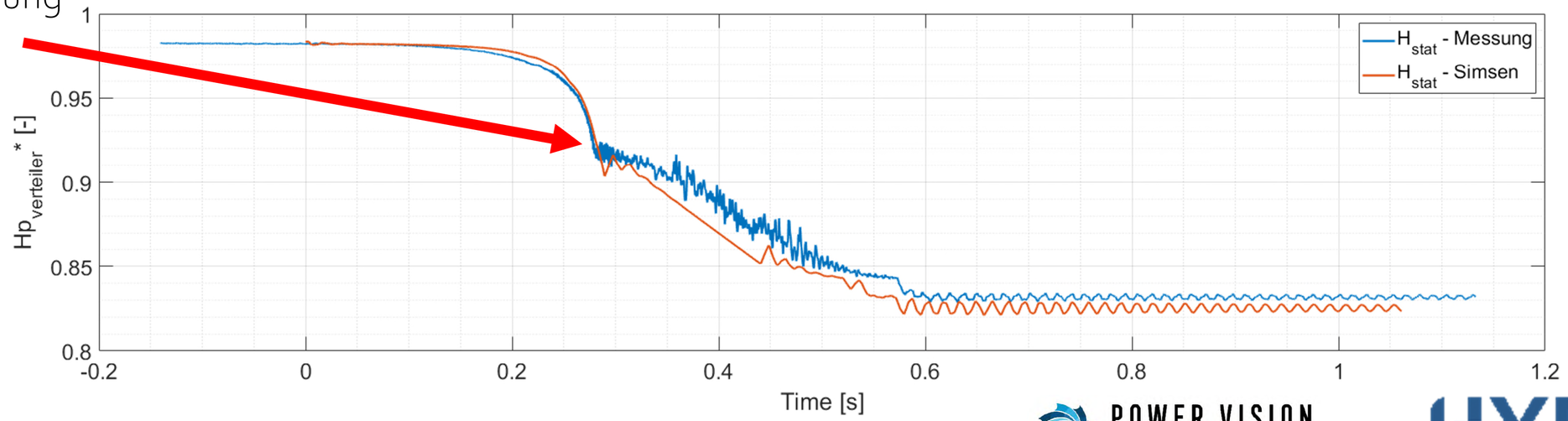
1) Lastaufnahme bis zirka 50% Nenndurchfluss
2) Stabilisierung des Wasserschloss-Niveau (Stationärer Zustand der gesamten Anlage)
3) Öffnungs-Regelung auf allen Injektoren im Betrieb (nicht Leistung)
4) Schliessbefehl auf der DK
5) Bei etwa 5 Grad der Teller => Schnellstopp Befehl auf allen Maschinen.

Inbetriebnahmeversuche

Schliessung mit fliessendem Wasser

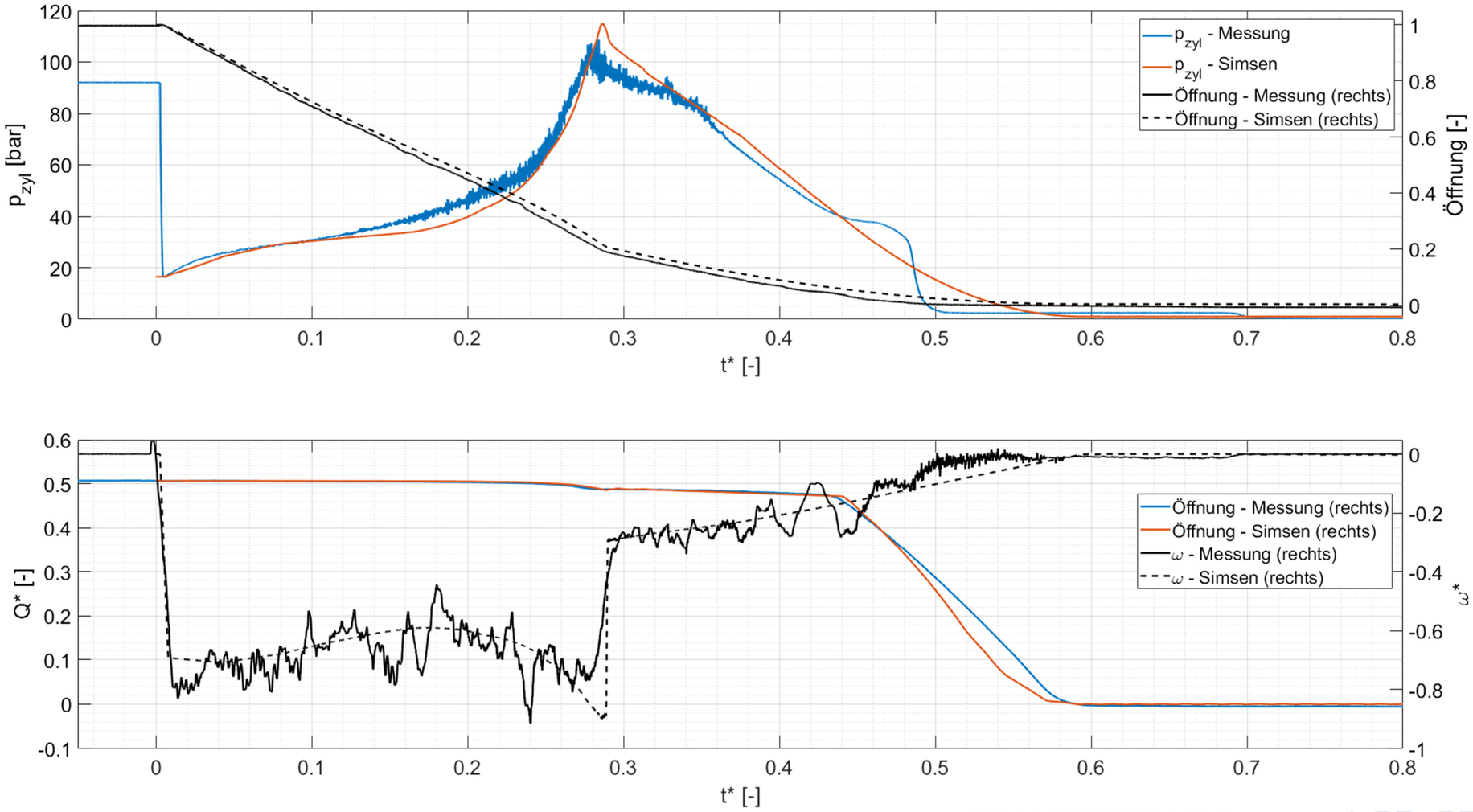


Ventil Öffnung



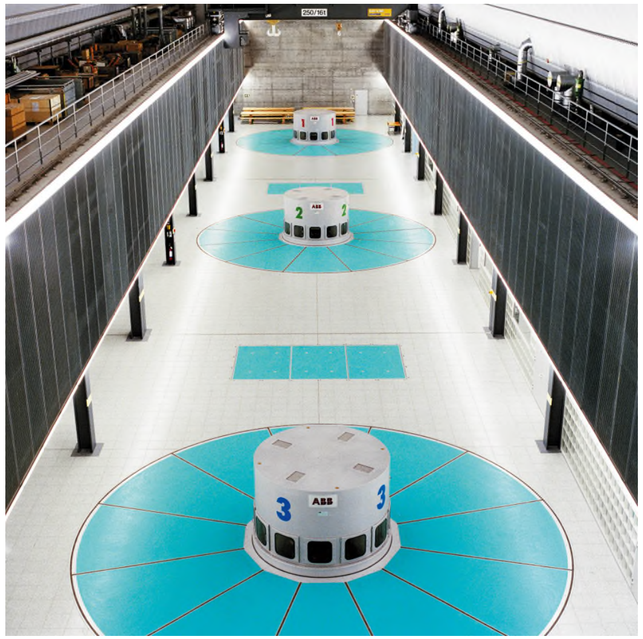
Inbetriebnahmeversuche

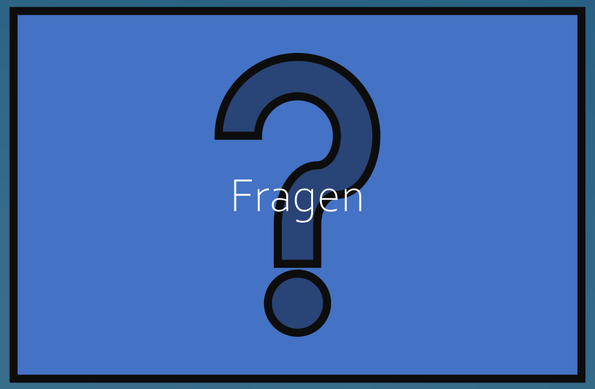
Schliessung mit fliessendem Wasser



Schlussfolgerung

1) Die Belastung einer DK ist Funktion der gesamten Anlage und Einstellungsparameter von jedem Element
2) Statische Berechnungen (unendlich lange Schliesszeit) haben grosse Begrenzungen
3) Die Trägheit der Galerie, Druckleitung kann ein grosser Einfluss auf die Belastungen der DK haben.
4) Der grösste Durchfluss beim Bruchfall erzeugt nicht unbedingt der grösste Drehmoment
5) Die Ventile sind Sicherheitselemente der Druckleitung aber auch der DK.
6) Die Zeit - durchschnittliche Summe der Kräfte in einer DK ist etwa = 0 aber :
7) Die Zeit - abhängige Schwingungen der Kräfte sind überhaupt nicht zu vernachlässigen.
8) Die Sicherheit-Faktoren dürfen nicht geknabbert werden





Besten Dank :

- Ing. Mek. Dipl. EPF, dr ès sc. Steven Stojanovic-Roth (HYDRO Exploitation AG)
- Ing. Elek. Dipl. EPF Beat Imboden (Direktor Grande Dixence AG)
- Ing. Mek. Dipl. EPF, dr ès sc. Christophe Nicolet (Managing Direktor POWER VISION ENGINEERING GmbH)
- Ing. Mek. Dipl. EPF, dr ès sc. Sébastien Alligné (POWER VISION ENGINEERING GmbH)

RUE DE L'INDUSTRIE 10
CP 315 – 1951 SION

027 328 44 11
027 328 44 12

www.hydro.ch

HYDRO