

Numerische und experimentelle
Untersuchungen von Druckstößen in
Rohrleitungen und Kreiselpumpen

Unbefugten
Zutritt verboten

Lehrstuhl für Prozessmaschinen
und Anlagentechnik, Erlangen

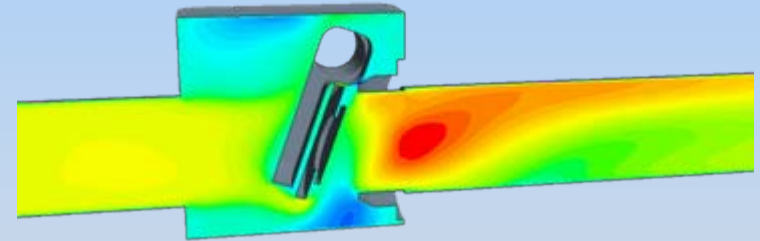
Andreas Ismaier
Prof. Dr.-Ing. E. Schlücker

Areva NP Erlangen
Dr. rer. nat. W. Schnellhammer



Warum nach über 2000 Jahren Rohrleitungstechnik auch heute noch Forschung?

- Früher: Erfahrung der Baumeister, „Trial and Error“
- Heute: Rohrleitungen werden vorab berechnet
→ Fluiddynamische Effekte müssen verstanden werden
- Neue Methoden verfügbar:
 - Hochdynamische Messtechnik
 - Computergestützte Auslegung



- **Inhalt des Vortrages:**
 - Ursachen und Folgen von Druckstößen
 - Versuchsanlage am iPAT
 - Druckstoß durch Ventilschnellschluss
 - Wechselwirkung zwischen Druckstoß und Kreiselpumpe
 - Film mit einer Hochgeschwindigkeitskamera

Entstehung von Druckstößen

Grundsätzlich führt jede Änderung des stationären Betriebszustandes zu Druckstößen:

- Regel- und Stellvorgänge
- An- und Abfahrprozesse
- Ausfall von Pumpen
- Schnellschluss von Ventilen



Harmlose Druckerhöhung oder gefährlicher Druckstoß?

Abhängig vom System! Niederdrucksysteme sind meist stärker gefährdet.

Je schneller die Änderung, desto stärker der Druckstoß.

Ventilschnellschluss

- Joukowsky-Stoß: $\Delta p_J = c \cdot \Delta v \cdot \rho$
- Voraussetzung: Schließzeit des Ventils ist kleiner als die Reflektionszeit t_r der Druckwelle
- $t_r = 2 \cdot L / c$
→ Abhängig von Rohrleitungslänge L und Schallgeschw. c

Beispiel:

- Wasserleitung 100 m: $t_r = 0,15$ s
- Erdölpipeline 1000 km: $t_r = 19,6$ min

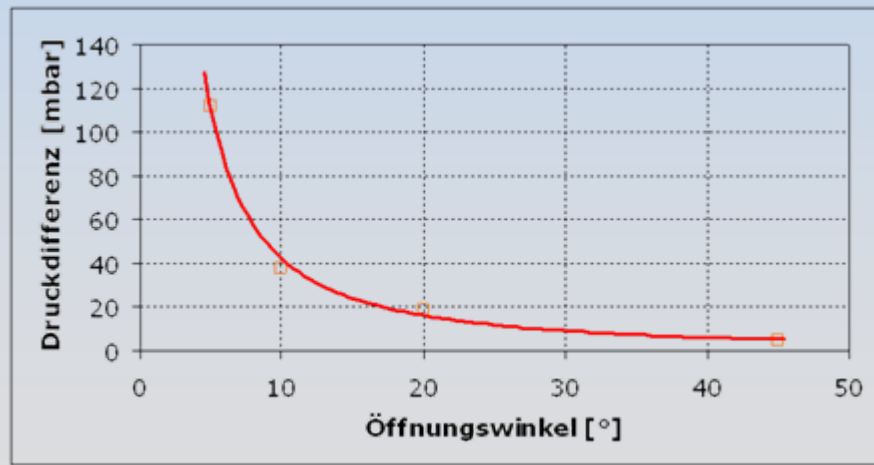
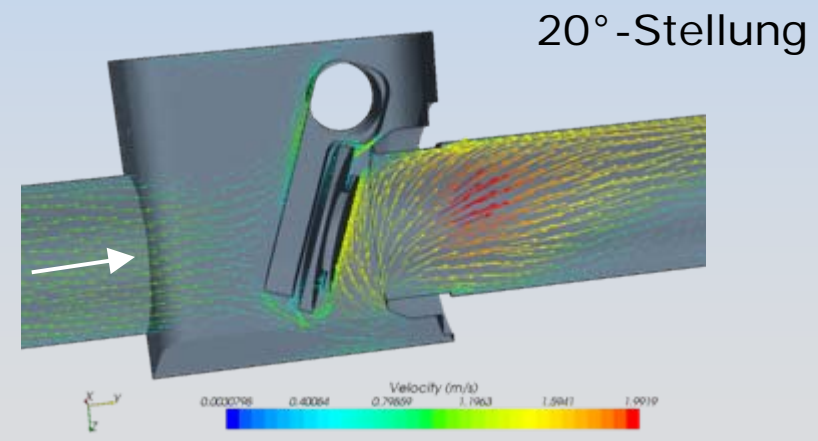
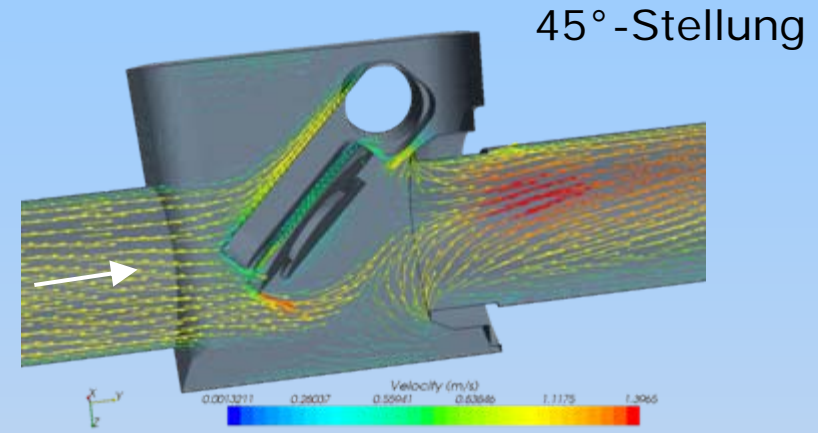
Ventilschnellschluss bei 3 m/s Strömungsgeschwindigkeit,
Medium Wasser ($c = 1300$ m/s)

→ $\Delta p_J = 39$ bar

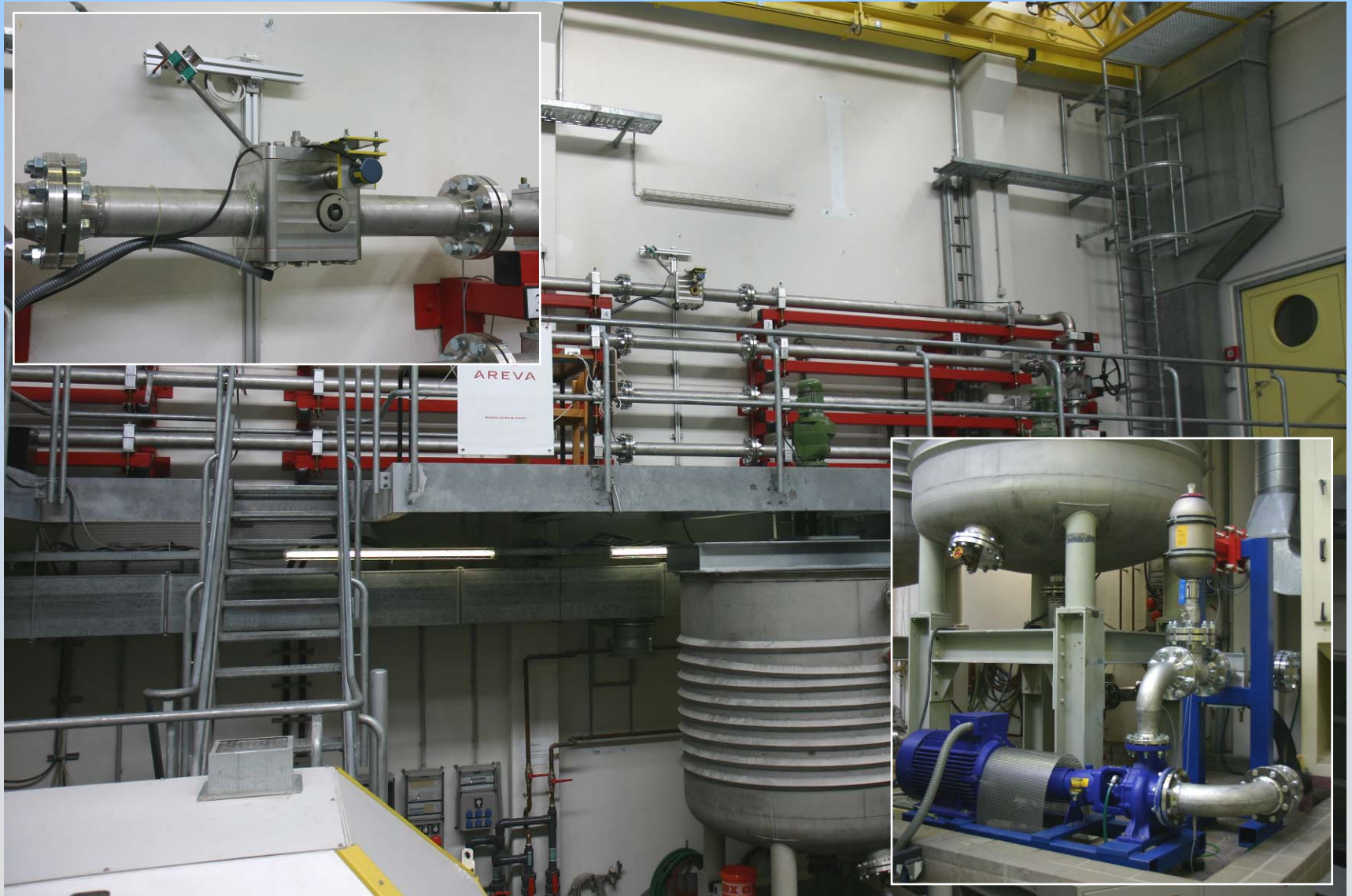
→ resultierende Kraft auf DN100 Rohr: 30,6 kN (3100 kg!)

Wann beginnt der hydraulische Schließvorgang?

- Gesamte Schließzeit einer Armatur ist ungleich der hydraulischen Schließzeit!
- Der Schließvorgang findet meist erst in den letzten 10 – 20 % des Schließweges statt.
- Vorher nur Erhöhung des Druckverlustes

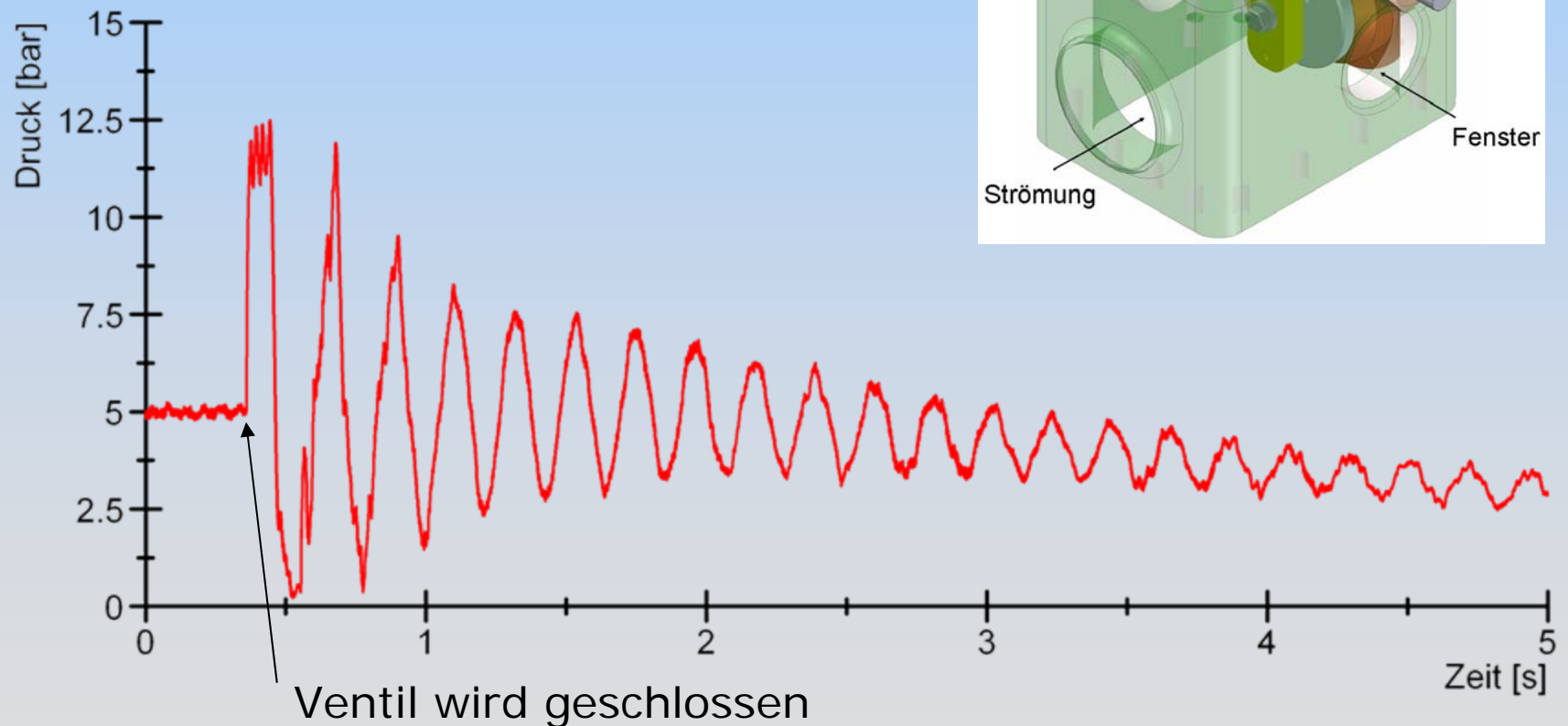
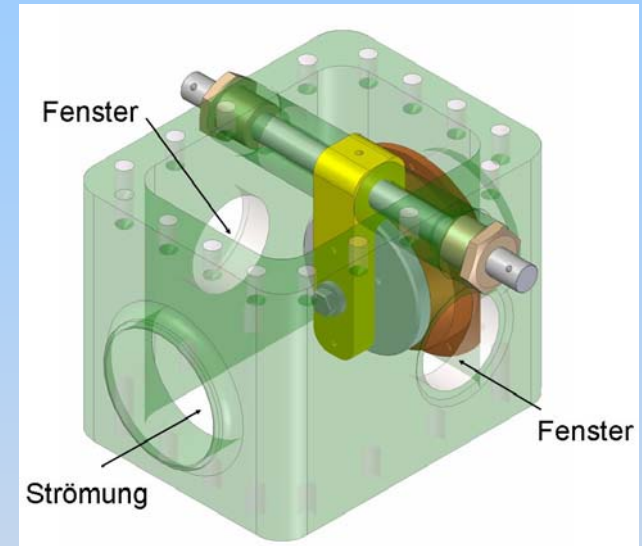


Versuchsanlage am iPAT

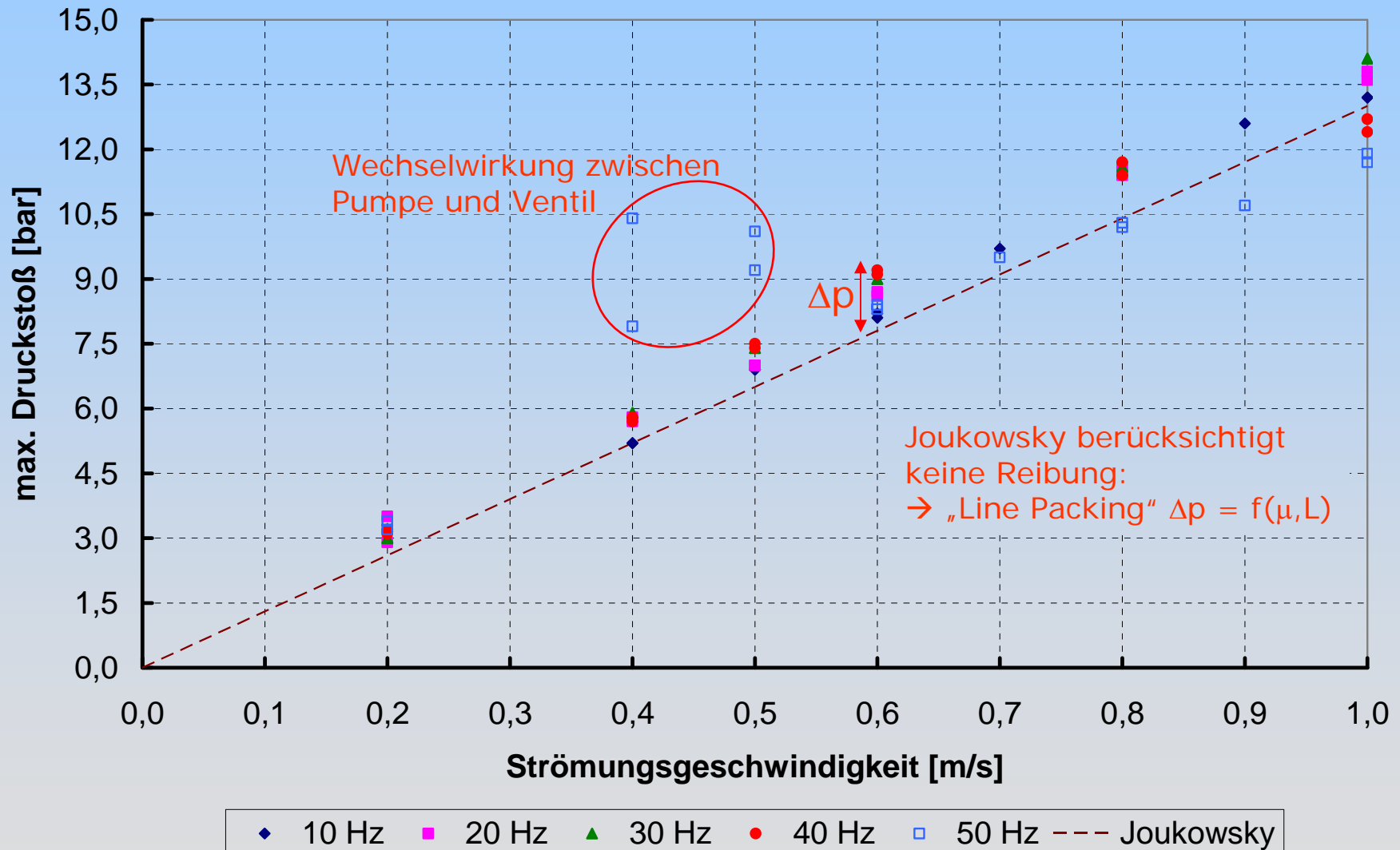


Beispiel für einen Ventilschnellschluss

Schnellschlussventil entspricht einer gegen die Strömung eingebauten Rückschlagklappe

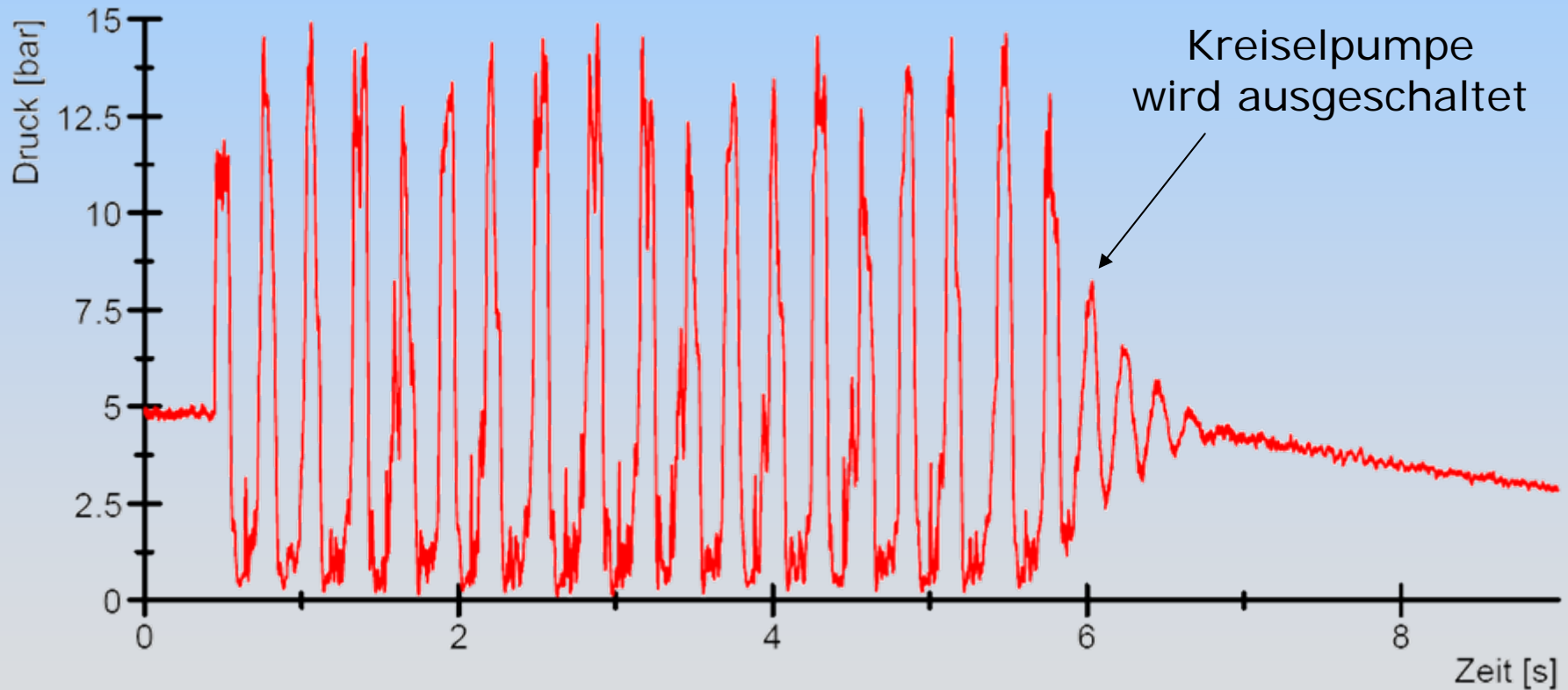


Joukowsky – Theorie und Praxis



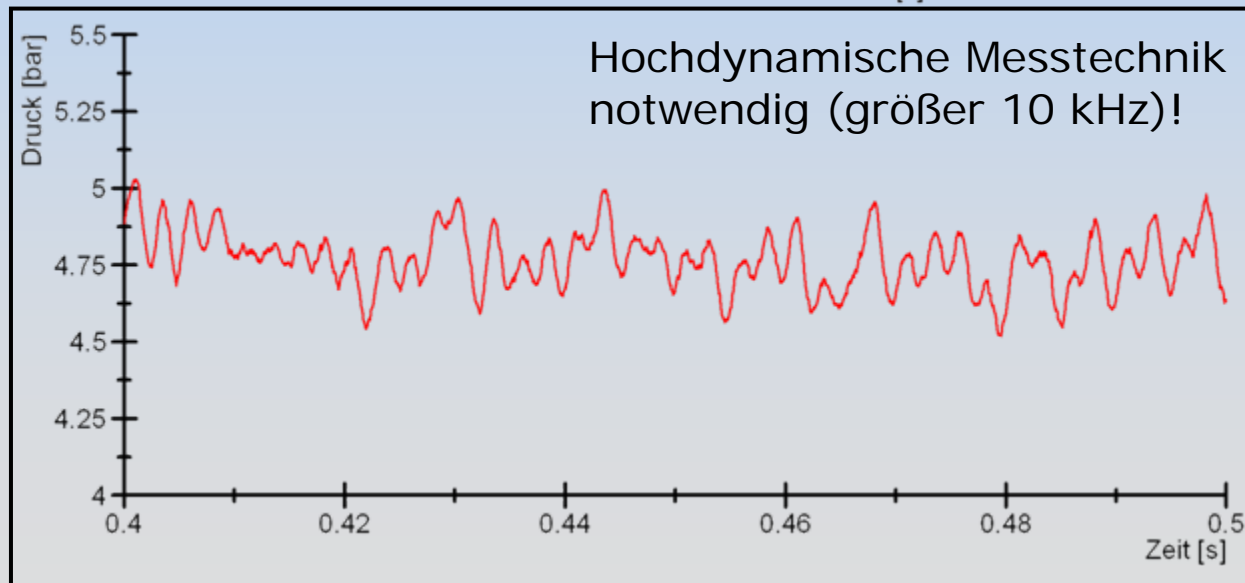
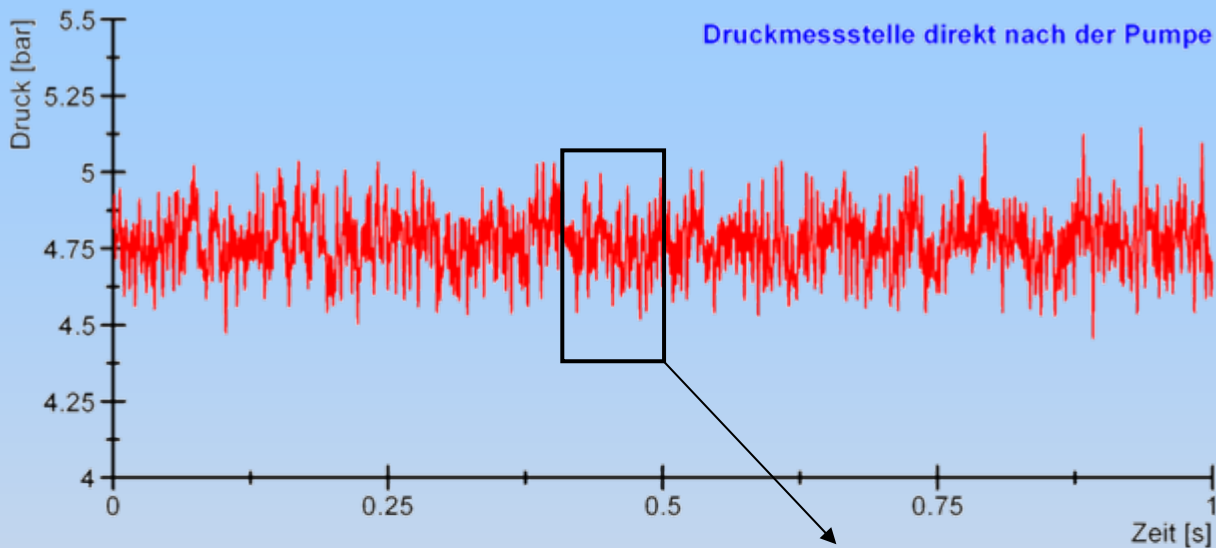
Resonanz

Wechselwirkung zwischen Kreiselpumpe und Schnellschlussventil



Ursache: Druckpulsation der Kreiselpumpe

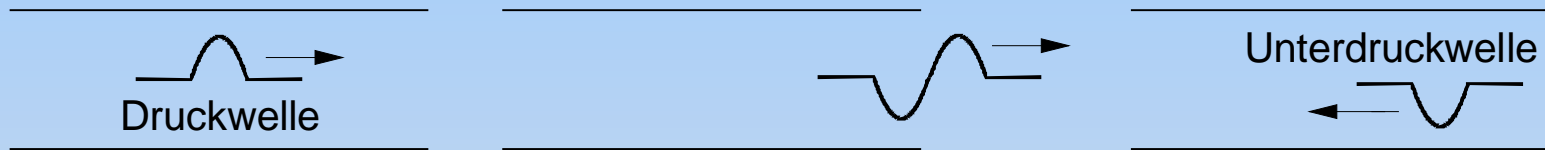
Druckpulsation der Kreiselpumpe



Druckwellenreflexion

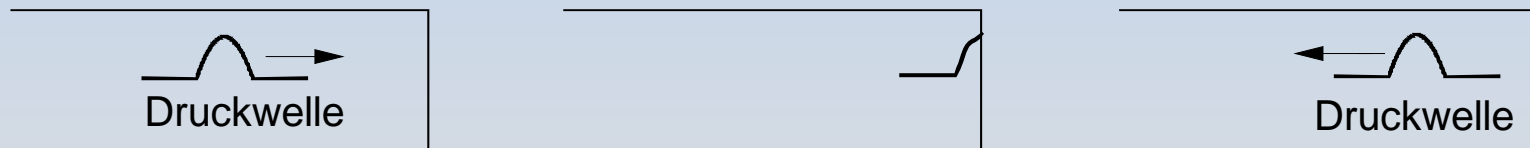
Idealisierte Extremfälle vollständiger Reflexion:

Negative Reflexion an **offenem** Rohrende



Beispiel: Offener Behälter

Positive Reflexion an **geschlossenem** Rohrende

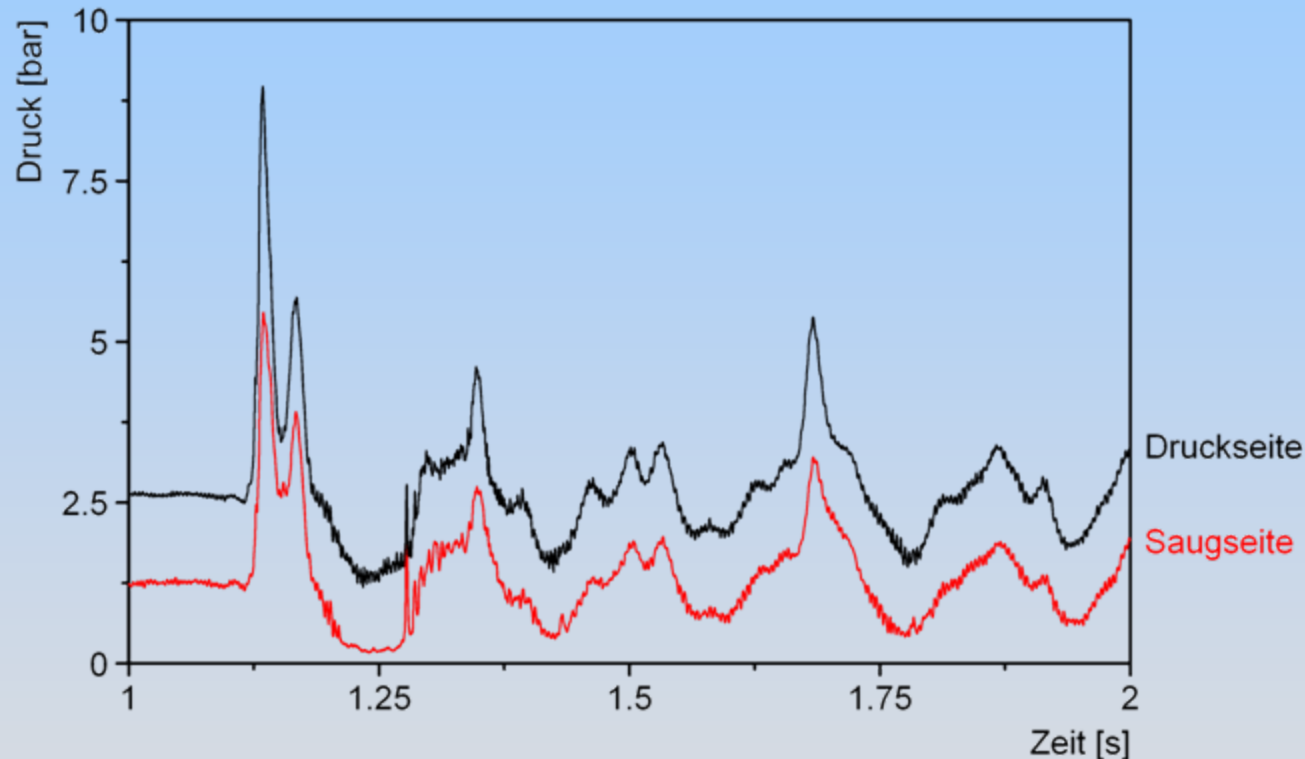


Beispiel: geschlossenes Ventil

Wie interagiert ein Druckstoß mit einer Kreiselpumpe?

Druckstoß und Kreiselpumpe

● Kreiselpumpe offenes oder geschlossenes Ende?



Druckwelle läuft durch → offenes Rohrstück

Allerdings Abschwächung der Druckstoßamplitude

→ **Kreiselpumpe = Druckverlustbeiwert für Druckstöße**

Zusammenfassung

- Joukowsky-Formel gut für erste Abschätzung, kritische oder komplexe Systeme unbedingt numerisch überprüfen
→ Resonanz, Line Packing
- Auch Kreiselpumpen können ein System anregen
- Kreiselpumpe ist hydraulisch offen für Druckwellen
- Aufnahme mit einer Hochgeschwindigkeitskamera:

