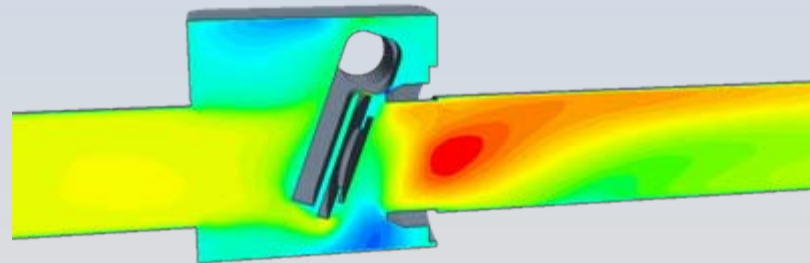


Druckstöße, Resonanzzustände und
Fluid-Struktur-Wechselwirkungen in
Kreiselpumpenanlagen

Unbefugten
Zutritt verboten

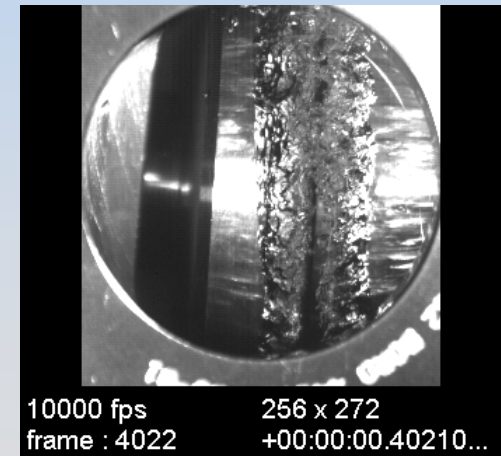
Warum heute noch Forschung?

- **Früher:** Erfahrung der Baumeister, „Trial and Error“
relativ einfache Systeme
- **Heute:** Komplexe Anlagen, Dynamische Lasten,
Gefahrstoffe, extreme Drücke/Temperaturen ...
→ Rohrleitungen werden vorab berechnet
→ Fluiddynamische Effekte müssen verstanden werden
- **Neue Methoden verfügbar**
 - Hochdynamische Messtechnik
 - Computergestützte Auslegung



Inhalt des Vortrages

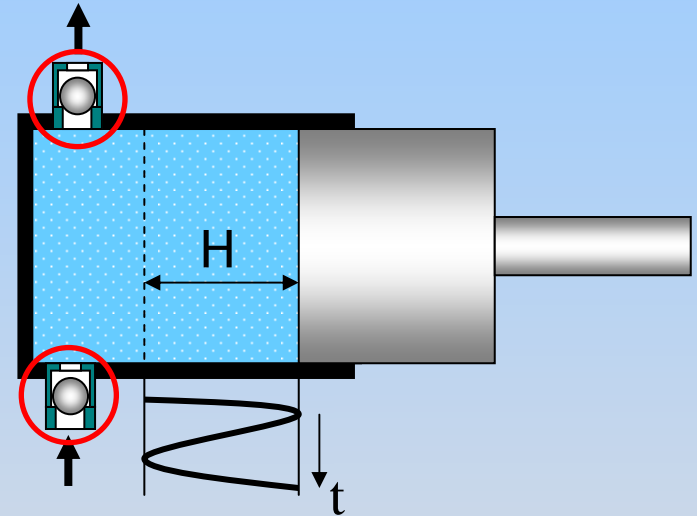
- Entstehung von Druckstößen
- Druckpulsation von Kreiselpumpen
- Fallbeispiel aus einem Klärwerk
- Versuchsanlage am iPAT
- Wechselwirkung zwischen Druckstoß und Kreiselpumpe
- Film mit einer Hochgeschwindigkeitskamera



Entstehung von Druckstößen

Grundsätzlich führt jede schnelle Änderung des stationären Betriebszustandes zu Druckstößen:

- Regel- und Stellvorgänge
- An- und Abfahrprozesse
- Schnellschluss von Ventilen
- Normaler Betrieb von Pumpen
 - Verdrängerpumpen
 - Kreiselpumpen

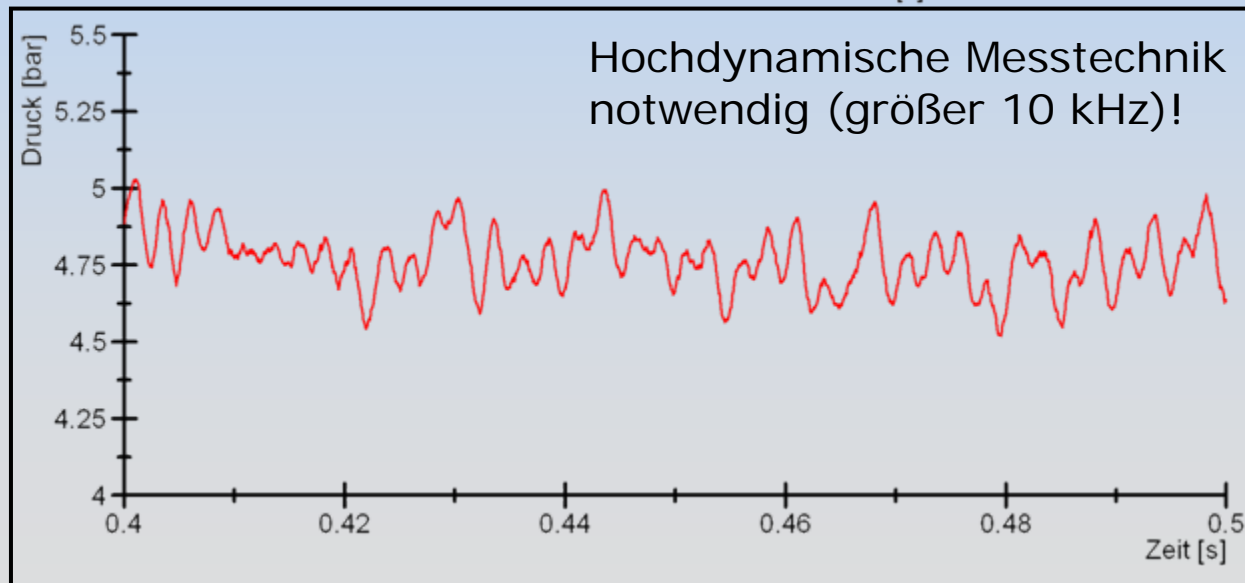
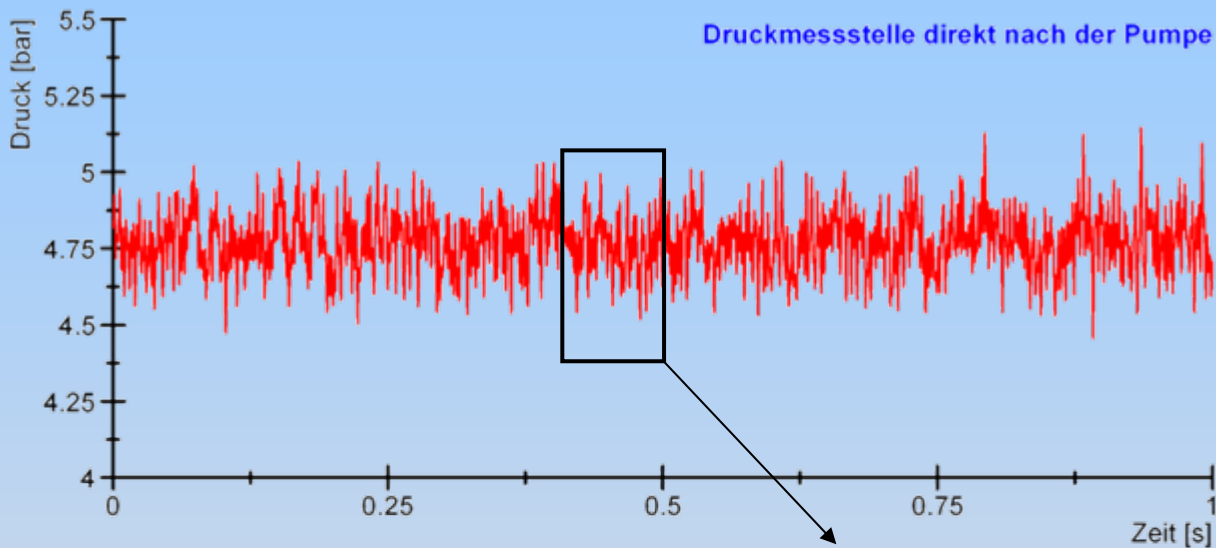


Harmlose Druckerhöhung oder gefährlicher Druckstoß?

Abhängig vom System! Niederdrucksysteme sind meist stärker gefährdet.

Je schneller die Änderung, desto stärker der Druckstoß.

Druckverlauf einer Kreiselpumpe



Fallbeispiel:

Befüllung eines Faulturms

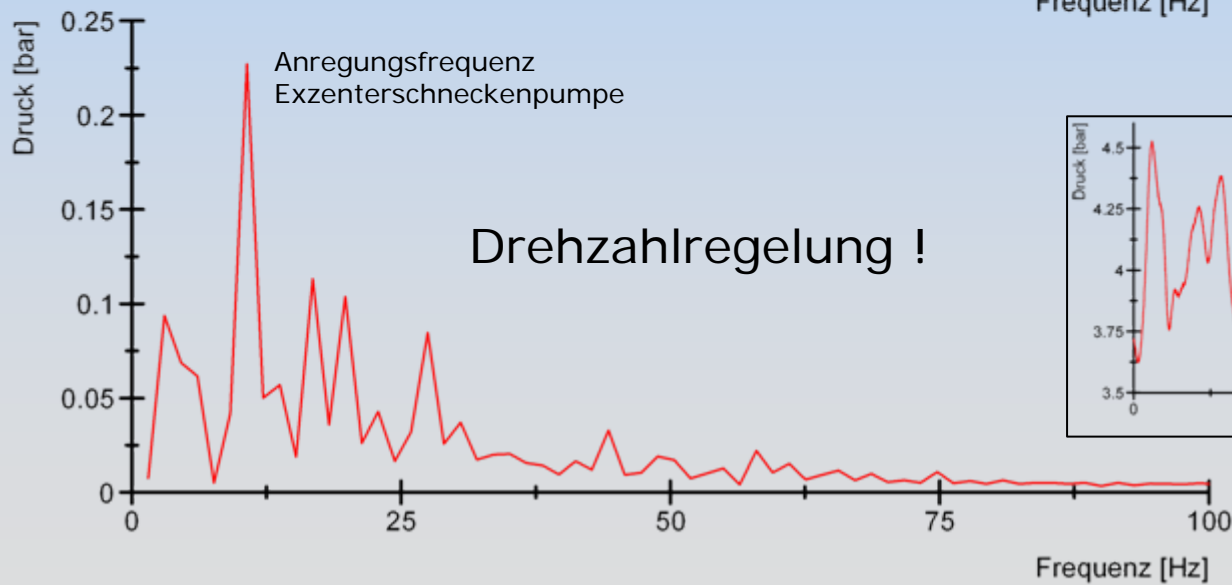
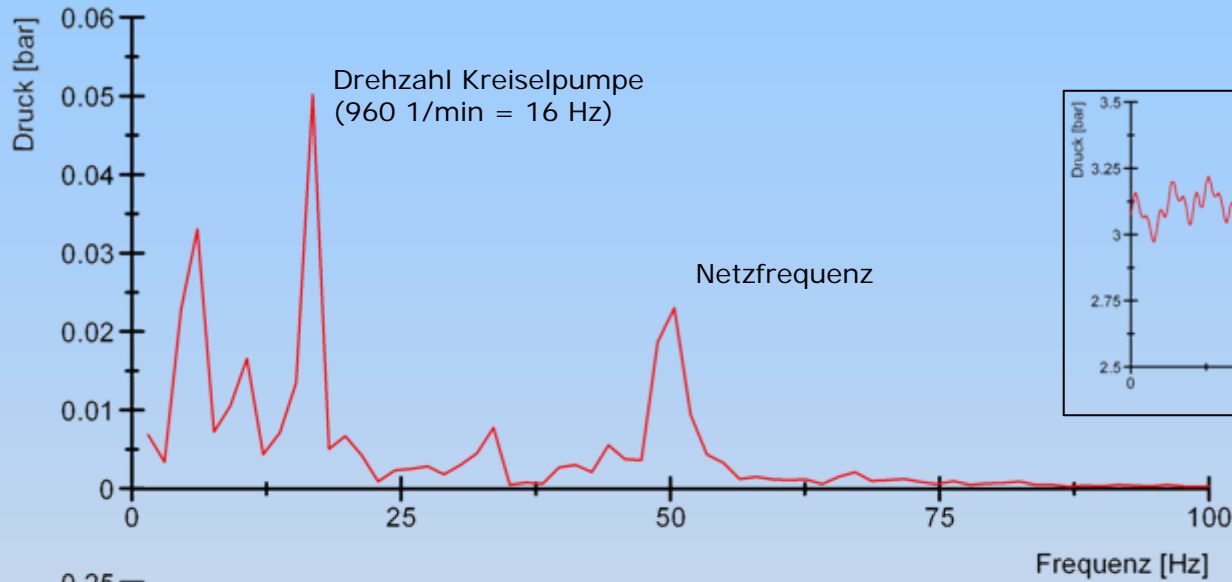
Fallbeispiel

- Befüllung des Faulturms einer Kläranlage
- Kreiselpumpe:
 - Schmutzwasser, konstante Drehzahl
 - Laufrad mit einer Schaufel
- Exzentrerschneckenpumpe:
 - Klärschlamm, variable Drehzahl
- Beide Pumpen fördern in die gleiche Druckleitung!
- Gelegentlich starke Schwingung einer DN 100 Leitung

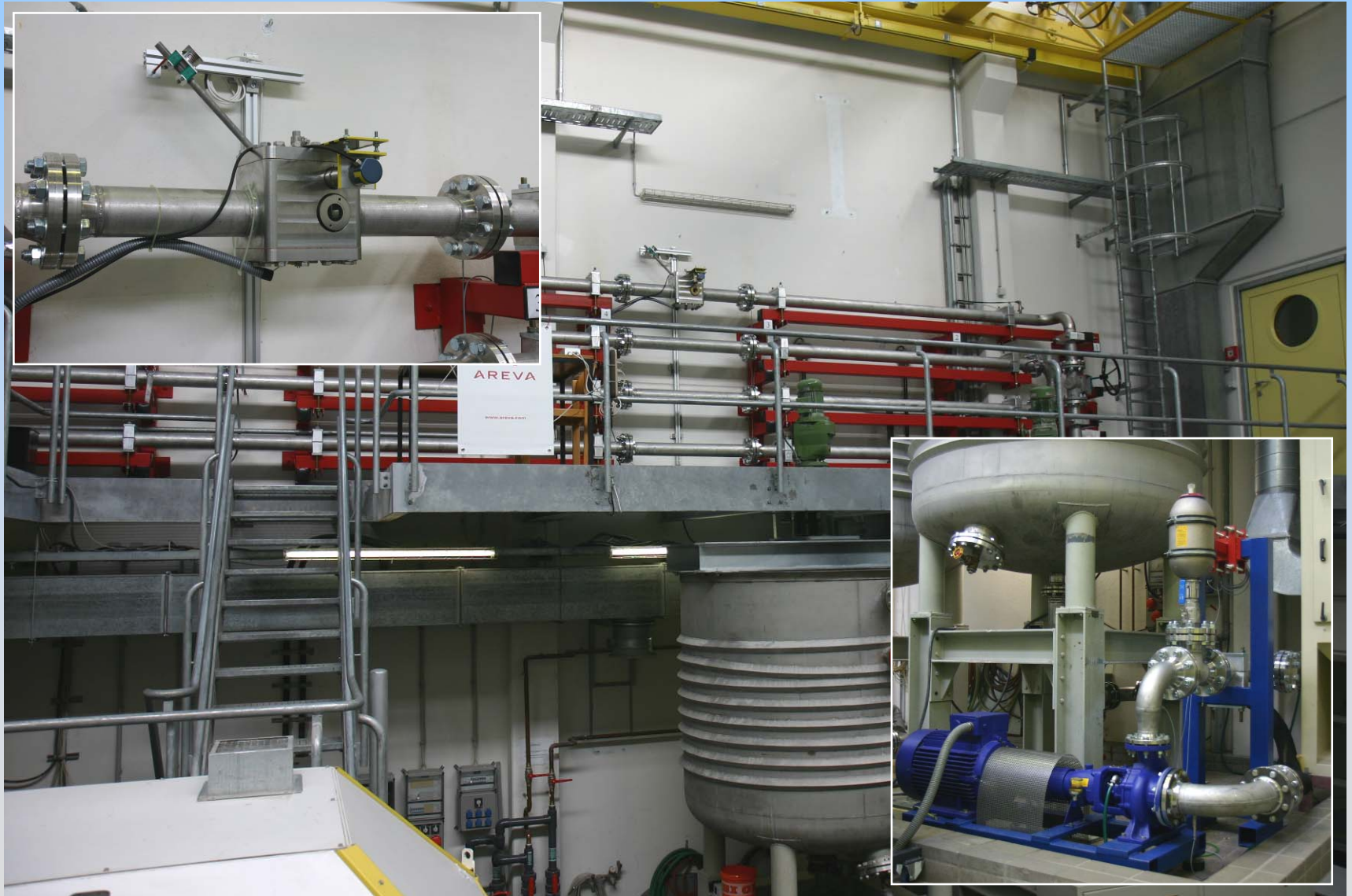


Was ist die Ursache ???

Frequenzanalyse der Druckmessung



Versuchsanlage am iPAT



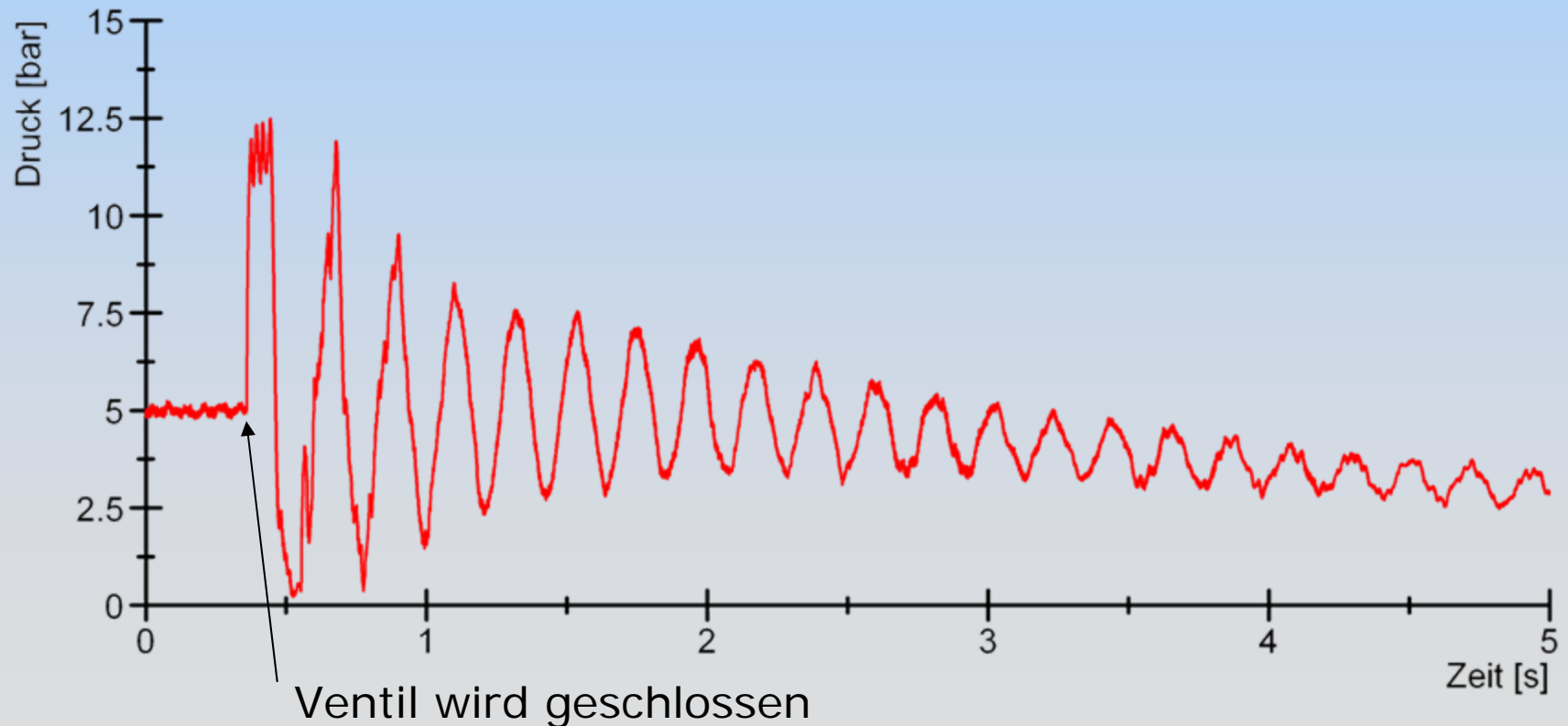
Druckstoß durch Ventilschnellschluss

Joukowsky-Stoß: $\Delta p_J = c \cdot \Delta v \cdot \rho$

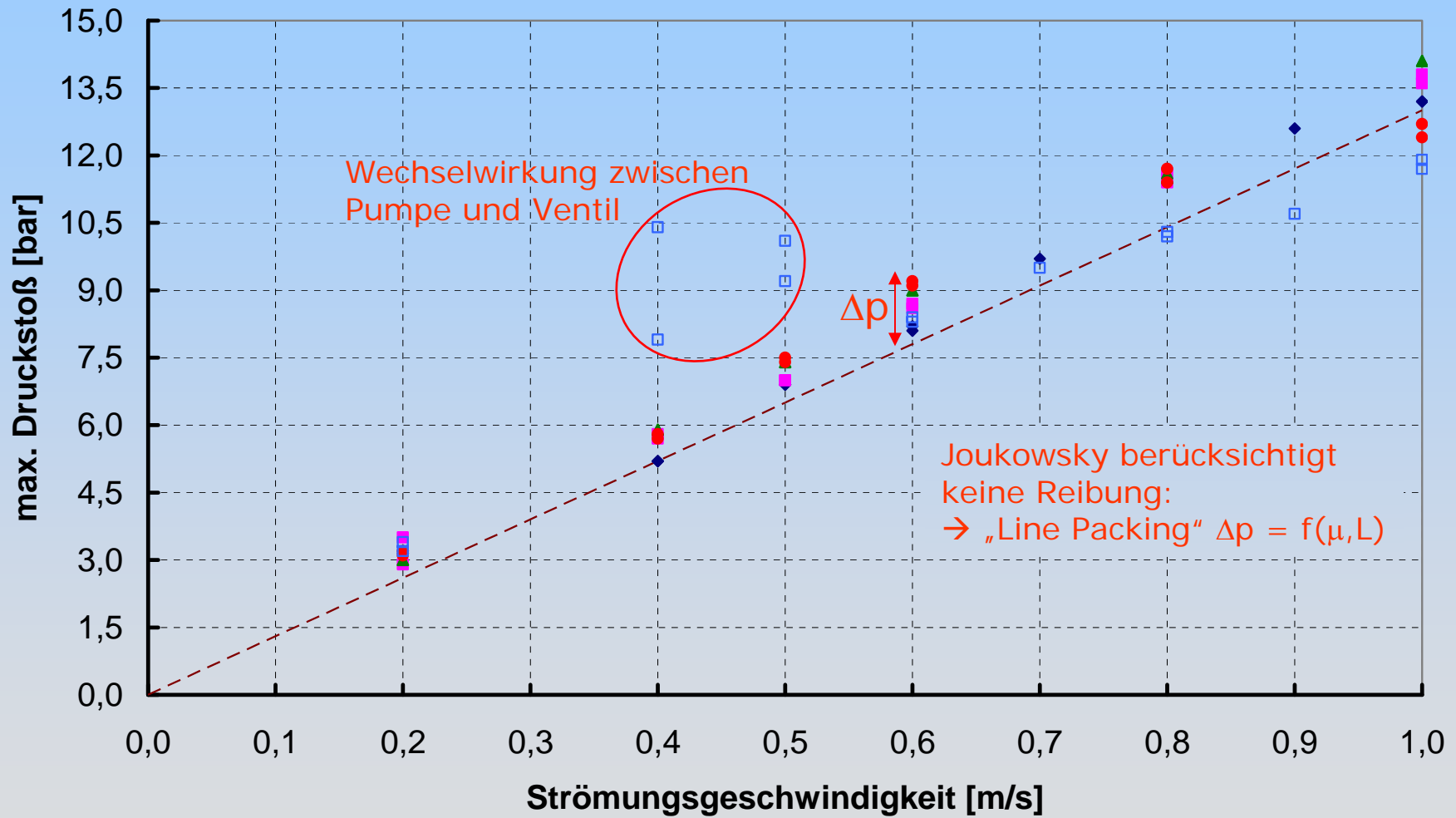
Beispiel: 3 m/s Geschw., Medium Wasser ($c = 1300$ m/s)

→ $\Delta p_J = 39$ bar

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



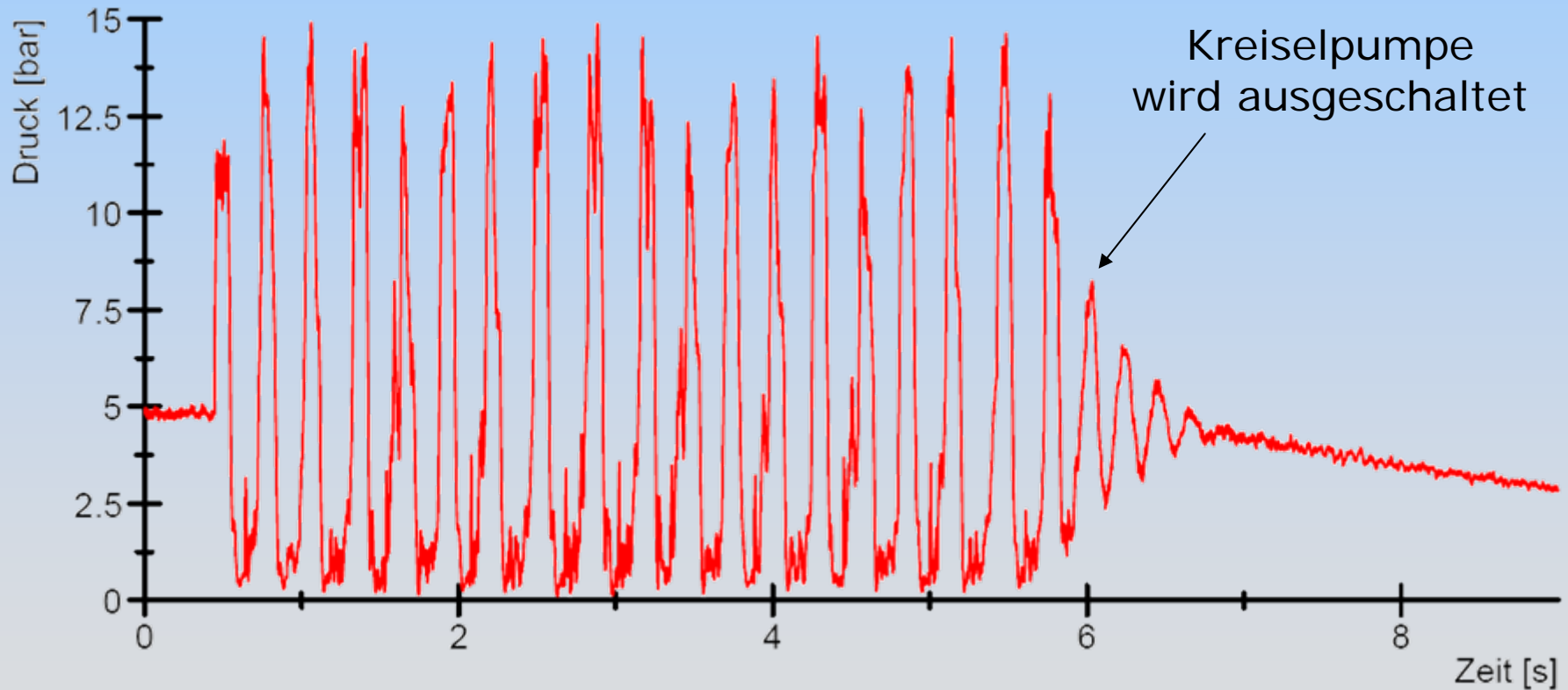
Joukowsky – Theorie und Praxis



◆ 10 Hz ■ 20 Hz ▲ 30 Hz ● 40 Hz □ 50 Hz - - - Joukowsky

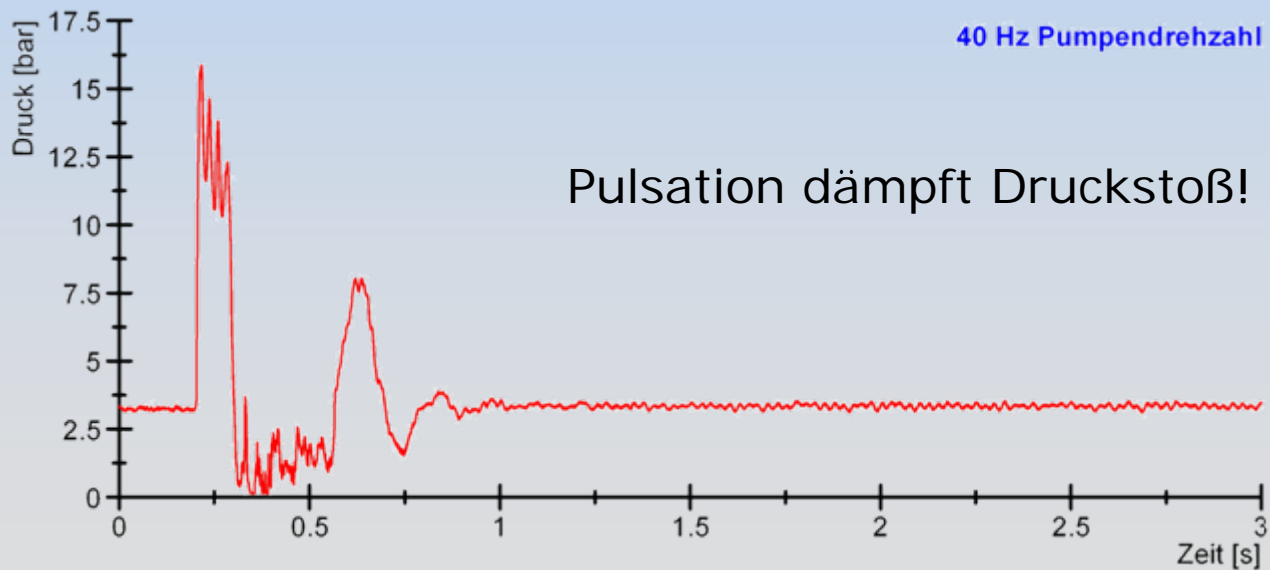
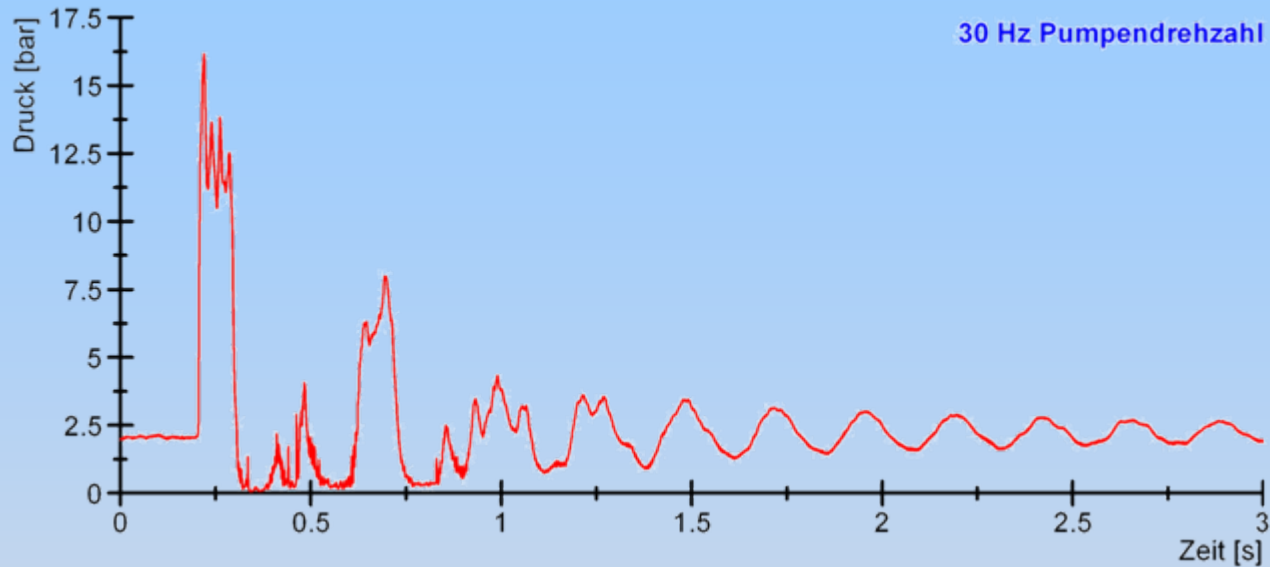
Resonanz

Wechselwirkung zwischen Kreiselpumpe und Schnellschlussventil



Ursache: Druckpulsation der Kreiselpumpe

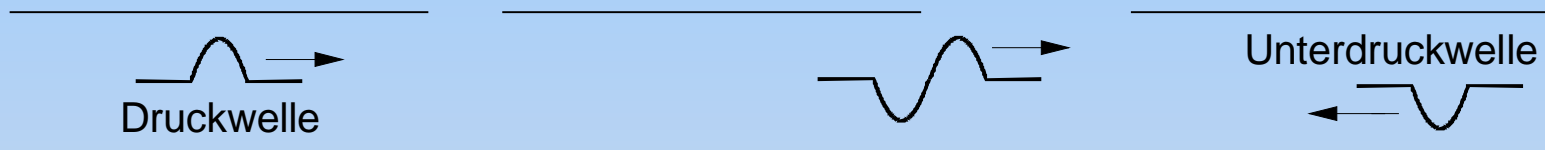
Dämpfende Wirkung der Kreiselpumpe



Druckwellenreflexion

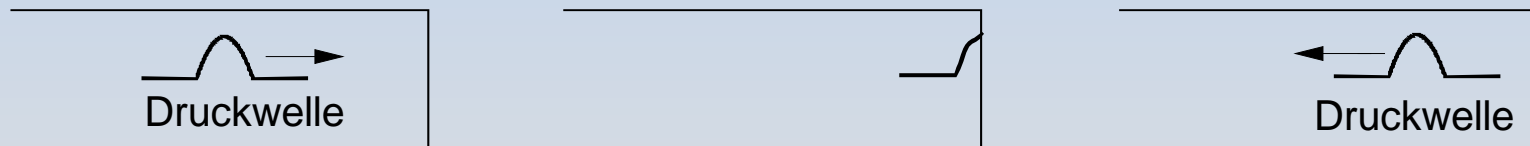
Idealisierte Extremfälle vollständiger Reflexion:

Negative Reflexion an **offenem** Rohrende



Beispiel: Offener Behälter

Positive Reflexion an **geschlossenem** Rohrende

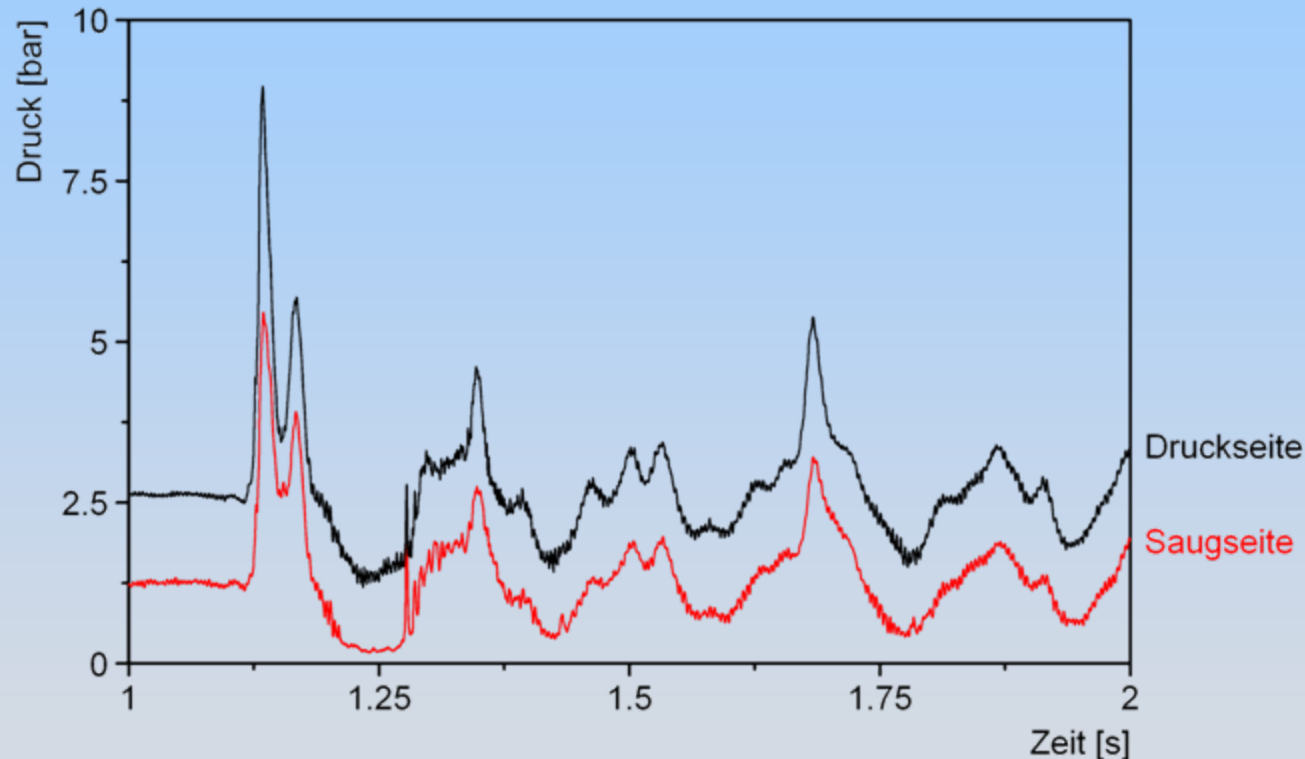


Beispiel: geschlossenes Ventil

Wie interagiert ein Druckstoß mit einer Kreiselpumpe?

Druckstoß und Kreiselpumpe

● Kreiselpumpe offenes oder geschlossenes Ende?



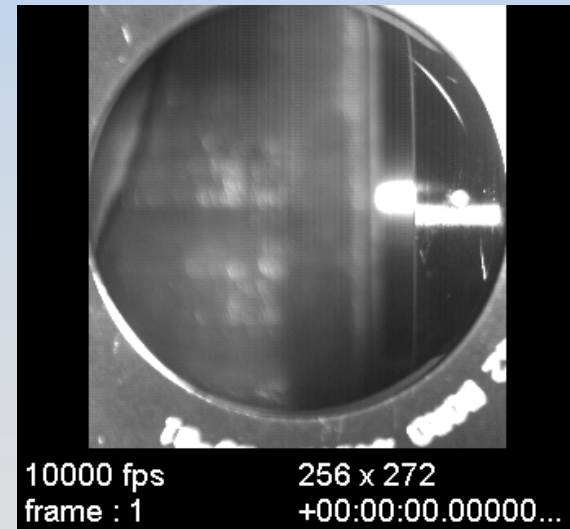
Druckwelle läuft durch → offenes Rohrstück

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
→ stets ganzes System betrachten
- Aufnahme mit einer Hochgeschwindigkeitskamera:



The image shows a complex industrial piping system with multiple parallel pipes supported by a red metal structure. The pipes are connected by various valves and flanges. A central white rounded rectangle contains the text 'Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit !'.

Vielen Dank für ihre
Aufmerksamkeit !

Unbefugten
Zutritt verboten

Lehrstuhl für Prozessmaschinen
und Anlagentechnik, Erlangen
Andreas Ismaier
Prof. Dr.-Ing. E. Schlücker

