The image shows a complex industrial piping system. It features a prominent red metal frame that supports several parallel horizontal pipes. The pipes are made of a light-colored metal, likely stainless steel, and are connected by various fittings, valves, and flanges. Some of the pipes have circular access points or gauges. The background is a plain, light-colored wall. In the foreground, there is a metal grating floor. A small white sign with black text is visible on the left side of the frame. The overall scene is well-lit, suggesting an indoor industrial or laboratory environment.

Untersuchung der fluiddynamischen Wechselwirkung zwischen Druckstößen und Anlagenkomponenten in Kreiselpumpensystemen

Unbefugten
Zutritt verboten

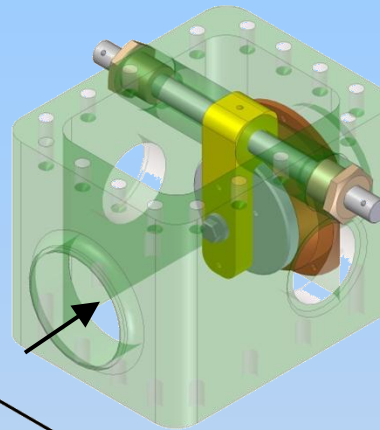
Promotionsvortrag
von
Andreas Ismaier
17.12.2010

Gliederung des Vortrags

- Versuchsanlage
- Entstehung von Druckstößen und deren Ausbreitung
- Wechselwirkung mit einer Kreiselpumpe
- Begrenzung von nicht vermeidbaren Druckstößen
- Kurze Übersicht über weitere Effekte
- Zusammenfassung

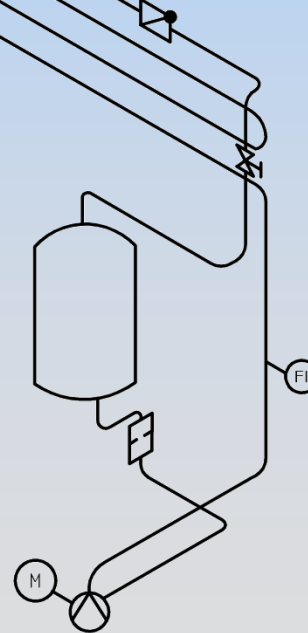
Versuchsanlage

Schnellschluss-
ventil



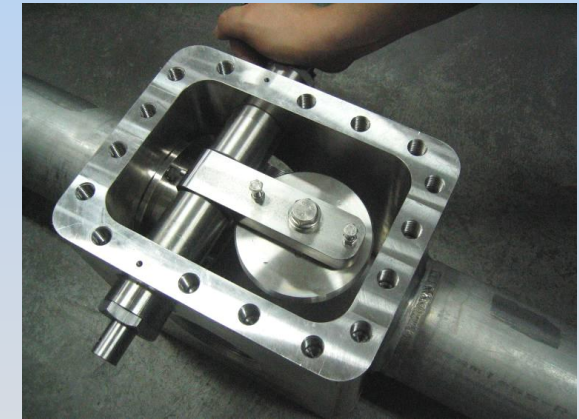
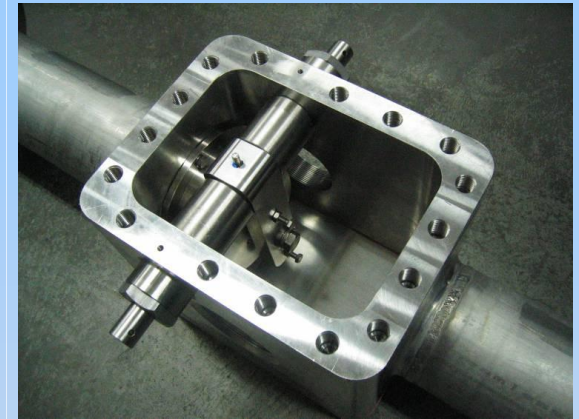
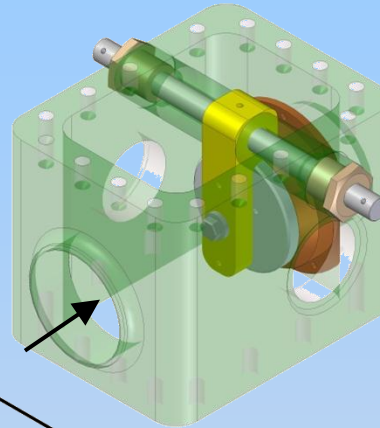
Rohrleitung:
DN 100, PN 63
Fluid: Wasser (25°C)

Kreiselpumpe:
 $Q_{opt} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$
 $H_{opt} = 33,3 \text{ m}$

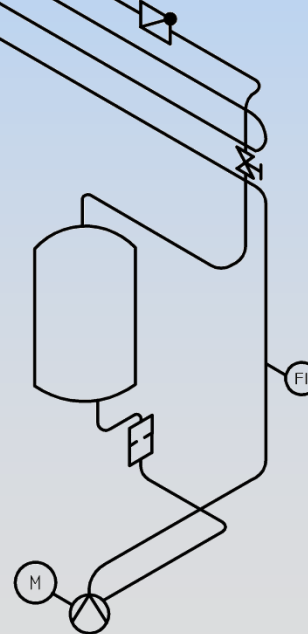


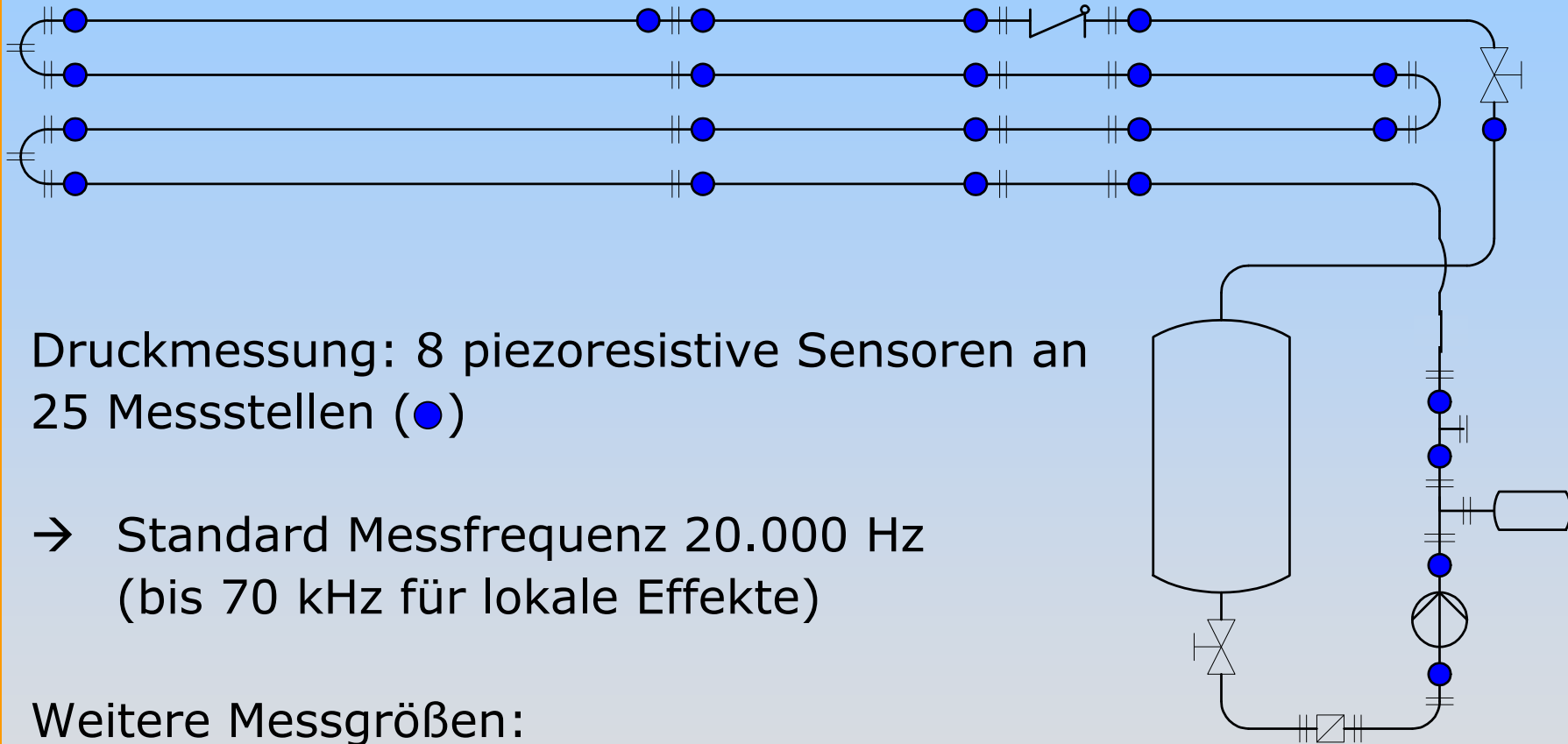
Versuchsanlage

Schnellschluss-
ventil



Rohrleitung:
DN 100, PN 63
Fluid: Wasser (25°C)





● Druckmessung: 8 piezoresistive Sensoren an 25 Messstellen (●)

→ Standard Messfrequenz 20.000 Hz (bis 70 kHz für lokale Effekte)

● Weitere Messgrößen:

- Klappenstellung Schnellschlussventil
- Durchfluss, Beschleunigung, Pumpendrehzahl

Begriffe

VDI 6006 (Druckstöße in Trinkwasserleitungen)

Druckstoß

Als Folge einer Durchflussänderung auftretende rasche Druckänderung im Trinkwassersystem

Druckwelle

Ausbreitung der Druckänderung (des Druckstoßes) im Trinkwassersystem

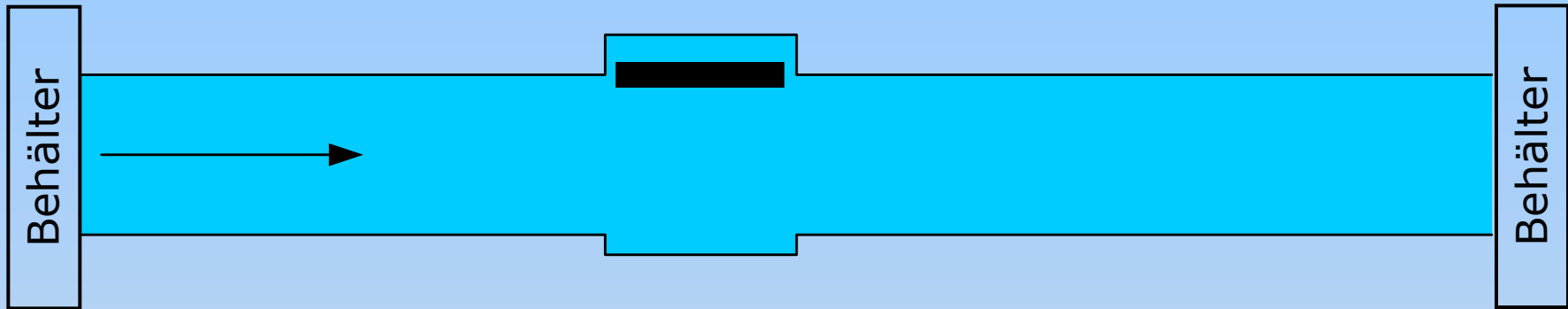
Beispiele für schnelle Durchflussänderungen:

- Schalthandlungen an Armaturen
- Pumpenanfahren/-abfahren
- Rohrbrüche (= schnelles Öffnen)

Was ist eine „schnelle“ Änderung?

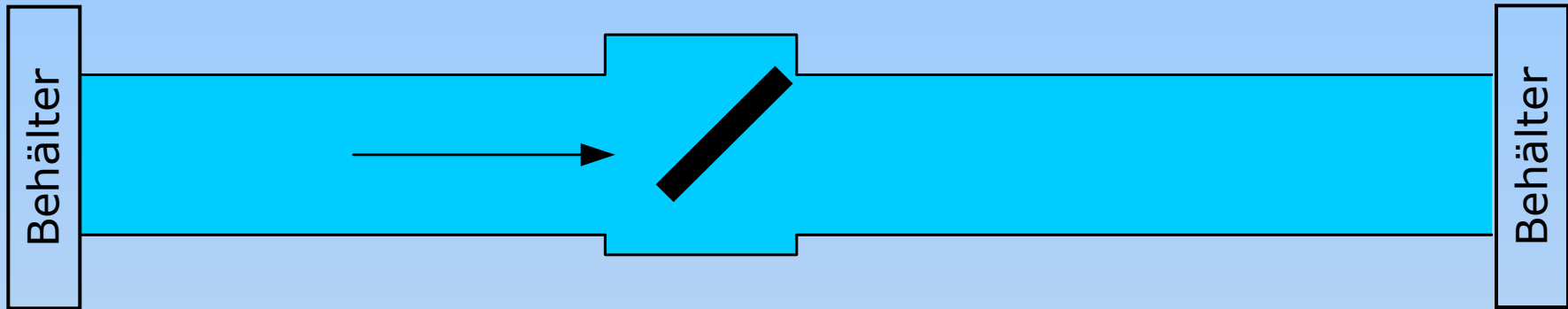
- Spezifische Zeitkonstante für jedes Rohrleitungssystem!
- Erklärung am Beispiel der Ventilschließzeit t_s

Entstehung eines Druckstoßes



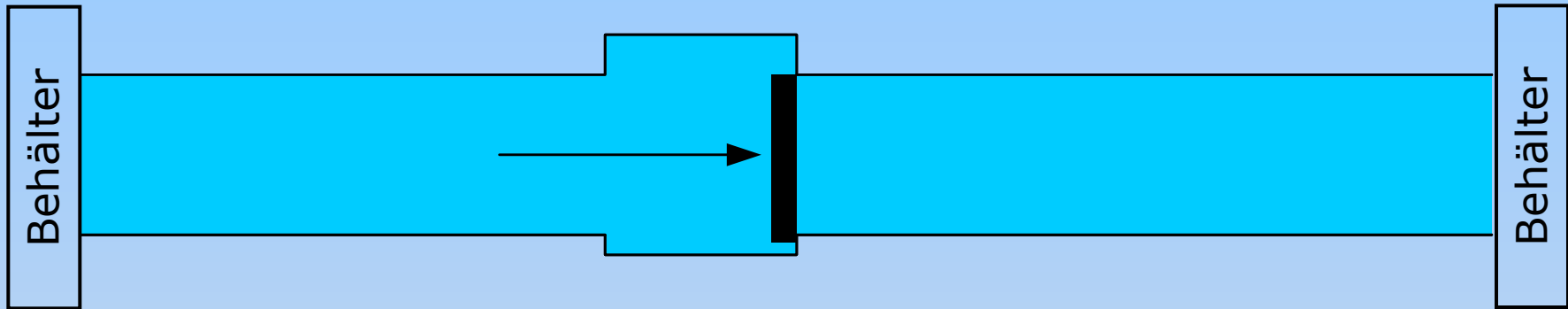
- Druckwelle breitet sich mit der durch Rohratmung reduzierten Schallgeschwindigkeit im System aus
- Typischer Wert für Stahl-Wasserleitungen ca. 1000 – 1300 m/s
- Endliche Schließzeit des Ventils erzeugt keinen schlagartigen Druckanstieg, sondern eine Druckrampe

Entstehung eines Druckstoßes



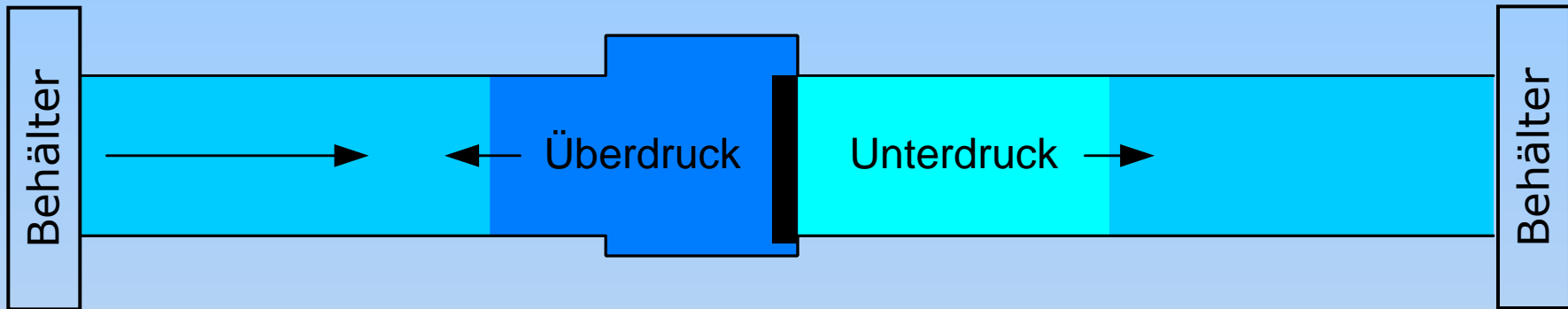
- Druckwelle breitet sich mit der durch Rohratmung reduzierten Schallgeschwindigkeit im System aus
- Typischer Wert für Stahl-Wasserleitungen ca. 1000 – 1300 m/s
- Endliche Schließzeit des Ventils erzeugt keinen schlagartigen Druckanstieg, sondern eine Druckrampe

Entstehung eines Druckstoßes



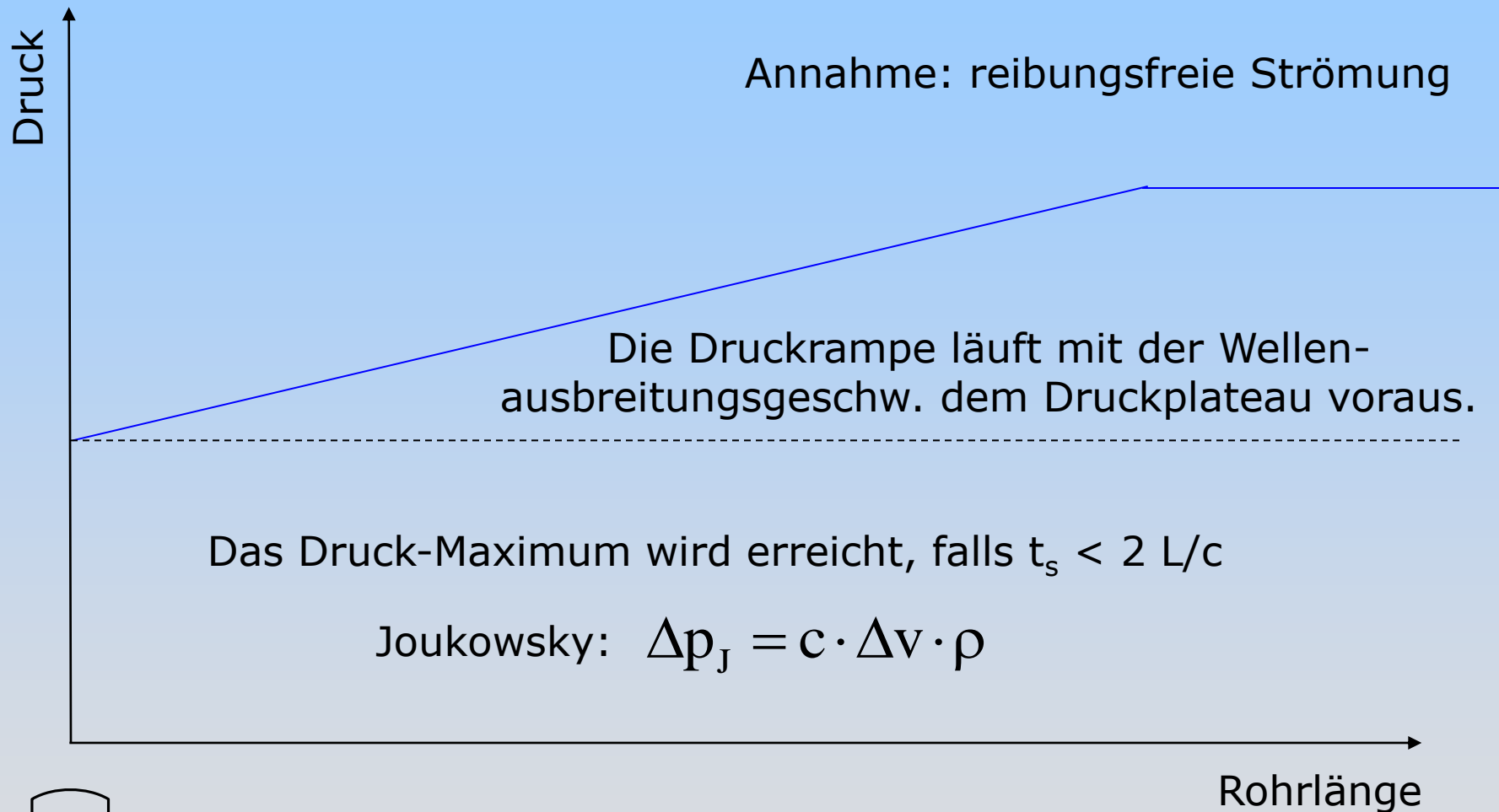
- Druckwelle breitet sich mit der durch Rohratmung reduzierten Schallgeschwindigkeit im System aus
- Typischer Wert für Stahl-Wasserleitungen ca. 1000 – 1300 m/s
- Endliche Schließzeit des Ventils erzeugt keinen schlagartigen Druckanstieg, sondern eine Druckrampe

Entstehung eines Druckstoßes

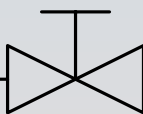


- Druckwelle breitet sich mit der durch Rohratmung reduzierten Schallgeschwindigkeit im System aus
- Typischer Wert für Stahl-Wasserleitungen ca. 1000 – 1300 m/s
- Endliche Schließzeit des Ventils erzeugt keinen schlagartigen Druckanstieg, sondern eine Druckrampe

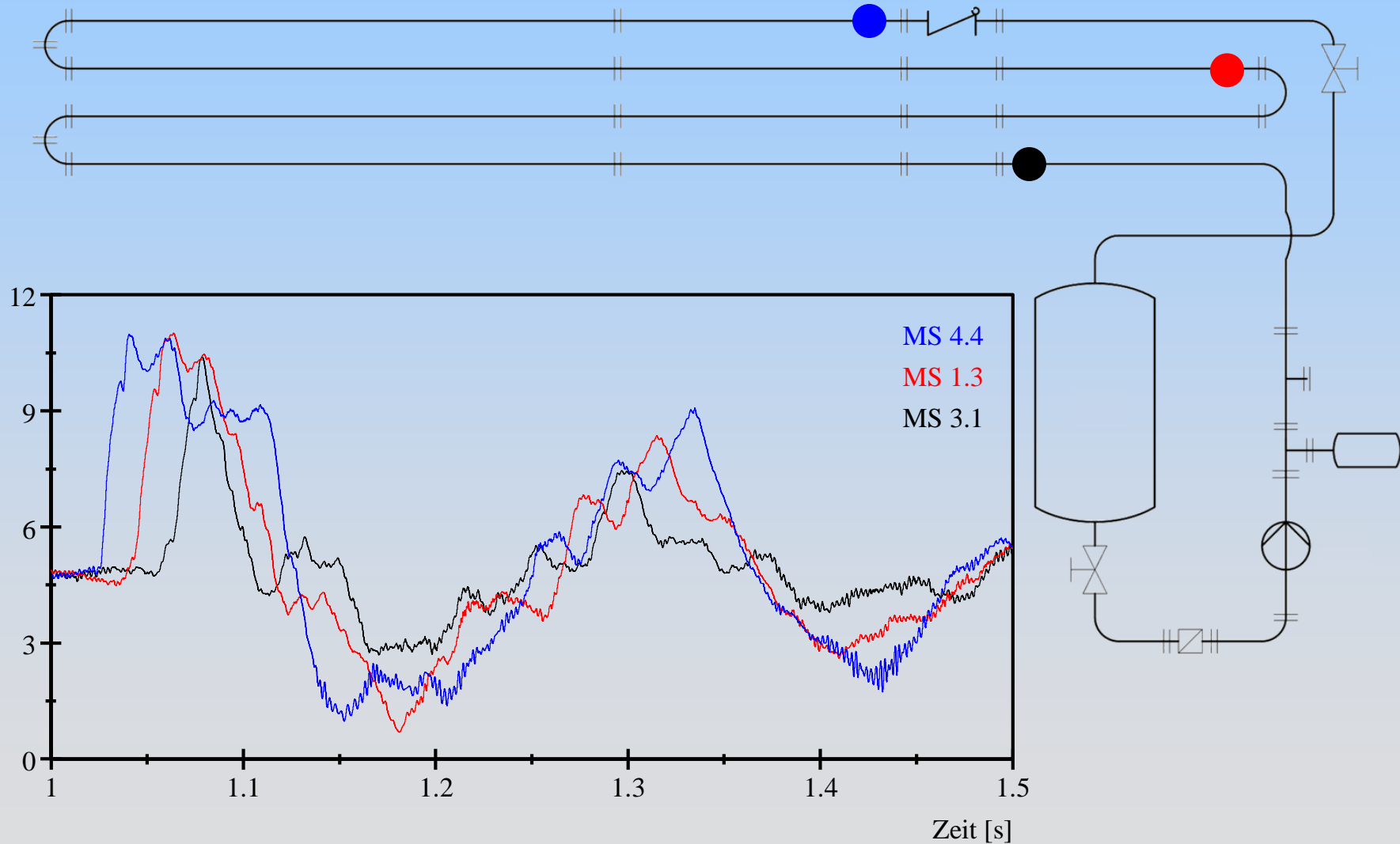
Druckverlauf in der Rohrleitung



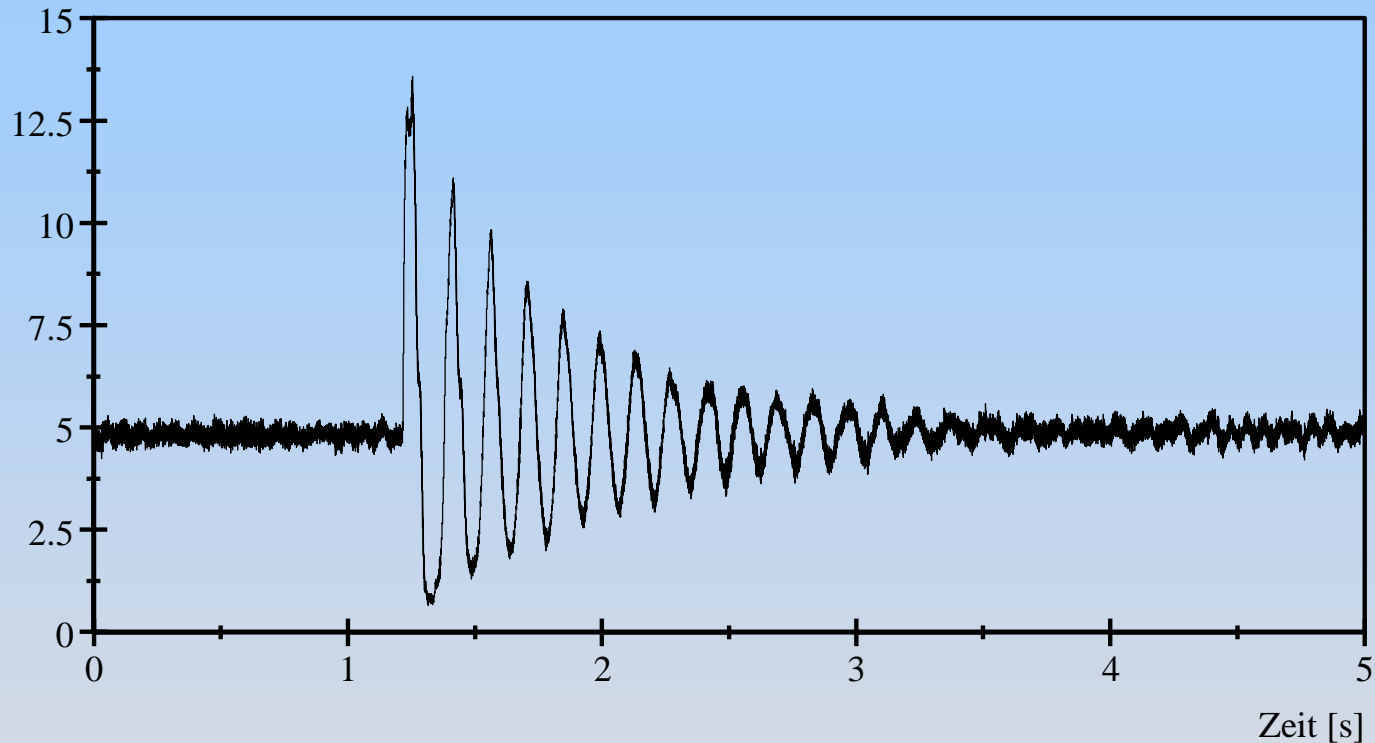
„schnell“: kleiner als kritische Schließzeit
Max. Druckstoß unter den gegebenen Annahmen



Zeitlicher Druckverlauf an verschiedenen Messstellen



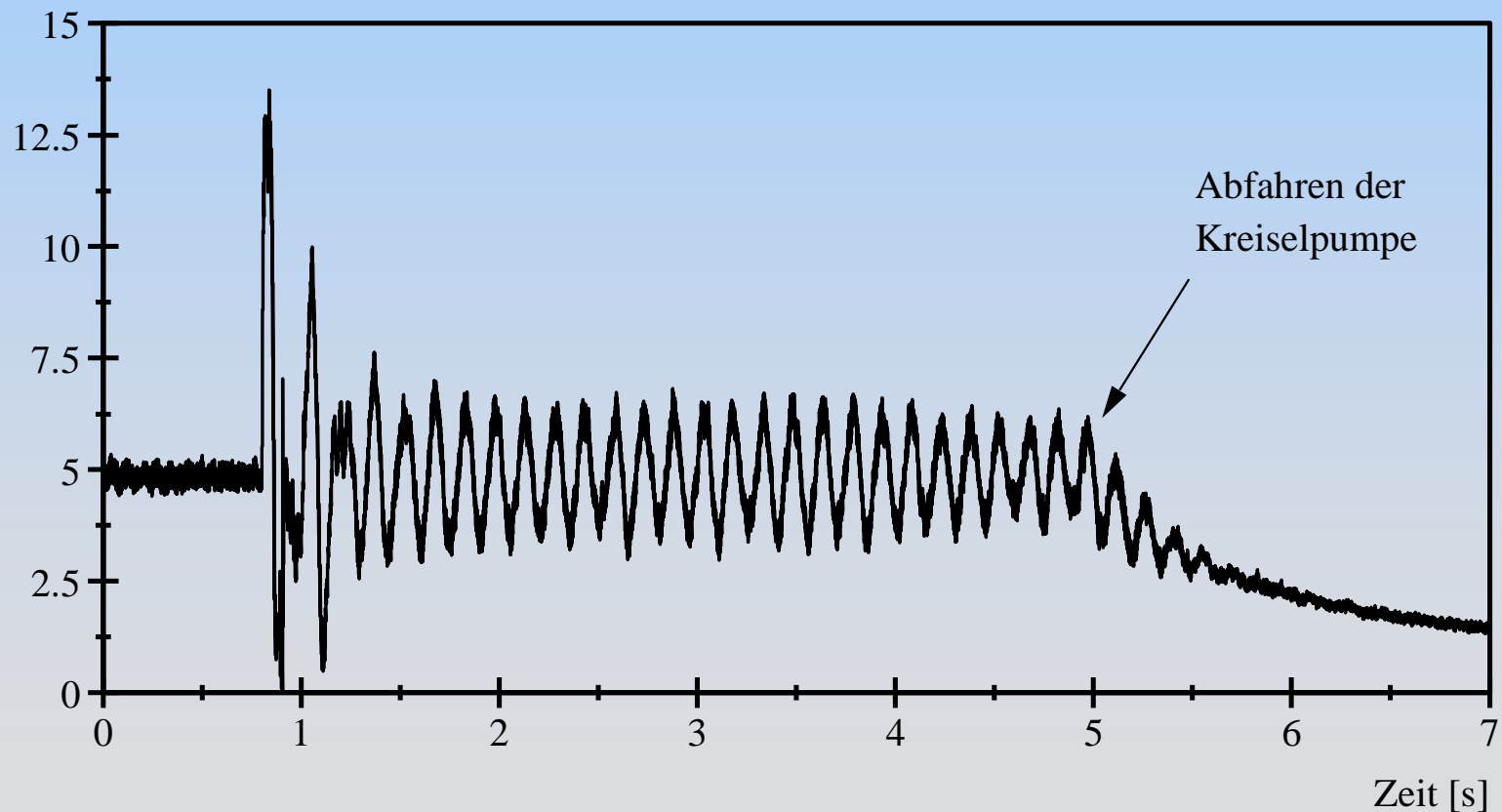
Abklingende Druckwelle



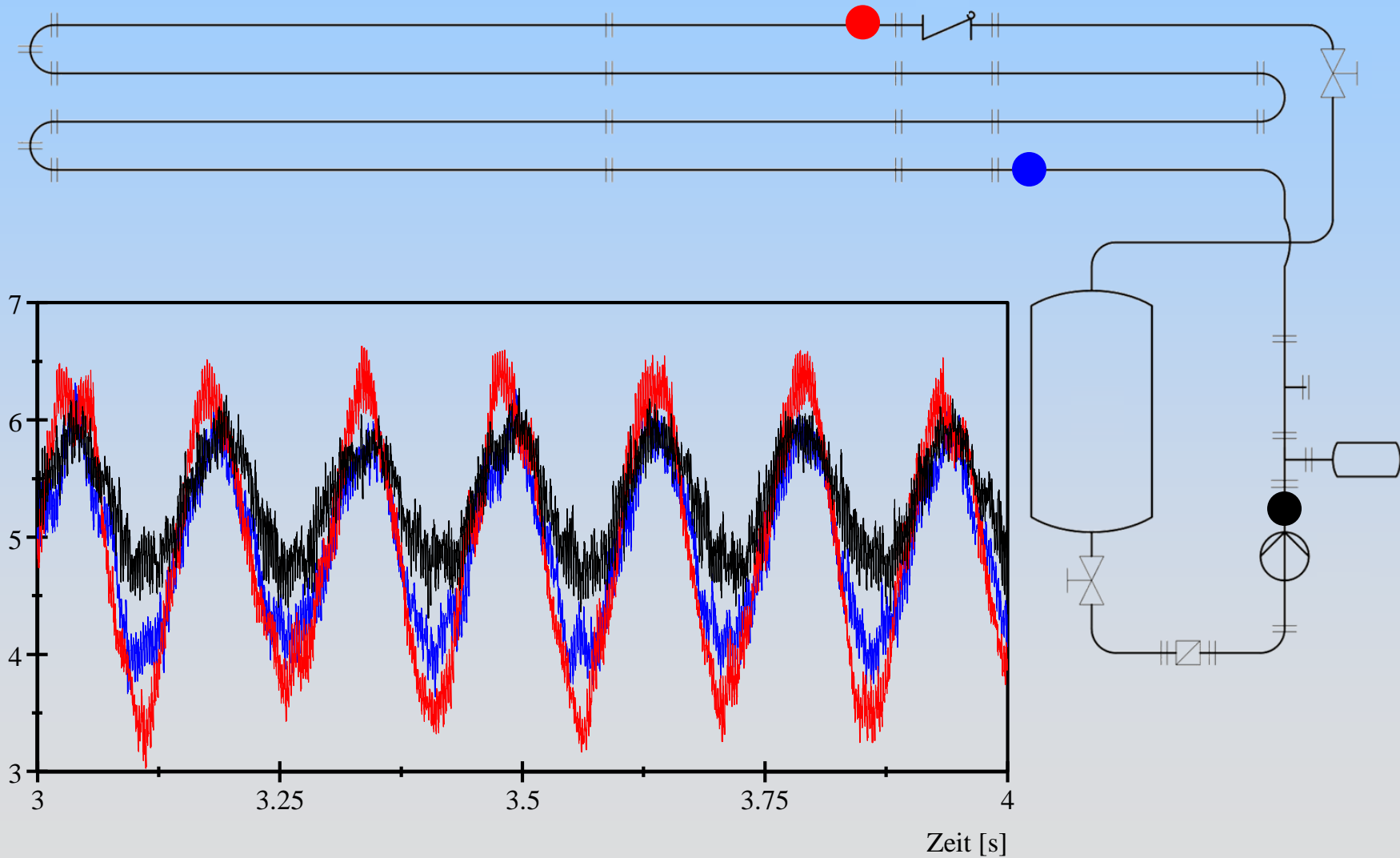
Dissipative Effekte (z.B. instationäre Rohrreibung) führen zum Abklingen des Druckstoßes

Stehende Welle

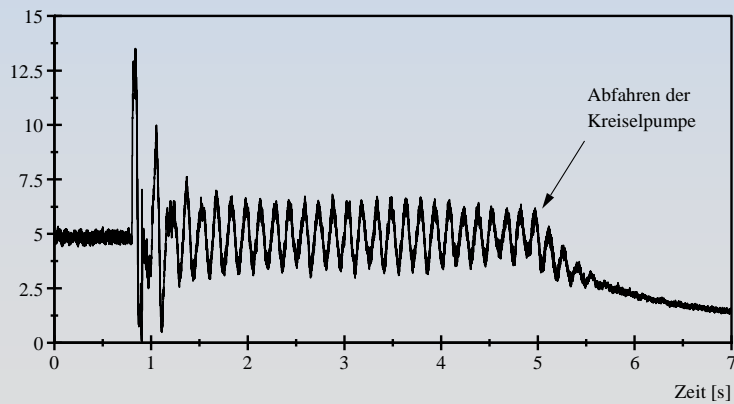
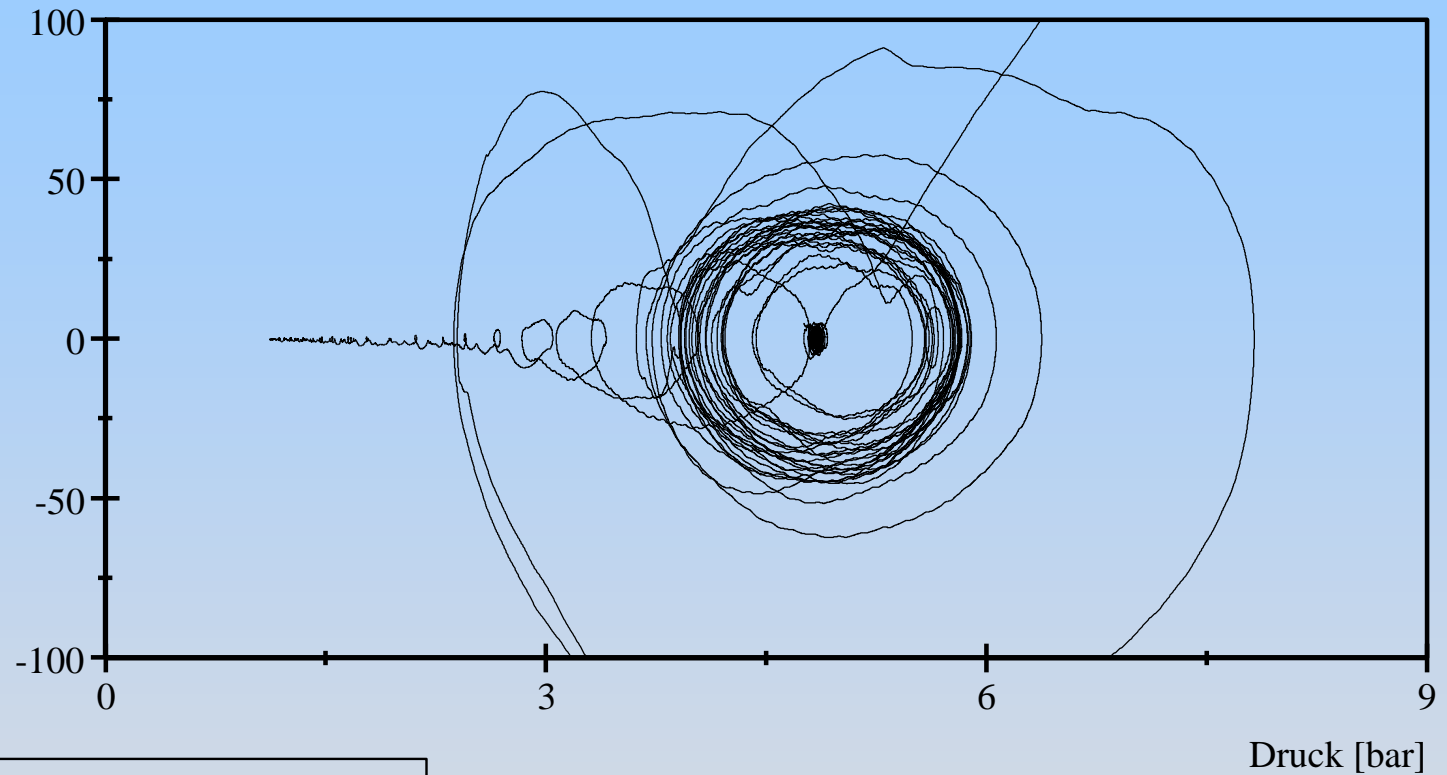
- Im extremen Teillastbetrieb der Kreiselpumpe kann sich eine Druckschwungung stabilisieren
- Phänomen tritt unregelmäßig auf



Stehende Welle

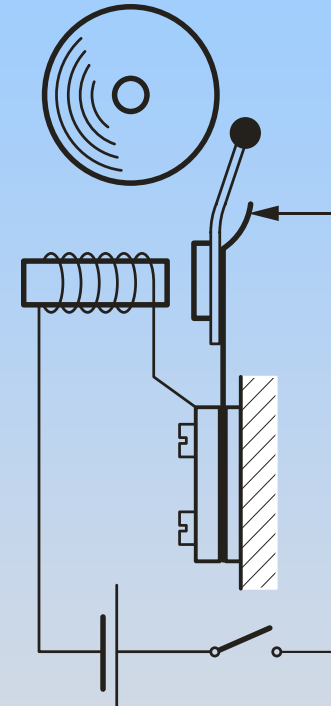
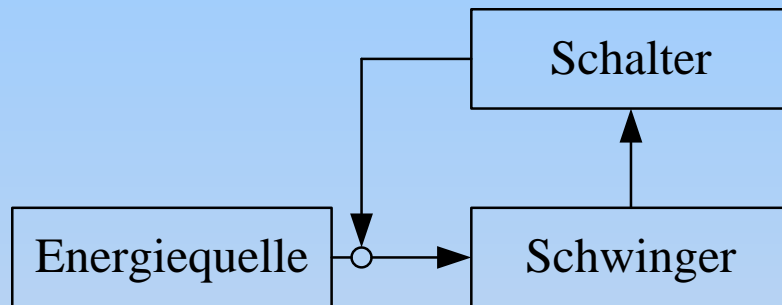


Phasenporträt der Druckmessung



→ selbsterregte Schwingung

Selbsterregte Schwingung



Angewandt auf die Versuchsanlage:

- Energiequelle: Kreislumppe
- Schwinger: Fluidsäule
- Schalter: ?
- rückstellendes Element: ?

- Zusätzlich: Nur bestimmte Betriebsbedingungen, stochastisch

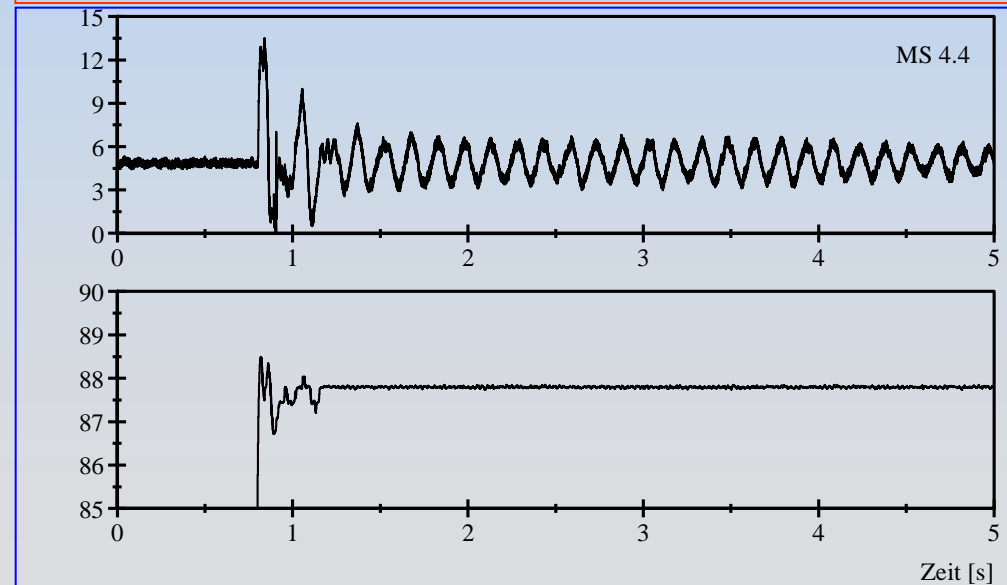
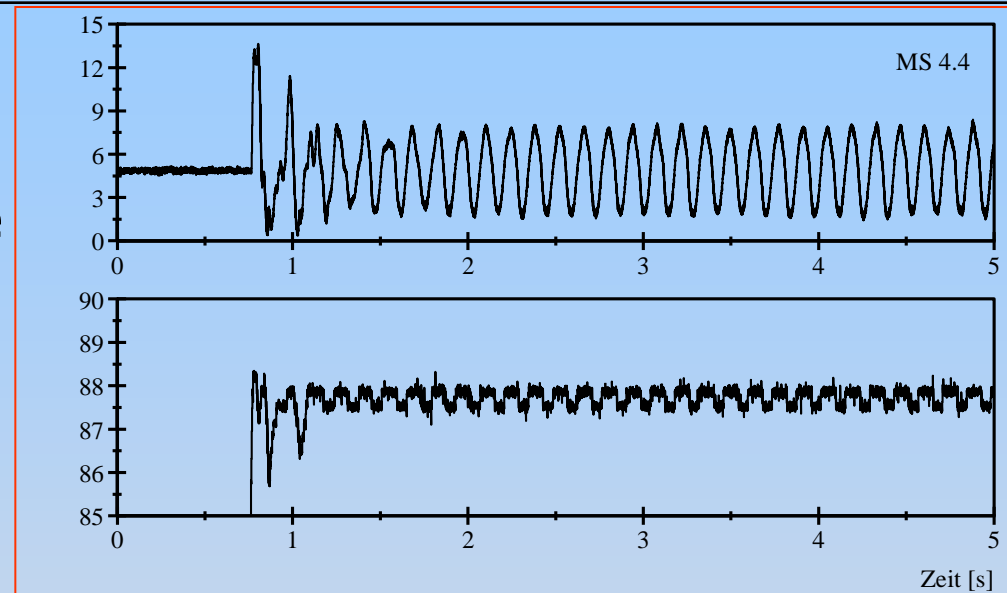
Schalter

Bewegungsfähigkeit der Klappe im Schnellschlussventil beeinflusst Amplitude der stehenden Welle

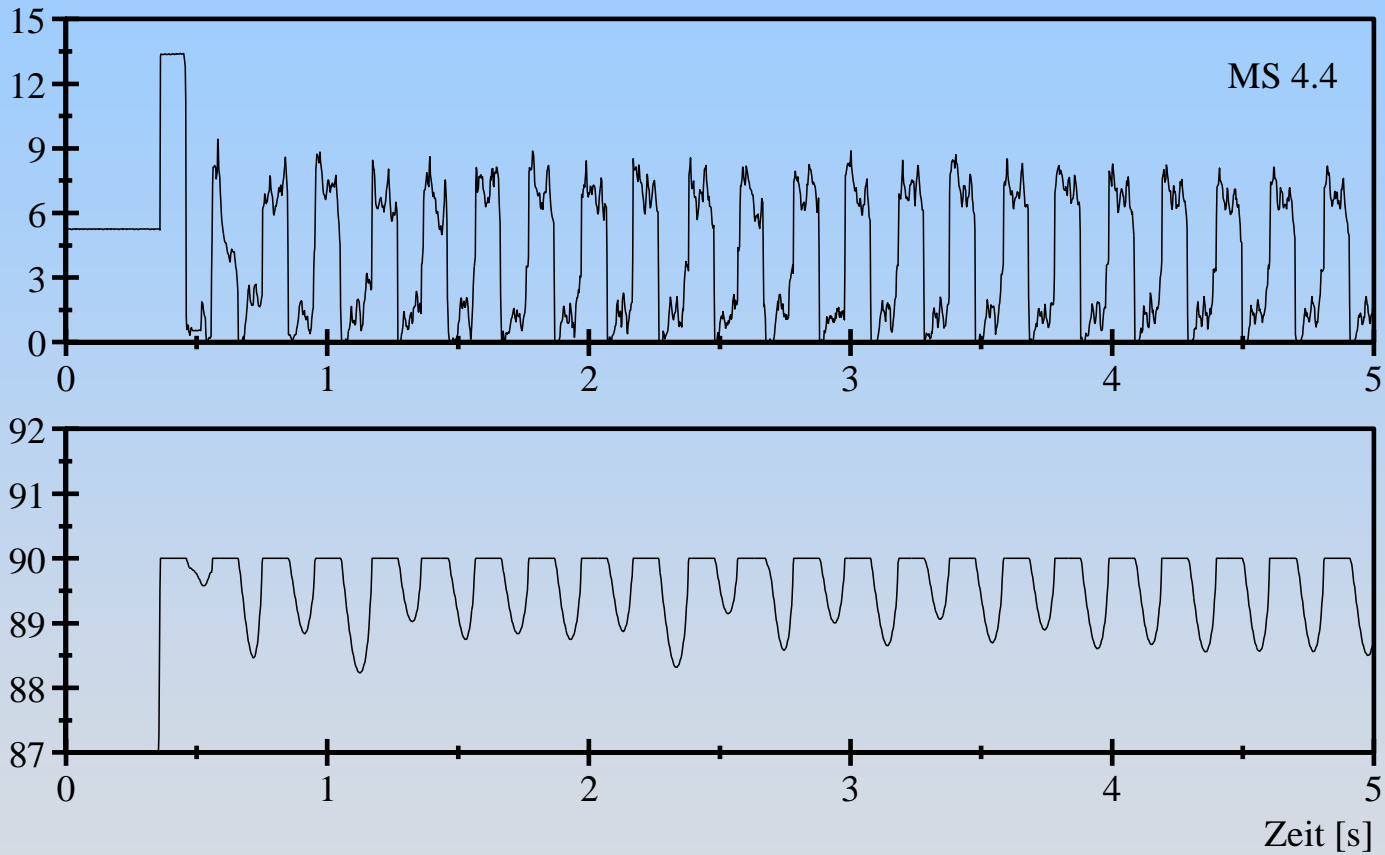
→ Geöffnete Klappe ermöglicht geringe Leckageströmung

→ Erneutes Schließen erzeugt kleinen Druckstoß

Effekt auch mit 1D Fluid-dynamik Code ROLAST reproduzierbar

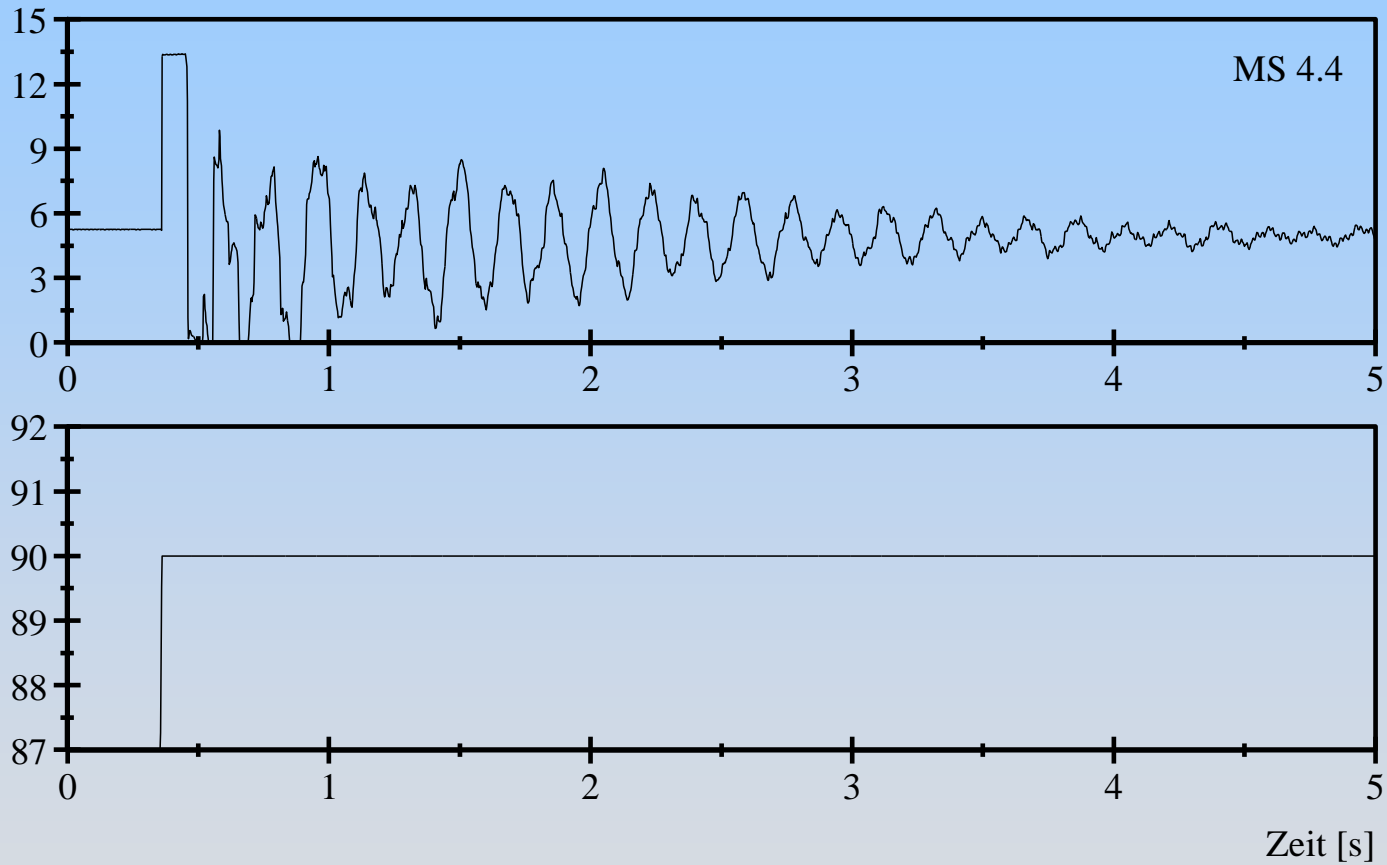


ROLAST-Simulation (1)



Modellierung einer beweglichen Klappe

ROLAST-Simulation (2)



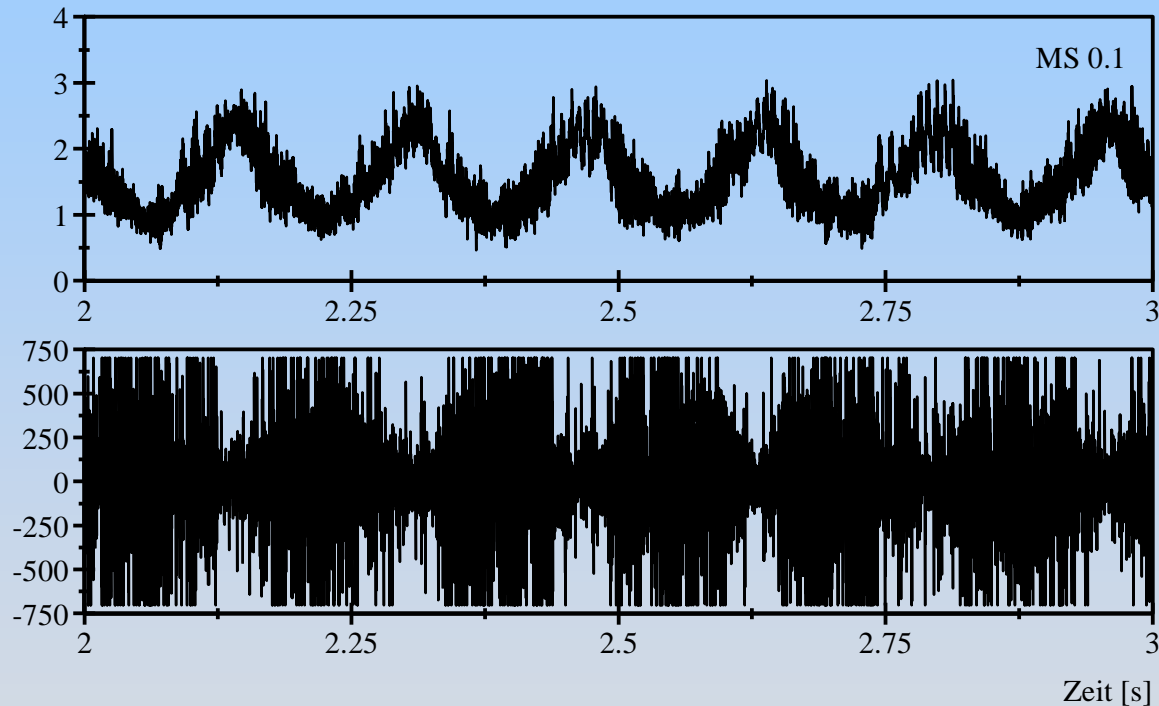
Modellierung einer fixierten Klappe

Rückstellendes Element

- Schwingung benötigt diskontinuierlich Energie zum richtigen Zeitpunkt (wenn Schwingungsenergie minimal ist)
→ Ausgleich der dissipierten Energie
- Klappe kann nur während des Druckminimums öffnen
→ Energie im System ist minimal
→ Energiespeicher und phasenverschobene Freisetzung notwendig (*vgl. elektrische Klingel: Blattfeder*)
- Aus der Literatur bekannt:
Kavitationsgebiete (z.B. in Pumpen) sind Energiespeicher, die sich schlagartig entladen

Rückstellendes Element

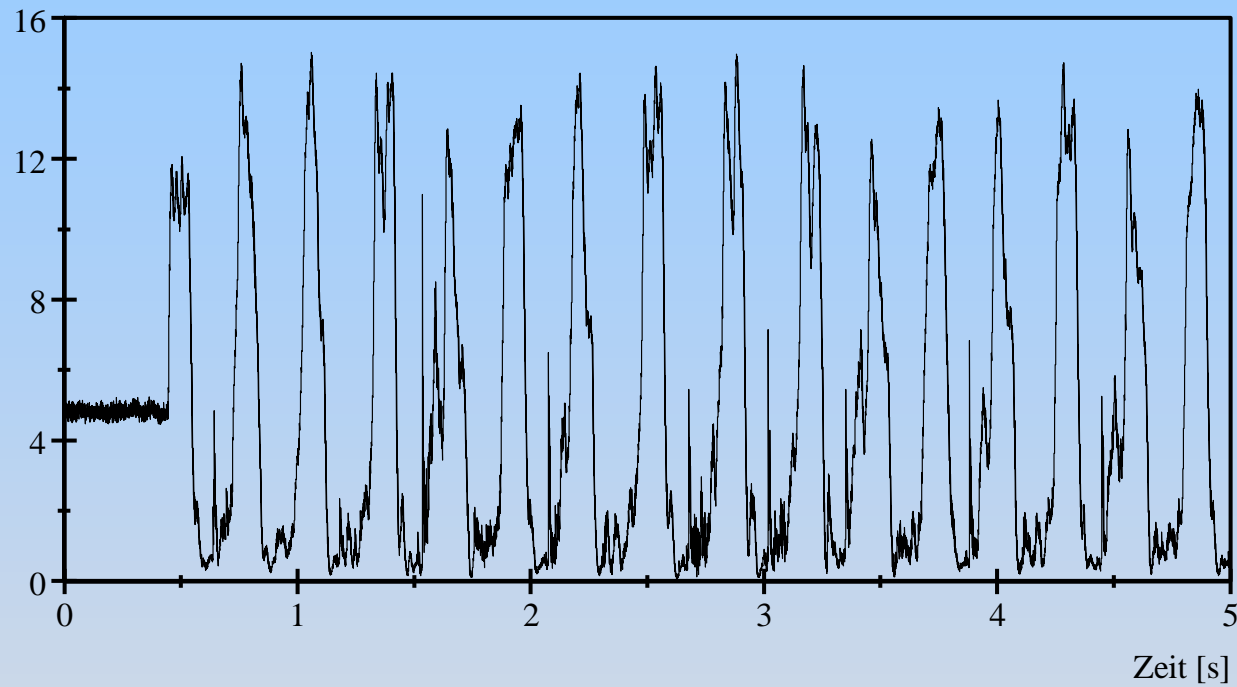
Messstelle an der Pumpe:



Erklärung auch für das unregelmäßige Auftreten in bestimmten Betriebsbereichen

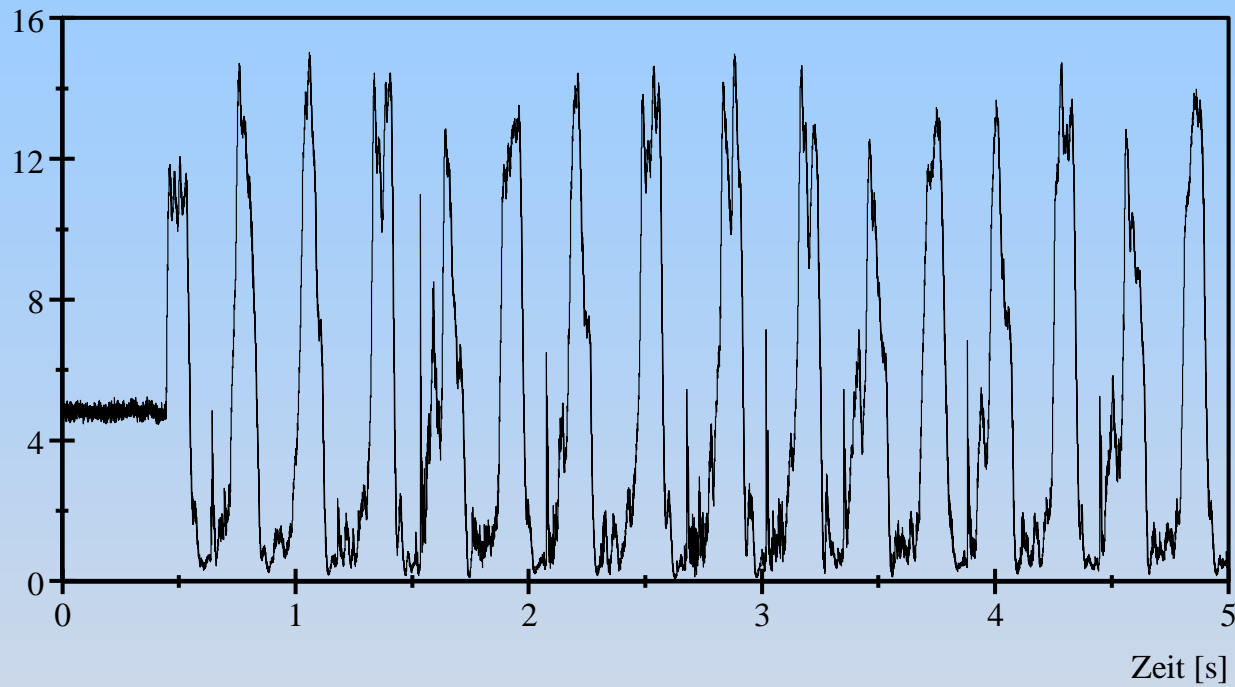
- Starke Kavitation besonders im extremen Teillastbetrieb
- Kavitation ist abhängig von Gasgehalt, Kondensationskeimen

Auch Verstärkung des Druckstoßes möglich



- Druckstoß-Amplitude überschreitet Joukowsky-Niveau deutlich

Auch Verstärkung des Druckstoßes möglich

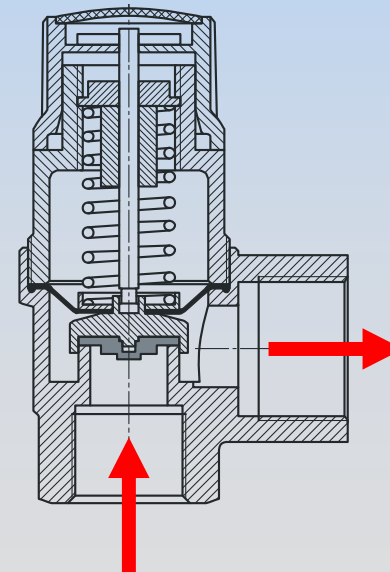


- Druckstoß-Amplitude überschreitet Joukowsky-Niveau deutlich

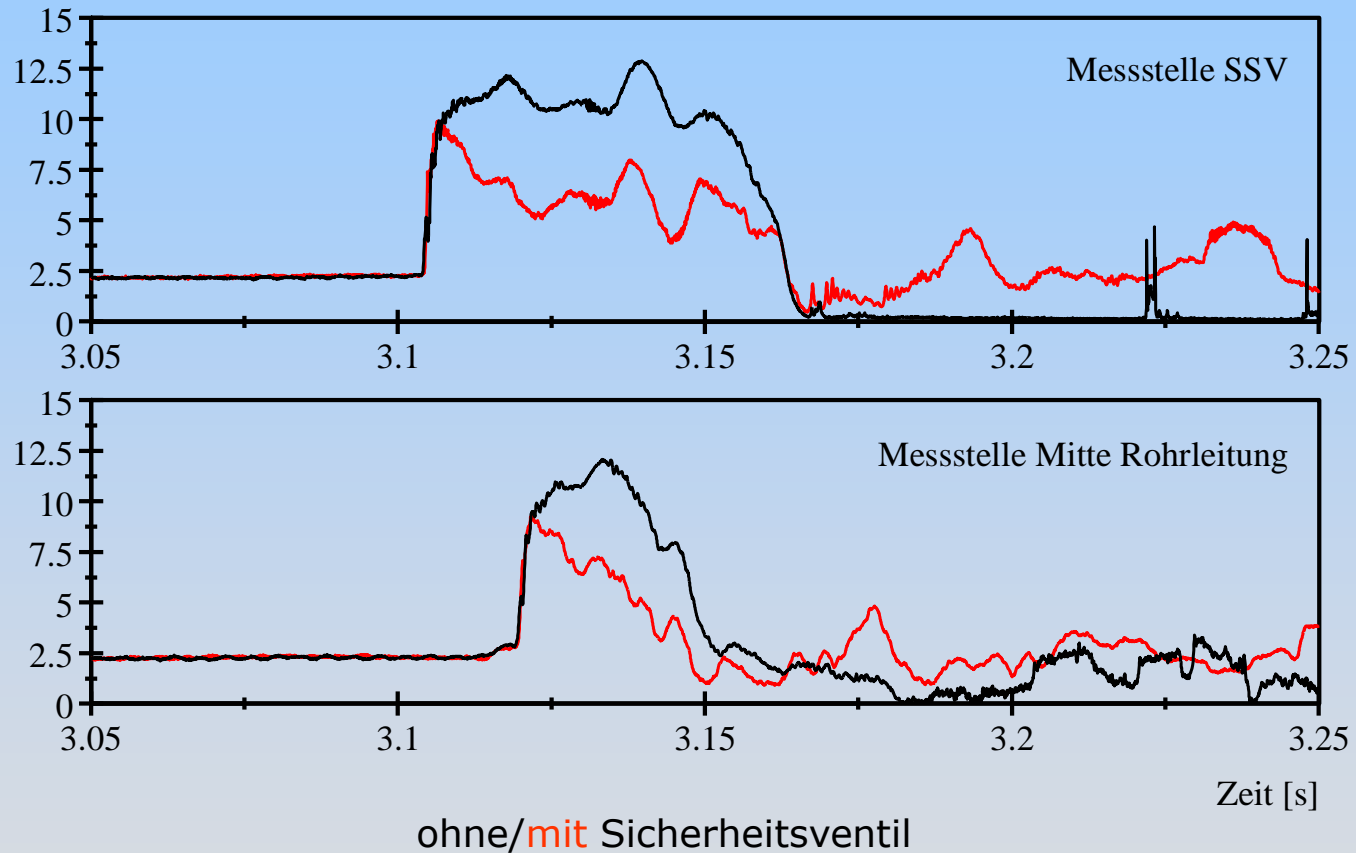
- Nur 1 x innerhalb von ca. 2000 Messungen aufgetreten
→ Vorhersage derartiger seltener Phänomene schwierig
→ Sichere Vermeidung daher nicht möglich

Begrenzung von Druckstößen

- Klassische Methode zur Begrenzung von unzulässigen Drücken: Federbelastete Sicherheitsventile
- Öffnen Sicherheitsventile schnell genug?
 - Einbau eines 6-bar_g Sicherheitsventils (DN 25) direkt im Schnellschlussventil (DN 100)

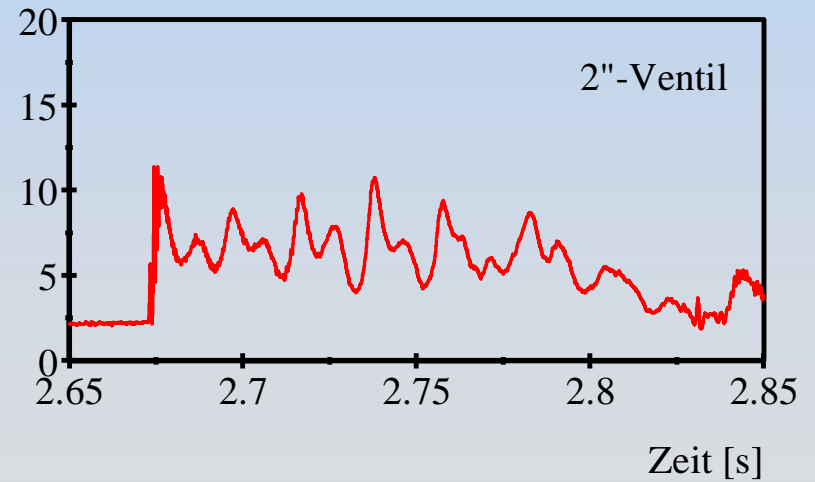
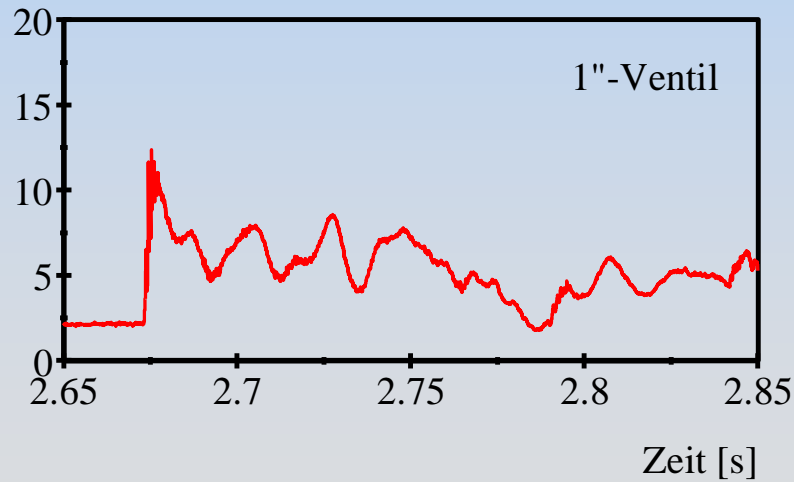
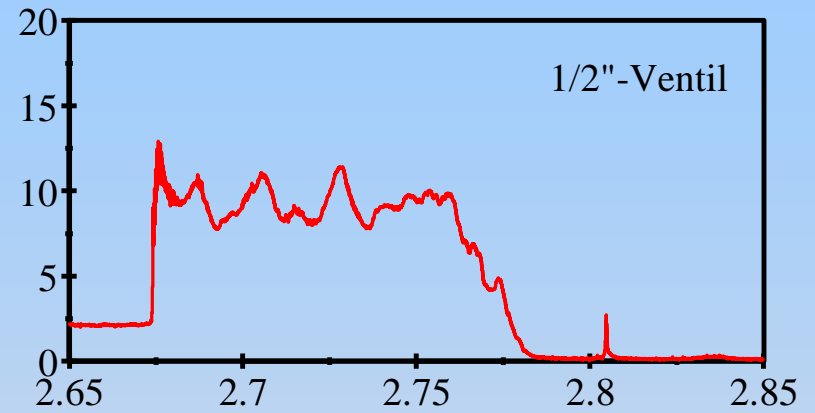
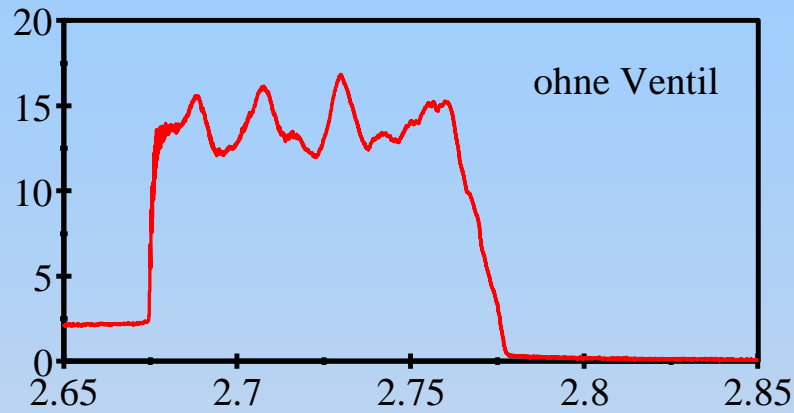


Begrenzung von Druckstößen

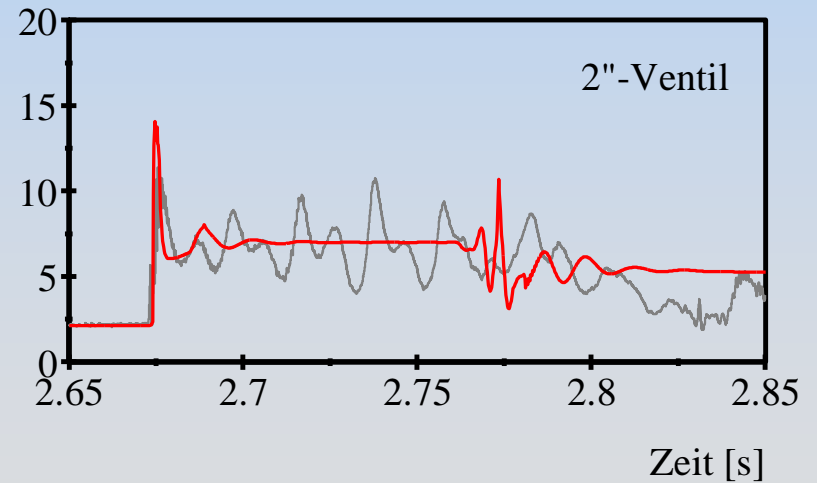
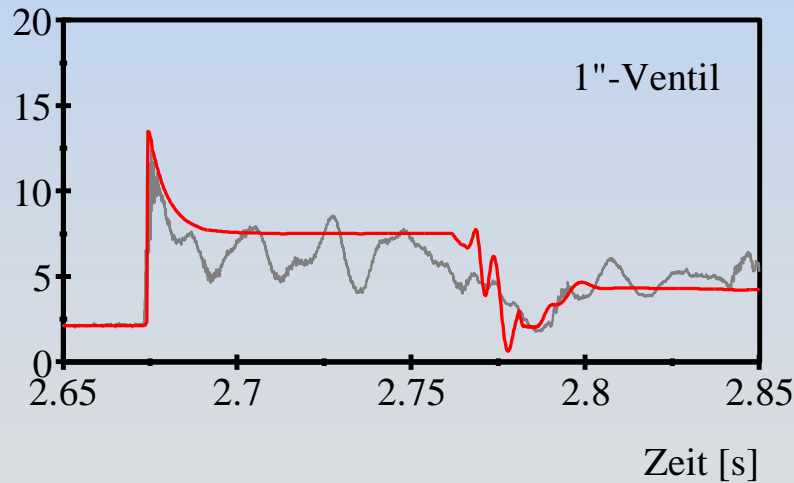
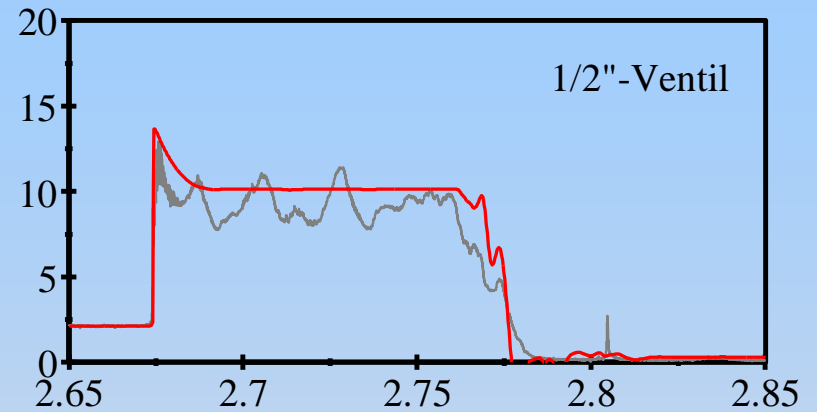
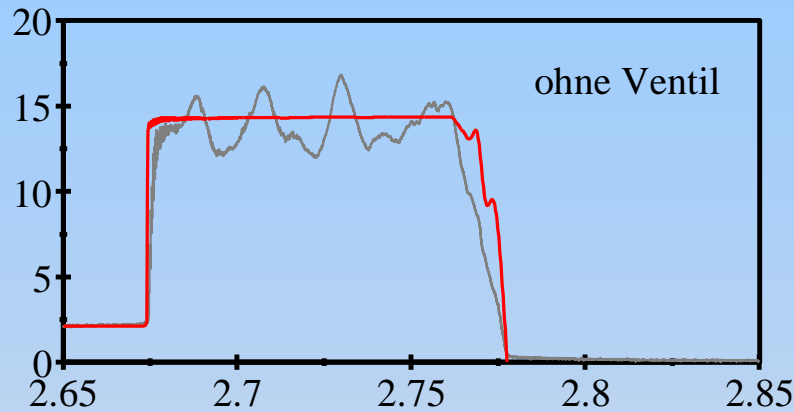


→ Begrenzung der Druckamplitude grundsätzlich möglich
Aber: Sorgfältige Dimensionierung notwendig

Vergleich verschiedener Ventillennweiten



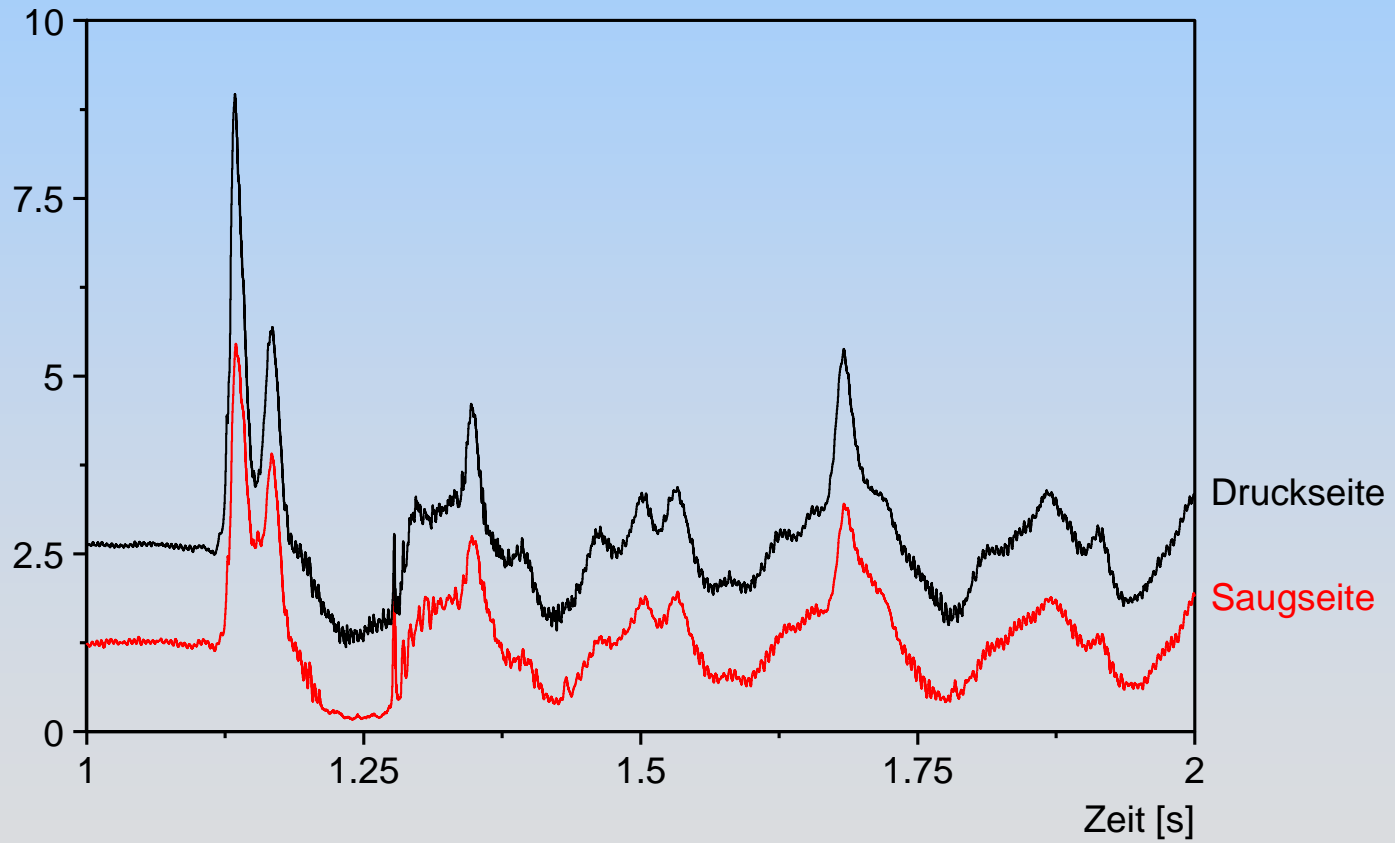
Verschiedene Ventillennweiten – ROLAST-Simulation



Simulation

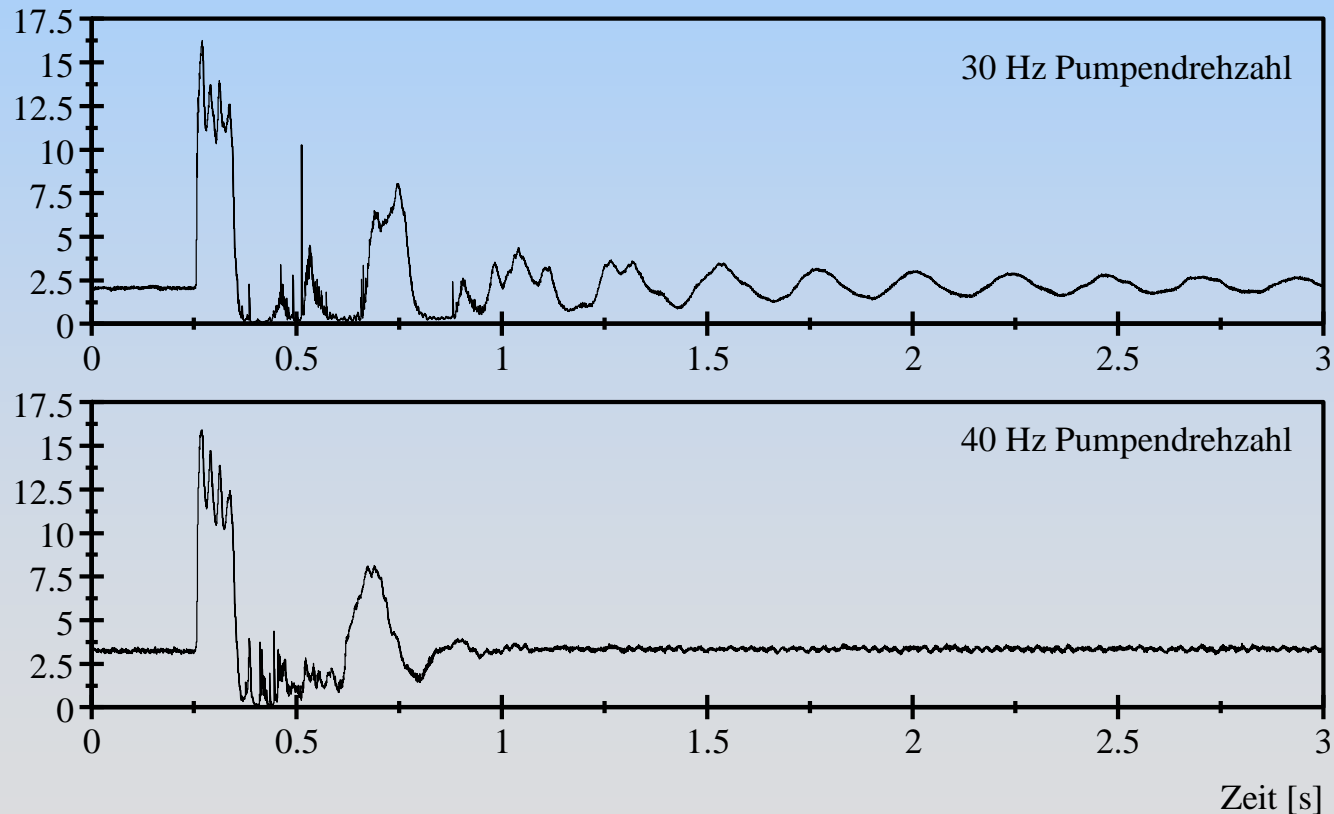
Weitere Effekte (1)

- Eine Druckwelle durchläuft die Kreiselpumpe fast ungestört
→ Auch die Saugleitung muss berücksichtigt werden



Weitere Effekte (2)

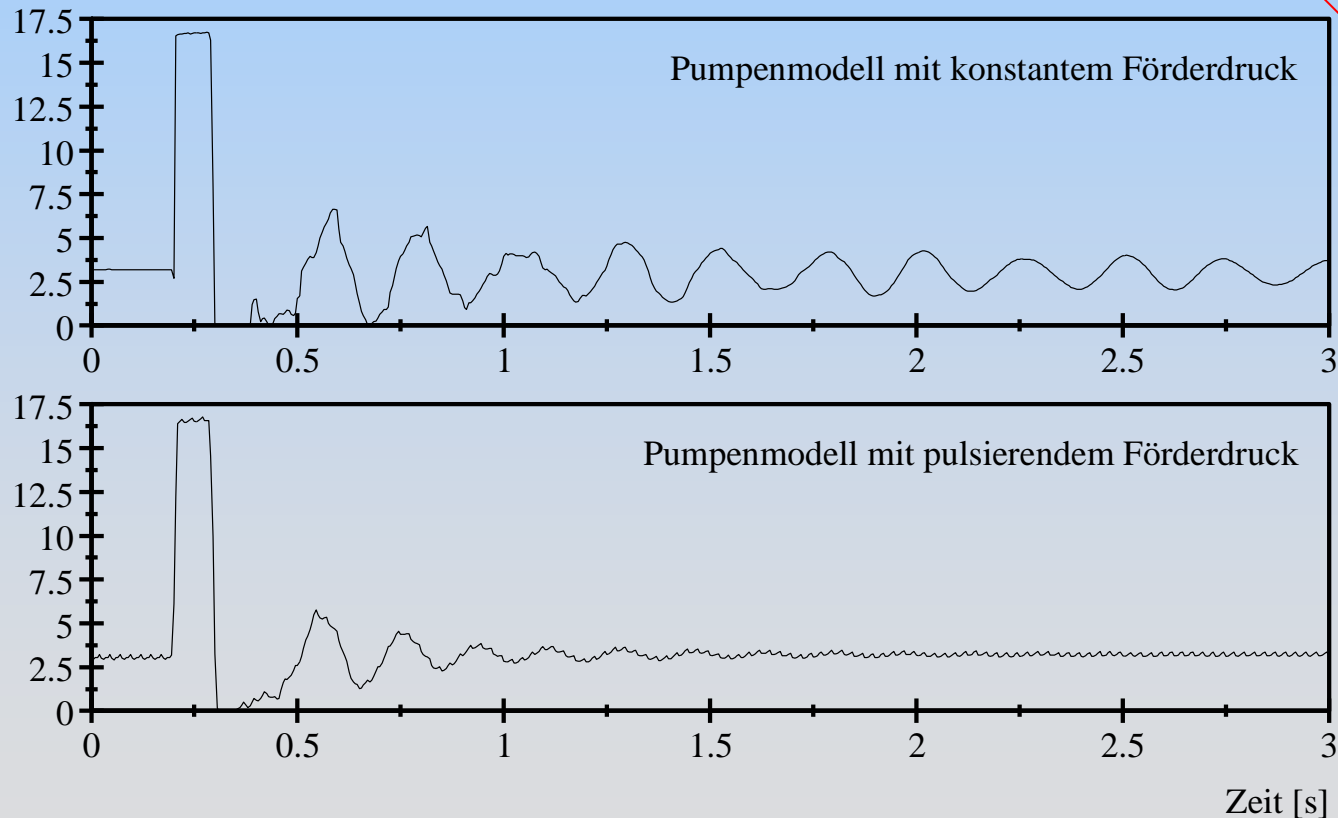
- Hochfrequente Druckpulsation der Kreiselpumpe dämpft die Ausbreitung der Druckwelle
- Je höher die Pumpendrehzahl, desto größer die Pulsation



Weitere Effekte (2)

- Dämpfung ist durch eine Optimierung des Pumpenmodells in ROLAST simulierbar
- Pulsation wird mit einer Kolbenpumpe modelliert

Simulation

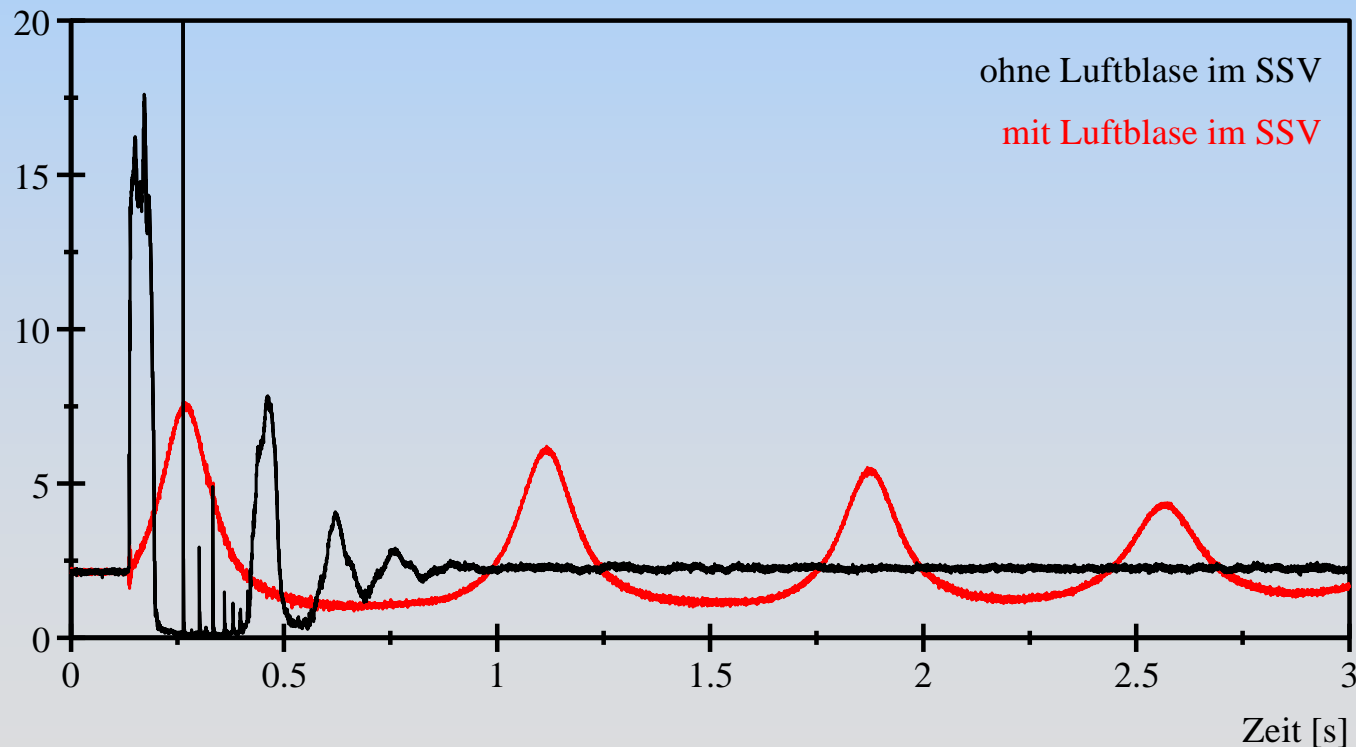


Weitere Effekte (3)

- Luftblase im Gehäuse des Schnellschlussventils wirkt wie ein Windkessel

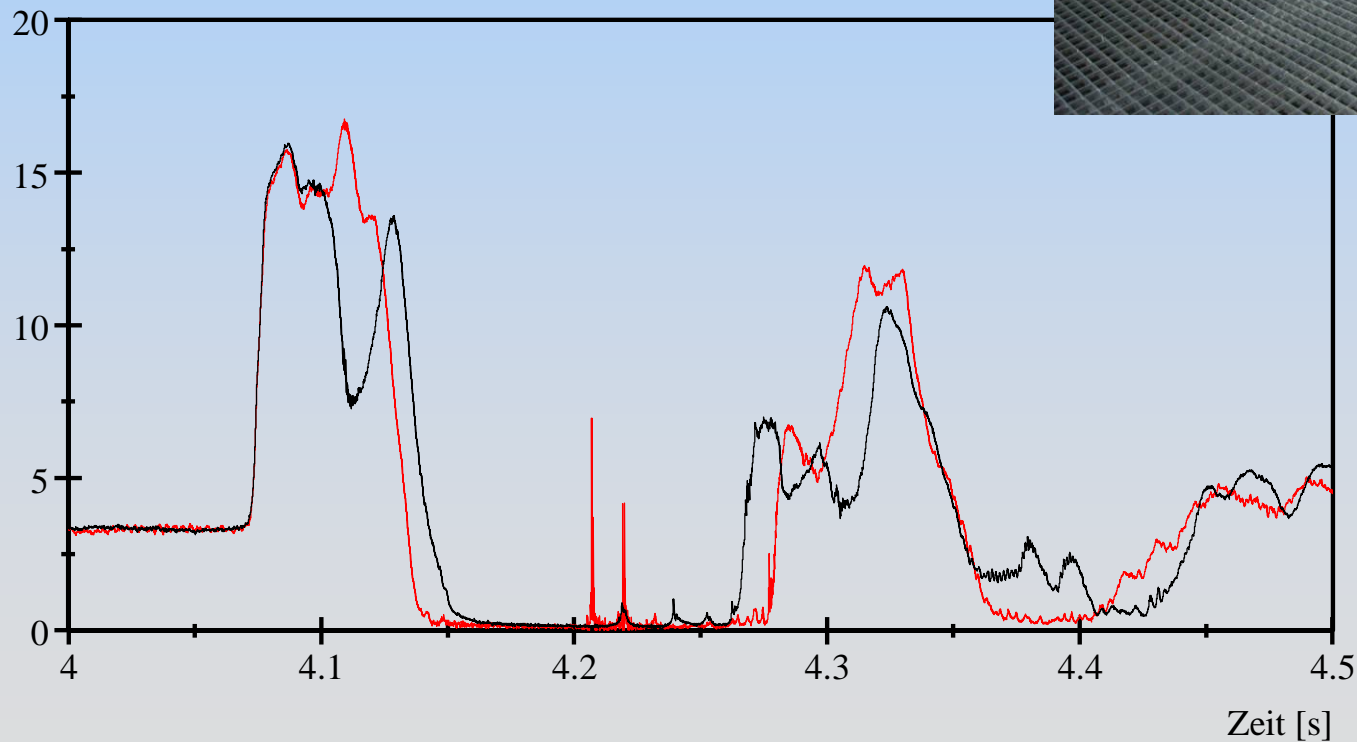
- Dämpfung der Druckstoßamplitude

- Erniedrigung der Frequenz



Weitere Effekte (4)

- Häufig in realen Anlagen zu finden: Materialmix aus verschiedenen Rohrwerkstoffen (Stahl, GFK, PVC...) → Sprunghafte Änderung der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit



Schlauch
Rohr

Zusammenfassung

- Druckstöße entstehen bei schnellen Durchflussänderungen
- Die entstehende Druckwelle kann mit Systemkomponenten (Pumpen, Armaturen, Bögen...) interagieren
- Bereits in diesem einfachen Versuchstand sind sehr komplexe Wechselwirkungen mit unerwarteten Folgen aufgetreten

The image shows a complex industrial piping system. Multiple horizontal pipes, likely made of stainless steel, are supported by a series of red-painted metal brackets or racks. The pipes are connected to various valves and fittings. In the foreground, a metal walkway with a perforated surface is visible. A white sign with black text is attached to the railing on the left. A small white sign with the number '2' is mounted on the red bracket on the right. The background shows more of the industrial structure and a white wall.

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Unbefugten
Zutritt verboten

2