Fraunhofer UMSICHT

Geschäftsfeld Prozesstechnik

»Bildung und Beschleunigung von Flüssigkeitspfropfen in Gasleitungen«

Fachveranstaltung
Druckstöße, Dampfschläge und Pulsation in Rohrleitungen

Dr.-Ing. Andreas Dudlik

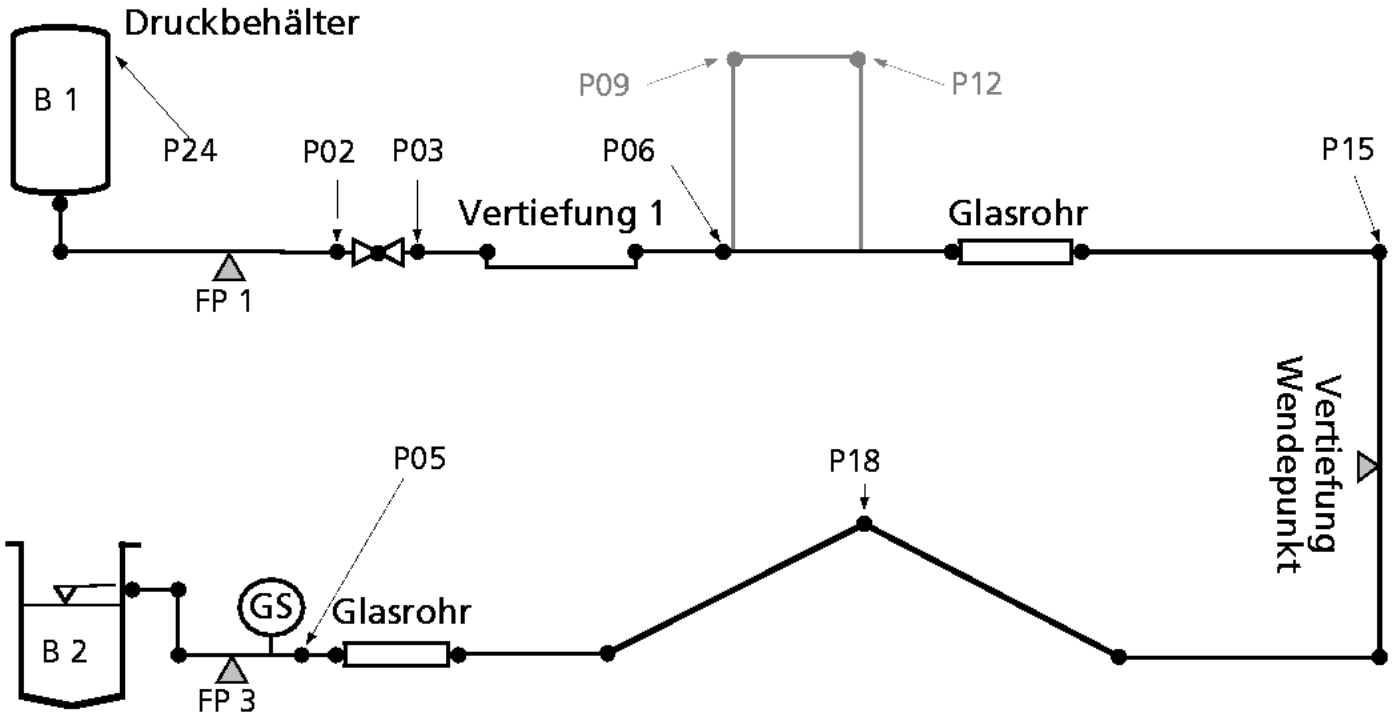
Fraunhofer
UMSICHT

Versuchszenario

Blowdown

in eine teilgefüllte Rohrleitung
DN100

- Überdruck im Gasspeicher
- Flüssigkeits-ansammlung an Tiefpunkten
- Öffnen der Sicherheitsarmatur



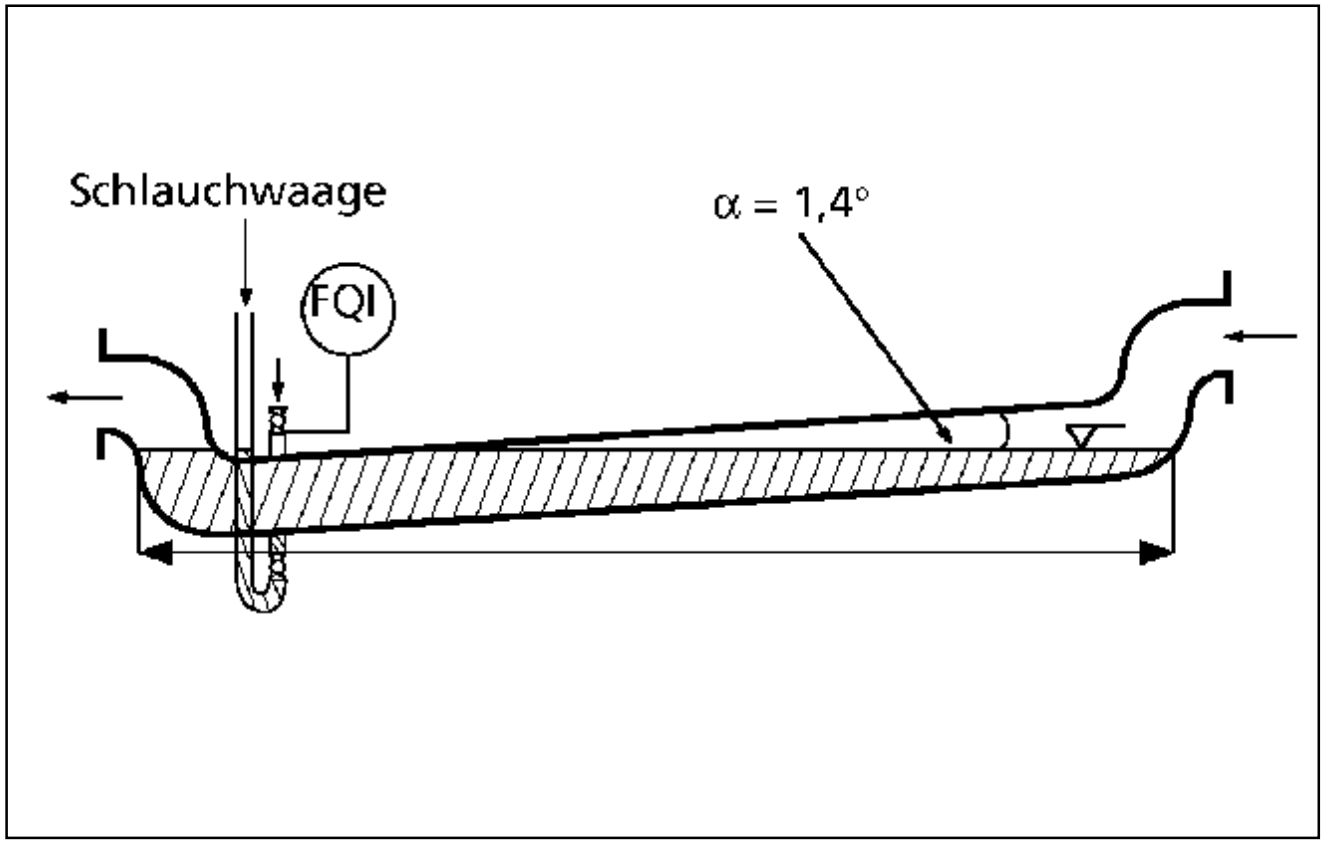
© Fraunhofer UMSICHT

Fraunhofer UMSICHT

Versuchsszenario (I)

Passstück als Vertiefung
in der Versuchsanlage

Versuchsleitung	DN100
Länge	6 m
Flüssigkeits-volumen	0-49 l
Gefälle	1,4°



© Fraunhofer UMSICHT

Fraunhofer UMSICHT

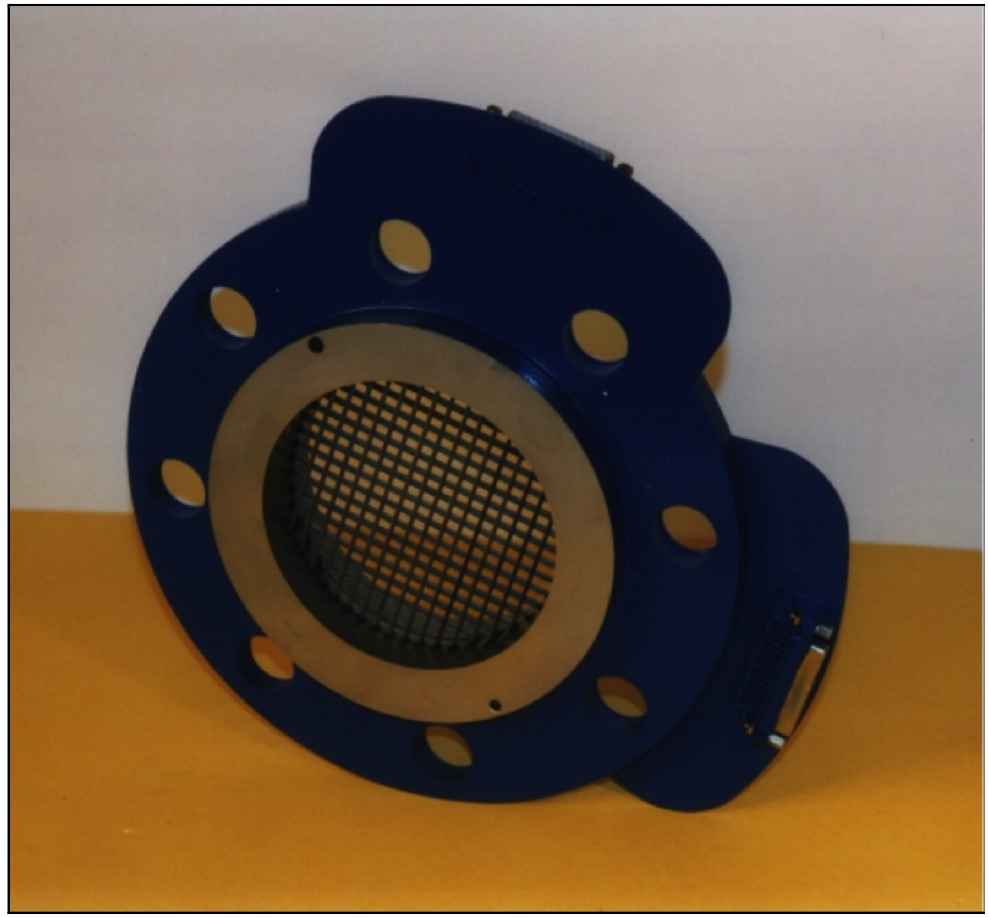
Durch Flüssigkeitspfropfen verursachte Schäden an der Rohrbrücke

Fraunhofer Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Wasserdampf und Flüssigkeitsgehalt

Gitter Sensor (FZR)

Auflösung (Zeit)	10 kHz
Auflösung (Raum)	256 Punkte



© Fraunhofer UMSICHT

Fraunhofer UMSICHT

Visualisierung: Draht Gitter Sensor

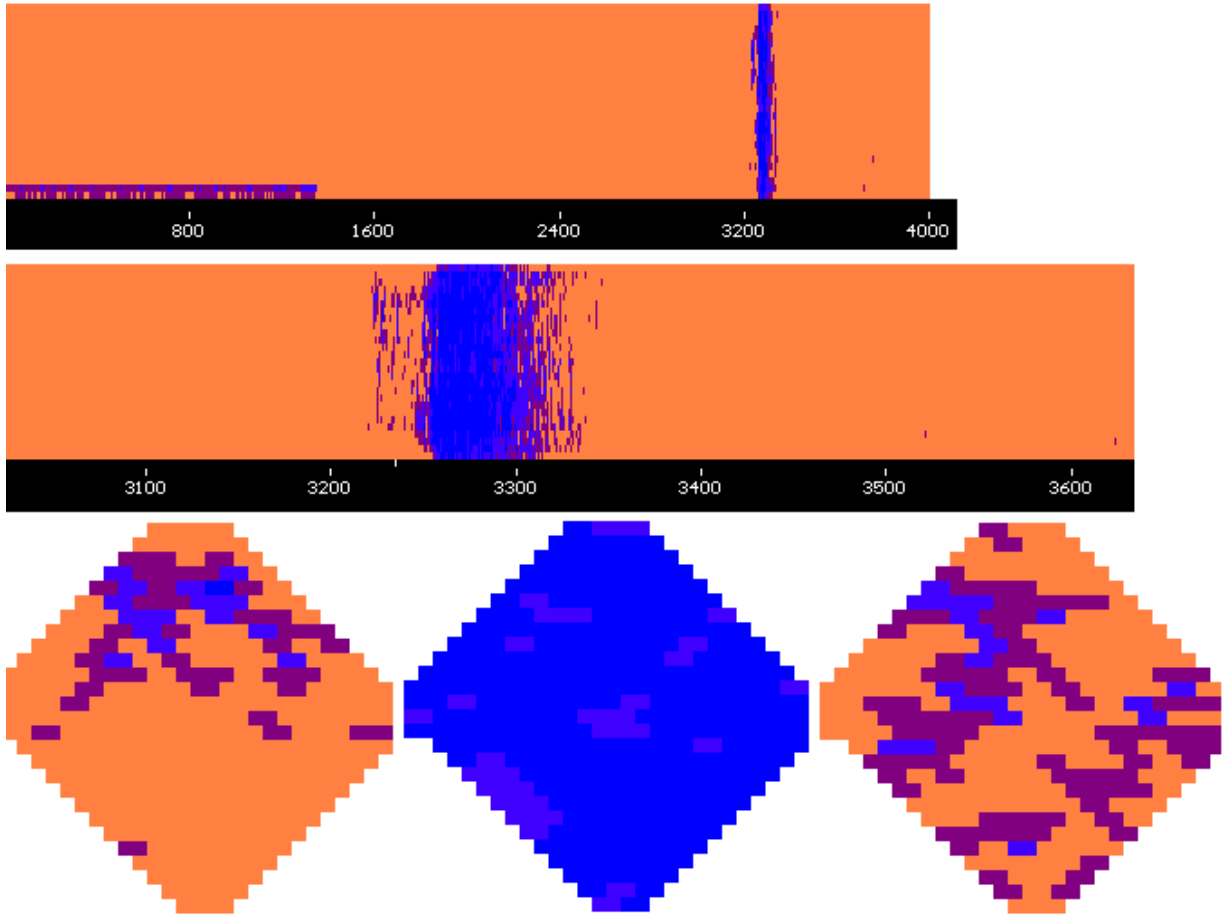
an P03

exzentrische Klappe
Rohr DN100
Ansicht:

Längs und Querschnitte

Vordruck: 30 bar
Vorlage: 49 l

Ohne Rohrbrücke



t = 3,236 s t = 3,276 s t = 3,331 s

© Fraunhofer UMSICHT

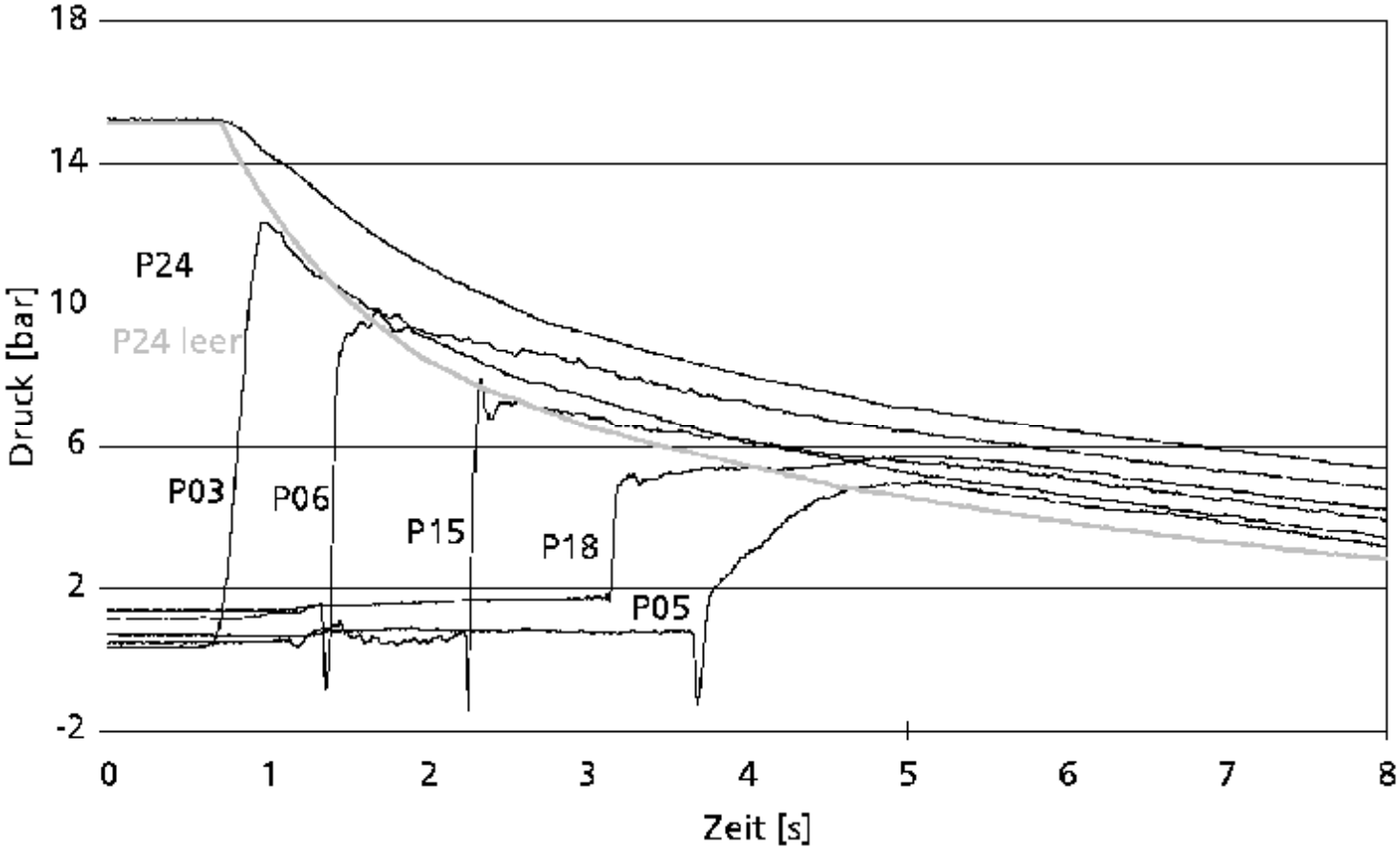
Fraunhofer UMSICHT

Blowdown

Zeitliche Druckverläufe an verschiedenen Messstellen

Wasservorlage: 49 l
Behälterdruck: 15 bar
Bypass Rohrbrücke

Behälterdruck beim Blowdown ohne Wasser

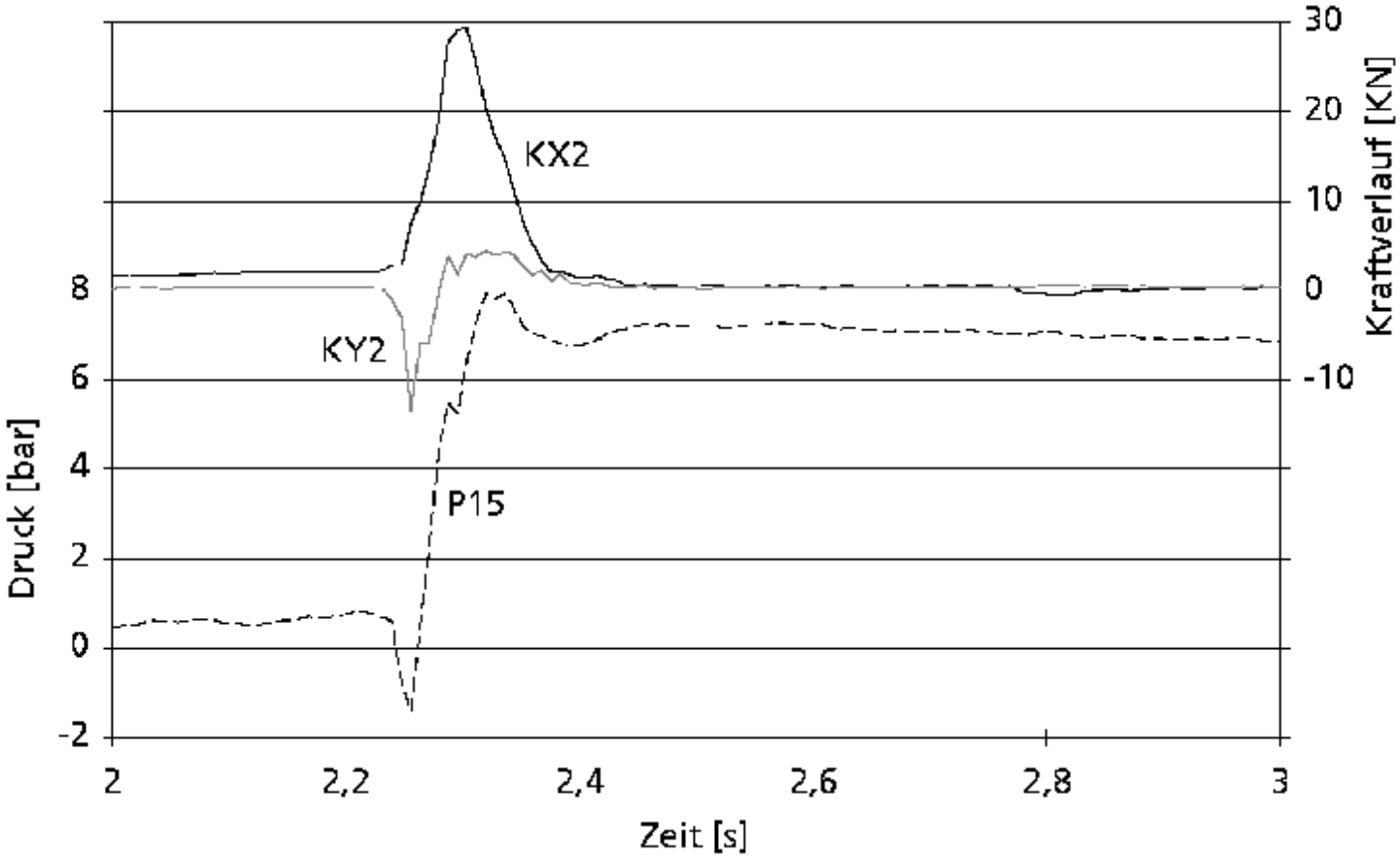


© Fraunhofer UMSICHT
Fraunhofer UMSICHT

Blowdown

Zeitliche Kraft
und Druckverläufe
am Wendepunkt FP 2

Wasservorlage: 49 l
Behälterdruck: 15 bar
Bypass Rohrbrücke



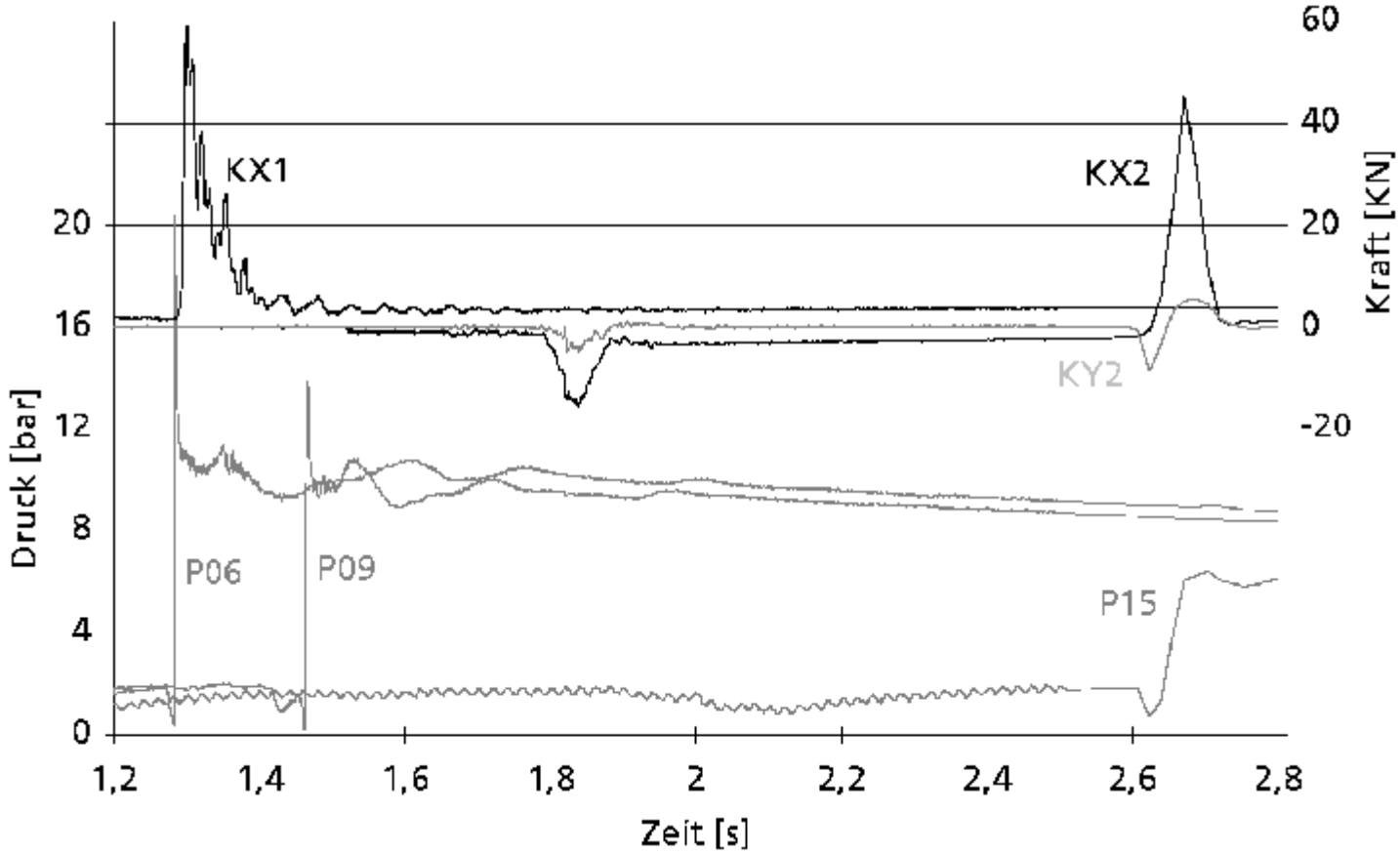
© Fraunhofer UMSICHT
Fraunhofer UMSICHT

Blowdown

Zeitliche Kraftverläufe:
Festpunkt FP 1 und
Wendepunkt FP 2

Zeitliche Druckverläufe

Wasservorlage: 49 l
Behälterdruck: 15 bar
Mit Rohrbrücke



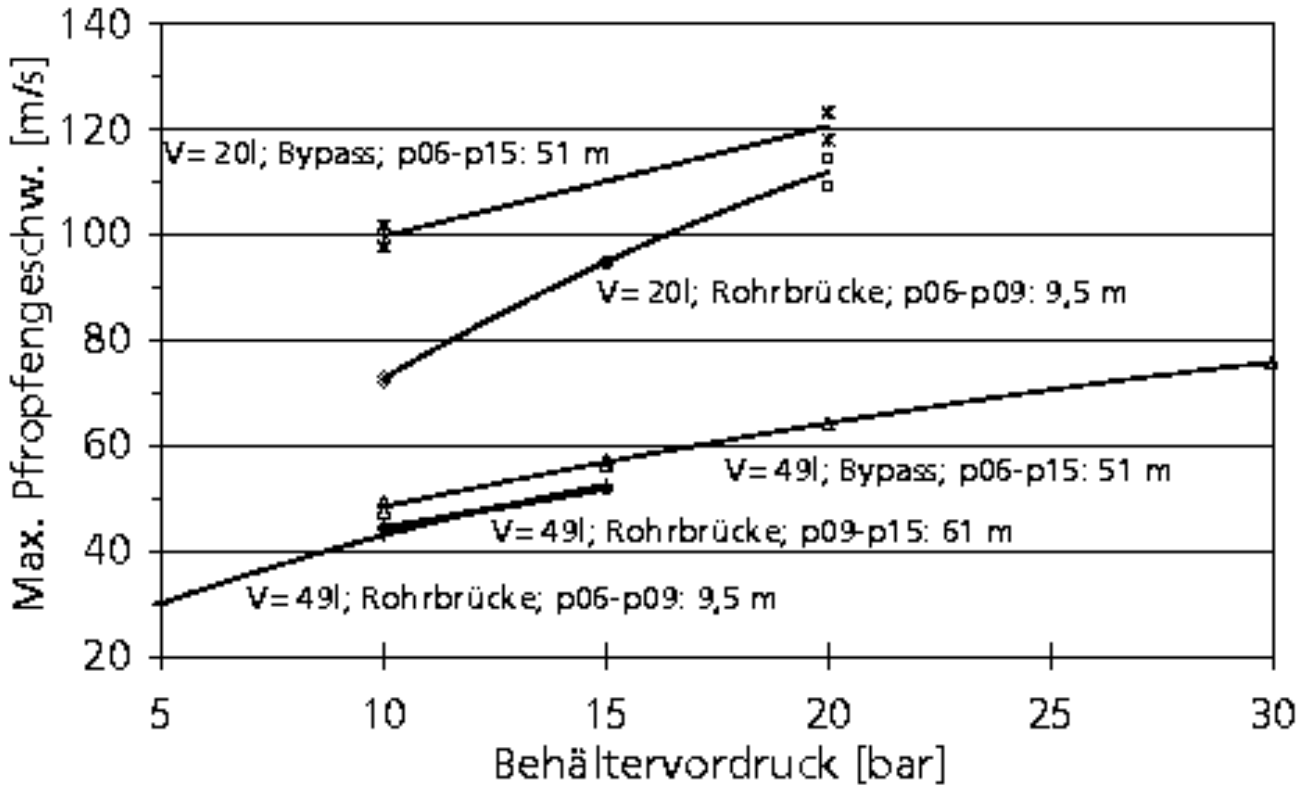
© Fraunhofer UMSICHT

Fraunhofer UMSICHT

Blowdown

Maximale Geschwindigkeit des Flüssigkeitspfropfens

Wasservorlage: 20 - 49 l
Behälterdruck: 5 - 30 bar
Mit Rohrbrücke / Bypass



© Fraunhofer UMSICHT

Fraunhofer UMSICHT

Ermittlung der effektiven Pfropfenmasse

Pfropfenmasse:

$$M_p = \frac{1}{v_p} \int_{t_1}^{t_2} F(t)\,dt$$

Zeitintervall:

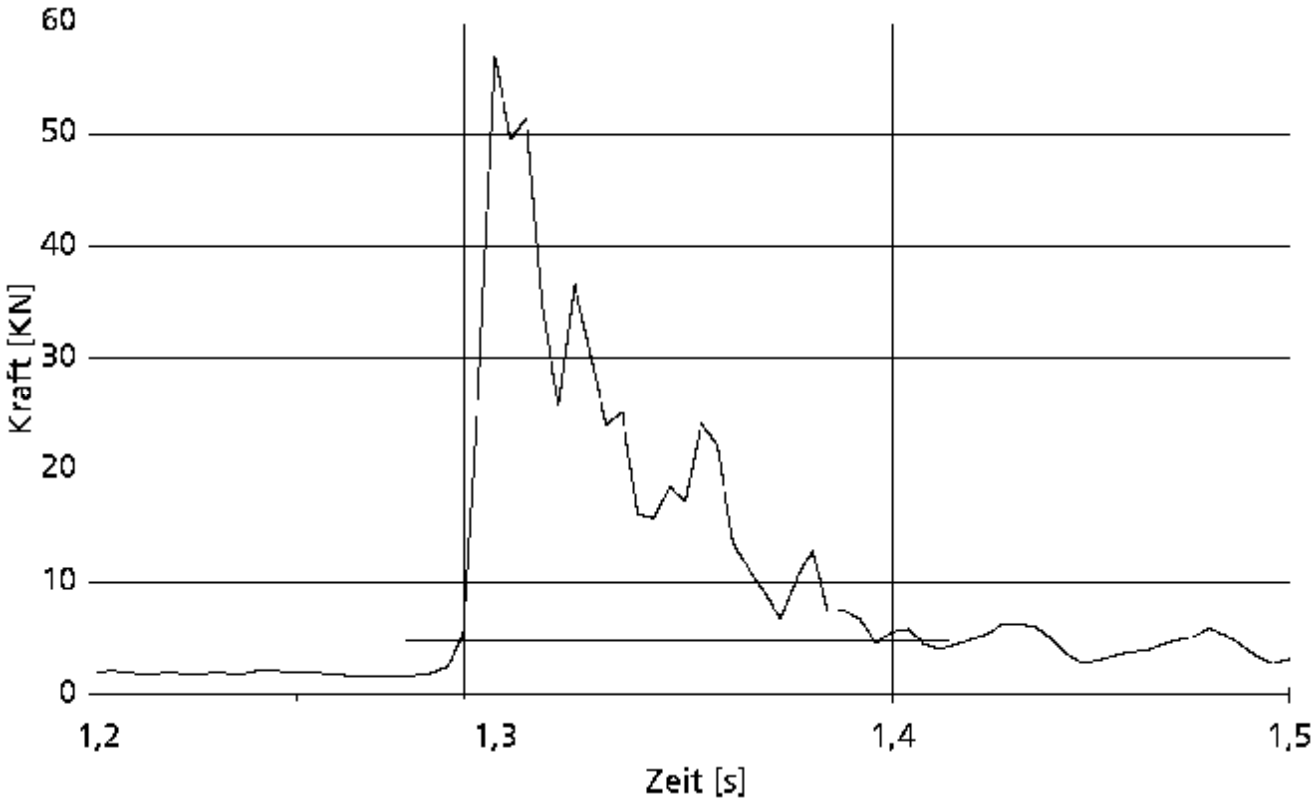
$$t_2 - t_1$$

Nötig: Druck-Zeit-Verlauf
Kraft-Zeit-Verlauf

$$v_p = const$$

Pfropfenanteil:

$$e_p = \frac{M_{Pfropfen}}{M_{gesamt}}$$



© Fraunhofer UMSICHT

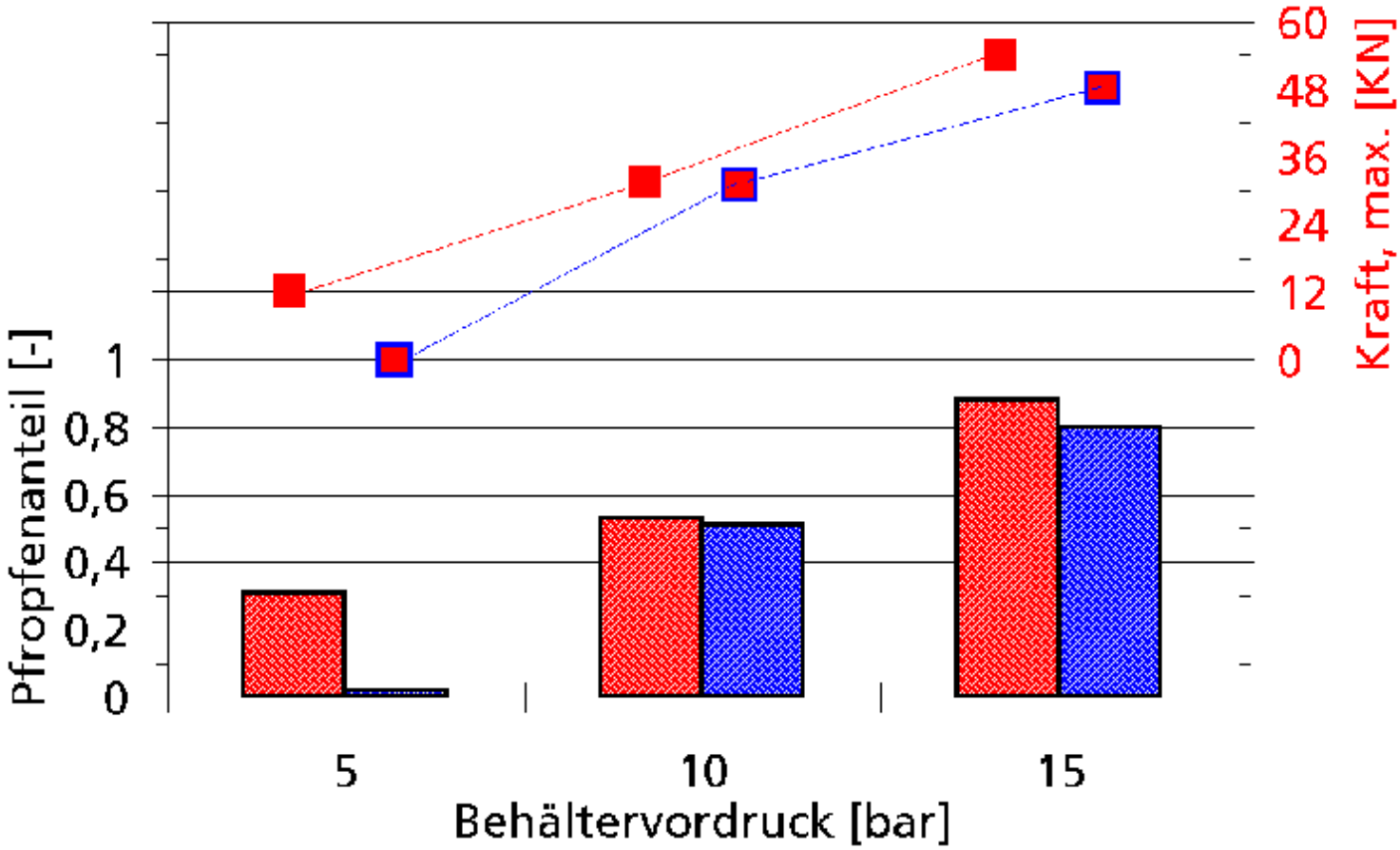
Fraunhofer UMSICHT

Blowdown

Pfropfenanteil und
Maximalkraft

Festpunkt FP 1
Wendepunkt FP 2

Wasservorlage: 49 l
Mit Rohrbrücke

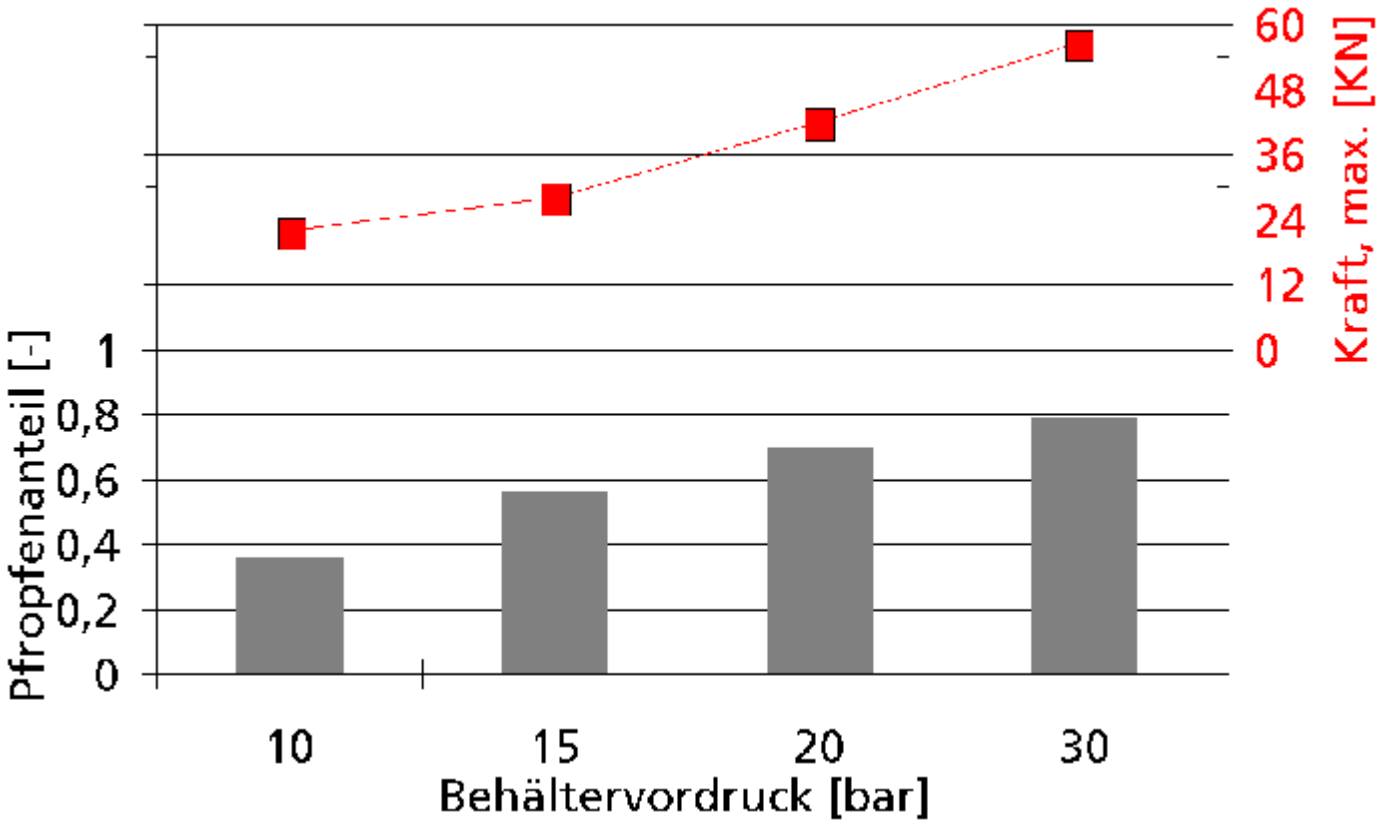


© Fraunhofer UMSICHT
Fraunhofer UMSICHT

Blowdown

Pfropfenanteil und
Maximalkraft
am Wendepunkt FP 2

Wasservorlage: 49 l
Ohne Rohrbrücke



© Fraunhofer UMSICHT

Fraunhofer UMSICHT

Modellierung

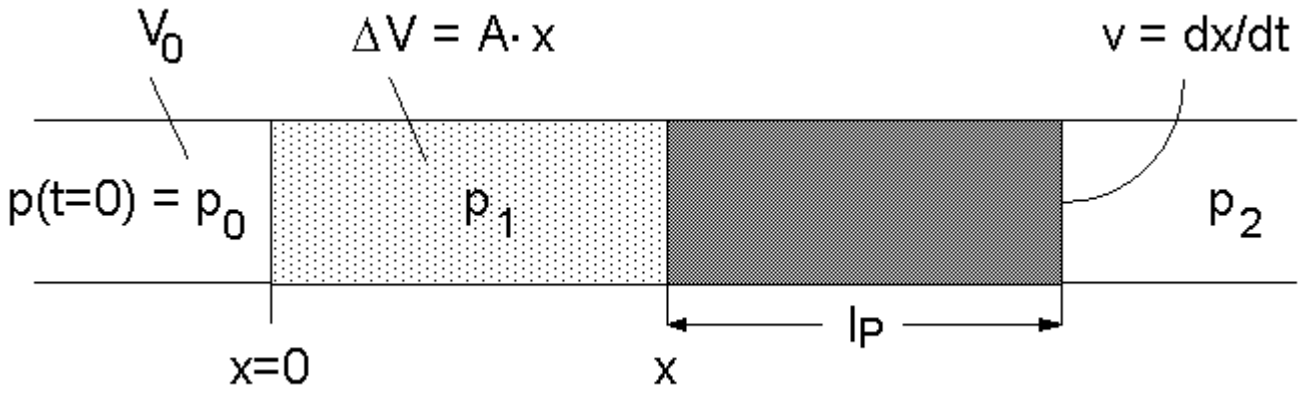
§ Der Gegendruck p2 bleibt konstant

§ Die Zustandsänderung im Gasraum verlaufe adiabat

§ Der Widerstandsbeiwert für das Gas ist konstant (0,015)

§ Druck: 1 – 40 [bar]

§ Temperatur: 20 – 150 [°C]
Geschwindigkeit: 10, 50 [m/s]



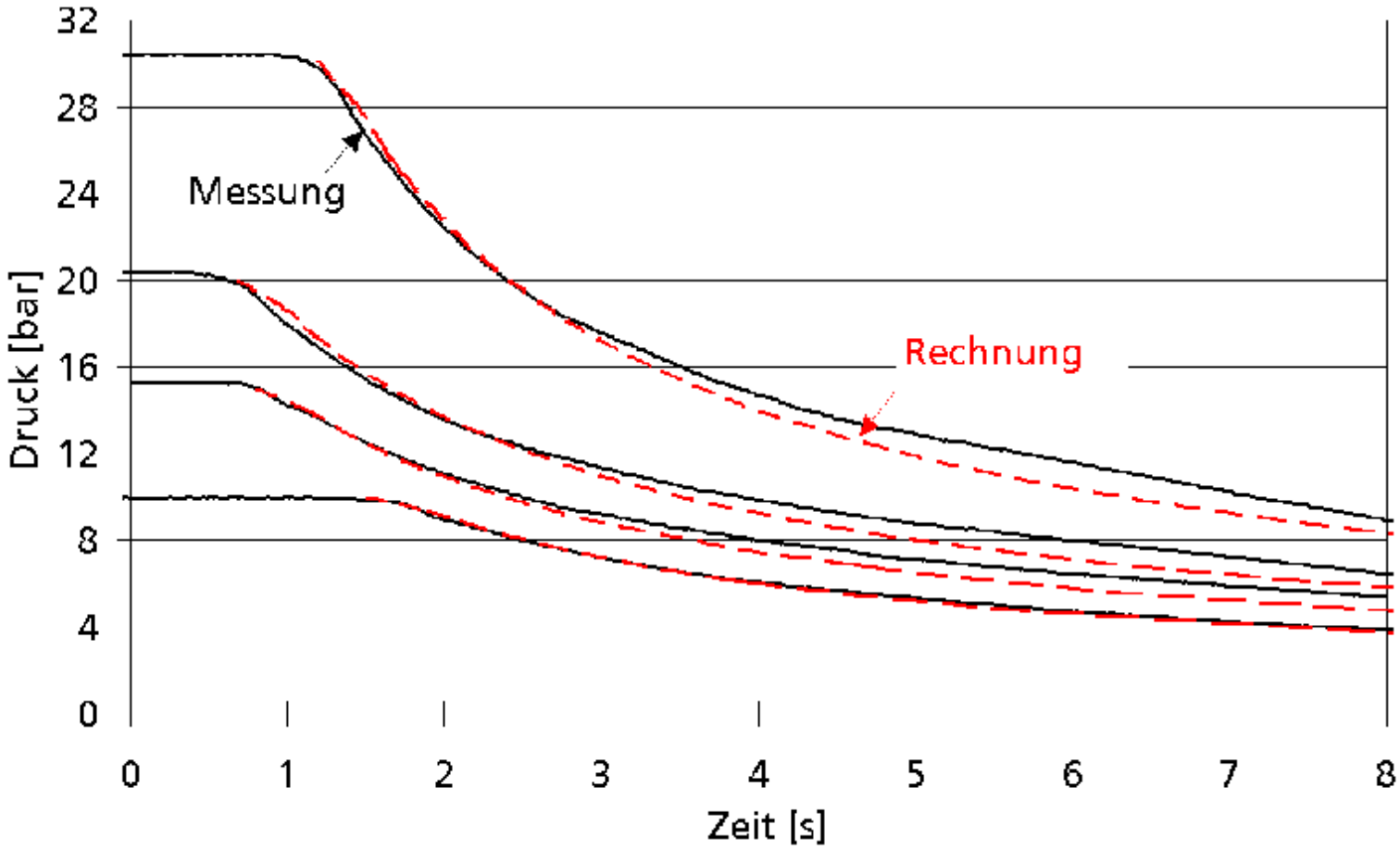
Der Pfropfen nimmt immer die gesamte Rohrquerschnittsfläche ein mit konstanter Pfropfenlänge L_p

© Fraunhofer UMSICHT

Fraunhofer UMSICHT

Ergebnis

Gemessene und berechnete zeitliche Druckverläufe



© Fraunhofer UMSICHT
Fraunhofer UMSICHT

Zusammenfassung und Konsequenzen

- Kondensat an Tiefpunkten wird beim Gas-Blowdown als Gas/Flüssigkeitspfropfen mit Flüssigkeitskern in der Rohrleitung transportiert.

- Stabilisierende Einflussgrößen:
  - Hoher Abblasedruck
  - Vertikale Leitungsabschnitte

- Destabilisierende Einflussgrößen:
  - Horizontale Umlenkungen
  - Horizontale Leitungsabschnitte

- Konsequenzen
  - Mathematische Modellierung der Druck- und Kraft - Zeitverläufe
  - Implementierung in vorhandene transiente Berechnungssoftware

© Fraunhofer UMSICHT
Fraunhofer UMSICHT