

# Instationäre Druckstoß Analyse

## **ELVERS - ENGINEERING**

### **Büro für technische Berechnungen**

Alfredstr. 51

D-45130 Essen

00	21.04.2018	Beispiele Druckstoß - Analyse	21.04.18	Elvers		
Index	Datum	Revision:	Erstellt Datum	Name	Genehmigt Datum	Name

	Druckstoß	Erstellt: Fritz Elvers
---	-----------	---------------------------

### **Übersicht:**

Welche Fragestellungen sollen beantwortet werden?

Einerseits wird durch den Druckstoß eine Über- und Unterdruckwelle in der Rohrleitung erzeugt. Die auftretenden Druckspitzen müssen von dem Rohrleitungsmaterial ertragen werden, was besonders bei Kunststoffleitungen kritisch werden kann. Unterdruck kann zu Beulen, aber auch zu Kavitationserscheinungen führen.

Besonders wichtig sind die resultierenden Rohrleitungskräfte auf Lagerungen und Stützen. Diese können auch dynamisch mit  $F(t)$  oder mit einem definierten dynamischen Faktor gerechnet werden. Hierfür liegen kompatible Schnittstellen zu Rohr2 vor.

Um diese zu mindern können Schließzeiten vergrößert oder Pulsationsdämpfer bzw. Windkessel eingesetzt werden, die ebenfalls mitsimuliert werden.

Ungünstiges Pumpenverhalten (abnormer Turbinenbetrieb) wird durch die Abbildung und Extrapolation der Kennlinie festgestellt.

Plötzlicher Pumpenausfall (Schwarzfall) mit oder ohne Pumpenauslaufen kann mittels Rotationsträgheit Laufrad – Kupplung - Motor ebenfalls exakt simuliert werden. Ebenso die Dynamik frei schwingender Rückschlagklappen, so z.B. Rückstrom.

Ein Nebenprodukt ist die Berechnung der stationären Massenstromaufteilung bzw. Druckverteilung in verzweigten oder vermaschten Systemen, da diese Anfangsbedingung der Simulation sind.

	Druckstoß	Erstellt: Fritz Elvers
---	-----------	---------------------------

### Simulationsprogramm:

Mit dem vielfach eingesetzten und bewährtem Druckstoßprogramm **HYDRIA** (**HYDR**aulische **I**nstationäre **A**nalyse) für Flüssigkeiten werden die Rohrsysteme einschließlich Pumpen, Armaturen und Komponenten hinsichtlich der Druckwellen analysiert.

Das bestehende Computerprogramm arbeitet nach dem Verfahren der finiten Differenzen (Prädiktor-Korrektor-Verfahren). Es können Pumpenausfall, Pumpenanfahren sowie Armaturenoperationen berechnet werden, wobei die "Rohratmung" auf Grund der Rohrwandelastizität mit berücksichtigt wird. Hierbei wird das gesamte Rohrleitungssystem in kurze Abschnitte diskretisiert und in sehr kleinen Zeitschritten im Millisekundenbereich durchgerechnet. Die partiellen Differentialgleichungen für den Erhalt der Masse und Impuls (Navier Stokes) werden mittels finiten Differenzen gelöst, und in jedem Abschnitt die Zustandsgrößen des Fluids wie Dichte, Druck und Geschwindigkeit für jeden Zeitschritt berechnet.

Als Anfangsbedingung wird die stationäre Massenstromaufteilung und Druckverteilung mit dem Programm SINETZ berechnet.

Die Ergebnisse werden grafisch dargestellt und als Plotterbilder ausgegeben. Ebenso können die Druckstoßkräfte durch Ansetzen des Impulssatzes am Ort der Bögen zeitabhängig berechnet und dokumentiert werden.

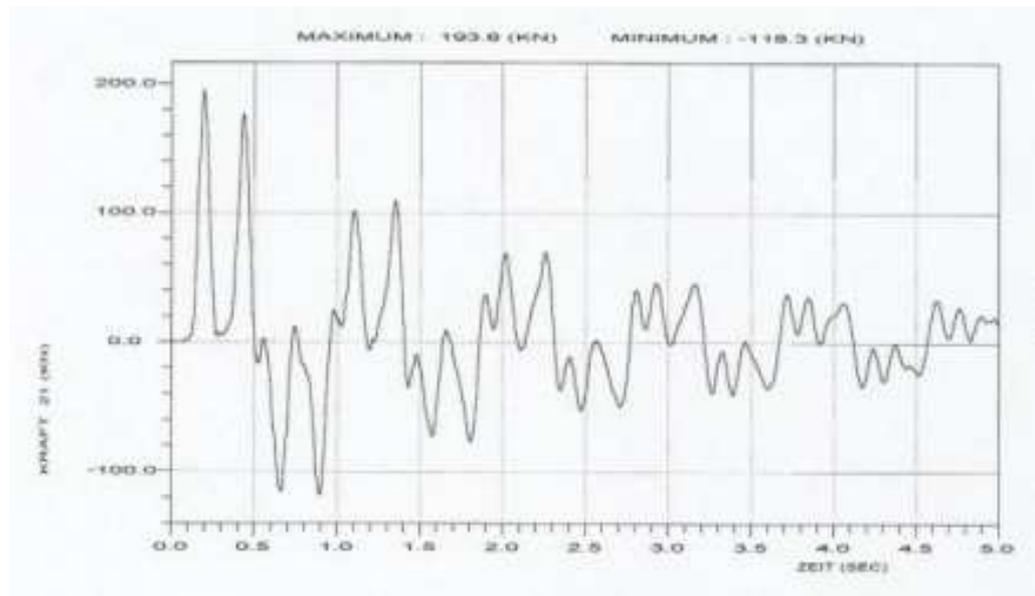
Die Modellierung der Pumpen und Armaturen (z.B. freischwingende Rückschlagklappen) erfolgt derart, dass für jeden Zeitschritt die Bewegungsgleichung gelöst und numerisch integriert wird, wenn das Strömungsprogramm während der Berechnung den Abschnitt erreicht hat, in dem sich die Pumpe oder Armatur befindet. Die zeitabhängigen Ergebnisse wie Pumpendrehzahl, Förderhöhe, Klappenwinkel usw. werden für die Strömungsberechnung simultan vom Programm übergeben und können ebenfalls als Plotterbilder ausgegeben werden.

Während der Berechnung wird für jeden Abschnitt und Zeitschritt der Rohrreibungsterm berechnet. Zusammen mit zusätzlichen Widerstandsbeiwerten, die Einbauten, wie Blenden oder Bögen repräsentieren, wird dieser Reibungsterm im Impulssatz berücksichtigt. Dadurch wird der Reibungsdruckverlust sehr gut berechnet und bewirkt eine Dämpfung der Druckwellen, die mit der Zeit abklingen.

Es sind verschiedene Armaturenmodelle im Programm implementiert. Dazu gehören Rückschlagventile gedämpft und ungedämpft, Rückschlagklappen frei schwingend und gesteuert sowie Sicherheits- und Regelventile. Pumpen werden durch Eingabe der Q-H Kennlinien und Anfangsdrehzahl vom Programm als Radial-, Halbaxial-, oder Axialpumpe interpretiert und über den 1.Quadranten des Kennfeldes hinaus berechnet, wenn diese z. B. negativ durchströmt wird.

Die Höhe des Druckstoßes wird bestimmt durch Fluidichte, die örtliche Schallgeschwindigkeit sowie Größe der Verzögerung des Fluids.

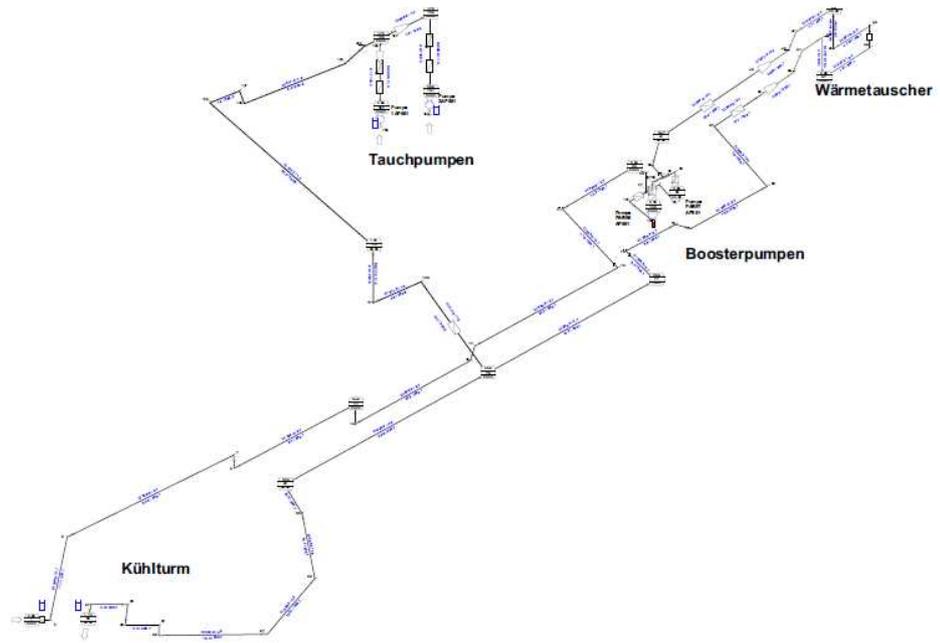
Außer den sehr kurzzeitig auftretenden Druckwellen, die mit Schallgeschwindigkeit durch das Leitungssystem laufen, entstehen dynamische äußere Lasten, die zum Teil erheblich sein können.



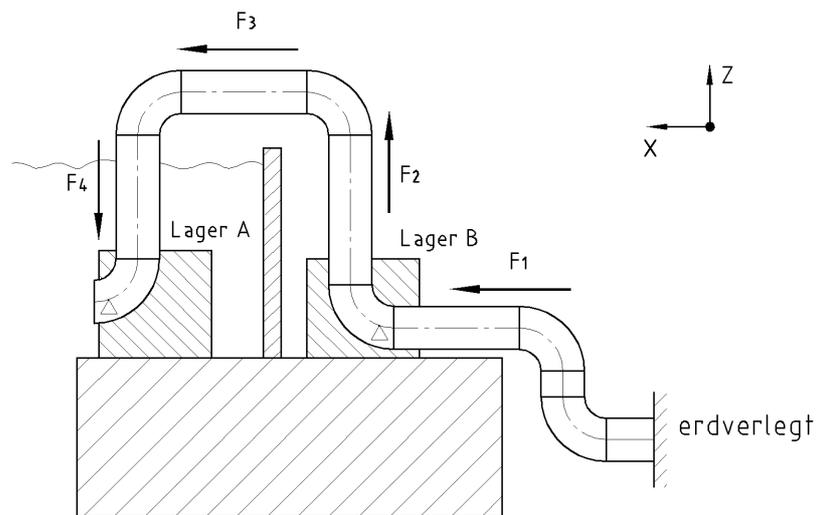
Kraft – Zeit –Verlauf nach Schnellschluß einer SAV.

Die ermittelten lokalen Lasten können quasi-stationär oder dynamisch für eine Rohrstressberechnung (RSB) mit Rohr2 oder CAESAR II übernommen werden.

**Beispiel: Simulation einer Rückkühlanlage**



Druckstoßlasten auf Widerlager



Zugrunde gelegt werden die max. Kräfte-Peaks der dynamischen Lasten:

LF1: Boosterpumpe fällt aus:

$$\begin{aligned} F_{1,x} &= + 185 \text{ N} \\ F_{2,z} &= + 184 \text{ N} \\ F_{3,x} &= + 156 \text{ N} \\ F_{4,z} &= - 134 \text{ N} \end{aligned}$$

LF2: Eine Tauchpumpe fällt aus:

$$\begin{aligned} F_{1,x} &= +1630 \text{ N} \\ F_{2,z} &= + 813 \text{ N} \\ F_{3,x} &= + 896 \text{ N} \\ F_{4,z} &= - 1116 \text{ N} \end{aligned}$$

LF3: Alle Pumpen fallen aus:

$$\begin{aligned} F_{1,x} &= +1440 \text{ N} \\ F_{2,z} &= +1330 \text{ N} \\ F_{3,x} &= +1440 \text{ N} \\ F_{4,z} &= - 1119 \text{ N} \end{aligned}$$

### Modellierung Rückschlagklappe

Für die Berechnung der Druckverluste der Rückschlagklappen wurde aus der Literatur der vom Öffnungswinkel abhängige Durchflussfaktor (ALFA-Wert) verwendet, da die Verwendung von Widerstandsbeiwerten für die Berechnung bei kleinen Öffnungswinkeln nachteilig ist. Der Alpha-Wert wird für Flüssigkeiten wie folgt berechnet:

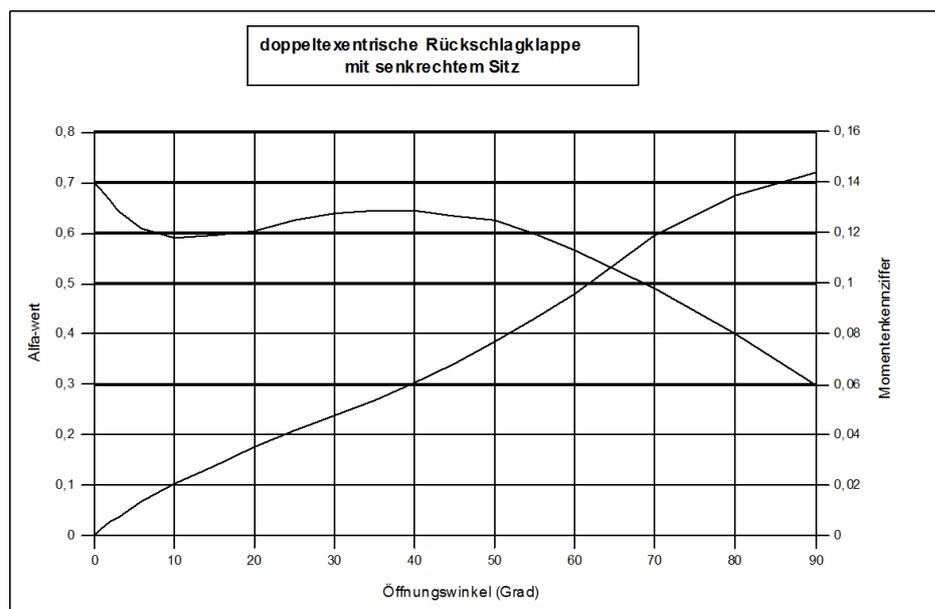
$$\alpha = \frac{A_0}{\sqrt{\left[\left(\frac{A_0}{A(\varphi)}\right)^2 - 1\right]}}$$

oder bezogen auf den Strömungswiderstandsbeiwert:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{\zeta + 1}}$$

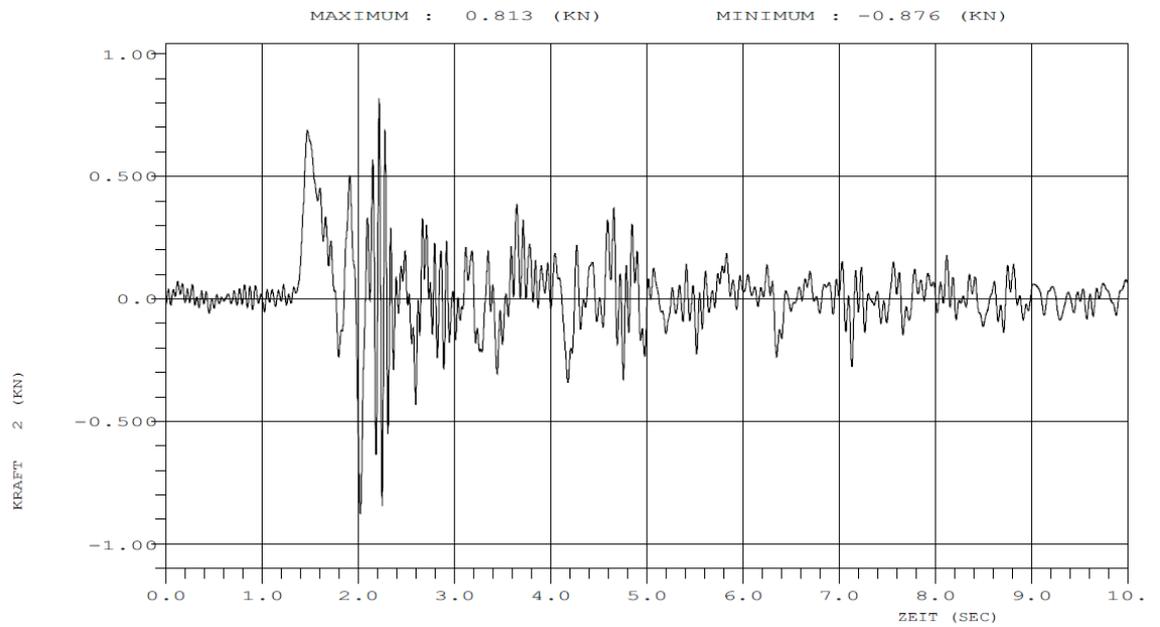
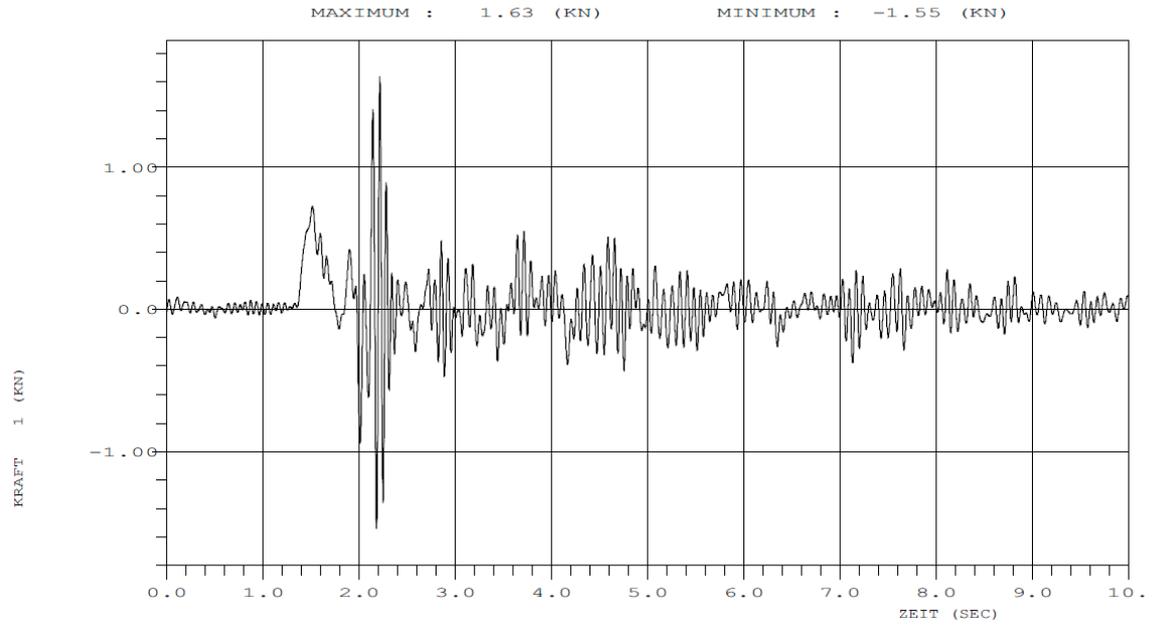
somit gilt für den sich einstellenden Durchfluß:

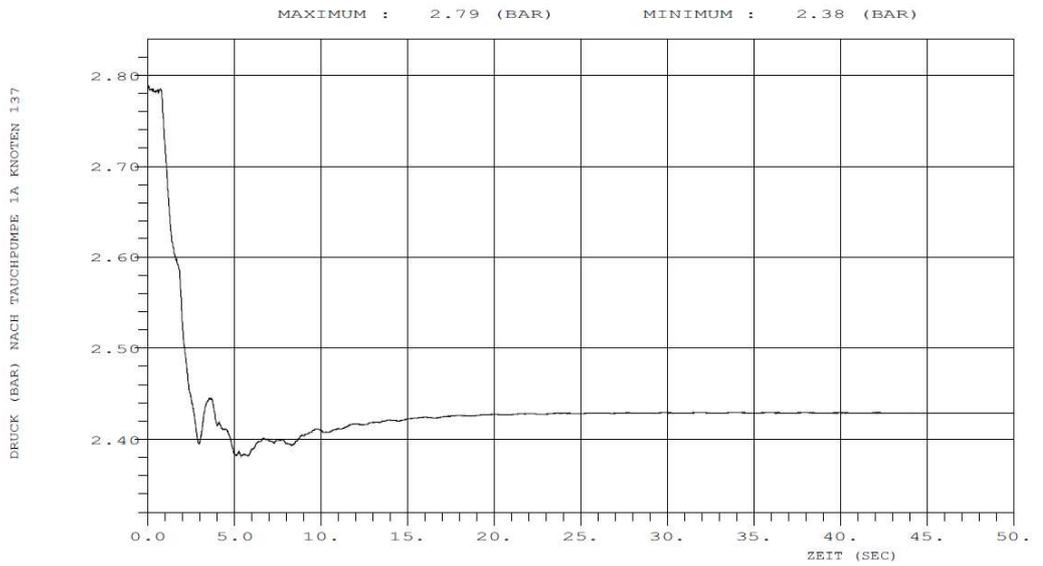
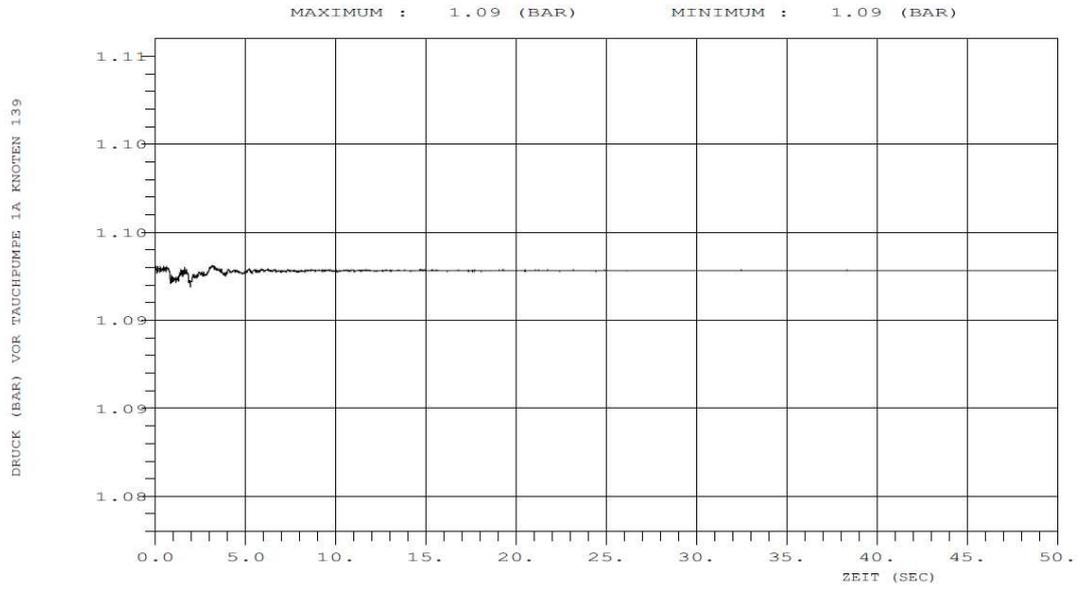
$$\dot{V} = \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\delta}}$$



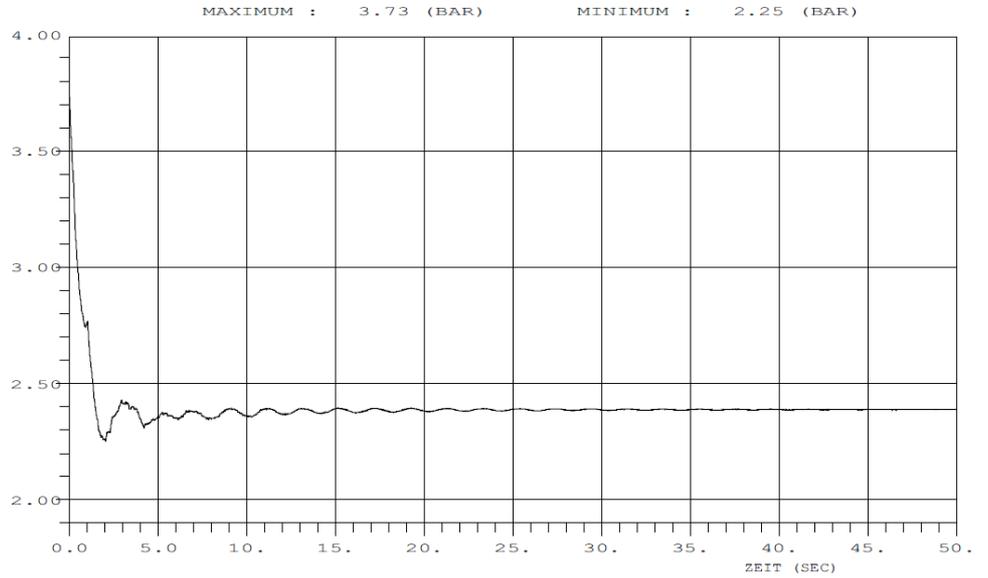
Alpha-Wert (linke Achse) und Momentenkennziffer (rechte Achse) über Öffnungswinkel

Ergebnisse: (Auszüge)





DRUCK (BAR) VOR R-KLAPPE BOOSTERPUMPE 98 KNOTEN 1



DRUCK (BAR) NACH R-KLAPPE BOOSTERPUMPE 98 KNOTEN

