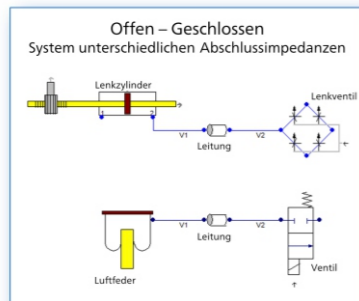


geht das System vollständig in die  $\lambda/4$ -Schwingungsform über. Dies entspricht dann auch einem Anwendungsfall, bei dem ein Ventil geöffnet wird, um einen Behälter zu füllen.

Der Anwendungsfall "offen – offen" ist gegeben, wenn zwei Behälter über eine Rohrleitung verbunden sind. Dieser Anwendungsfall ist in hydraulischen Systemen eher selten. In der Praxis kommt er dennoch vor, wenn z. B. in einem Konstantdrucksystem eine Pumpe zusammen mit einem Speicher eingesetzt wird und beide Bauteile über eine Rohrleitung mit einem ausgefahrenen Zylinder verbunden sind. Befindet sich dieser Zylinder noch sehr nahe am Anschlag, dann entspricht dies der Schwingungsbedingung „offen – geschlossen“.

Die Schwingungsbedingung "offen – geschlossen" tritt sonst häufig in Fahrzeughydrauliksystemen auf, bei denen die Fahrbahnoberfläche eine Vibrationsanregung auf den Lenkzylinder oder die Luftfeder bewirkt. Hierdurch wird dann eine Volumestrompulsation im System erzeugt, die bei  $\lambda/4$ -Resonanz am Ventil eine störende Druckpulsation verursacht.

Da die beschriebenen Beispiele ihr Schwingungsform positions- bzw. füllstandsabhängig ändern, bevorzugt RohrLEx zur Analyse der Resonanzsituation die Simulation mit DSHplus.



### Highlights

Praxisanwendungen haben gezeigt, dass RohrLEx Vorgehensweise zur Druckschwingungsanalyse Ergebnisse liefert, die mit einer CFD-Simulation vergleichbar sind, dabei jedoch nur einen Bruchteil von deren Rechenzeit benötigt. Wenn es also darum geht, eine Effektanalyse durchzuführen oder Abhilfemaßnahmen mittels Parametervariation vorzubereiten oder zu optimieren, dann ist RohrLEx Vorgehensweise hierzu die geeignete Methode.

### Zielgruppe und Einsatzbereiche:

RohrLEx empfiehlt die simulative Druckschwingungsanalyse allen Fluidtechnikern, die mit Pulsationsproblemen in verzweigten hydraulischen Leitungssystemen konfrontiert sind.

Typische Einsatzbereiche für die simulative Druckschwingungsanalyse sieht RohrLEx bei stationärhydraulischen Maschinen und Anlagen, Mobilhydraulik in Bau-, Kommunal- und Landmaschinen, sowie bei Luftfahrt-, Schienen- und Meerestechnikanlagen,

- ➔ bei denen Leitungssysteme aus Segmenten unterschiedlicher Länge und Durchmesser sowie aus verschiedenen Rohr- und Schlauchleitungsmaterialien bestehen
- ➔ deren Leitungssysteme stark unterschiedlichen Umgebungstemperaturen ausgesetzt sind
- ➔ die eine zyklische oder intermittierende Arbeitsweise mit höheren Taktfrequenzen haben
- ➔ bei denen Energieversorgungen mit drehzahlgeregelten Pumpenantrieben ausgerüstet sind.

## Über FLUIDON

Unsere Leidenschaft ist die Fluidtechnik in Theorie und Praxis. Unser Wissen und unser Können setzen wir für Sie ein, damit Ihre Ideen fundiert in die Tat umgesetzt und Probleme beseitigt werden.

Auf theoretischer Seite steht uns unser Simulationsprogramm DSHplus zur Seite, mit dem wir zum Beispiel

- ➔ Schaltungskonzepte überprüfen und deren Funktion sicherstellen
- ➔ Systemdynamik berechnen, analysieren und optimieren
- ➔ Schwingungen in Leitungssystemen untersuchen

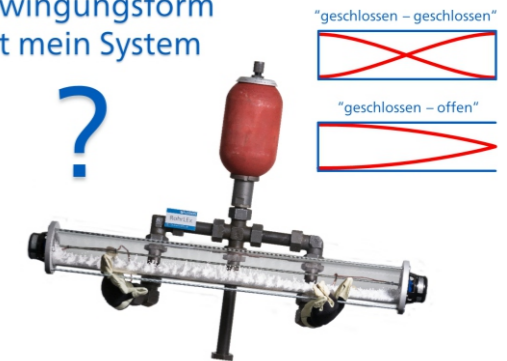
Unsere Prüfstände, die wir aufgabenspezifisch aufrüsten, helfen uns, in der Praxis Simulation durch Messungen zu flankieren. Typische Aufgaben sind dabei

- ➔ Parameterermittlung z. B. zu Ventilen und Pumpen
- ➔ Übertragungsverhalten von Rohren und Schläuchen
- ➔ Validierungsmessungen zum Modellabgleich

Die Kombination von beiden macht uns zum ersten Ansprechpartner für alle die, die sich mit simulationsbasierter Auslegung und Entwicklung fluidtechnischer Systeme beschäftigen.

## $\lambda/2$ - und $\lambda/4$ -Schwingungsformen im hydraulischen Leitungssystem

Welche Schwingungsform hat mein System



**Simulieren  
Analysieren  
Umsetzen**

FLUIDON Gesellschaft für Fluidtechnik mbH  
Jülicher Straße 338a  
52070 Aachen

Tel. +49 241 96 09 260  
Fax +49 241 96 09 262  
Mail [info@fluidon.com](mailto:info@fluidon.com)  
[www.fluidon.com](http://www.fluidon.com)

# Simulieren

# Analysieren

# Umsetzen

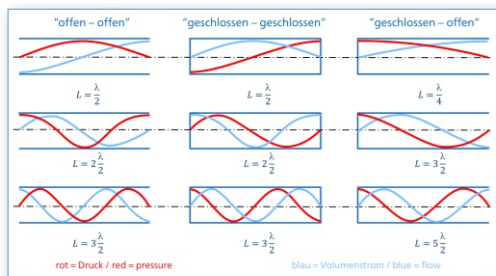
Was weiß RohrLEx über die grundlegenden Schwingungsformen im hydraulischen Leitungssystem?

Zu Beginn einer Druckpulsationsanalyse verschafft sich RohrLEx immer erst einmal einen Überblick über die allgemeine Resonanzsituation im Leitungssystem. Hierbei ist für RohrLEx wichtig, welche Pulsationsquellen es gibt, wie die Topologie des Leitungssystems ist und vor allem, wie die Leitungsabschlüsse aussehen. Die Art der Leitungsabschlüsse hat maßgeblichen Einfluss darauf, welche Schwingungsformen sich im Leitungssystem einstellen.

Welche Schwingungsformen gibt es?

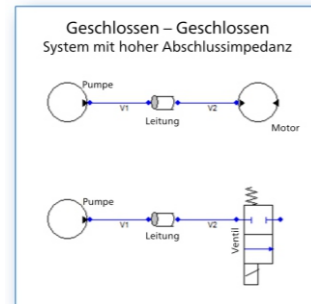
Die Schwingungsformen in einer einfachen hydraulischen Leitung können in die zwei Kategorien „gleichartiger Abschluss“ oder „entgegengesetzter Abschluss“ aufgeteilt werden. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von den Abschlussimpedanzen der Leitung. Die Abschlussimpedanzen bestimmen, ob sich eine  $\lambda/4$ - oder eine  $\lambda/2$ -Schwingungsform ausbildet. Gleichartig bedeutet dabei, dass beide Leitungsabschlüsse hinsichtlich ihres Pulsationsreflexionsverhaltens entweder „offen – Reflexionsfaktor = -1“ oder „geschlossen – Reflexionsfaktor = 1“ sind. Bei entgegengesetzten Abschlüssen ist jeweils ein Leitungsende „offen“ und das andere „geschlossen“.

Die Schwingungsform entscheidet darüber, an welcher Stelle des Leitungssystems sich Druckknoten und Druckbäuche bilden. Die Kenntnis der Druckbauchposition ist wichtig für die



Positionierung einer Dämpfungsmaßnahme oder eines Tilgers (Resonators).

Worauf achtet RohrLEx bei der Suche nach der Schwingungsform?

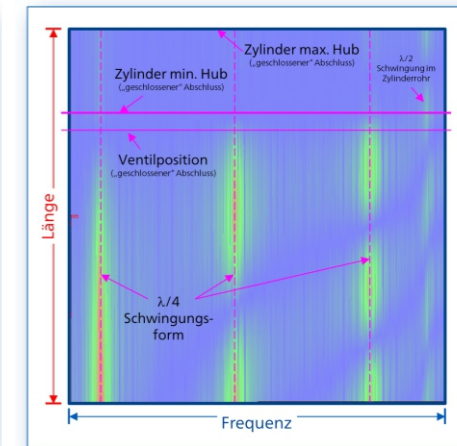
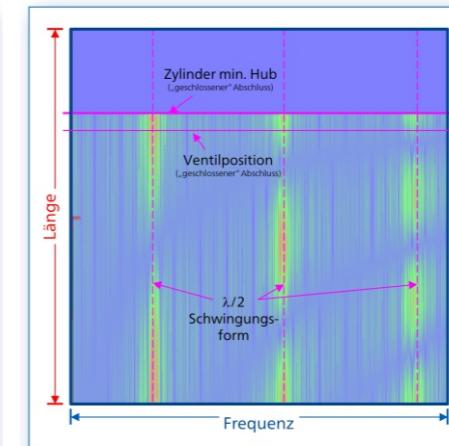
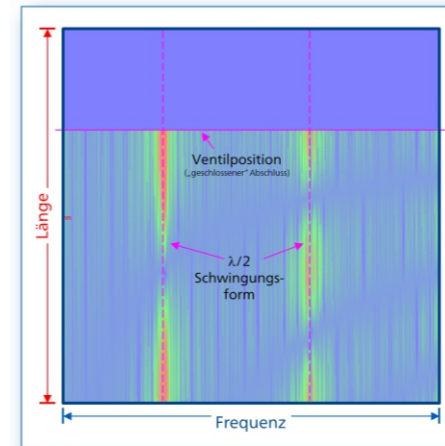
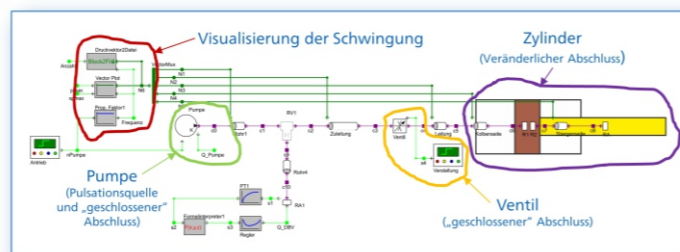


Oft lässt sich bereits am Aufbau des Hydrauliksystems erahnen, mit welcher Schwingungsform zu rechnen ist. So bildet z. B. eine druckgeregelte Pumpe, die in einem hydrostatischen Getriebe mit einem Hydromotor verbunden ist oder die in eine Leitung mit geschlossenem Proportionalventil fördert, mit hoher Wahrscheinlichkeit ein beidseitig geschlossenes System und zeigt somit eine  $\lambda/2$ -Schwingungsform.

Interessant wird die Druckschwingungsanalyse für RohrLEx, wenn jetzt das Proportionalventil ganz geöffnet wird, damit z. B. ein Zylinder ausfährt oder ein Behälter gefüllt wird.

Durch das Öffnen des Ventils in einem Zylinderantrieb verändert sich die Resonanzsituation im System, da jetzt das Leitungsstück zwischen Ventil und Zylinder sowie der Zylinder selbst berücksichtigt werden müssen.

Im dem Fall, dass der Zylinder noch nicht allzu weit ausgefahren ist, ändert sich die Schwingungsform erstmal



noch nicht sehr viel. Lediglich die Eigenfrequenz des Systems sinkt durch die zusätzliche Leitungslänge etwas ab.

Ist das Ventil auf die Kolbenseite geschaltet, dann wird sich das kolbenseitige Ölvolumen mit dem Zylinderhub sehr schnell vergrößern. Hierdurch verändert sich allerdings die Abschlussimpedanz der Leitung und aus dem beidseitig geschlossenen System mit der  $\lambda/2$ -Schwingungsform wird jetzt ein einseitig offenes System, das eine  $\lambda/4$ -Schwingungsform hat.

Wie schnell (also in welchem Hubbereich) dies passiert, das hängt vom Durchmesser Verhältnis zwischen Leitung und Kolben ab. Am Ende hat sich die Eigenfrequenz des Systems jedenfalls mehr als halbiert. Aber warum so eine vage Angabe? Die Beschreibung der Abschlussimpedanzen ist eine neue Geschichte, die RohrLEx bei Gelegenheit gerne erzählt.

Wird die Pumpe mit konstanter Antriebsdrehzahl betrieben, dann kontrolliert RohrLEx, ob der Wechsel der Eigenfrequenz irgendwann die festen Anregungsfrequenzen der Pumpenpulsation schneidet.

Hierbei darf nicht nur die Grundfrequenz der Pumpenanregung betrachtet werden, sondern es müssen auch die höheren Ordnungen überprüft werden.

Alleine die Systemdämpfung ist dafür verantwortlich, ob es im Resonanzfall zu einem Druckpulsationsproblem kommt oder nicht. Ist noch Restpulsation vorhanden, dann ist die Amplitudenhöhe eigentlich nebensächlich, was RohrLEx in einer anderen Geschichte erzählt.

Wird der Zylinderantrieb mit einem drehzahlveränderlichen Pumpenantrieb betrieben, dann wird die Situation noch komplexer. Durch die variable Antriebsdrehzahl der Pumpe wird das System in einem ganzen Frequenzbereich angeregt, sodass die Wahrscheinlichkeit, dass eine Systemeigenfrequenz angeregt wird, weiter steigt.

Ist der Zylinder sehr weit ausgefahren, dann

