

Was sind für RohrLEx die nächsten Analyseschritte?

Nachdem RohrLEx jetzt einen Überblick über die Schwingungssituation im Leitungssystem hat, kann er mit der Betrachtung der Leitungsabschlüsse fortfahren. Schwingungstechnisch wurden Pumpen, Motoren, Zylinder oder Ventile ja bereits als geschlossene oder offene Leitungsabschlüsse eingestuft. Die Geometrie dieser Bauteile muss aber noch berücksichtigt werden. Die internen Kanäle, Widerstände und Volumen hydraulischer Bauteile haben einen deutlichen Einfluss auf das dynamische Verhalten des jeweiligen Leitungsabschlusses. Da sich das dynamische Verhalten zu allem Überfluss auch noch abhängig von der Schwingungsfrequenz ändern kann, spricht man in diesem Zusammenhang auch von der Abschlussimpedanz.

RohrLEx hat gelernt, dass die Berücksichtigung der Abschlussimpedanzen in der Simulation essenziell für eine realistische Druckschwingungsanalyse hydraulischer Leitungssysteme ist und dass nur so der Entwurf passender Abhilfemaßnahmen erfolgreich sein kann. Wie RohrLEx die Impedanzen der Leitungsabschlüsse messtechnisch ermittelt und für die Simulation aufbereitet, das ist eine andere Geschichte, die RohrLEx bei Gelegenheit sicher gerne erzählen wird.

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 deren Leitungssysteme aus Segmenten unterschiedlicher Länge und Durchmesser sowie verschiedenen Rohr- und Schlauchleitungsmaterialien bestehen
- ➔ deren Leitungssysteme stark unterschiedlichen Umgebungstemperaturen ausgesetzt werden
- ➔ 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

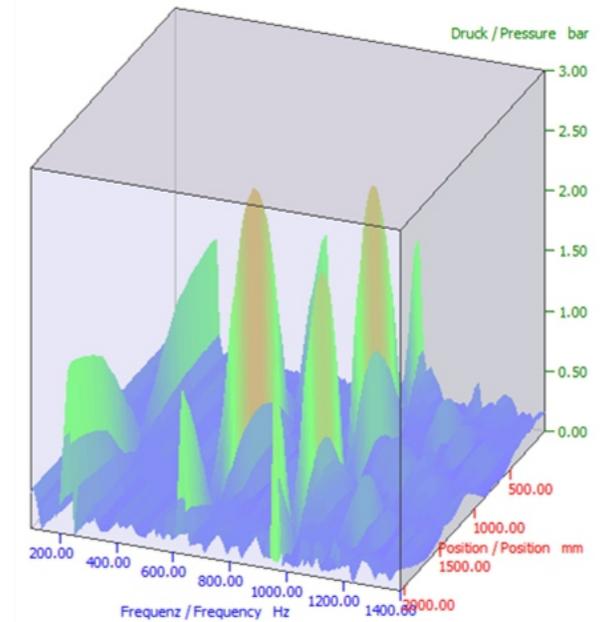
- ➔ Schaltungskonzepte überprüfen und deren Funktion sicherstellen
- ➔ Systemdynamik berechnen, analysieren und optimieren
- ➔ Schwingungen in Leitungssystemen untersuchen

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.

Druckschwingungsanalyse hydraulischer Leitungssysteme



**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
www.fluidon.com

FLUIDON

Simulieren

Analysieren

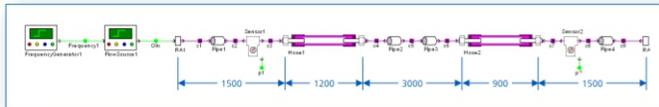
Umsetzen

Warum analysiert RohrLEx die Schwingungssituation im Leitungssystem?

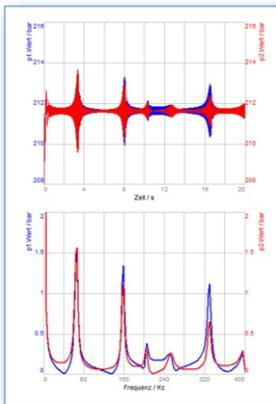
Für die Konzeption von Abhilfemaßnahmen bei Druckschwingungsproblemen ist die Kenntnis der kritischen Frequenzen und die genaue Lokalisierung der Bereiche hoher und niedriger Druckschwingungen innerhalb des Leitungssystems eine Grundvoraussetzung für die richtige Positionierung der Abhilfemaßnahme.

Wie geht RohrLEx bei der Analyse vor?

Zur Analyse der Schwingungssituation nutzt RohrLEx die Visualisierung der Druckschwingung entlang der Mittellinie des Leitungssystems.



Die typische Vorgehensweise bei dieser Art der Analyse beschreibt RohrLEx anhand eines Beispielleitungssystems. Das Leitungssystem besteht aus drei Stahlleitungssystemen und zwei Schlauchleitungen und hat eine Gesamtlänge von 8,1 m.



Kommt es in diesem Leitungssystem zu Pulsationsproblemen, so stehen gewöhnlich nur die Signale einzelner über die Anlage verteilter Drucksensoren für die Untersuchung der Schwingungssituation zur Verfügung. Im Beispielleitungssystem ist

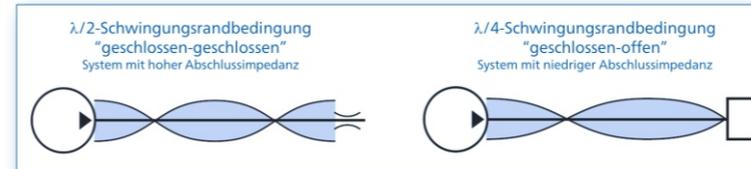
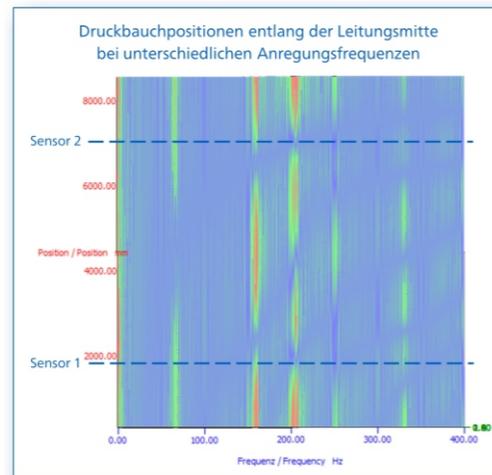
die typische Vorgehensweise bei dieser Art der Analyse beschreibt RohrLEx anhand eines Beispielleitungssystems. Das Leitungssystem besteht aus drei Stahlleitungssystemen und zwei Schlauchleitungen und hat eine Gesamtlänge von 8,1 m.

dies durch Sensorbauteile gekennzeichnet. Mit diesen Drucksignalen lassen sich dann zwar die Frequenzen der Schwingung ermitteln - im Spektrum der Drucksignale sind das z. B. die Hauptfrequenzen 65 Hz, 157 Hz und 330 Hz -, es ist für RohrLEx aber nur schwer möglich, hieraus Rückschlüsse auf die Schwingungsform und die Wirkzusammenhänge im Leitungssystem zu ziehen.

Wird das Leitungssystem hingegen simulativ untersucht, so steht RohrLEx ergänzende Information für die Schwingungsanalyse zur Verfügung. Durch die Visualisierung der Druckschwingung im sogenannten „Druckvektorplot“ erhält RohrLEx eine Übersicht über die räumliche Verteilung der Druckschwingung entlang der Mittellinie des Leitungssystems. Die Anregungsfrequenz bildet die x-Achse und die Leitungslänge die y-Achse. Positionen hoher Pulsation (Druckbauch) und niedriger Pulsation (Druckknoten) können sehr einfach durch die farbliche Markierung abgelesen werden.

Im Druckvektorplot des Beispielsystems wird deutlich, dass die Resonanz bei 205 Hz, durch die unglückliche

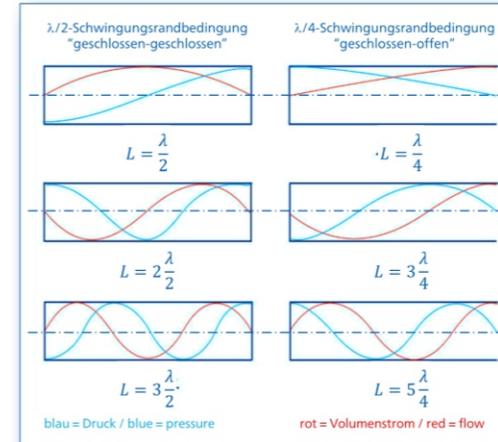
Positionierung der Drucksensoren in Druckknoten dieser Schwingungsordnung fast gar nicht im Frequenzspektrum sichtbar ist und somit bei der Problemanalyse wahrscheinlich unberücksichtigt bleiben würde.



Die weitere Analyse der Schwingungssituation startet RohrLEx gewöhnlich mit der Suche nach $\lambda/2$ - und $\lambda/4$ -Resonanzen, um die Randbedingungen der Schwingungssituation eingrenzen zu können.

Eine $\lambda/2$ -Resonanz ergibt sich im Leitungssystem, wenn eine Leitung an beiden Enden einen geschlossenen Abschluss hat, wobei Hydrostaten generell und Ventile je nach Betriebszustand als geschlossener Abschluss zu betrachten sind. Beispiele hierfür sind eine druckgeregelte Pumpe, die in ein Konstantdrucksystem fördert, dessen Ventile geschlossen sind, oder ein hydrostatisches Getriebe.

Eine $\lambda/4$ -Resonanz stellt sich ein, wenn das Leitungssystem nur einseitig verschlossen ist und das andere Ende in ein großes Volumen endet. Dies kann z. B. eine Leitung sein, die in einen Tank oder in einen großen Zylinder mündet oder Hydraulikspeicher, die über eine Stichleitung mit dem Leitungsnetz verbunden sind.



Nach dieser Theorie sollte für das 8,1 m lange Beispielleitungssystem bei einer Schallgeschwindigkeit von 1320 m/s die $\lambda/2$ -Resonanz bei ca. 80 Hz liegen. RohrLEx kann aber eine $\lambda/2$ -Resonanz bereits bei 65 Hz erkennen. Theoretisch sollten die höheren Ordnungen dieser Schwingung jetzt bei jeweils ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz liegen, also bei 130 Hz und 195 Hz.

Im Druckvektorplot ist die 2. und 3. Schwingungsordnung jedoch bei 157 Hz bzw. 205 Hz sichtbar. Die Ursache dieser Verschiebung in der Abfolge der Resonanzfrequenzen ist die Unterteilung der Leitung in Stahlrohr- und Schlauchsegmente. Selbst bei gleichen Durchmessern der Segmente bewirkt der Materialwechsel eine Änderung der Druckwellenausbreitungsgeschwindigkeit in dem jeweiligen Segment. Verschiebungen der Systemresonanzen ergeben sich außerdem, wenn das Leitungssystem aus Segmenten unterschiedlichen Durchmessers oder aus parallelen Leitungssträngen aufgebaut ist. Eine genaue Analyse der Schwingungssituation ist dann nur noch mittels der von RohrLEx gezeigten Vorgehensweise möglich.

