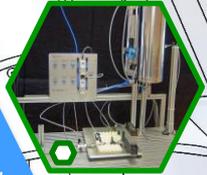




Solutions For Optimizing Hydraulic Piping Systems

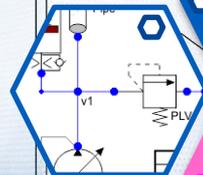


● Concept development, prototype construction



● Parameter identification, function testing

● fluid power system simulation



● Analysis and optimization of fluid power systems

● Virtual plant commissioning



● Trainings and workshops





FLUIDON

Lösungen zur Optimierung hydraulischer Rohrleitungssysteme

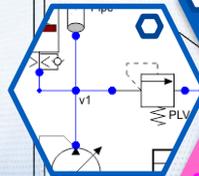


Konzept-
entwicklung,
Prototypenbau



Parameter-
identifikation,
Funktions-
prüfungen

fluid-
technische
System-
simulation



Analyse und
Optimierung
fluidtechnischer
Systeme



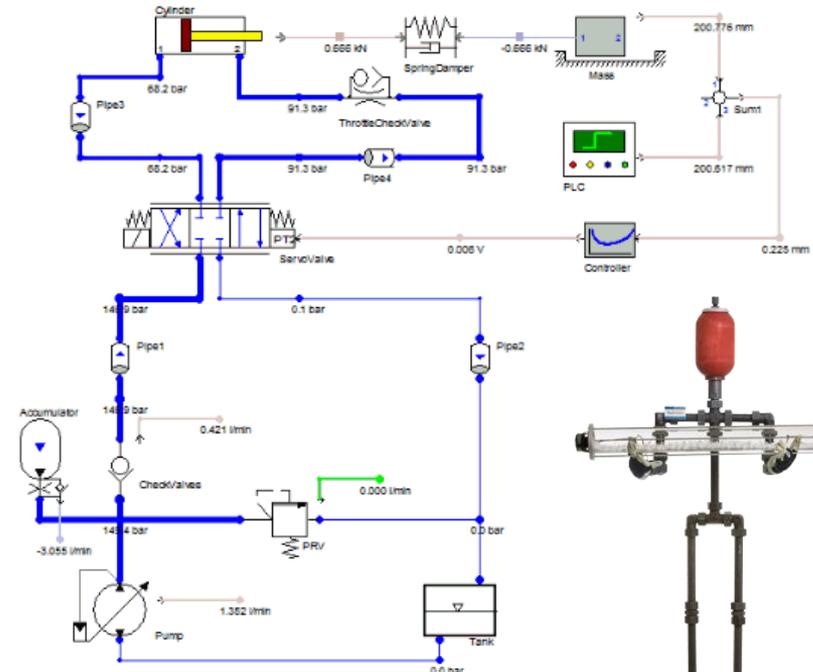
Virtuelle
Inbetrieb-
nahme



Schulungen
und
Workshops

FLUIDON – Competence in fluid power systems

- Fluid power is our passion, in theory and practice. We place our know-how and our competence to our customer's disposal to realize their ideas and to solve their problems.
- On theoretical side, RohrLEx, FLUIDON's piping expert, and our simulation tool DSHplus assists us in circuit conceptions, ensuring system functionality, calculating, analyzing and optimizing system, and in investigating oscillations in piping systems.
- In practice, our project specific equipped test rigs enable us to support simulations by measurements.
- The combination of both, marks us as prime address for all those, who are engaged in simulation based design and development of fluid power systems.



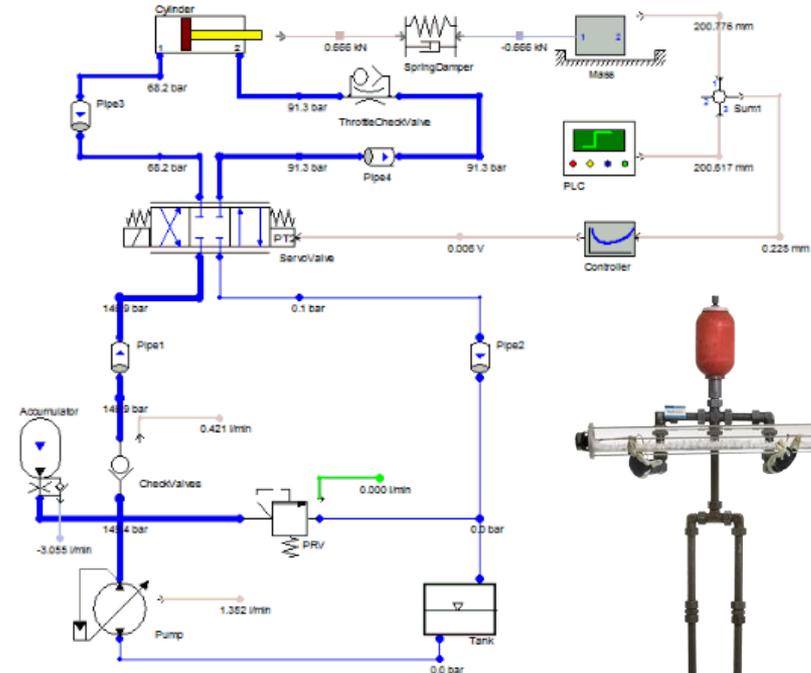
Animated DSHplus Simulation Model

RohrLEx, FLUIDON's Piping Expert



FLUIDON – Kompetenz in der Fluidtechnik

- Fluidtechnik ist unsere Leidenschaft, in Theorie und Praxis. Wir stellen unseren Kunden unser Know-how und unsere Kompetenz zur Verfügung, um ihre Ideen zu realisieren und ihre Probleme zu lösen.
- Theoretisch unterstützt uns RohrLEx, der Rohrleitungsexperte von FLUIDON, und unser Simulationsprogramm DSHplus bei der Konzeption von Schaltungen, der Sicherstellung der Systemfunktionalität, der Berechnung, Analyse und Optimierung von Systemen und der Untersuchung von Schwingungen in Rohrleitungssystemen.
- In der Praxis ermöglichen uns unsere projektspezifisch ausgestatteten Prüfstände, Simulationen durch Messungen zu unterstützen.
- Die Kombination aus beidem macht uns zur ersten Adresse für all jene, die sich mit dem simulationsbasierten Design und der Entwicklung von fluidtechnischen Systemen beschäftigen.



Animiertes DSHplus-Simulationsmodell

RohrLEx, FLUIDONs Rohrleitungsexperte



What does RohrLEx know about hydraulic piping design?



- After almost 25 years of fluid technique in theory and practice, RohrLEx knows, that each piping system is unique, and that it is impossible to extrapolate from one piping system onto another piping system to e.g. dispense with a surge analysis.
- Nor is it feasible to suppress a pressure surge by simply employing one of the many available remedy devices or processes without knowing their effectiveness or the correct location of them.
- In order to guarantee a save and reliable operation of the hydraulic system, hydraulic piping needs to be incorporated into the system design direct from the beginning.

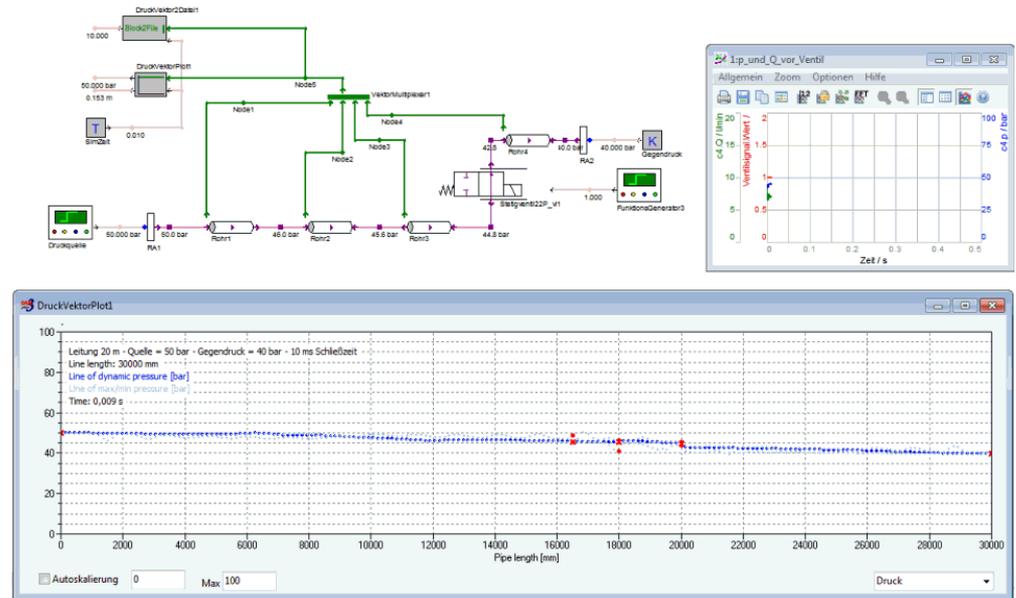
Was weiß RohrLEx über die Auslegung von Hydraulikleitungen?



- Nach fast 25 Jahren Fluidtechnik in Theorie und Praxis weiß RohrLEx, dass jedes Rohrleitungssystem einzigartig ist und dass es unmöglich ist, von einem Rohrleitungssystem auf ein anderes Rohrleitungssystem zu extrapolieren, um z.B. auf eine Stoßanalyse zu verzichten.
- Auch ist es nicht möglich, einen Druckstoß zu vermeiden, indem man einfach eines der vielen verfügbaren Hilfsmittel oder Verfahren einsetzt, ohne deren Wirksamkeit bzw. die richtige Platzierung zu kennen.
- Um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb des Hydrauliksystems zu gewährleisten, müssen Hydraulikleitungen von Anfang an direkt in die Systemkonstruktion einbezogen werden.

Where does RohrLEx identify challenges at hydraulic piping design?

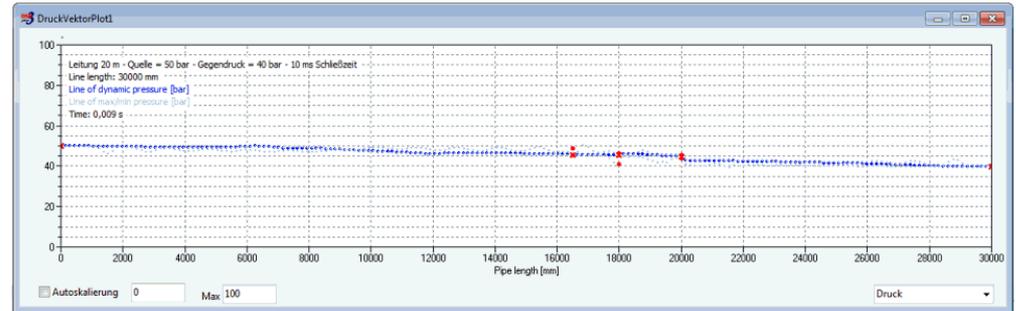
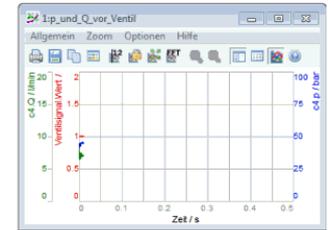
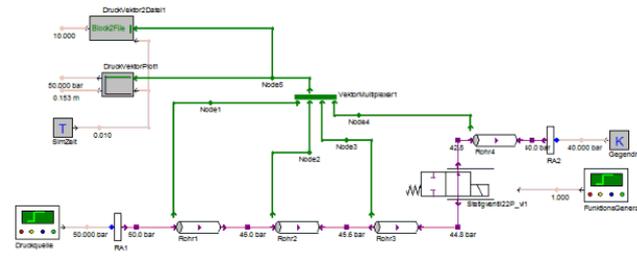
- From experience, RohrLEx knows, that working on piping system issues, an engineer comes very quickly to the point, at which an examination with simple rough calculations is not enough anymore.
- Too many influences must be considered for the calculation of pressure oscillations, pulsation damping remedies, or water hammer scenarios.
- Even a simple pressure drop calculation gets difficult, if the piping system includes several build-in components or does have branches or consumers with different hydraulic characteristics.
- At this point RohrLEx suggests a simulative pressure oscillation analysis to avoid piping system failures.



Water hammer simulation with DSHplus

Wo identifiziert RohrLEx Herausforderungen bei der Auslegung von Leitungen?

- Aus Erfahrung weiß RohrLEx, dass ein Ingenieur bei der Bearbeitung von Rohrleitungsproblemen sehr schnell zu dem Punkt kommt, an dem eine Überprüfung mit einfachen groben Berechnungen nicht mehr ausreicht.
- Zu viele Einflüsse müssen bei der Berechnung von Druckschwankungen, Pulsationsdämpfungsmaßnahmen oder Druckschlag-Szenarien berücksichtigt werden.
- Selbst eine einfache Druckverlustberechnung wird schwierig, wenn das Rohrleitungssystem mehrere eingebaute Komponenten beinhaltet oder Anschlüsse oder Verbraucher mit unterschiedlichen hydraulischen Eigenschaften aufweist.
- An dieser Stelle schlägt RohrLEx eine simulative Druckschwingungsanalyse vor, um Ausfälle des Rohrleitungssystems zu vermeiden.



Water hammer simulation with DSHplus

What does RohrLEx and his friends know about the procurement dilemma?



Why should I bother myself with a hydraulic piping system simulation? It's the supplier's responsibility that it works!

I want maximum value at minimal investment!



Why should I increase my development costs with a piping system simulation? Previous projects have worked well without!

The client is looking for the cheapest solution anyway!

- At this point RohrLEx and his friends from the piping experts network arise the question:

But, what about the technological excellence of such a solution?

What about the total cost of ownership (TCO) or the life cycle cost (LCC) of such a solution?



The TCO "iceberg"

Picture source:
<http://www.titan-air.com/understanding-the-total-cost-of-ownership.html>



BENTELER
makes it happen

VOSS

FLUIDON

Was wissen RohrLEx und seine Freunde über das Beschaffungsdilemma?



*Warum sollte ich mich mit einer hydraulischen Rohrleitungssimulation beschäftigen?
Es liegt in der Verantwortung des Lieferanten, dass es funktioniert!
Ich will maximalen Wert bei minimaler Investition!*



*Warum sollte ich meine Entwicklungskosten mit einer Rohrleitungssimulation erhöhen?
Frühere Projekte haben auch ohne funktioniert!
Der Kunde sucht sowieso nach der billigsten Lösung!*

- An dieser Stelle stellen sich RohrLEx und seine Freunde aus dem Rohrleitungsnetzwerk die Frage:

Aber was ist mit der technologischen Exzellenz einer solchen Lösung?

Was ist mit den Gesamtbetriebskosten (TCO) oder den Lebenszykluskosten (LCC) einer solchen Lösung?



Der TCO "Eisberg"

Bildquelle:
<http://www.titan-air.com/understanding-the-total-cost-of-ownership.html>



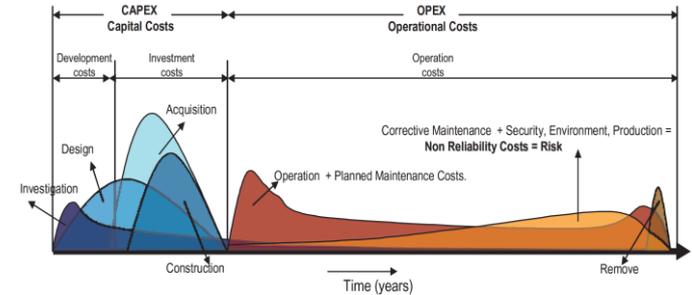
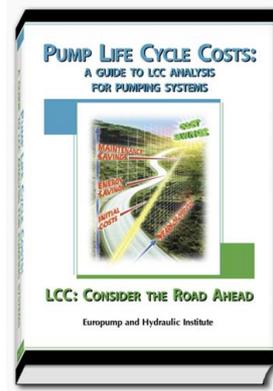
BENTELER
makes it happen

VOSS

FLUIDON

What does RohrLEx know about life cycle costs of a hydraulic equipment?

- RohrLEx has learned, that for an investment decision it becomes more and more common to consider life cycle costs (LCC).
- A LCC analysis calculates the cost of an asset for its entire life span.
- Up-front costs (CAPEX) are usually obvious, but what about operational costs (OPEX)
- As the brochure “*Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems*” states, are energy, maintenance and unplanned down-time costs the dominant factors of the LCC.
- Consequently, smart plant operators do not prefer production equipment with the lowest investment costs anymore but with the lowest long-term cost of ownership.
- But how can RohrLEx judge if a system’s design, with respect to operational costs, is good or not?



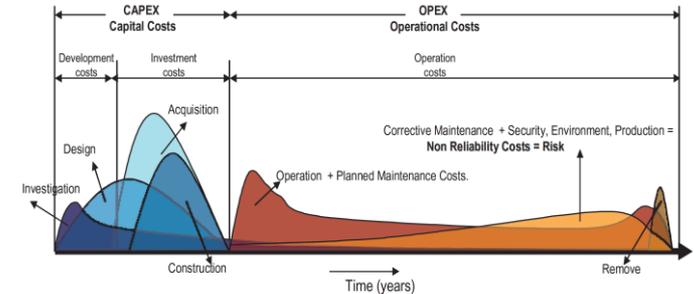
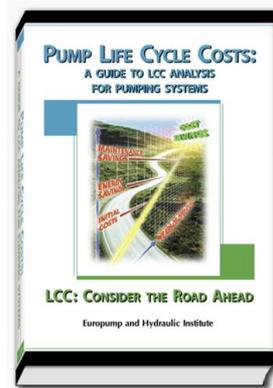
Picture source: Márquez, et al.: Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications, 2009, ISBN 978-0-415-48513-5

More information on:
<http://www.pumps.org>



Was weiß RohrLEx über die Lebenszykluskosten einer hydraulischen Anlage?

- RohrLEx hat gelernt, dass es bei einer Investitionsentscheidung immer üblicher wird, Lebenszykluskosten (LCC) zu berücksichtigen.
- Eine LCC Analyse berechnet die Kosten einer Anlage über die gesamte Lebensdauer.
- Vorabkosten (CAPEX) sind in der Regel offensichtlich, aber was ist mit den Betriebskosten (OPEX)?
- Wie in der Broschüre "*Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems*" beschrieben, sind Energie, Wartung und ungeplante Ausfallzeiten die dominierenden Faktoren des LCC.
- Intelligente Anlagenbetreiber bevorzugen daher nicht mehr Produktionsanlagen mit den niedrigsten Investitionskosten, sondern mit den niedrigsten langfristigen Betriebskosten.
- Aber wie kann RohrLEx beurteilen, ob das Design eines Systems in Bezug auf die Betriebskosten gut ist oder nicht?



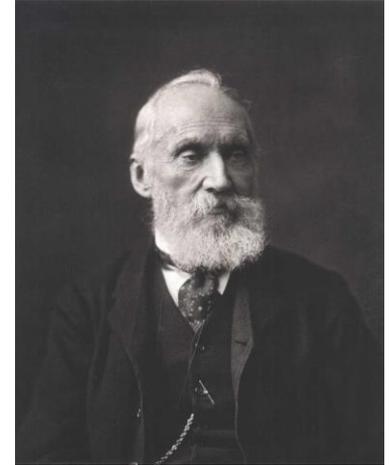
Picture source: Márquez, et al.: Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications, 2009, ISBN 978-0-415-48513-5

More information on:
<http://www.pumps.org>



How RohrLEx judges whether a system's design is good or not?

- RohrLEx simply follows the guidance given by Lord Kelvin:
“In physical science the first essential step in the direction of learning any subject is to find principles of numerical reckoning and practicable methods for measuring some quality connected with it. I often say that when you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in your thoughts advanced to the state of Science, whatever the matter may be.”
- In contrast to Lord Kelvin, RohrLEx nowadays is able to use detailed physical simulation models to calculate in advance “numbers” such as energy consumption or pressure oscillation amplitudes.
- Thus, the first thing RohrLEx will do is to do a simulative pressure oscillation analysis with DSHplus.
- For if you don't use modern state-of-the-art tools to analyse your system you have buried your head in the sand and your knowledge is indeed meagre!



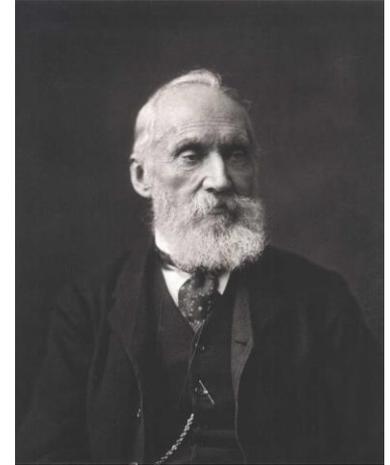
Lord Kelvin on Measurement
[PLA, vol. 1, “Electrical Units of Measurement”, 1883-05-03]
From: <https://zapatopi.net/kelvin/quotes/#tech>

Wie RohrLEx beurteilt, ob das Design eines Systems gut ist oder nicht?

- RohrLEx folgt einfach der Anleitung von Lord Kelvin:

“In der Physik ist der erste wesentliche Schritt in Richtung des Lernens eines jeden Themas, Prinzipien der numerischen Berechnung und praktikable Methoden zur Messung der damit verbundenen Qualität zu finden. Ich sage oft, wenn man messen kann, wovon man spricht, und es in Zahlen ausdrücken kann, weiß man etwas darüber; aber wenn man es nicht messen kann, wenn man es nicht in Zahlen ausdrücken kann, dann ist das Wissen von dürftiger und unbefriedigender Art; es mag der Anfang des Wissens sein, aber man ist in seinen Gedanken kaum auf den Stand der Wissenschaft gekommen, was auch immer die Angelegenheit sein mag.”

- Im Gegensatz zu Lord Kelvin ist RohrLEx heute in der Lage, mit detaillierten physikalischen Simulationsmodellen bereits im Voraus "Zahlen" wie z. B. den Energieverbrauch oder die Druckschwingungsamplituden zu berechnen.
- Daher ist das erste, was RohrLEx tun muss, eine simulative Druckschwingungsanalyse mit DSHplus durchzuführen.
- Denn wenn Sie bei der Analyse Ihres Systems nicht mit modernsten Werkzeugen arbeiten, haben Sie Ihren Kopf in den Sand gesteckt und Ihr Wissen ist in der Tat dürftig!



Lord Kelvin über Messungen
[PLA, vol. 1, "Electrical Units of Measurement", 1883-05-03]
From: <https://zapatopi.net/kelvin/quotes/#tech>

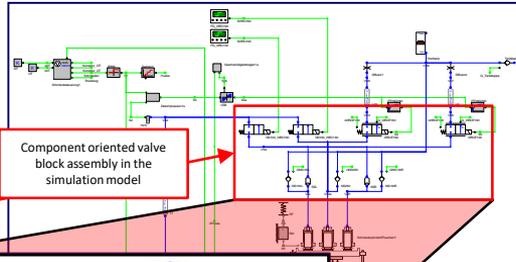
How does RohrLEx obtain the “numbers”?

- From numerous projects RohrLEx has gained experience in operating cycles analysis, pressure oscillations calculation or the determination of energy consumption.



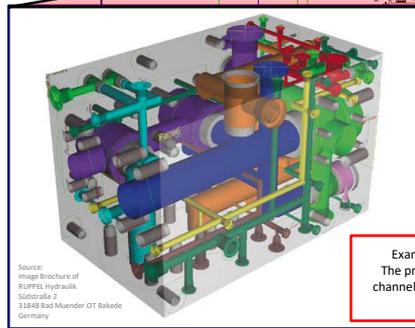
Fluidtronic - A Design Environment for Fluid Technical Mechatronics Systems

GEFÖRDERT VOM
 Bundesministerium für Bildung und Forschung
 BETREUET VOM
 Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA)



Push-down type forging press with two columns

Quelle: S&B Laser GmbH



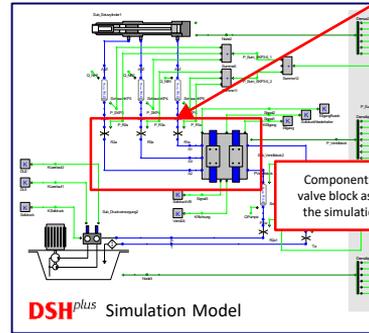
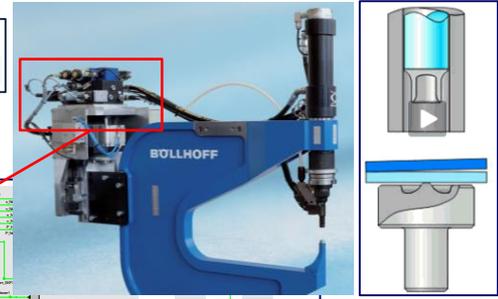
Source: Image Brochure of RIVSET Hydraulic Südstraße 2 31848 Bad Menden OT Bakede Germany

DSHplus Simulation Model

Example of a valve block drawing. The pressure losses due to these flow channels are currently neglected in most 1D system simulations.



ESEM - development of self-monitoring energy optimized assembly robotics



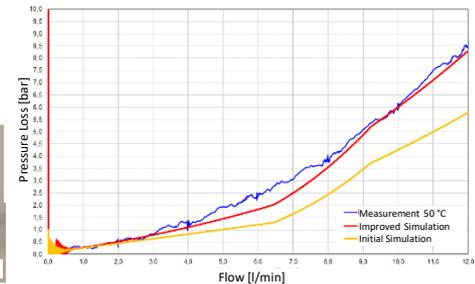
RIVSET® Gen2
 Self-pierce riveting in its new generation
 © Bollhoff Verbindungstechnik GmbH

Project Funding:



OptiELF - Optimization of energy efficiency at the power transmission of vehicle hydraulic systems.

Gefördert durch:
 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
 ZIM Impulse für Wachstum Zentrum Innovationsprogramm Mittelstand
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



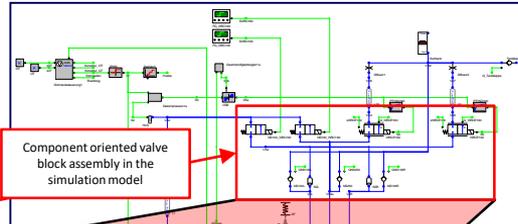
Wie erhält RohrLEx die "Zahlen"?

- In zahlreichen Projekten hat RohrLEx Erfahrungen in der Betriebszyklusanalyse, der Druckschwungsberechnung oder der Ermittlung des Energieverbrauchs gesammelt.



Fluidtronic - A Design Environment for Fluid Technical Mechanical Systems

GEFÖRDERT VOM
 Bundesministerium für Bildung und Forschung
 BETREUT VOM
 Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA)



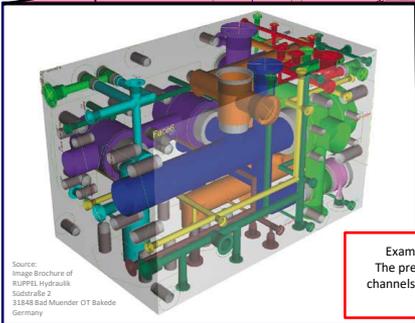
Component oriented valve block assembly in the simulation model

DSHplus Simulation Model



Push-down type forging press with two columns

Quelle: S&P Laser GmbH

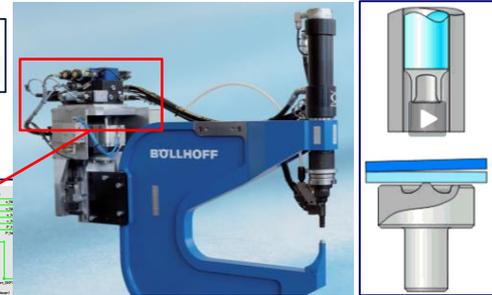


Source: Image Brochure of ROPS-Hydraulik, Südstraße 2, 31848 Rad Munder OT Bakeloo, Germany.

Example of a valve block drawing. The pressure losses due to these flow channels are currently neglected in most 1D system simulations.

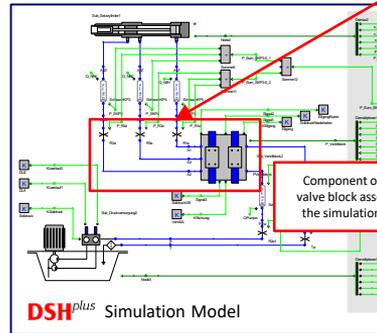


ESEMO - development of self-monitoring energy optimized assembly robotics



RIVSET® Gen2 Self-pierce riveting in its new generation © Bollhoff Verbindungstechnik GmbH

Project Funding:



Component oriented valve block assembly in the simulation model

DSHplus Simulation Model

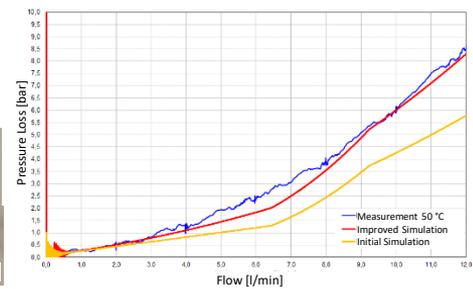


OptiELF - Optimization of energy efficiency at the power transmission of vehicle hydraulic systems.

Gefördert durch:
 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
 ZIM Impulse für Wachstum Zentrum Innovationsprogramm Produktion

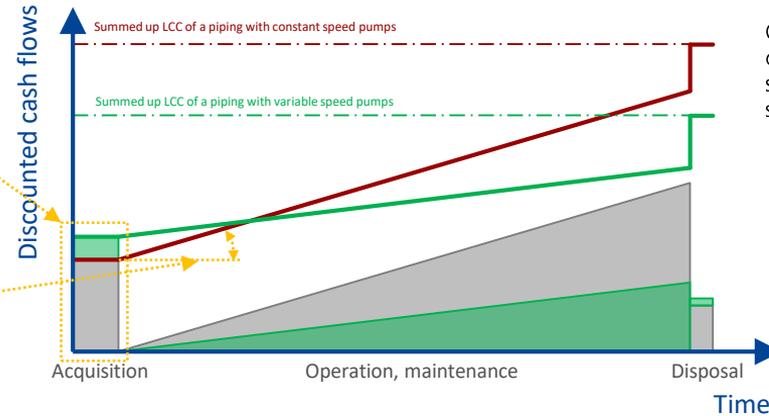


Pipe section of the OptiELF power steering line with multiple pipe bends



What does RohrLEx do with the “numbers”?

- Typically, RohrLEx is already engaged at the acquisition phase to compare technical solutions or to forecast energy consumption.
- In the concept phase of new equipment or in a retrofit project RohrLEx’s simulations help to reduce the slope angle of the operational costs.
- But what about the impact of such optimization measures onto dynamic behavior of the piping system?
- RohrLEx has learned that displacement pumps are the main source of pressure ripples, that induce undesirable noise emissions and unfavorable dynamic structural loads onto the piping.
- Consequently variable speed pumps excite the piping with a broad spectrum of frequencies, what rapidly increases the risk of resonance problems to occur.



Comparison of the LCC of a variable speed pump system with a constant speed pump system.

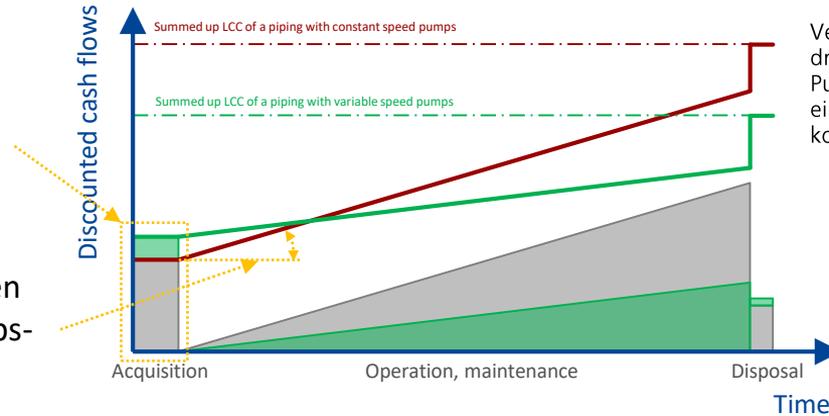


Vane pump animations



Was macht RohrLEx mit den "Zahlen"?

- Typischerweise ist RohrLEx bereits in der Akquisitionsphase tätig, um technische Lösungen zu vergleichen oder den Energieverbrauch zu prognostizieren.
- In der Konzeptphase von Neuanlagen oder in einem Retrofit-Projekt helfen die Simulationen von RohrLEx, den Steigungswinkel der Betriebskosten zu reduzieren.
- Aber was ist mit den Auswirkungen solcher Optimierungsmaßnahmen auf das dynamische Verhalten des Rohrleitungssystems?
- RohrLEx hat gelernt, dass Verdrängerpumpen die Hauptquelle für Druckschwankungen, die unerwünschte Geräuschemissionen und ungünstige dynamische Strukturbelastungen in der Rohrleitung verursachen.
- Folglich erregen drehzahlvariable Pumpen die Rohrleitung mit einem breiten Spektrum von Frequenzen, wodurch das Risiko von Resonanzproblemen sehr schnell steigt.



Vergleich der LCC eines drehzahl-variablen Pumpensystems mit einem Pumpensystem mit konstanter Drehzahl.



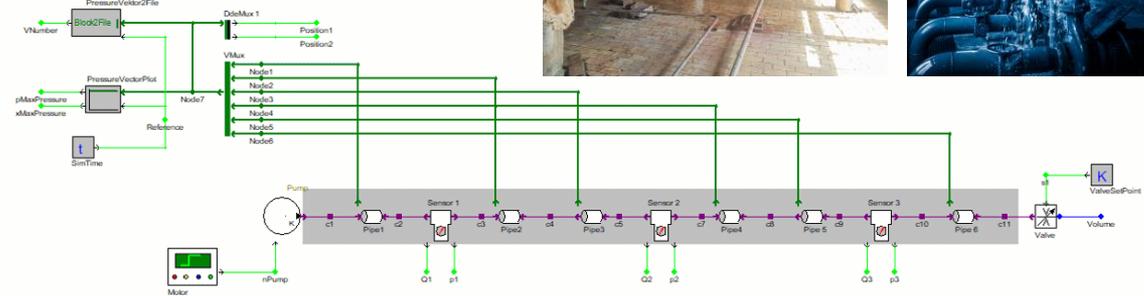
Vane pump animations



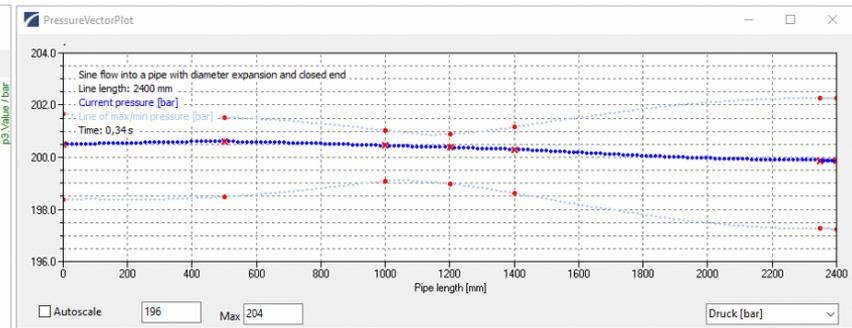
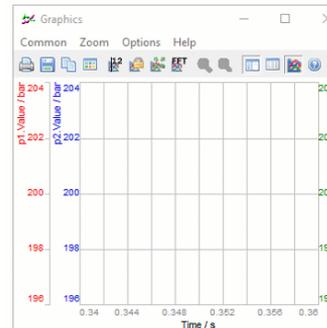
What does RohrLEx fear, will happen in the piping?

- RohrLEx knows, that in the long run increased pulsating or oscillating flows result in failures at pipe junctions and at areas where more stress is likely to act.
- The first step is therefore to determine if there are pressures in the pipe system that exceeds the design limits.
- However, if you don't do a simulative pressure oscillation analysis make sure you measure the "numbers" at the right positions!

Leakage due to material fatigue



Animated pressure waveform along the line center axis

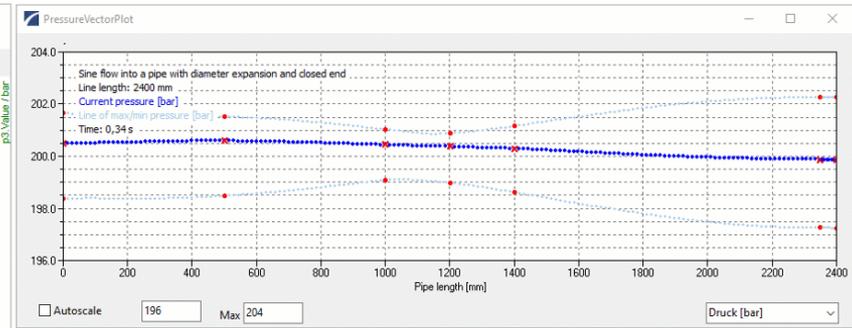
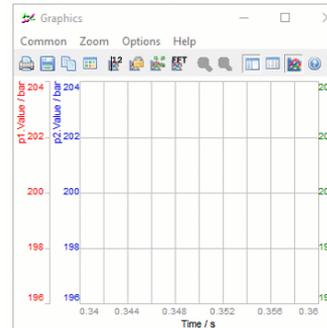
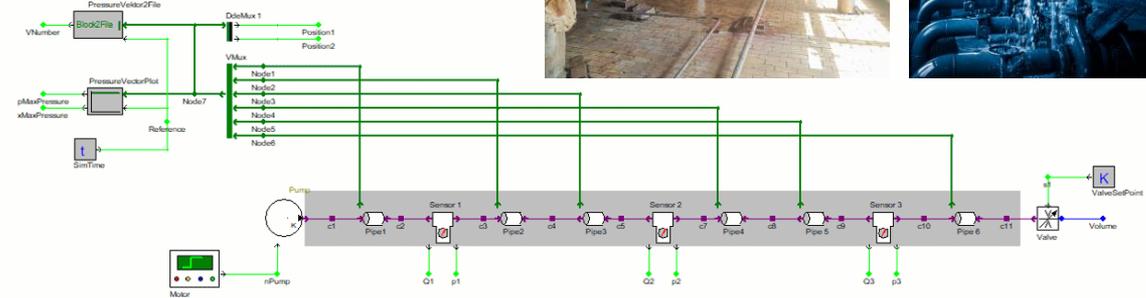


Was befürchtet RohrLEx, wird in der Rohrleitungen passieren?

- RohrLEx weiß, dass auf lange Sicht erhöhte pulsierende oder oszillierende Volumenströme zu Ausfällen an Rohrverbindungen oder in Bereichen führen, in denen hohe Spannungen auftreten können.
- Im ersten Schritt ist daher festzustellen, ob im Rohrsystem Druckschwingungen vorhanden sind, deren Amplituden die Auslegungsgrenzen überschreiten.
- Wenn Sie keine simulative Druckschwingungsanalyse durchführen, achten Sie darauf, dass Sie die "Zahlen" an den richtigen Stellen messen!

Animierte Druckschwingungsform entlang der Leitungsmittelachse

Leckage aufgrund von Materialermüdung

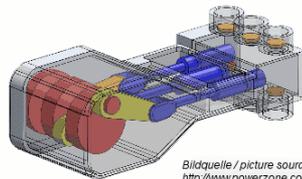


What does RohrLEx fear, will happen in the piping?

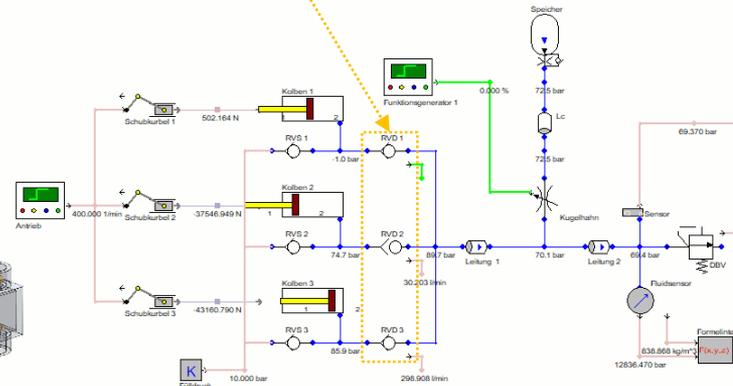
- RohrLEx knows, that occurrences such as check valve slam, unstable controls, oscillation in tanks and high fatigue maintenance issues are all indicative of surge pressures in the system.
- There are many devices that can be used to mitigate transient pressures. But what about the interaction of these devices with the rest of the system? Without an analysis there cannot be a robust design!
- A simulation model answers questions of component sizing and positioning to optimise pulsation damping issues.



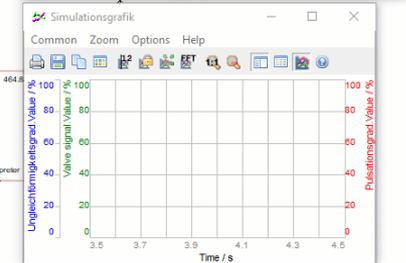
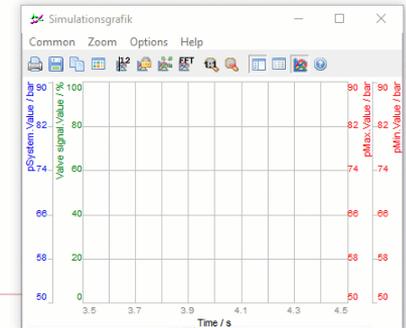
Example of an accumulator station



Bildquelle / picture source:
<http://www.powerzone.com/resources/glossar/triplex>



DSHplus model of a triplex pump with activatable pulsation damper

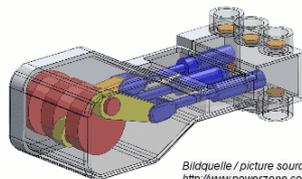


Was befürchtet RohrLEx, wird in der Rohrleitungen passieren?

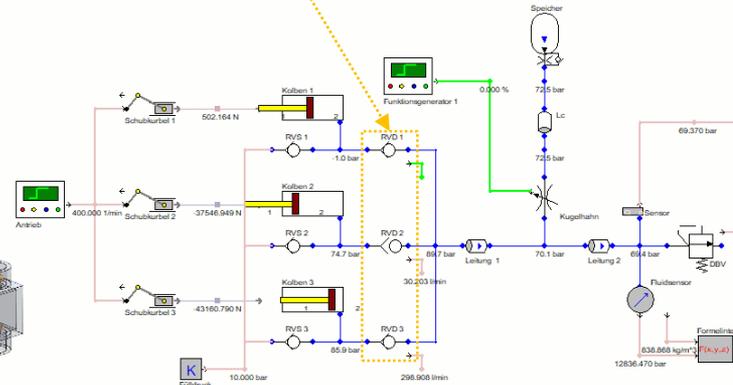
- RohrLEx weiß, dass Ereignisse wie Rückschlagventilschlagen, instabile Steuerungen, Schwingungen in Tanks und Wartungsprobleme wegen erhöhter Ermüdungserscheinungen auf den Druckstöße im System hinweisen.
- Es gibt viele Geräte, die verwendet werden können, um Druckpulsationen zu reduzieren. Aber was ist mit der Interaktion dieser Geräte mit dem Rest des Systems? Ohne eine Analyse kann es kein robustes Design geben!
- Ein Simulationsmodell beantwortet Fragen der Bauteilgröße und -positionierung, um die Pulsationsdämpfung zu optimieren.



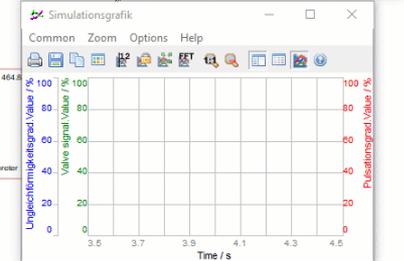
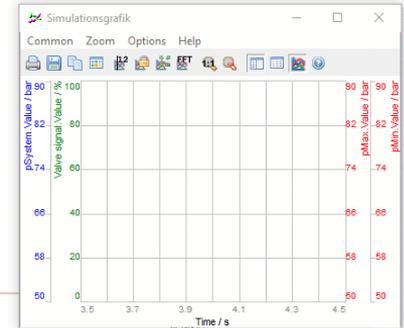
Beispiel für eine Speicherstation



Bildquelle / picture source:
<http://www.powerzone.com/resources/glossar/triplex>



DSHplus-Modell einer Triplex-Pumpe mit zuschaltbarem Pulsationsdämpfer



What does RohrLEx fear, will happen in the piping?

- Eventually there are two categories of damage that arise from these events:
 - Catastrophic failure of the pipeline or equipment
 - Fatigue failure of the pipeline, supports and/or of equipment components, potentially resulting in leaks and other costly issues.
- The consequences of these failures are unwanted down-time, unexpected maintenance expenses and a negative environmental impact.
- Plant operators need to question themselves:
“What do I gain optimizing my purchase price and energy costs, if I spoil it all by risking increased maintenance costs and rising costs for unplanned downtime?”
- RohrLEx and his friend from the piping experts network are always ready to offer support!

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

The equation shows the following components highlighted with arrows:
- Green arrows pointing down to C_{ic} and C_e .
- A red arrow pointing up to $C_m + C_s + C_{env}$.

LCC	Life cycle costs
C_{ic}	Purchase costs
C_{in}	Costs of installation and commissioning
C_e	Energy costs
C_o	Operating costs (labour cost of normal system supervision)
C_m	Maintenance costs (parts, hours of labour)
C_s	Costs resulting from unplanned downtime and loss of production
C_{env}	Environmental costs
C_d	Decommissioning and disposal costs



Was befürchtet RohrLEx, wird in der Rohrleitungen passieren?

- Letztendlich gibt es zwei Kategorien von Schäden, die durch diese Ereignisse entstehen:
 - Katastrophaler Ausfall der Rohrleitung oder der Ausrüstung
 - Ermüdungsausfall der Rohrleitung, der Halterungen und/oder der Anlagenkomponenten, was zu Leckagen und anderen kostspieligen Problemen führen kann.
- Die Folgen dieser Störungen sind unerwünschte Ausfallzeiten, unerwartete Wartungskosten und negative Umweltauswirkungen.

- Anlagenbetreiber müssen sich fragen:

"Was bringt mir die Optimierung meines Einkaufspreises und meiner Energiekosten, wenn ich alles durch das Risiko erhöhter Wartungskosten und steigender Kosten für ungeplante Stillstandszeiten verderbe?"

- RohrLEx und seine Freunde aus dem Netzwerk der Rohrleitungsexperten sind immer bereit, Unterstützung zu leisten!

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

LCC	Life cycle costs
C_{ic}	Purchase costs
C_{in}	Costs of installation and commissioning
C_e	Energy costs
C_o	Operating costs (labour cost of normal system supervision)
C_m	Maintenance costs (parts, hours of labour)
C_s	Costs resulting from unplanned downtime and loss of production
C_{env}	Environmental costs
C_d	Decommissioning and disposal costs



What does RohrLEx do when optimizing piping systems?

- RohrLEx knows, that the knowledge of the system's critical frequencies and the exact localization of areas of high- and low-pressure fluctuation are important for the conception of remedy measures.
- Luckily, a simulative pressure oscillation analysis is not as labor-intensive/costly as one would expect. Usually just one simulation model is enough to answer the following questions:
 - Pressure loss (or energy loss) of piping systems. Including component losses, pipe friction losses, and minor losses due to pipe bends, pipe junctions and fitting.
 - Determination of the piping's resonant frequencies and visualisation of the corresponding pressure oscillation shapes.
 - Water hammer (pressure surge) calculation at any relevant position inside the piping.
 - Optimization of valve closing times.
 - Development of pulsation damping measures at appropriate locations.
 - Resonator design and sizing.
 - System start up (including virtual commissioning).
 - Pump trip analysis and component failure analysis.
- Let's have a look onto some use cases at RohrLEx's exhibition booth!



Was macht RohrLEx bei der Optimierung von Rohrleitungssystemen?

- RohrLEx weiß, dass die Kenntnis der kritischen Frequenzen des Systems und die genaue Lokalisierung von Bereichen mit Hoch- und Niederdruckschwankungen unerlässlich für die Konzeption von Abhilfemaßnahmen sind.
- Glücklicherweise ist eine simulative Druckschwingungsanalyse nicht so arbeitsintensiv/kostenintensiv, wie man es erwarten würde. In der Regel genügt ein einziges Simulationsmodell, um die folgenden Fragen zu beantworten:
 - Druckverlust (oder Energieverlust) von Rohrleitungssystemen. Einschließlich Komponentenverluste, Rohrreibungsverluste und den Verlusten durch Rohrbögen, Rohrverbindungen und Fittings.
 - Bestimmung der Resonanzfrequenzen der Rohrleitung und Visualisierung der entsprechenden Druckschwingungsformen.
 - Wasserschlag (Druckstoß) Berechnung an jeder relevanten Stelle innerhalb der Rohrleitung.
 - Optimierung von Ventilschließzeiten.
 - Entwicklung von Pulsationsdämpfungsmaßnahmen an dafür geeigneten Stellen.
 - Resonator-Design und -Dimensionierung.
 - Systeminbetriebnahme (einschließlich virtueller Inbetriebnahme).
 - Pumpenausfallanalyse und Komponentenausfallanalyse.
- Werfen wir einen Blick auf einige Anwendungsfälle an RohrLEx Messestand!



