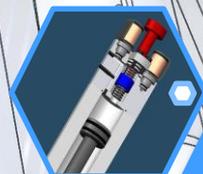
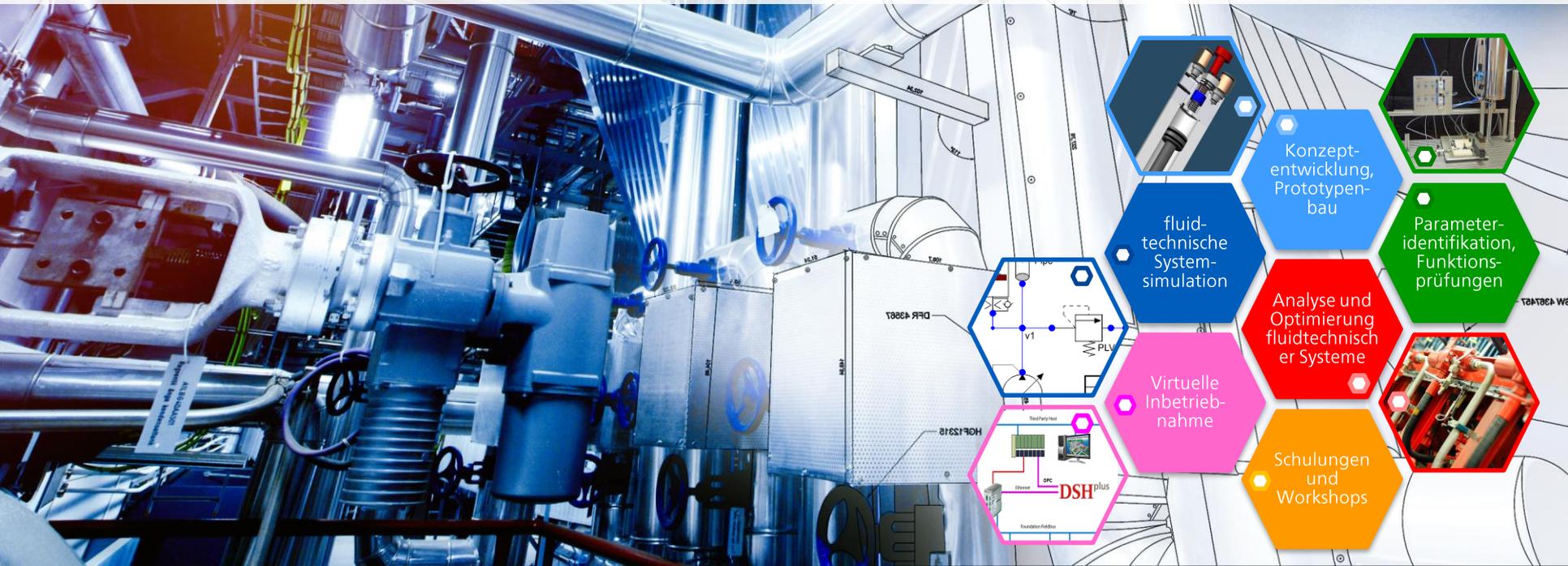
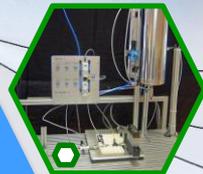


# Simulationen für smarte fluidtechnische Systeme

Dr. Heiko Baum, FLUIDON GmbH



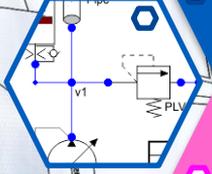
Konzeptentwicklung, Prototypenbau



Parameteridentifikation, Funktionsprüfungen

fluidtechnische Systemsimulation

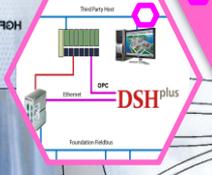
Analyse und Optimierung fluidtechnischer Systeme



Virtuelle Inbetriebnahme



Schulungen und Workshops



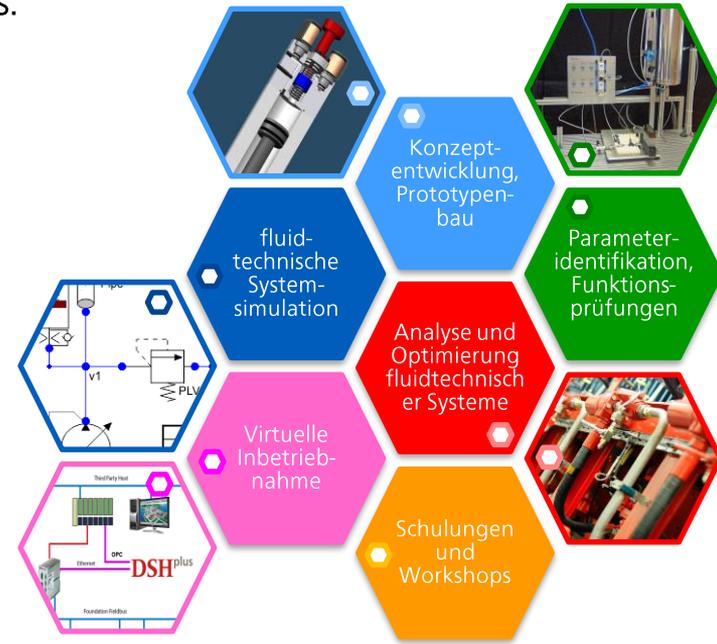
# Inhalt

- 1** FLUIDON
- 2 Druckschwingungen in fluidtechnischen System
- 3 Simulation fluidtechnischer Systeme
- 4 smarte fluidtechnische Systeme
- 5 Zusammenfassung

# FLUIDON

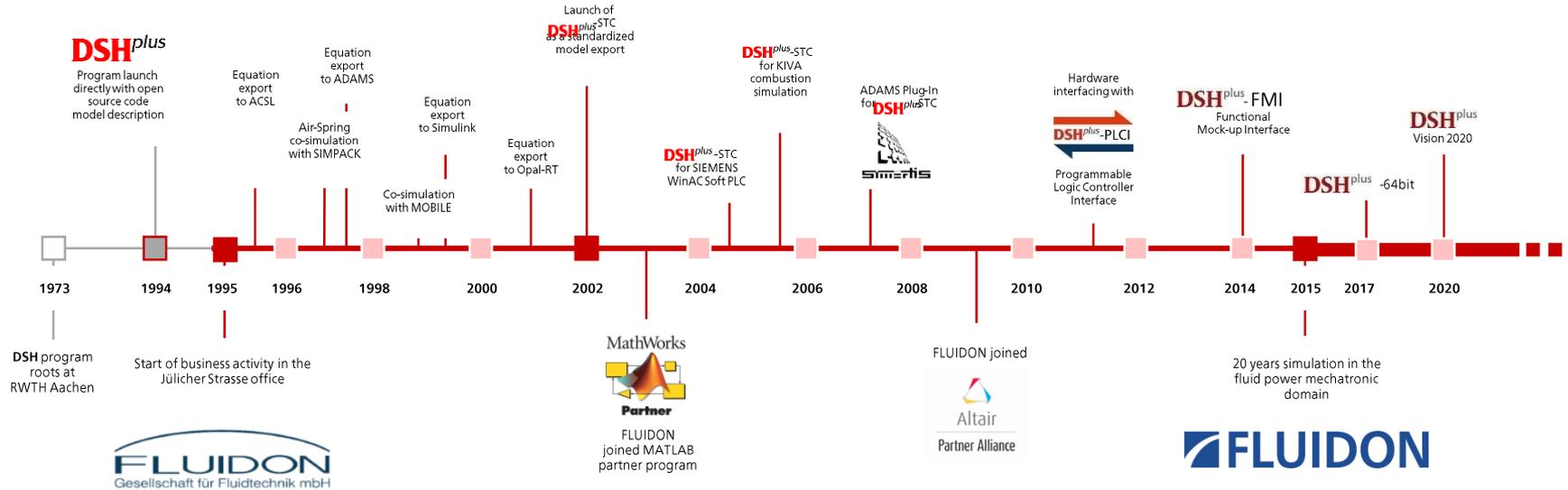
## Kompetenz in der Fluidtechnik

- FLUIDON zählt zu den international führenden Anbietern von Simulationssoftware und ist anerkannter Dienstleister im Bereich der Fluidtechnik.
- 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 unterstützt uns unser Simulationsprogramm DSHplus.
- In der Praxis helfen uns unsere Prüfstände, die wir aufgabenspezifisch aufrüsten, um die Simulation durch Messungen zu flankieren.
- Die Kombination von beiden macht uns zum ersten Ansprechpartner für alle, die sich mit simulationsbasierter Entwicklung fluidtechnischer Systeme beschäftigen.



# FLUIDON

## Wer, wie, was – historischer Abriss



Die Anfänge  
(IHP und IFAS)

FLUIDON Gesellschaft für Fluidtechnik mbH mehr als  
20 Jahre Simulation im fluidtechnisch mechatronischen Umfeld

Was noch  
kommen wird

# FLUIDON

## DSHplus - Simulation, Analyse und Optimierung fluidtechnischer Systeme

- DSHplus ist eine auf die dynamische, nichtlineare Berechnung von komplexen fluidtechnischen Systemen und Komponenten spezialisierte 1D-Simulationsumgebung.
- DSHplus wird zur Überprüfung der Systemfunktion, zur Analyse der Systemdynamik, bei Systemüberarbeitungen, bei der Komponentenauswahl und -auslegung, in der Fehlerdiagnose sowie zu Ausbildungszwecken angewendet.
- DSHplus-Schaltpläne sind an die DIN ISO 1219 angelehnt.
- DSHplus-Modelle basieren auf einem offenen C++-Quelltext.

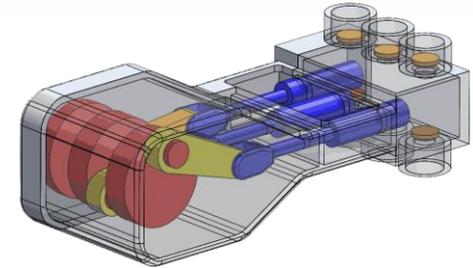
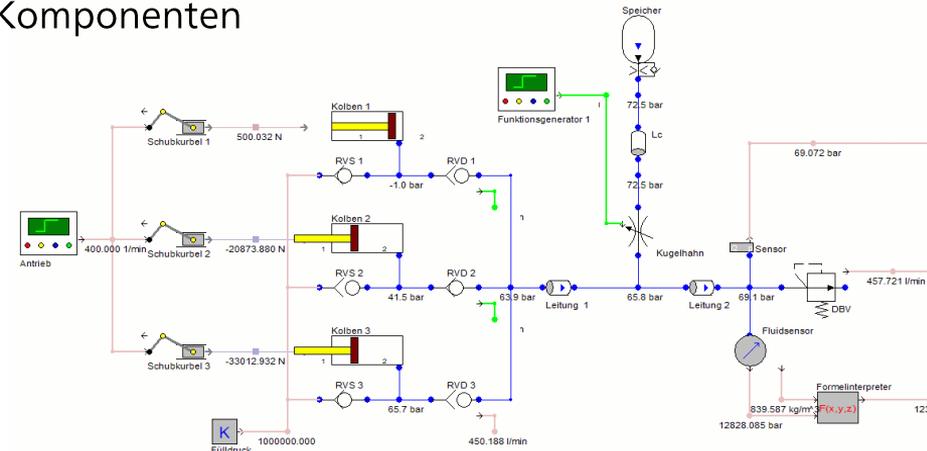
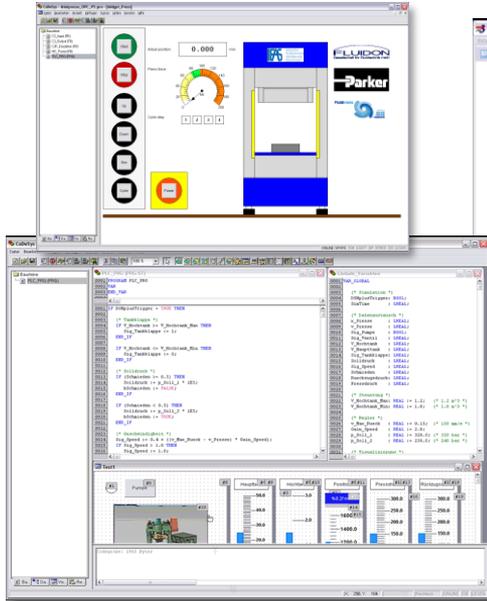


Image source:

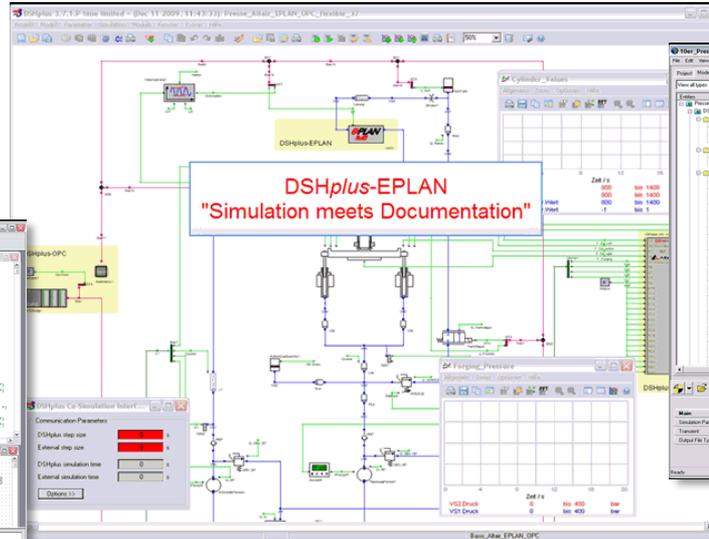
<http://www.powerzone.com/resources/glossary/triplex>

# FLUIDON DSHplus – Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch mechatronische Systeme

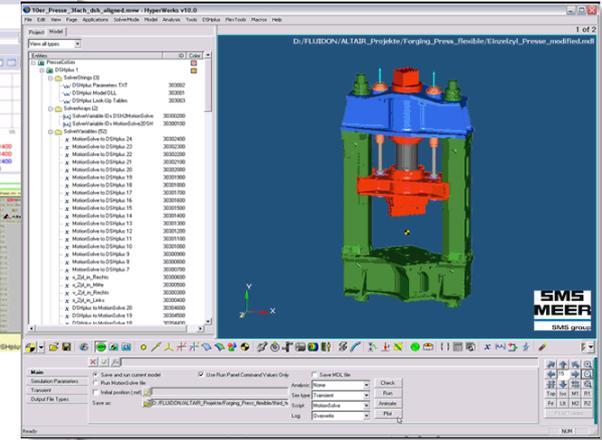
CoDeSys SPS Programm  
(Regelung und HMI)



DSHplus Hydraulik Modell  
(gekoppelt mit SPS und MKS)



MotionSolve Pressen Modell  
(beinhaltet flexibles Querhaup)



FLUIDTRONIC - Entwicklungssystem für fluidtechnisch-mechatronische Systeme



Software  
Mechanik  
Elektronik  
Fluidtechnik



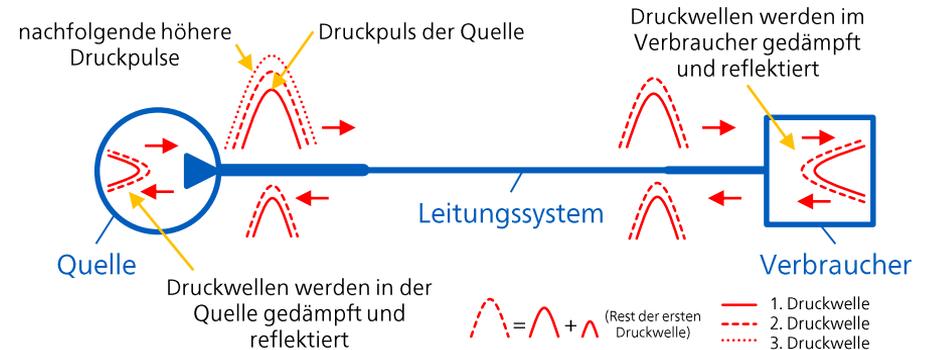
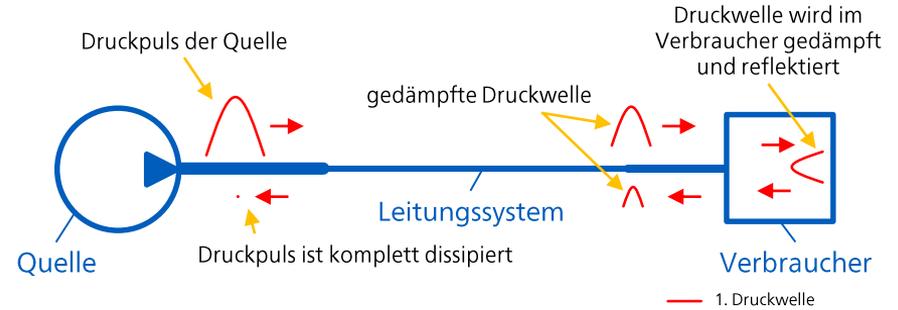
# Inhalt

- 1** FLUIDON
- 2** Druckschwingungen in fluidtechnischen System
- 3 Simulation fluidtechnischer Systeme
- 4 smarte fluidtechnische Systeme
- 5 Zusammenfassung

# Druckschwingungen in fluidtechnischen System

## Problembeschreibung

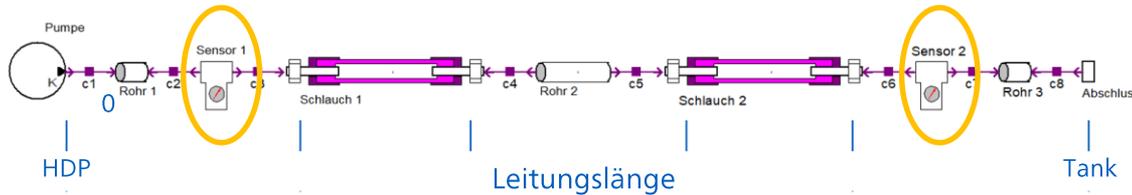
- Jedes Hydrauliksystem hat mehrere Eigenfrequenzen, was aber noch nicht bedeutet, dass es im System auch zu Resonanzproblemen kommt.
- Damit es zu Resonanzproblemen kommen kann, müssen die Eigenfrequenzen zunächst einmal angeregt werden. Umgangssprachlich sagt man, die Systemresonanzen müssen durch die Anregung "getroffen" werden.



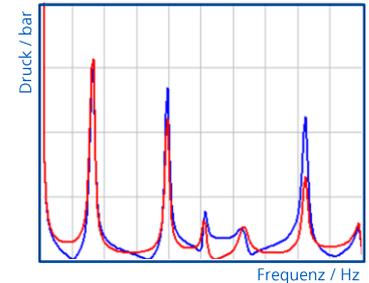
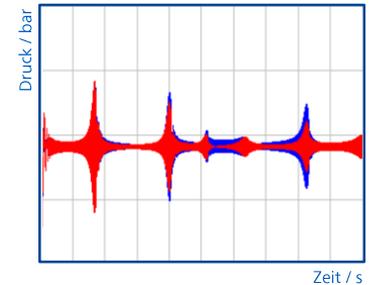
# Druckschwingungen in fluidtechnischen System

## Klassische Problemanalyse

- Kommt es zu Resonanzen, so stehen bei der Problemanalyse gewöhnlich nur die Signale weniger Drucksensoren für die Untersuchung der Schwingungssituation zur Verfügung.



- In den Zeitsignalen und den FFT-Spektren der Drücke lassen sich die Resonanzen der Druckschwingung bereits erkennen.
- Da Drucksensoren aber immer nur die Summe der Pulsation an der Messstelle erfassen, ist ein vertieftes Verständnis der Schwingungssituation alleine durch die Analyse der Zeitsignale nicht zu erreichen.
- Es bleibt jedoch nach wie vor unklar, welche Teile des Leitungssystems in die Schwingung involviert sind.



# Druckschwingungen in fluidtechnischen System

## Druckschwingungsanalyse

- Wird das Leitungssystem in der simulativen Druckschwingungsanalyse bei verschiedenen Anregungsfrequenzen untersucht, dann stehen ergänzende Informationen für die Schwingungsanalyse zur Verfügung.
- Ein Druckvektorplot visualisiert die Schwingungssituation entlang der Mittellinie der Leitung für den betrachteten Frequenzbereich.
- Es entsteht eine Art „Finger-  
print“ der Systemresonanzen.

Pipe resonance through  
pressure excitation at open side  
– opposite side is closed

RohrLEx, FLUIDON's piping system expert,  
gives tips and consultation, to questions  
related to pressure oscillation problems.

More information at [www.fluidon.com](http://www.fluidon.com)

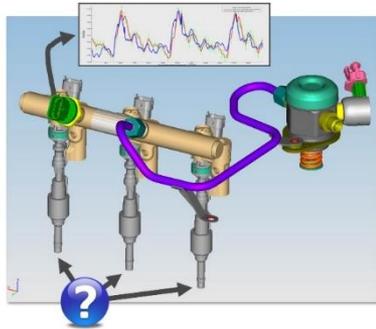


# Inhalt

- 1** FLUIDON
- 2** Druckschwingungen in fluidtechnischen System
- 3** Simulation fluidtechnischer Systeme
- 4** smarte fluidtechnische Systeme
- 5** Zusammenfassung

# Simulation fluidtechnischer Systeme

## Druckschwingungsanalyse von Einspritzsystemen

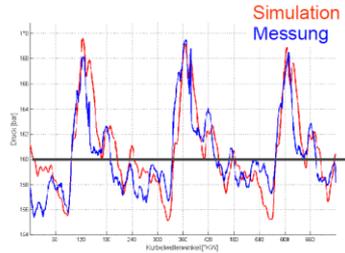


- Bosch Benzin-Hochdruckeinspritzsystem
  - Pumpe HDP5
  - Einspritzventil HDEV5
  - Verteilerleiste (Rail)
  - Zuführungsleitung
- Modellierung mittels **DSH<sup>plus</sup>**
- Fokus auf
  - Druckplationen im Rail
  - Unerwünschte Injektoröffnung

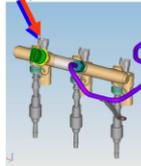


5 28.11.2012 Florian Huth - Simulation einer Benzin-Hochdruckeinspritzung

### VERGLEICH SIMULATION UND MESSUNG



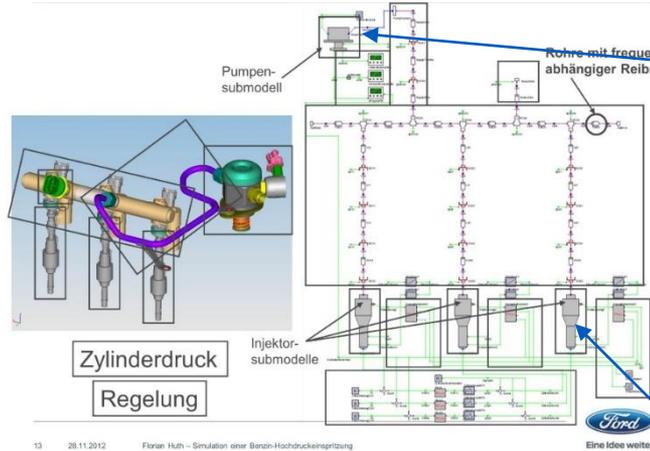
$n = 5500 \text{ min}^{-1}$   
 $p = 160 \text{ bar}$



Gute Übereinstimmung zwischen gemessenem und simuliertem Druckverlauf am Drucksensor

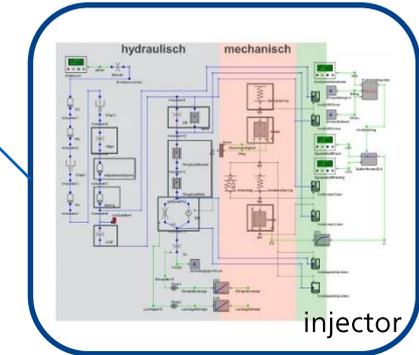
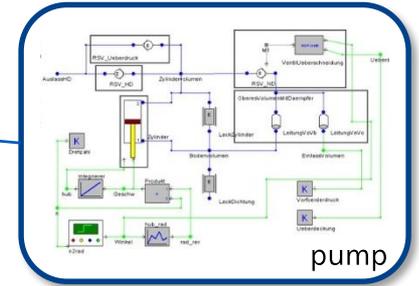


10 28.11.2012 Florian Huth - Simulation einer Benzin-Hochdruckeinspritzung



13 28.11.2012 Florian Huth - Simulation einer Benzin-Hochdruckeinspritzung

Eine Idee weiter



# Simulation fluidtechnischer Systeme

## Druckschwingungsanalyse im Kraftstoff-Niederdrucksystem

### Das Niederdruck (ND) Kraftstoffsystem

Druckniveau: 4-6 bar  
Durchfluss: bis 300 l/h

Stellen E&E, VEG-43, Funktionsentwicklung - Analyse Gesamtanforderung

### Schwingungsentstehung im ND-Kraftstoffsystem

Stark vereinfachtes Schaubild

Stellen E&E, VEG-43, Funktionsentwicklung - Analyse Gesamtanforderung

- Pulsationsarme Vorforderung durch Tankpumpe (meist geregelt)
- Pulsationseileitung durch Art der I...

### Analyse Druckvektorplot

Stellen E&E, VEG-43, Funktionsentwicklung - Analyse Gesamtanforderung

Analyse des positionsabh. Druckverlaufes  
- Identifikation der Schwingform und dessen

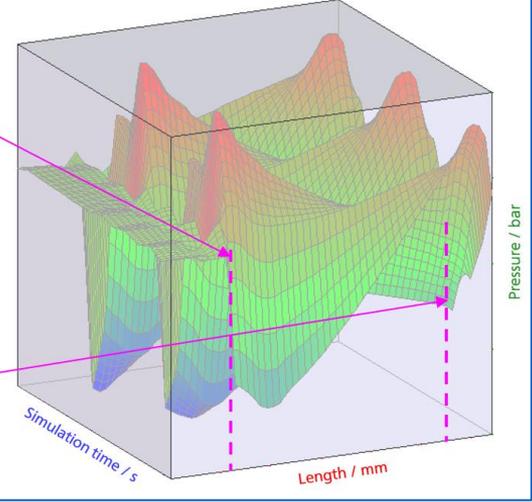
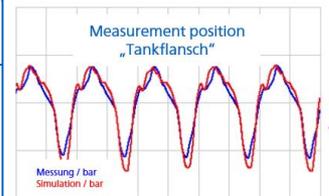


### Simulation

Stellen E&E, VEG-43, Funktionsentwicklung - Analyse Gesamtanforderung

Simulation mit DSH plus

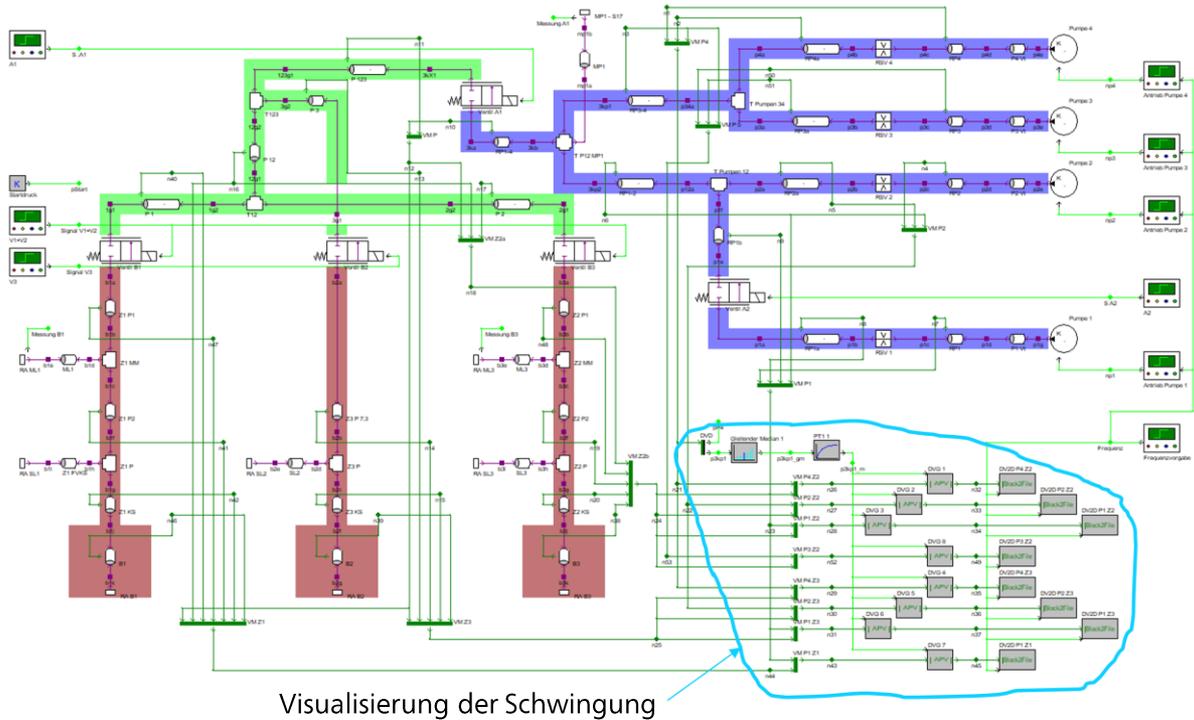
- System und seine Charakteristika sind mit DSH plus sehr gut darstellbar
- Besonderheit Vorlaufstrecke: niedriges Druckniveau
- Bauteile und Komponenten müssen exakt nachgebildet werden, um exakte Ergebnisse zu erhalten



# Simulation fluidtechnischer Systeme

## Druckschwingungsanalyse verzweigter Leitungssysteme

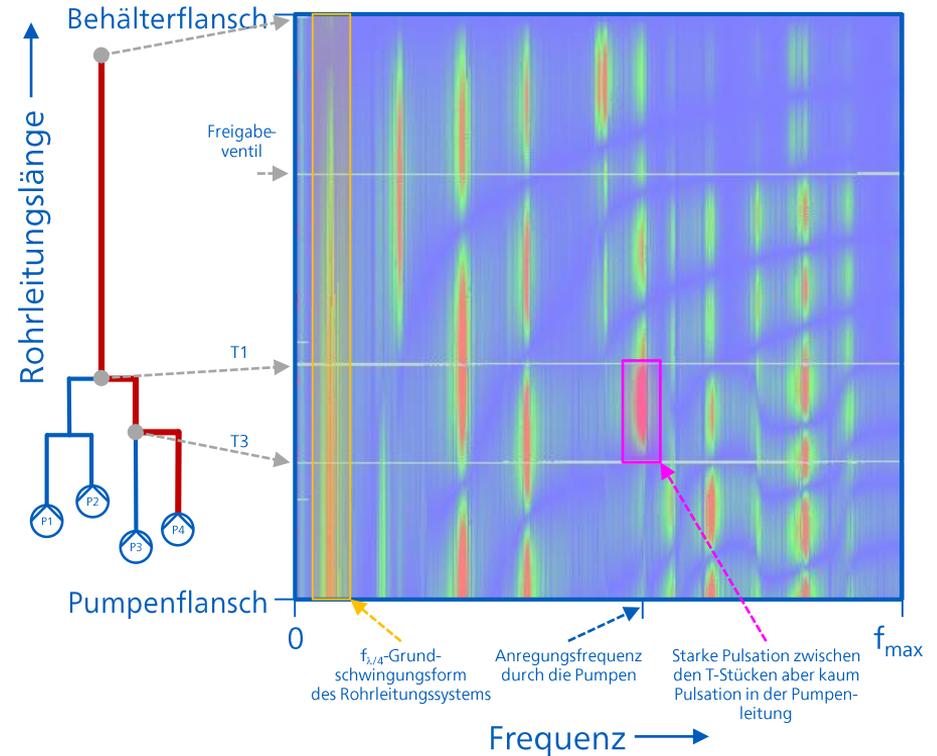
- Das Simulationsmodell einer Pumpenstation dient als Beispiel für ein verzweigtes Rohrleitungssystem.
- Alle vier Pumpen laufen mit konstanter Drehzahl und erzeugen so eine konstante Anregungsfrequenz.
- Die Auslegung des Rohrleitungssystems muss unempfindlich gegen diese Anregungsfrequenz sein.



# Simulation fluidtechnischer Systeme

## Druckschwingungsanalyse verzweigter Leitungssysteme

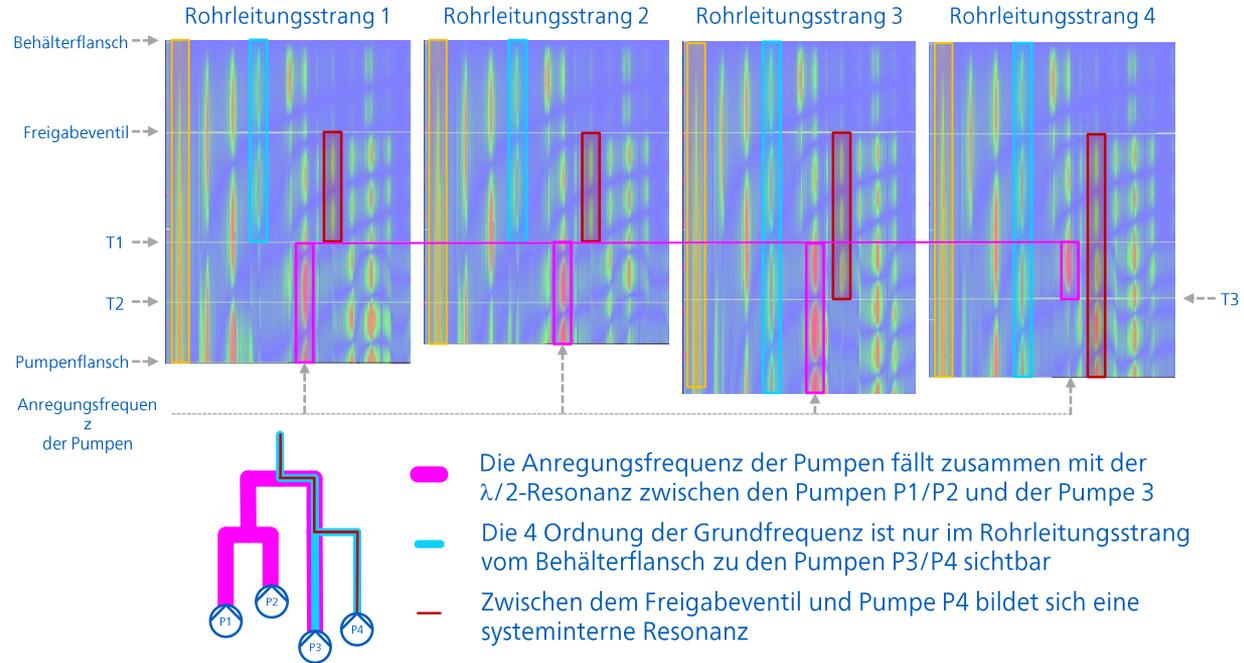
- Das Druckvektordiagramm stellt die grundlegenden Resonanzfrequenzen der Rohrleitung von der Pumpe P4 zum Tank dar.
- Im Abschnitt zwischen Armatur T3 und T1 ist bei der Anregungsfrequenz der Pumpen eine Druckschwungung hoher Amplitude sichtbar.
- Es gibt jedoch keine Oszillation zwischen der Pumpe P4 und der Armatur T3.
- Wie ist das möglich?



# Simulation fluidtechnischer Systeme

## Druckschwingungsanalyse verzweigter Leitungssysteme

- Die kombinierte Analyse aller vier Druckvektordiagramme zeigt, dass eine Resonanz zwischen den Pumpen P1/P2 und der Pumpe P4 vorliegt.
- Eine simulationsbasierte Designoptimierung wird ein Rohrleitungslayout liefern, das die Resonanz zwischen den Pumpen verschiebt, ohne eine neue Resonanz zwischen anderen Systemelementen zu verursachen.



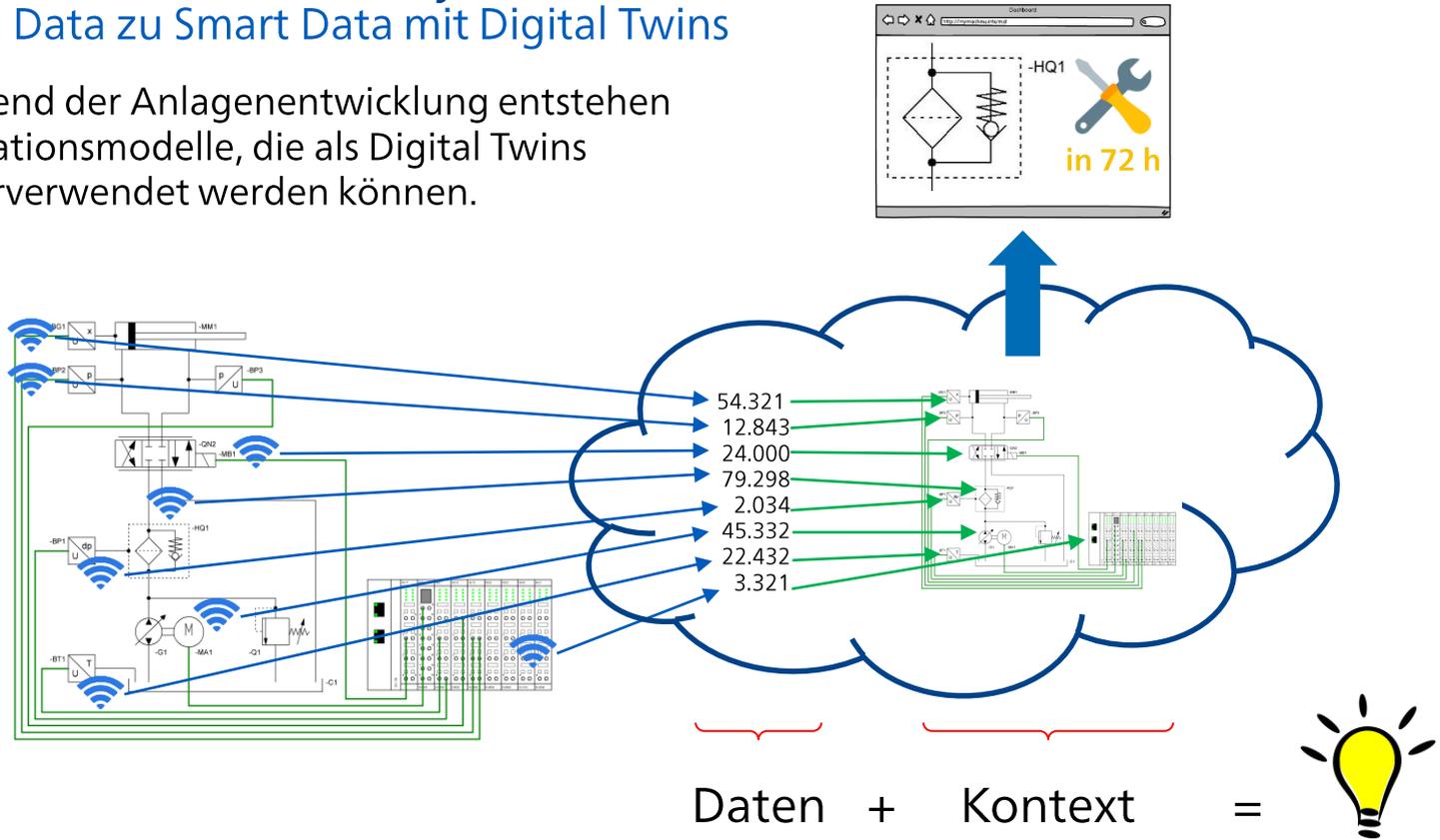
# Inhalt

- 1 FLUIDON
- 2 Druckschwingungen in fluidtechnischen System
- 3 Simulation fluidtechnischer Systeme
- 4 smarte fluidtechnische Systeme
- 5 Zusammenfassung

# smarte fluidtechnische Systeme

## Vom Big Data zu Smart Data mit Digital Twins

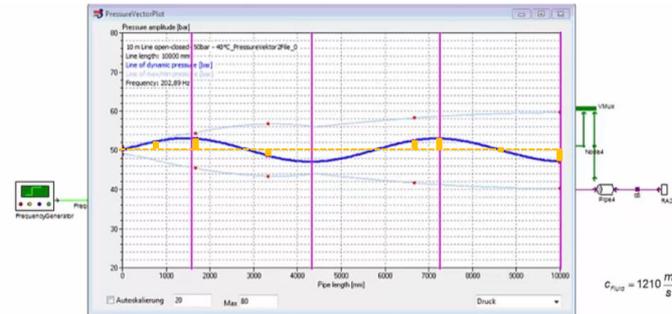
- Während der Anlagenentwicklung entstehen Simulationsmodelle, die als Digital Twins weiterverwendet werden können.



# smarte fluidtechnische Systeme

## Digital Twins und Meta Modelle

- Der Digital Twin kann auch unterschiedliche Druckschwungungssituationen simulieren, die detaillierte Informationen zur Schwingungsform in der Rohrleitung liefern.

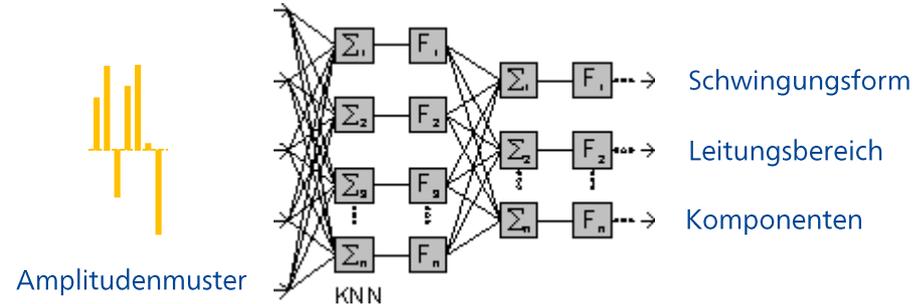


Antinode Position  
Druckbauchposition

$$x_{\text{Antinode}} = \frac{(1+2i)}{(2n+1)} L, \quad i=0,1,2, \dots n$$

n	f [Hz]	$\lambda$ [m]	Druckbauchpositionen / Antinode Positions [m]				
0	30,25	40,00	10,00				
1	90,75	13,33	3,33	10,00			
2	151,25	8,00	2,00	6,00	10,00		
3	211,75	5,71	1,43	4,29	7,14	10,00	
4	272,25	4,44	1,11	3,33	5,56	7,78	10,00

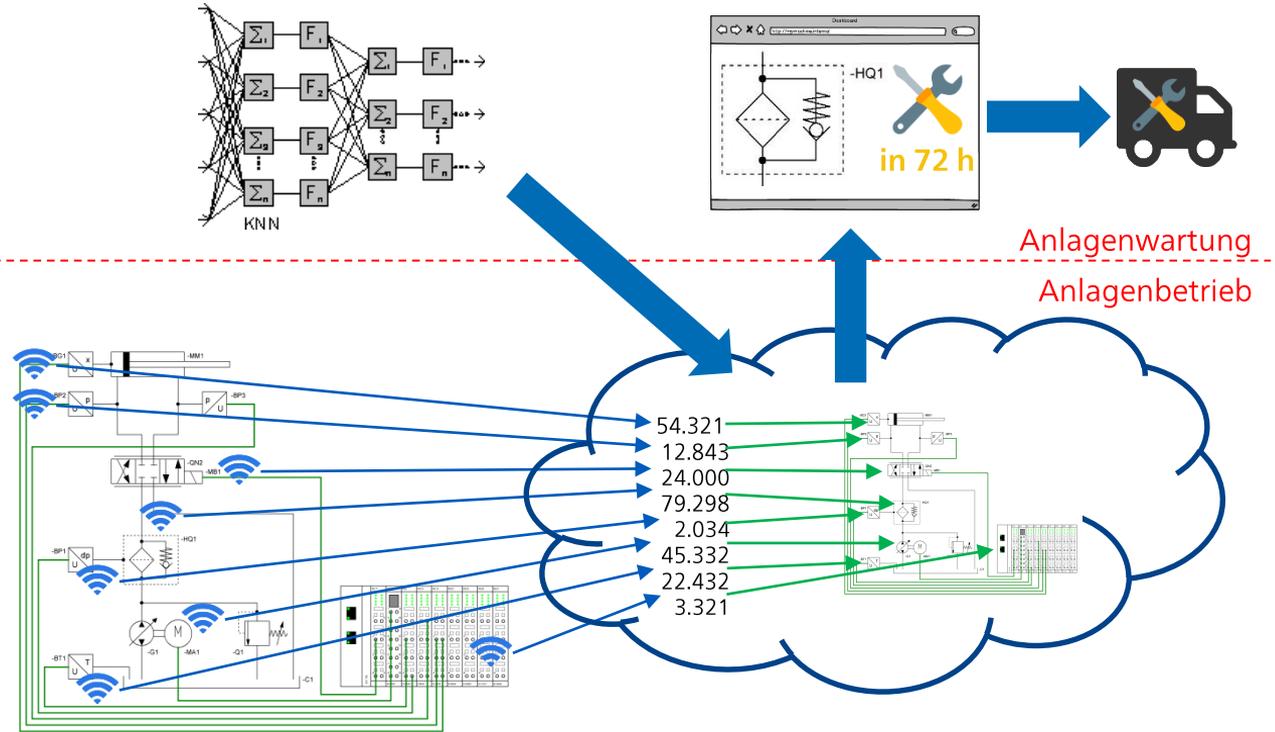
- Die Schwingungsformen werden an virtuellen Sensorpositionen diskretisiert.
- Ein Amplitudenmuster charakterisiert die Schwingung und dient als Trainingsmuster für das Metamodell (z. B. Neuronales Netz)



# smarte fluidtechnische Systeme

## Condition Monitoring mit dem Metamodell

- Der Sensor-Schwarm der Anlage erzeugt fortlaufend ein Amplitudenmuster der Druckschwingsituation im Leitungssystem.
- Identifiziert die KI das Amplitudenmuster einer kritischen Schwingungsform werden Maßnahmen eingeleitet.
- Die Steuerung kann entsprechend reagieren (Arbeitspunktwechsel, Alarm auslösen, ...)



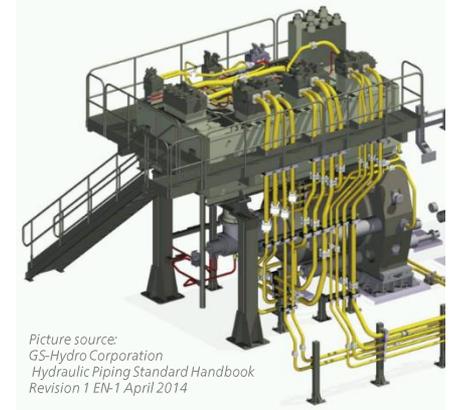
# Inhalt

- 1 FLUIDON
- 2 Druckschwingungen in fluidtechnischen System
- 3 Simulation fluidtechnischer Systeme
- 4 smarte fluidtechnische Systeme
- 5 Zusammenfassung

# Zusammenfassung

## Anwendungsfälle für smarte fluidtechnische Systeme

- Mittels Simulation ist es möglich, die kritischen Schwingungszustände verzweigter Rohrleitungssysteme vorab zu berechnen.
- Mittels KI-Techniken ist es möglich, betriebsrelevante Informationen in der Anlagensteuerung zu hinterlegen.
- Benötigt wird ein IoT-fähiger low-cost Sensorschwarm zur Identifikation des Druckschwingungsproblem es in der realen Anwendung.
- Mögliche Anwendungsfelder finden sich im Maschinen- und Anlagenbau oder der verfahrenstechnischen und der petrochemischen Industrie.



Picture source:  
Framo AS  
<http://www.framo.com>



Petrochemical  
industrial plant  
Oil Pipeline

# Zusammenfassung

## Anwendungsfälle für smarte fluidtechnische Systeme

- Andere Rohrleitungsanwendungen sind Wasserverteilungssysteme, Heizungs- und Feuerlöschanlagen in großen Gebäuden oder Produktverteilungsanlagen für Lebensmittelproduktionsfabriken und Bewässerungssysteme.



Center pivot irrigation system



Brewery interior

Industrial hydraulics fittings on a concrete wall inside a huge production plant



Water pumping station



Water sprinkler and fire fighting system



