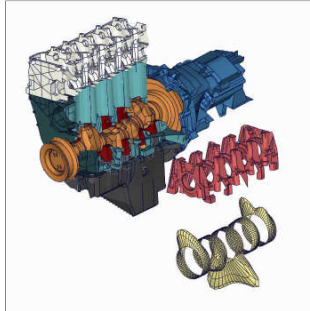


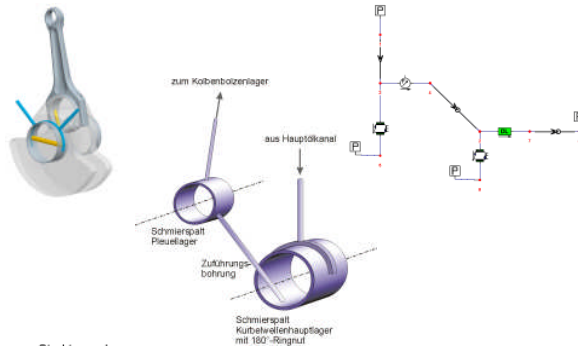
Gekoppelte Översorgungsberechnung der Kurbelwellenlagerung mit FIRST und DSH^{plus}

Dr.-Ing. Katja Backhaus
Dr.-Ing. Richard Schönen
Prof. Dr.-Ing. Gunter Knoll
Strukturanalyse
ist Tribologie
GmbH Aachen

- Översorgung der Kurbelwellenlager
- EHD Simulation Gleitlager
- Direkte Kopplung Kurbeltriebblager
- Kopplung mit DSH^{plus}
- Ausblick



Översorgung der Kurbelwellenlager



Strukturanalyse
ist Tribologie

Gekoppelte Översorgungsberechnung

Ölversorgung der Kurbelwellenlager

EHD Gleitlager-Simulationstechnik

gekoppelter Schmierstofftransport Grund-/Pleuellager
kennfeldbasierte bis zu transienten EHD Verfahren

Sensitivitäten

Motorlastkollektiv Upm ; p_{me} ; η ; ϑ

Lagerbohrungsgeometrie

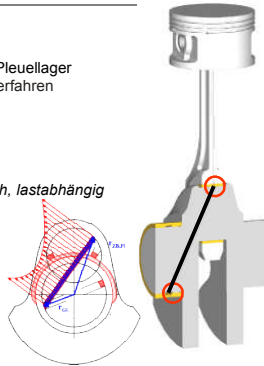
Konturverzug

mechanisch, fertigungstechnisch, thermisch, lastabhängig

Validierung durch Prüfstandsversuche

Ölflussverteilung im Lager $f = (^\circ KW)$

Teilfüllungszustände, Kavitationsgebiete,
gekoppelte Schmierstoffversorgung

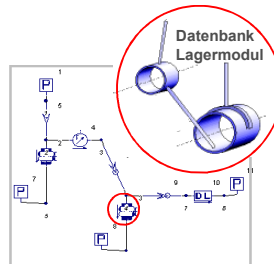
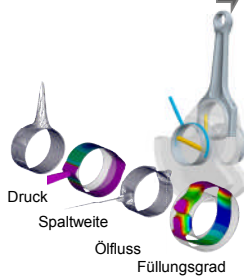


Ölversorgung der Kurbelwellenlager

Ölkreislaufkopplung / schnelle Verfahren

EHD-Simulation

Hydraulik-Netzwerk-Softwaretool



EHD Simulation Gleitlager

■ Reynoldssche Dgl.

- › 2D partielle Dgl. abgeleitet aus 3D Navier Stokes Gleichungen

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[\phi_{ij}^p \frac{\bar{h}^3}{12\eta} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_j} \right] = u_i^\Sigma \frac{\partial \bar{h}}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} + u_i^\Delta \sigma \sigma^\Delta \frac{\partial \phi_{ij}^s}{\partial x_j}$$

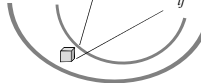
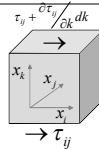
- › Grundlage für numerisch effiziente Gleitlager- Berechnungsalgorithmen mit hoher Aussagesicherheit

■ Gültigkeitsbereich

- Spaltweite $h_{ij} < b, d$
- Druckverteilung $\partial p / \partial x_k = 0 \Rightarrow p(h) = \text{const.}$

› Konsequenzen

- lokale Effekte an Spaltweitenübergängen nur gemittelt darstellbar
- Defizite bei Darstellung von 3D 2-Phasen-Strömungen



EHD Simulation Gleitlager

Lösung der Reynoldssche Differentialgleichung

■ Sommerfeldsche Druckrandbedingung

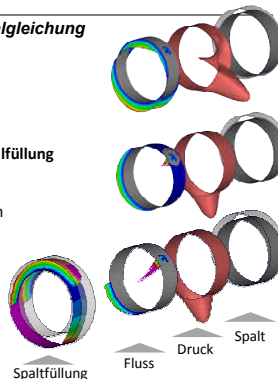
- ➔ Negative Druckanteile

■ Reynoldssche Druckrandbedingung, Vollfüllung

- ➔ Verletzung der Massenbilanzen

■ Teilfüllung Öl / Luftgemisch ρ Transienter Kavitationsalgorithmus

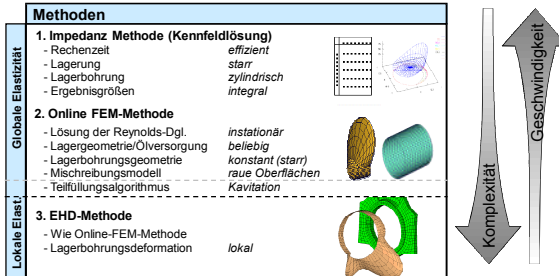
- ➔ Korrekte Abbildung der Volumenströme



EHD Simulation Gleitlager

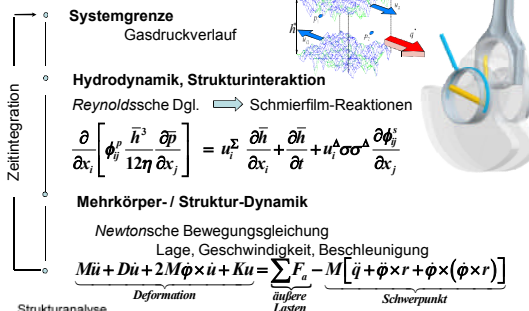
Reynoldssche DGL

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = \frac{1}{2} (u_1 + u_2) \frac{\partial}{\partial x} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial t} (\rho h)$$

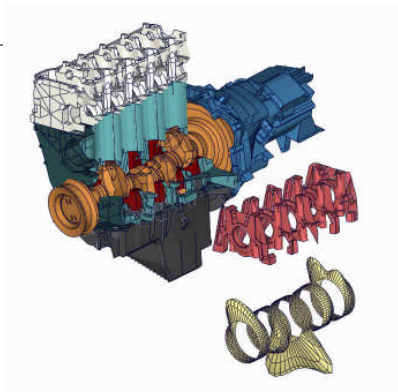


EHD Simulation Gleitlager

Mehrkörpersystematik



EHD Simulation



Direkte Kopplung Kurbeltrieblager

■ Druckverteilung Grund-/Pleuellager

- Reynoldssche Differentialgleichung rauher Oberflächen

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Phi_i^e \frac{\rho \bar{h}^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x_i} \right) = \frac{v_{iA} + v_{iN}}{2} \frac{\partial(\rho \bar{h})}{\partial x_i} - \frac{v_{iA} - v_{iN}}{2} \sigma \sigma^* \frac{\partial(\rho \Phi_i^e)}{\partial x_i} + \frac{\partial(\rho \bar{h})}{\partial t}; \quad i \neq 3$$

- FE-Formulierung (Index G, P : Grund-/Pleuellager)

$$K_{ij}^{G,P} \cdot p_j^{G,P} = q_i^{G,P}, \quad 1 < i, j < n^{G,P}$$

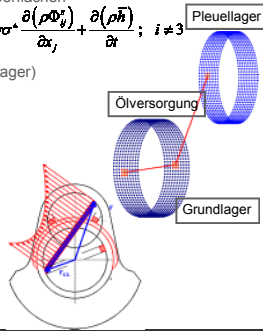
■ Kopplung Grund-/Pleuellager

- Flussbilanz

$$q_{\text{ein-Spalt}} = q_{\text{ein-Kanal}} + q_{\text{aus-Spalt}}$$

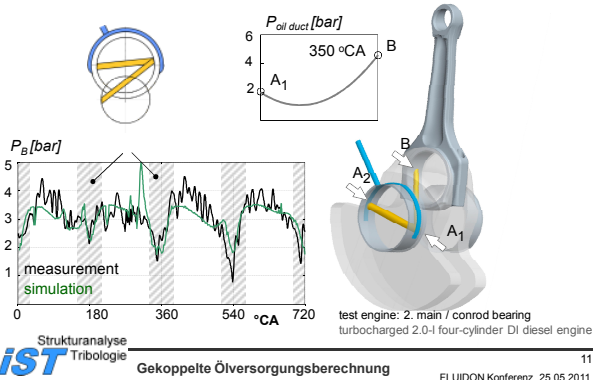
- Druckverlauf Ölkanal

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_{\text{Reibströmung}} + \Delta p_{\text{Zentrifugal}} \\ &= \frac{\rho \alpha}{2} u^2 \lambda \left(\frac{l}{d} \right)_{\text{Ölkanal}} + \frac{\rho \alpha}{2} \omega_{\text{GK}}^2 (r_{\text{ZGK}}^2 - r_{\text{GK}}^2) \end{aligned}$$

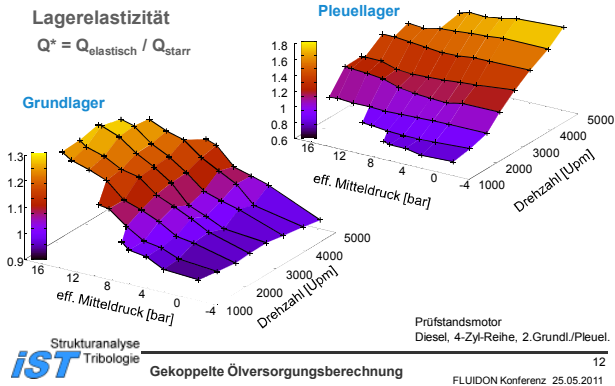


Direkte Kopplung Kurbeltrieblager

3000 rpm
8bar ind. eff. mean pressure

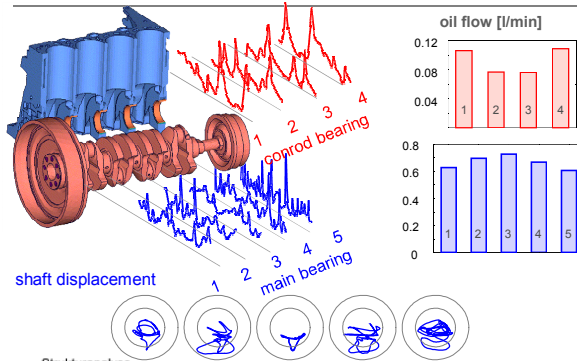


Direkte Kopplung Kurbeltrieblager



Öflüsse im Motor

3000 rpm
8bar ind. eff. mean pressure



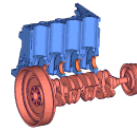
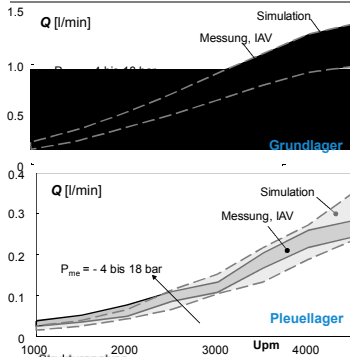
Strukturanalyse
IST Tribologie

Gekoppelte Översorgungsrechnung

FLUIDON Konferenz 25.05.2011

13

Öflüsse im Motor



Schmiermitteldurchsatz
(68 Betriebszustände)

Prüfstandsmotor
Diesel, 4-Zyl-Reihe, 2.Grundl./Pleuel.

Strukturanalyse
IST Tribologie

Gekoppelte Översorgungsrechnung

FLUIDON Konferenz 25.05.2011

14

Kopplung mit DSH^{plus}

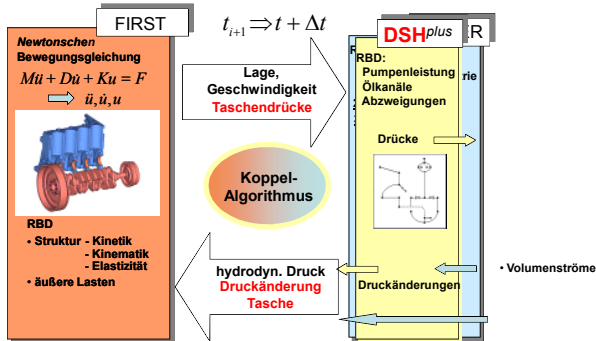
Direkte Lagerkopplung in TOWER:

- + direkter Zugriff
- Rechenzeit
- Modellierungstiefe Hydraulik
- Flexibilität Modellbildung

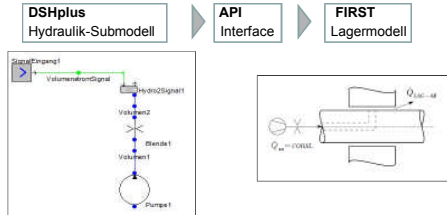
DSH^{plus}, Fluidon

- externes Programm
- + vielfältige Kopplungserfahrungen
- + sehr gute Anbindungsmöglichkeiten
- + verschiedene Kopplungsarten zur Auswahl
 - insb. Gleichungsexport von hydr. Submodellen in TOWER / FIRST
 - Submodelle parametrisierbar
- + DSH^{plus} Version für erstellte Submodelle nicht erforderlich

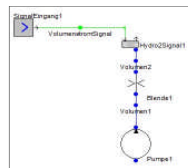
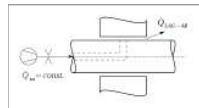
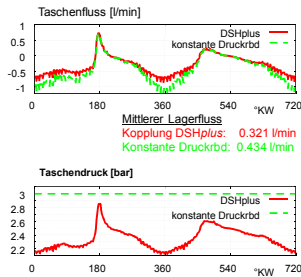
Kopplung mit DSH^{plus}



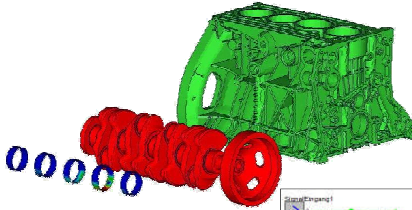
Kopplung mit DSH^{plus}: Testmodell



Kopplung mit DSH^{plus}: Testmodell



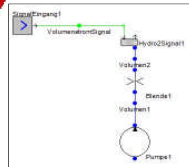
Kopplung mit DSH^{plus}: Motormodell



DSH^{plus} – Modell:
Grundlagerversorgung der Nut
Angekoppelt an Volumen / Blende/ Pumpe – Modell

Hydrodynamik- Modellierungsstufen
Online-FE / EHD
Vollfüllung / Teilfüllung

Strukturanalyse
Tribologie



IST

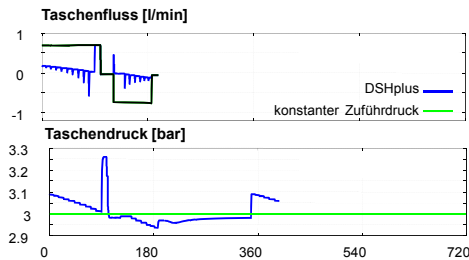
Gekoppelte Översorgungsberechnung

19

FLUIDON Konferenz 25.05.2011

Kopplung mit DSH^{plus}: Motormodell

Simulation Grundlager Taschenfluss Q, Druck p



Rechenzeiterhöhung: ca. 5%
bei Ankopplung 1 DSH^{plus} - Modell an 1 Hauptlager,
5 Hauptlager starr Online-FE, sowie elastisch

Strukturanalyse
Tribologie

Gekoppelte Översorgungsberechnung

20

FLUIDON Konferenz 25.05.2011

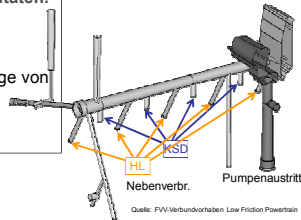
Ausblick

Schmierölkreislauf

1-d HNS Simulationsmodell mit energetischer Kopplung der Ölvorsorgung der Lagergasse

Untersuchung Parametersensitivitäten:

- reduzierte Pumpenleistung
- Ölvorsorgung: Ausführung und Lage von Nut, Taschen, Bohrungen
- Lagerspiele
- Kalt-, Warmverzüge



Quelle: FVM-Verbundvorhaben Low Friction Powertrain

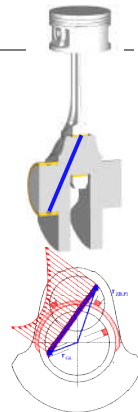
Ausblick

Ölkanalkopplung Haupt-/Pleuellager

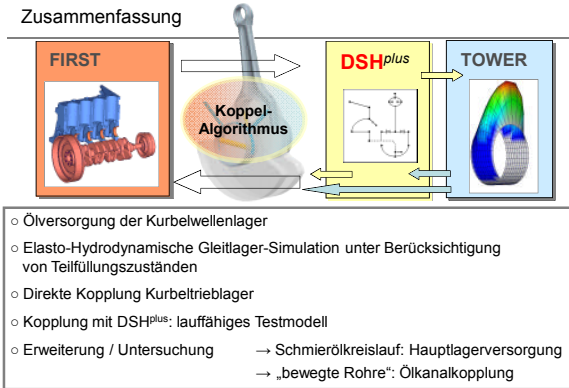
Kanal mit Fliehkraftwirkung auf Öl

Untersuchung Versorgungsmechanismen:

- Druckstoßübertragung
- Rückfluss aus Pleuellager
- Versorgungsunterbrechung
- leer-/volllaufendes Kanalvolumen



Zusammenfassung



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**