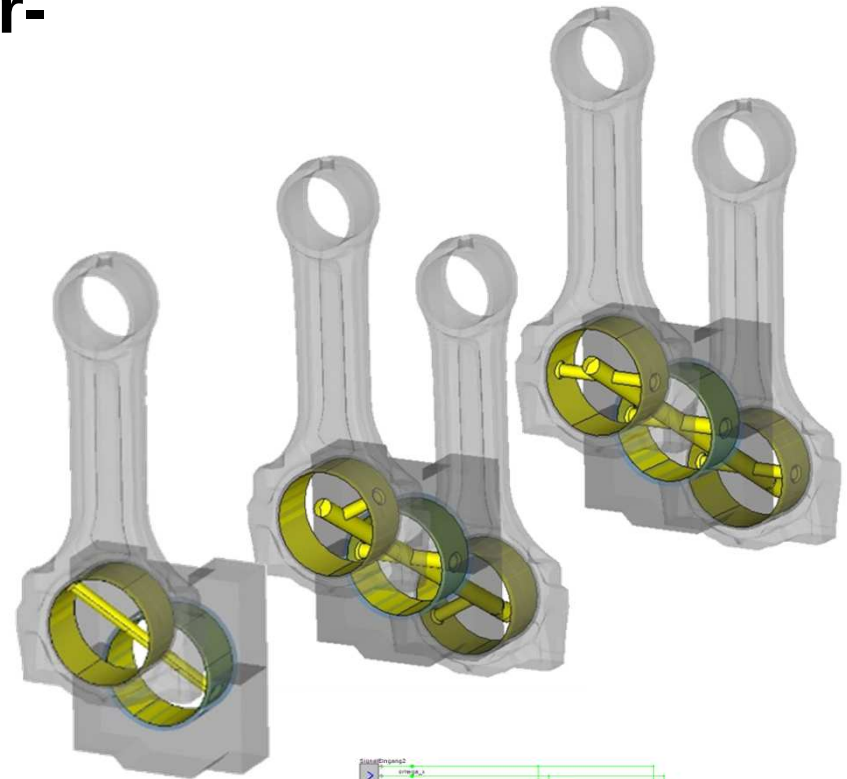
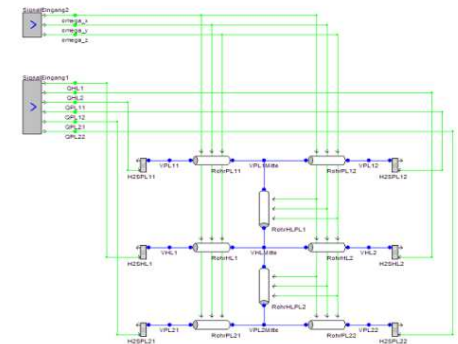


Gekoppelte EHD Grund- und Pleuellager-Simulation bei unterschiedlicher Ölkanalgeometrie

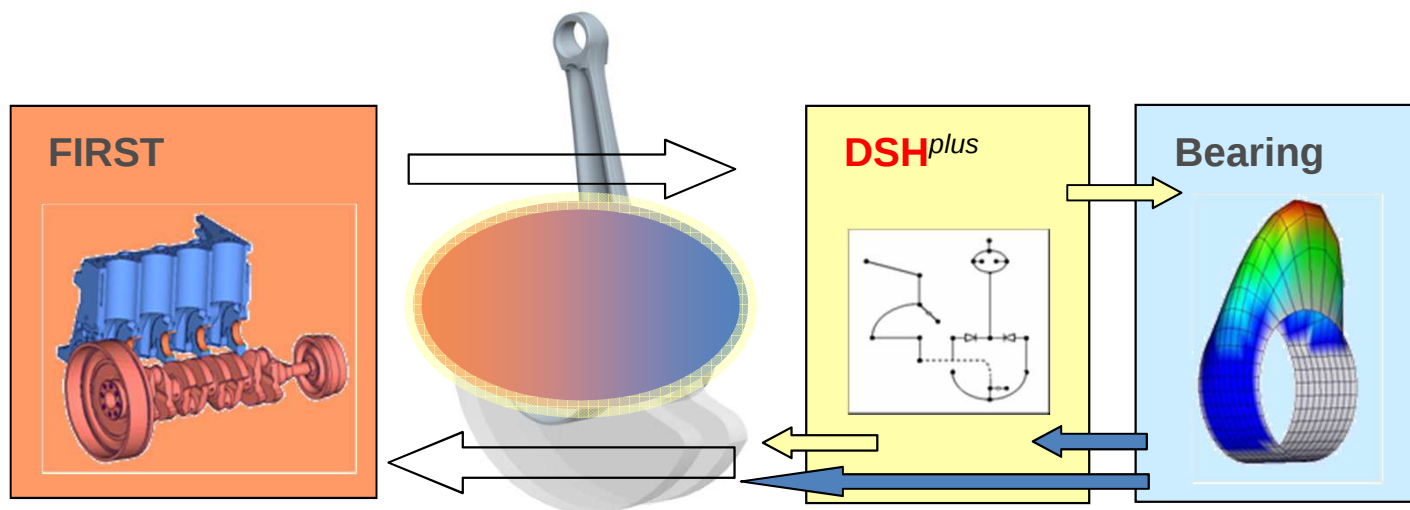
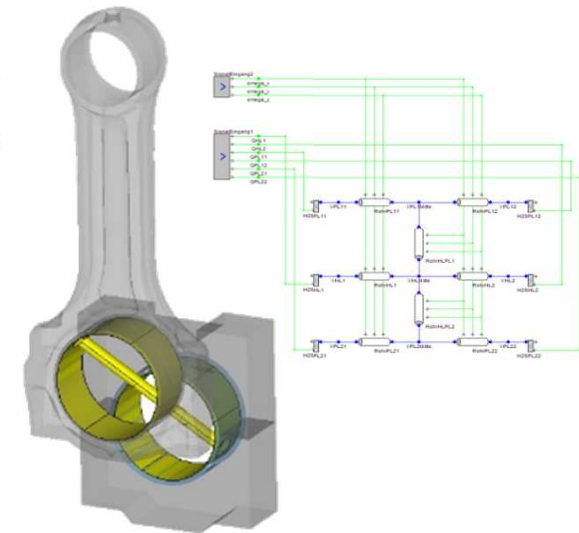
Dr.-Ing. Katja Backhaus, IST-Aachen



- Modellierung der Schmierölversorgung
- FIRST - DSH^{plus} Kopplung
- Kanalmodelle
- Validierung Grundlagenbeispiel
- Anwendungsbeispiele, Kavitationsindikatoren
- Aktuelle Entwicklung: FMI
- Zusammenfassung

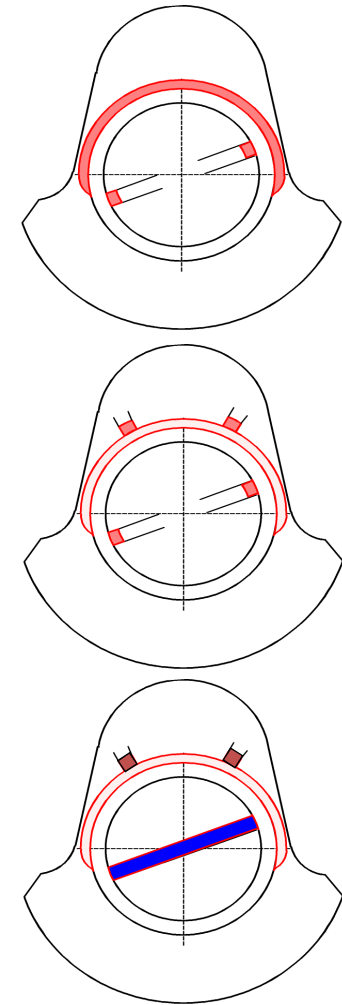
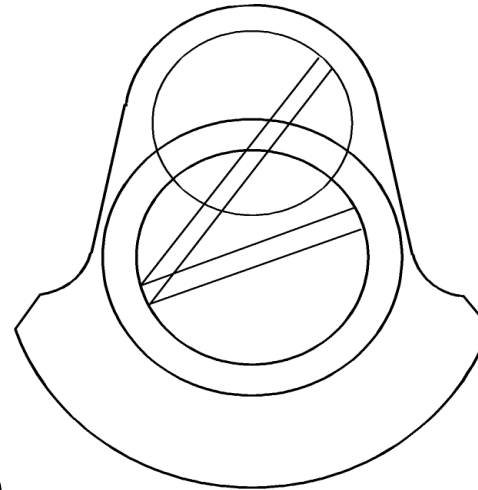


Modellierung Ölkanalkopplung



Modellierungsparameter FIRST:

- Netzdiskretisierung
 - ⇒ internes Netz
 - ⇒ externes Netz
 - ⇒ Zwischennetz
- Kavitationsalgorithmus
 - ⇒ Vollfüllung nach Murty (Gümbel)
 - ⇒ Teilfüllung nach Kumar
- Elastizität
- Schmiermittelfluss
 - ⇒ komplette Nut als Druckrandbedingung
 - ⇒ geometrische Nut mit Zuführungen
 - ⇒ Zapfenbohrungen als Druckrandbedingung
 - ⇒ **Zapfenbohrungen, Nutversorgung gekoppelt:**
Druck abhängig von Lage und Gesamtdruckberg
Strömungsvorgänge im Ölkanal



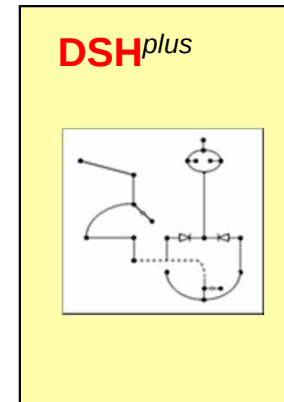
-  feste Druckrbd
-  $p_{zb,i} = p_{zb,i}(\text{Ort}, p_{\text{Schmierfilm}}, p_{zb,i})$

Schnittstellensystematik Hydraulikkopplung

Kopplung mit DSH^{plus}

DSH^{plus}, Fluidon

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



Schnittstellensystematik Hydraulikkopplung

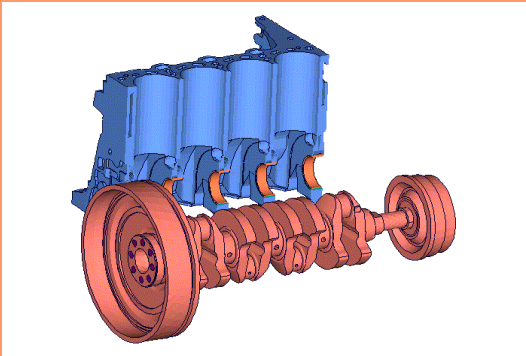
FIRST - Erweiterung 1d-HNS: embedded / integriertes Modell

FIRST

**Newtonschen
Bewegungsgleichung**

$$M\ddot{u} + D\dot{u} + Ku = F$$

→ $\ddot{u}, \dot{u}, u$



RBD

- **Struktur** - Kinetik
 - Kinematik
 - Elastizität
- **äußere Lasten**

$t_{i+1} \Rightarrow t + \Delta t$

Lage,
Geschwindigkeit
Taschendrucke

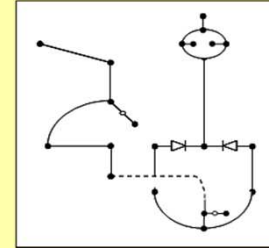
**Koppel-
Algorithmus**

hydrodyn. Druck
**Druckänderung
Tasche**

DSH^{plus}

RBD:
Pumpenleistung
Ölkanäle
Abzweigungen

Drücke



Druckänderungen

• **Volumenströme**

Ölkanal Pleuellagerversorgung

EHD Gleitlager-Simulationstechnik

gekoppelter Schmierstofftransport Grund-/Pleuellager

Sensitivitäten

Motorlastkollektiv Up_m ; p_{me} ; η ; ϑ

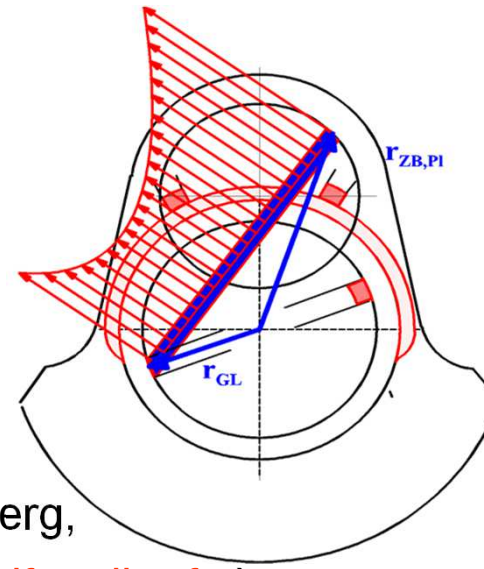
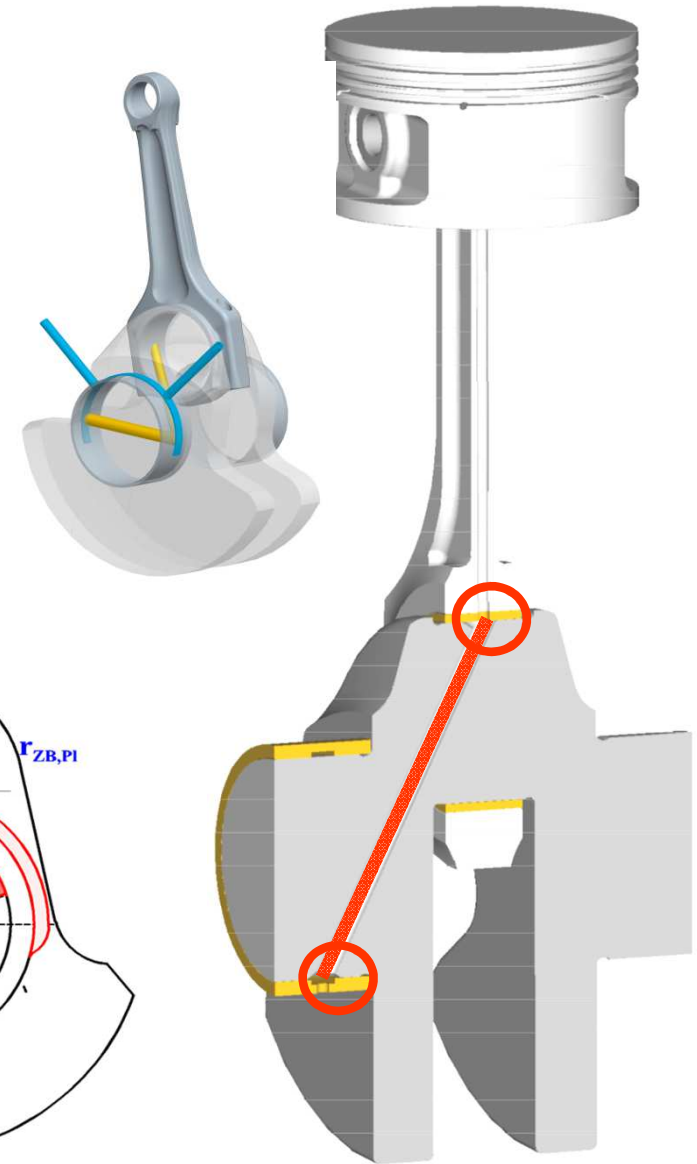
Lagerbohrungsgeometrie

Konturverzug

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

Teilfüllungszustände, Kavitationsgebiete,
gekoppelte Schmierstoffversorgung

$$p_{zb1} = p_{zb,pl} = p(\text{Ort, Druckberg, Rohrströmung, Zentrifugalkräfte})$$



Schnittstellensystematik Hydraulikkopplung

DSH^{plus} Kanalmodell

 $p = p_{\text{zuleitung}}$

FIRST

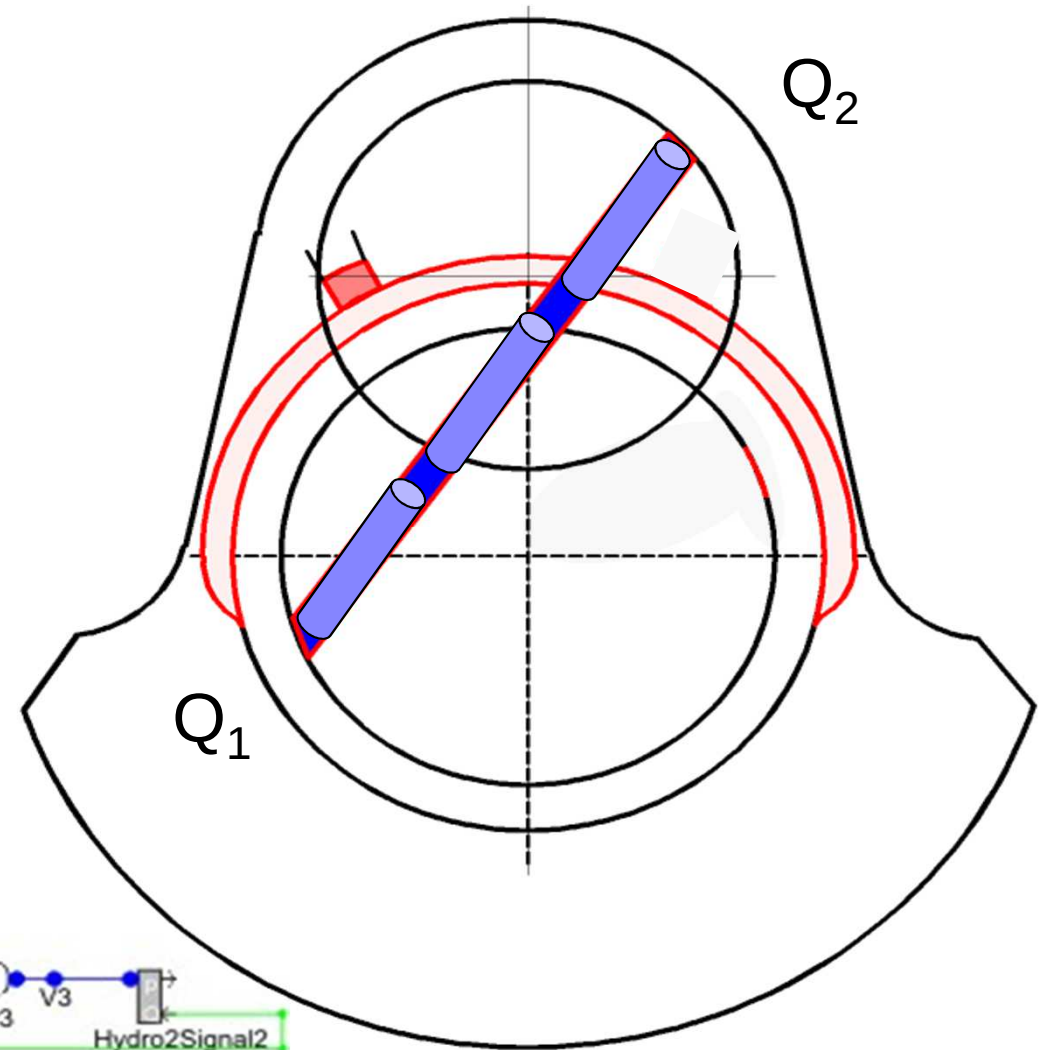
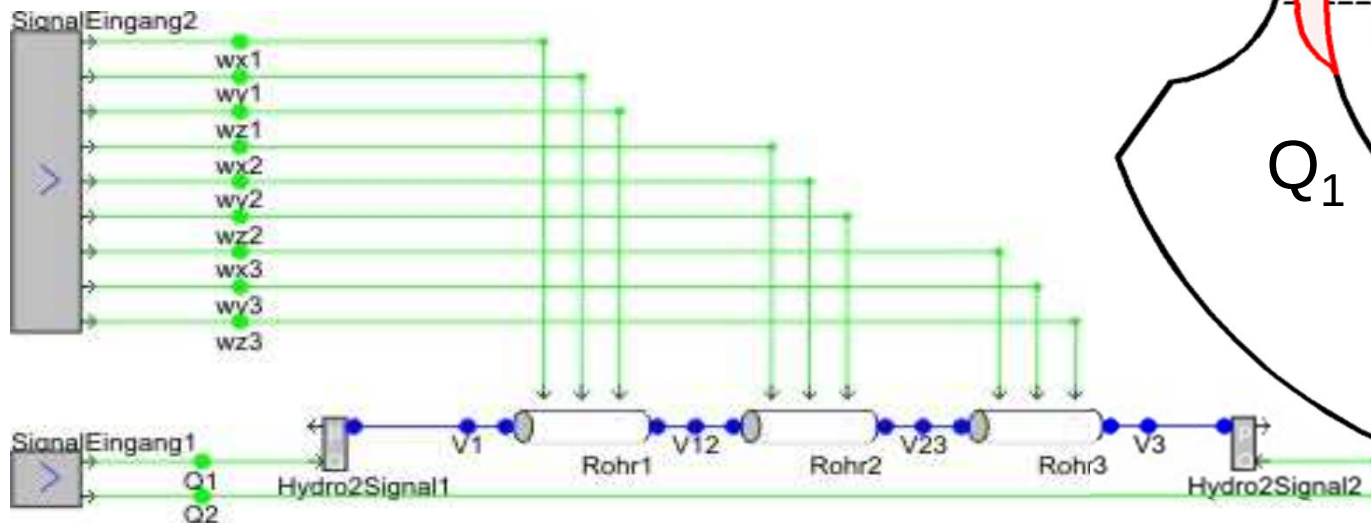
Nut, Nutversorgung, Spaltgeometrie,
Drehzahl:

FIRST

Position Rohrstücke

Länge, Durchmesser Rohrstücke

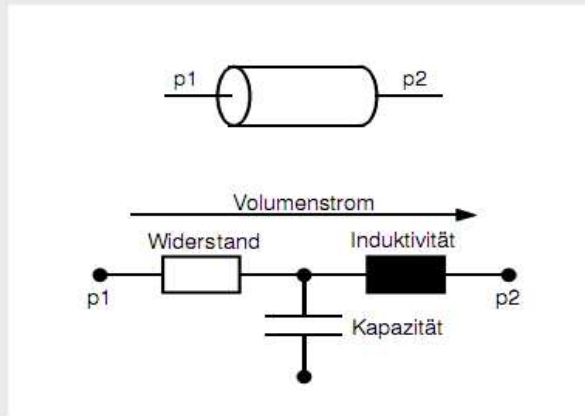
Zwischenvolumen V1, V12, V23, V3

DSH^{plus}

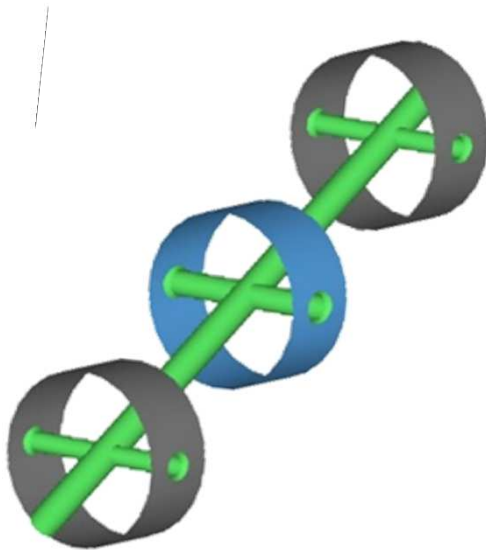
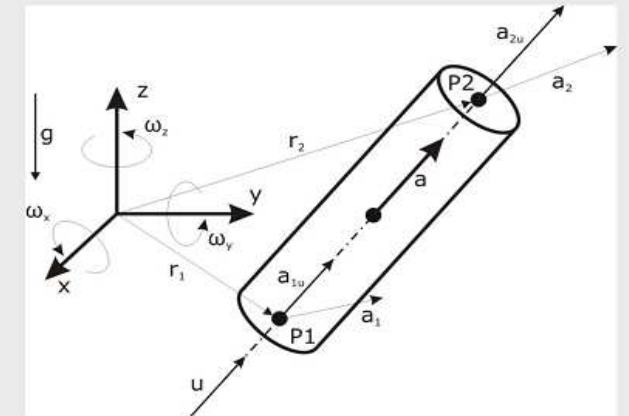
DSH-Model-Input

- Schmierstoffparameter
- Temperaturen
- Rohrgeometrie
- Rohrwiderstände
- Startwerte

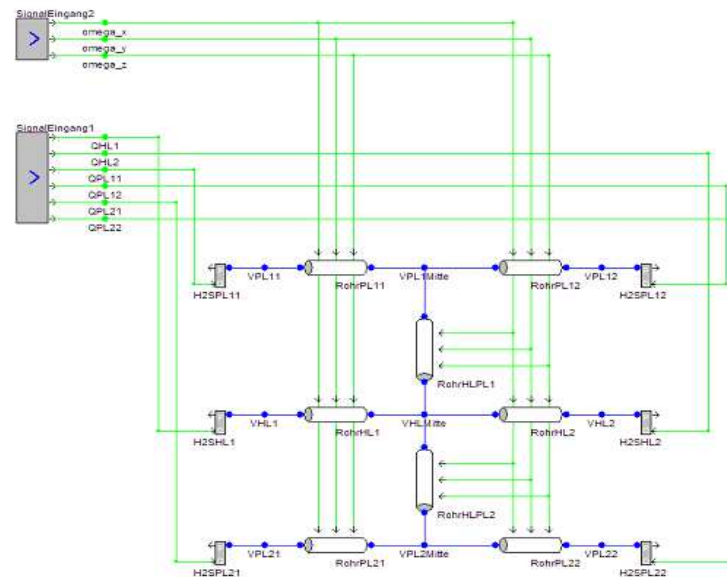
Berechnungsgrundlage für Rohr



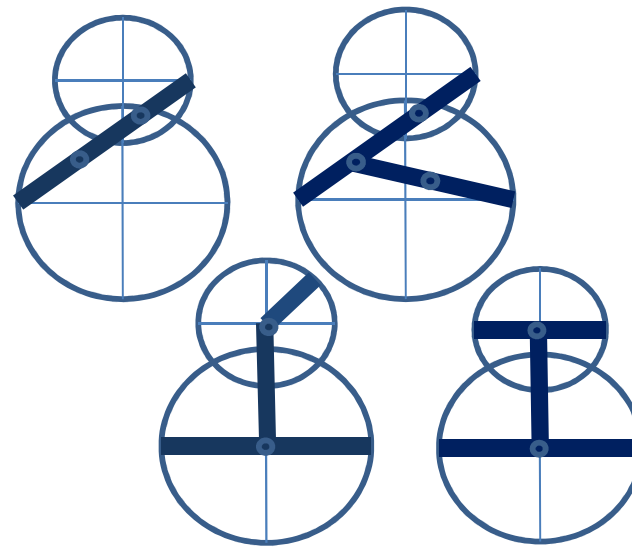
Ergänzungen für ein rotierendes Rohr

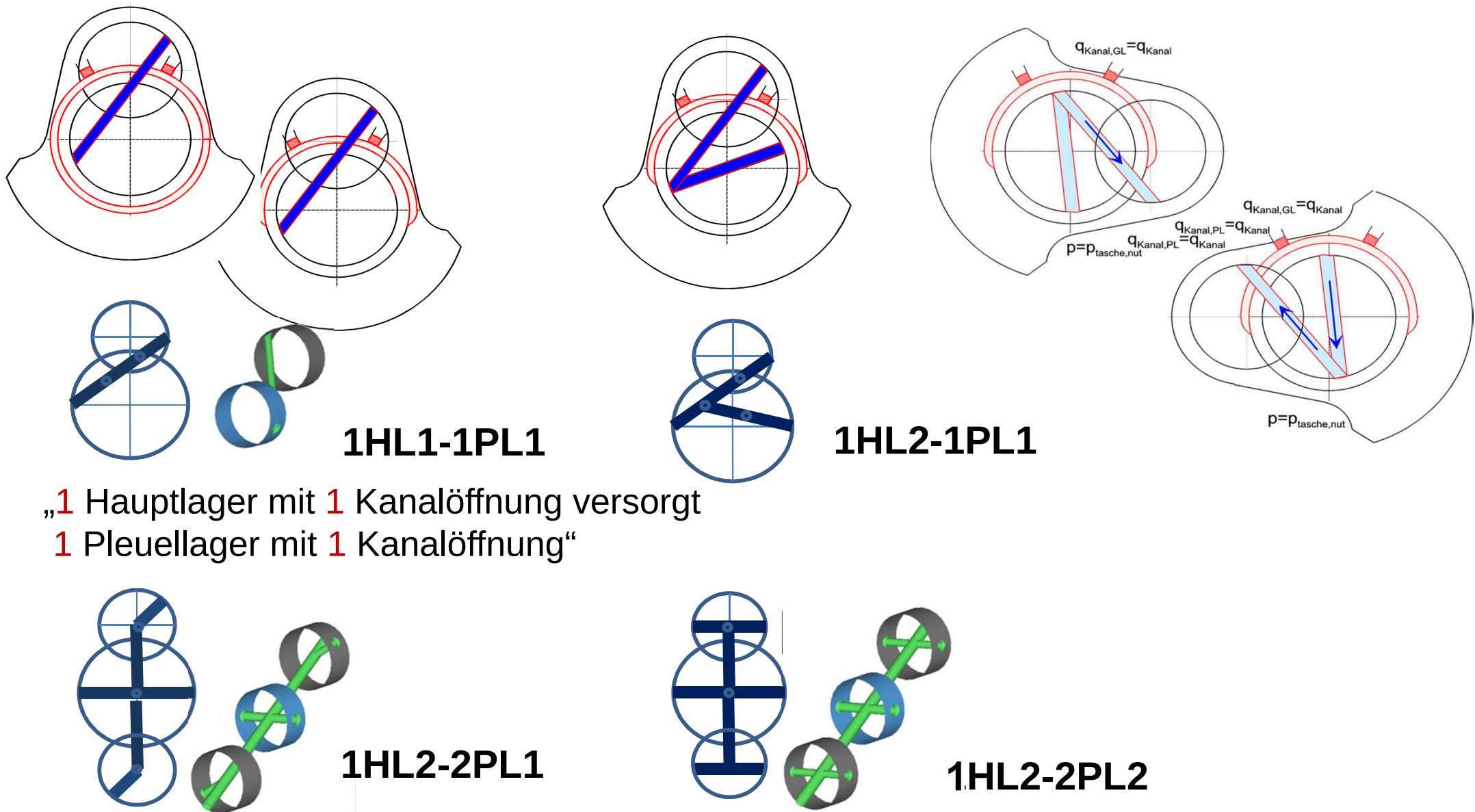


DSH^{plus} Kanalmodell

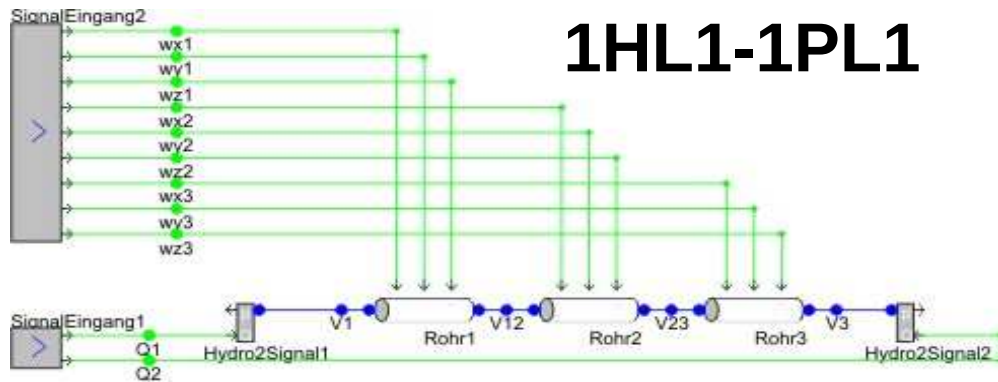


Kanalmodelle

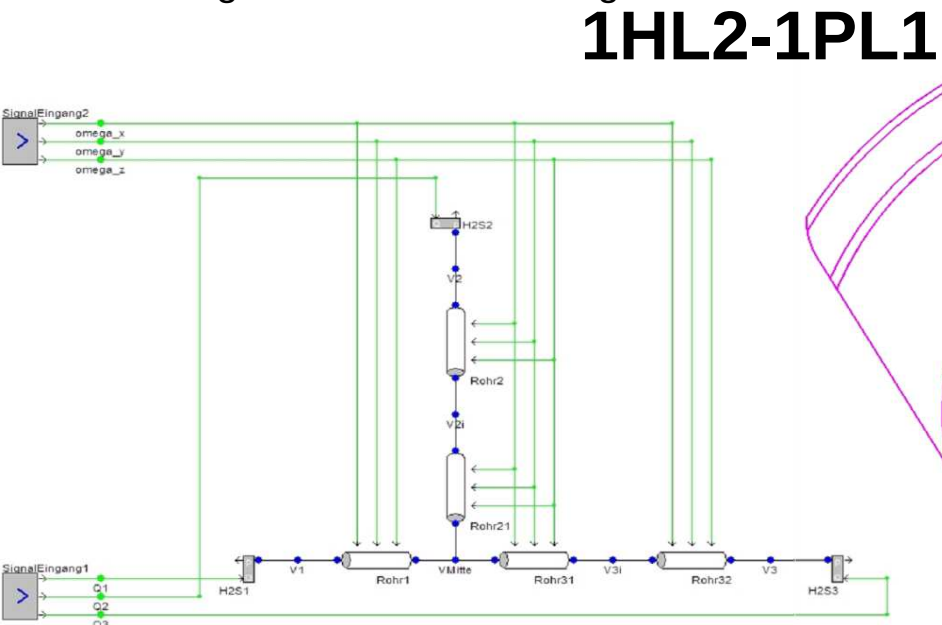
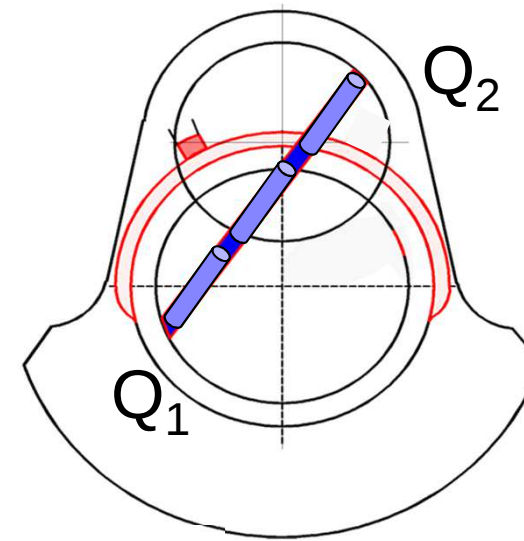




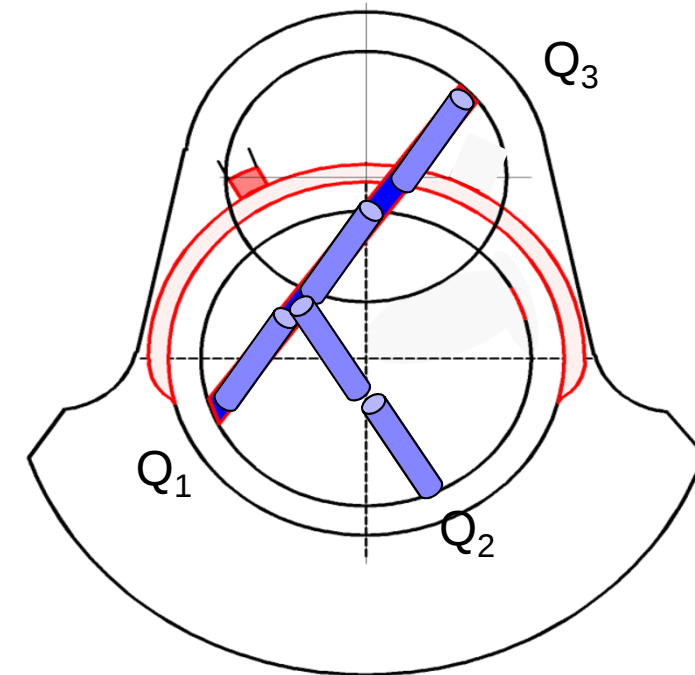
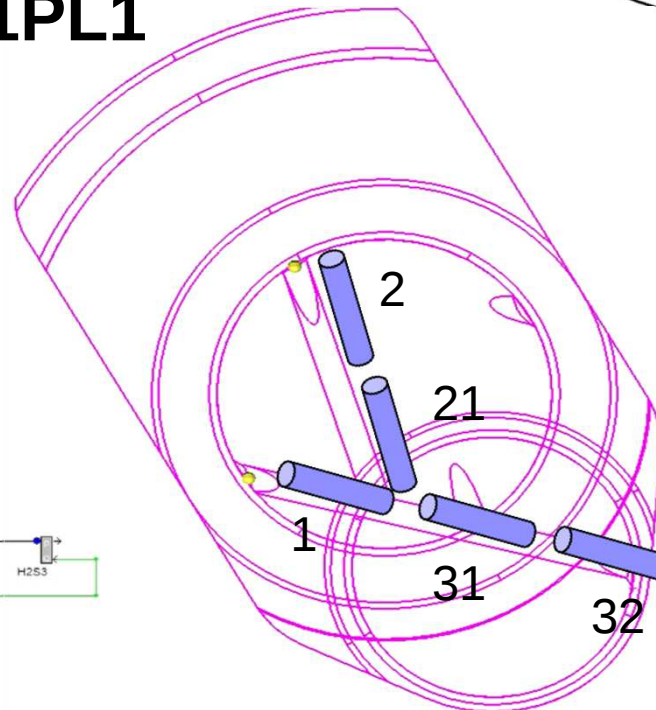
„1 Hauptlager mit 1 Kanalöffnung versorgt
1 Pleuellager mit 1 Kanalöffnung“



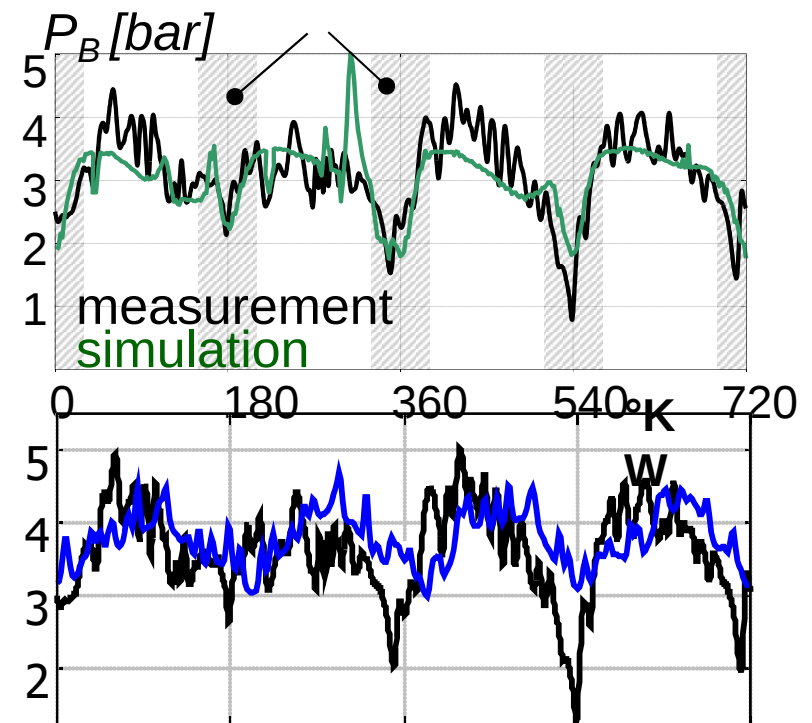
„1 Hauptlager mit 1 Kanalöffnung versorgt
1 Pleuellager mit 1 Kanalöffnung“



„1 Hauptlager mit 2 Kanalöffnungen versorgt
1 Pleuellager mit 1 Kanalöffnung“



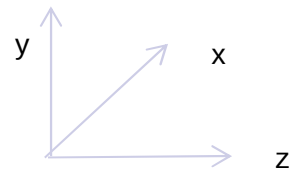
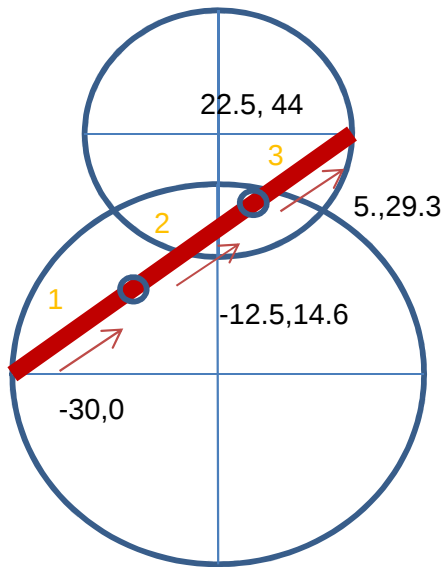
Grundlagenbeispiel: Validierung



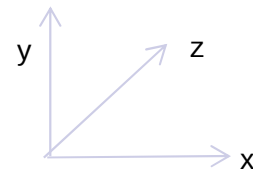
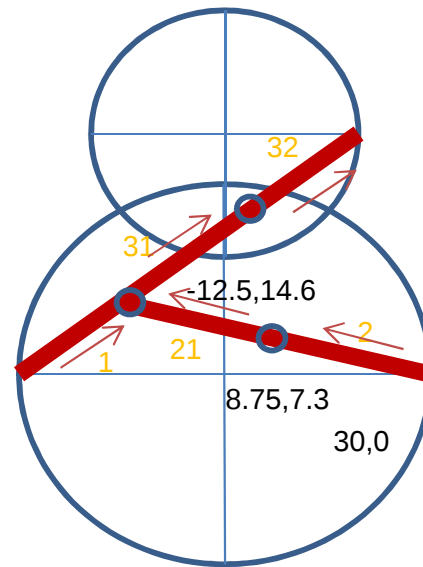
Kanalgeometrie Modelle Grundlagenvergleich

Parametrisierung

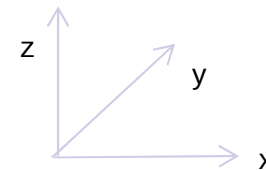
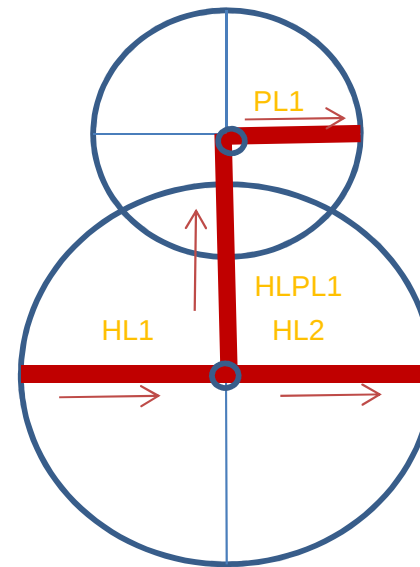
1HL1-1PL1



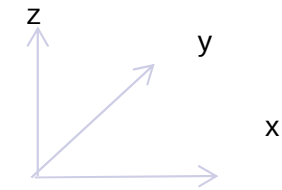
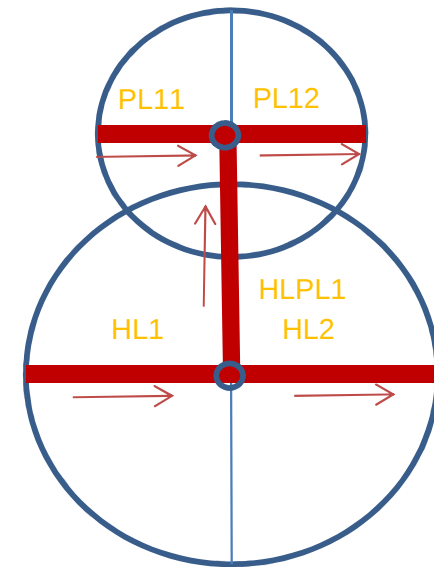
1HL2-1PL1



1HL2-2PL1

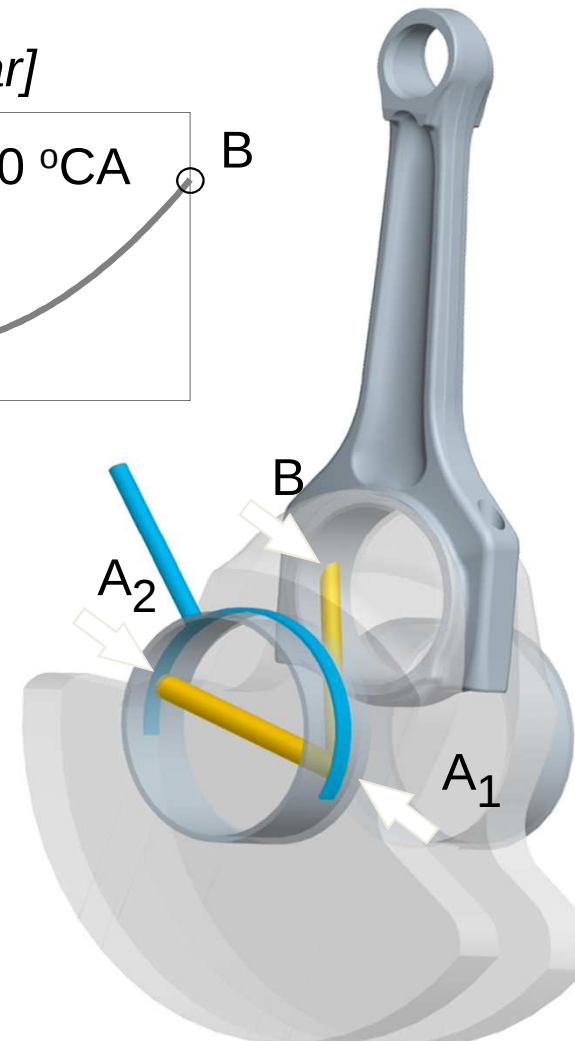
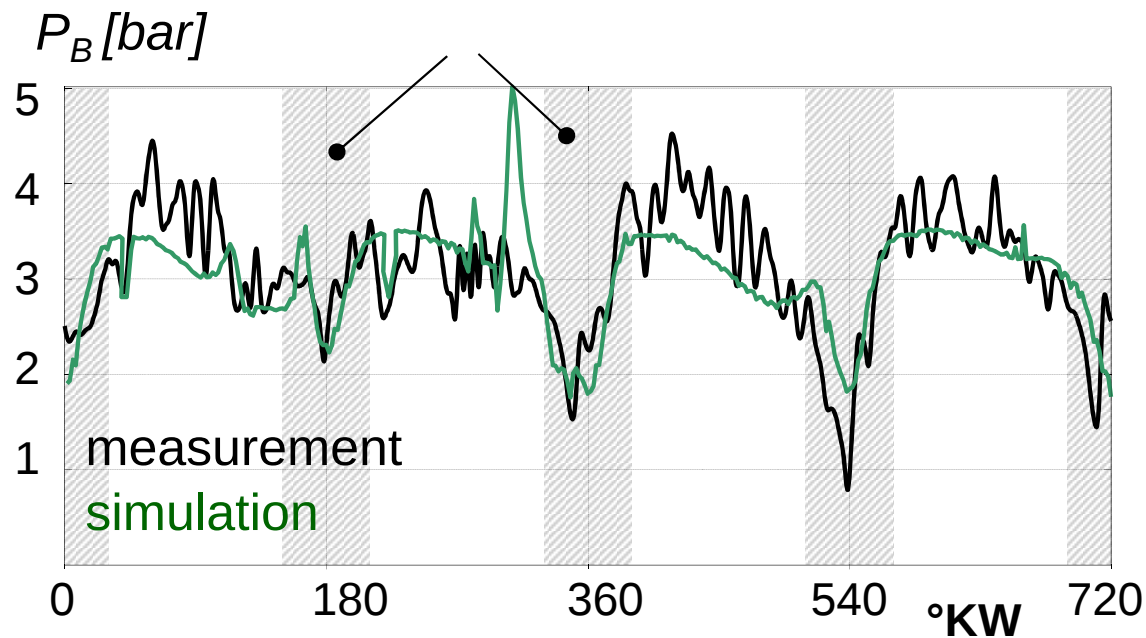
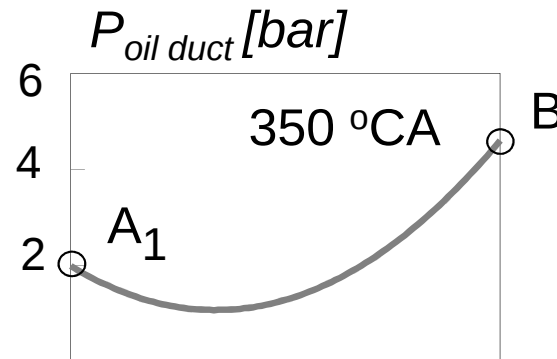
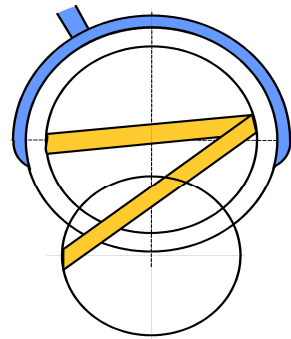


1HL2-2PL2



Direkte vs. Diskrete DSH_{plus}-Kopplung

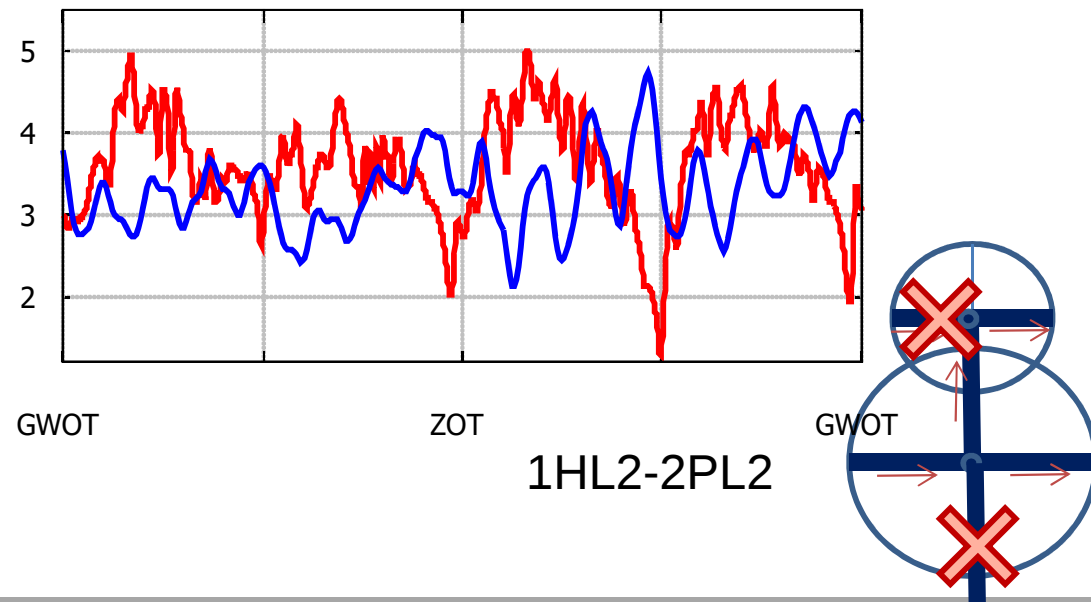
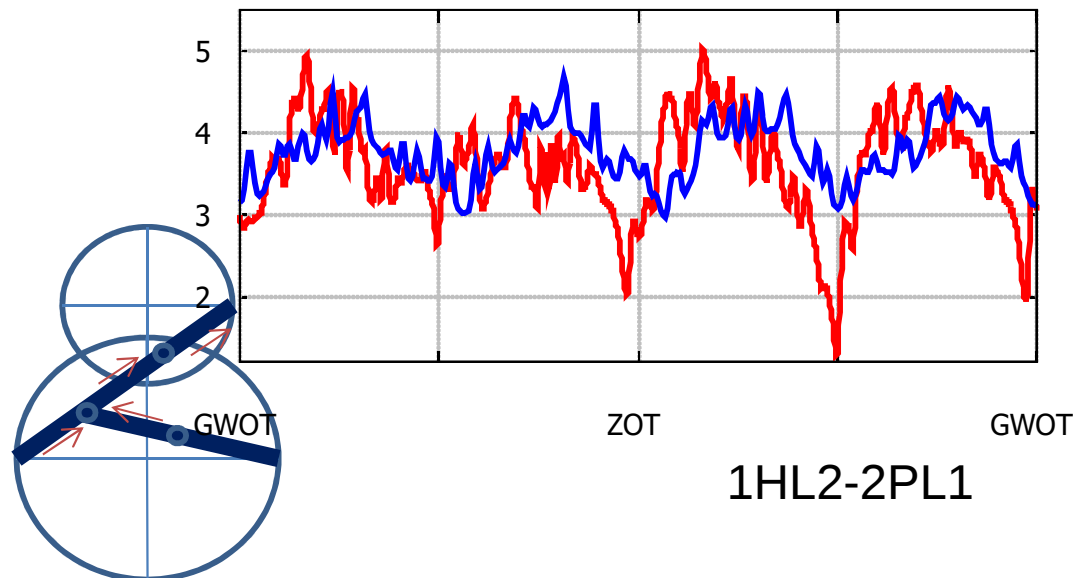
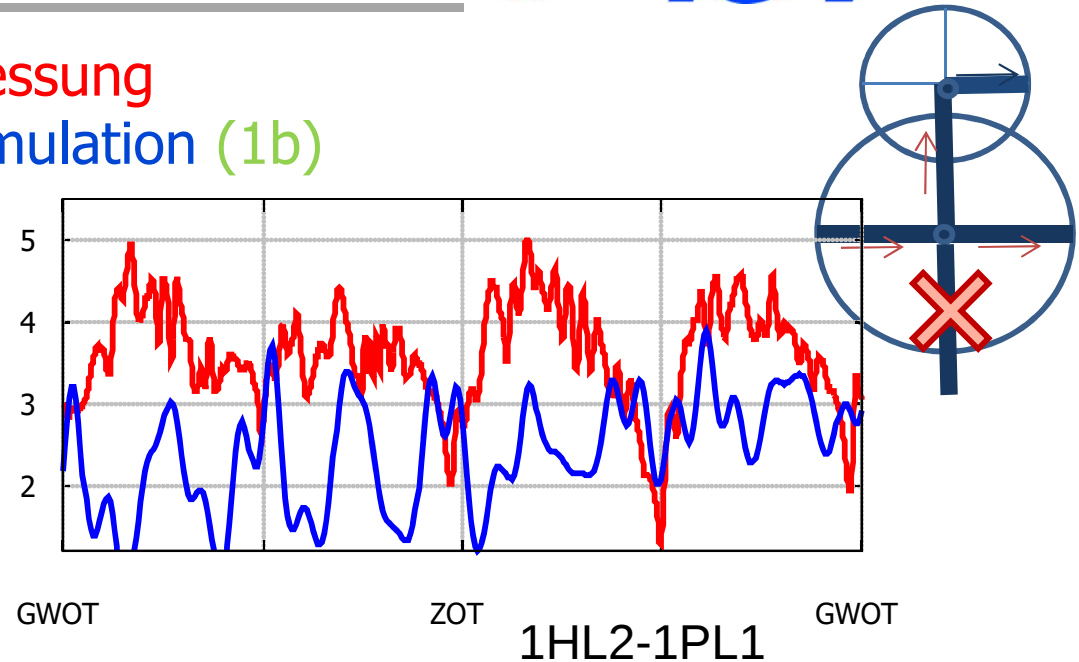
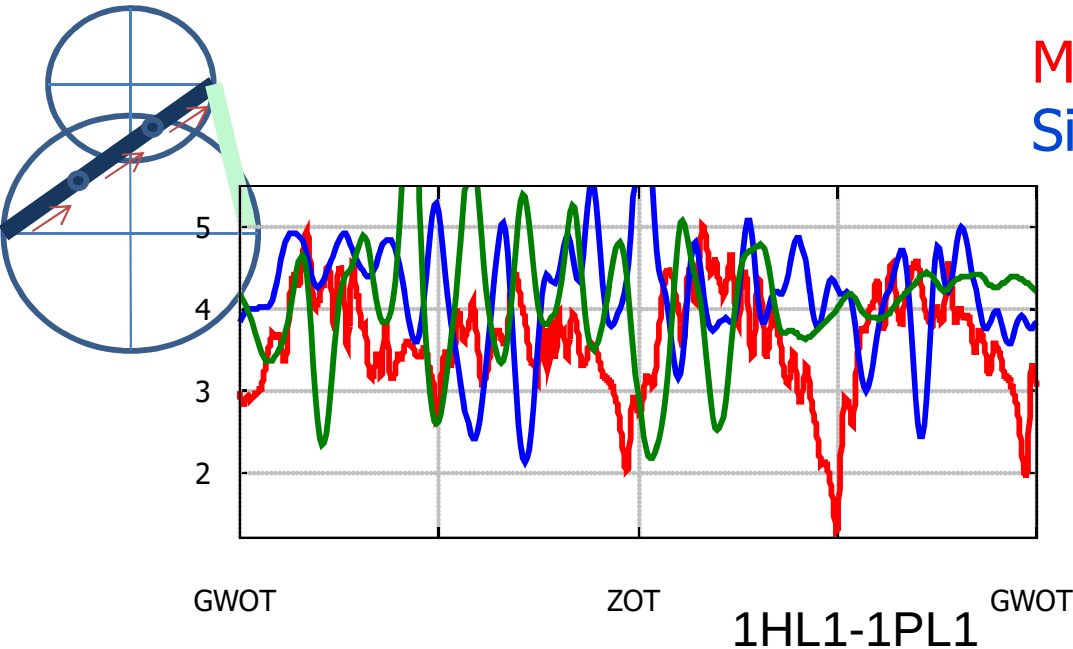
FVV-Vorhaben Ölbedarfsimulation



3000 rpm
8 bar pme

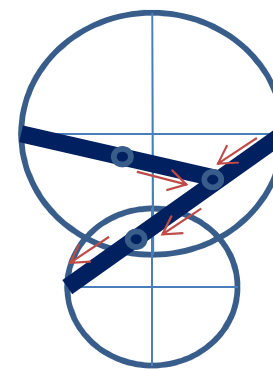
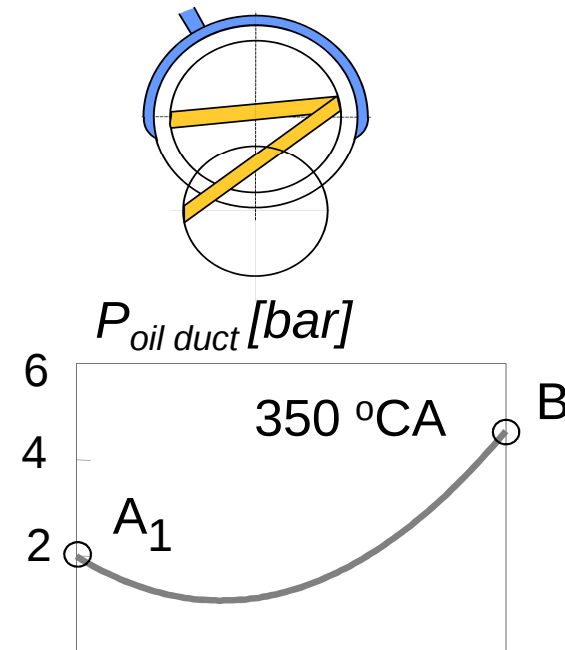
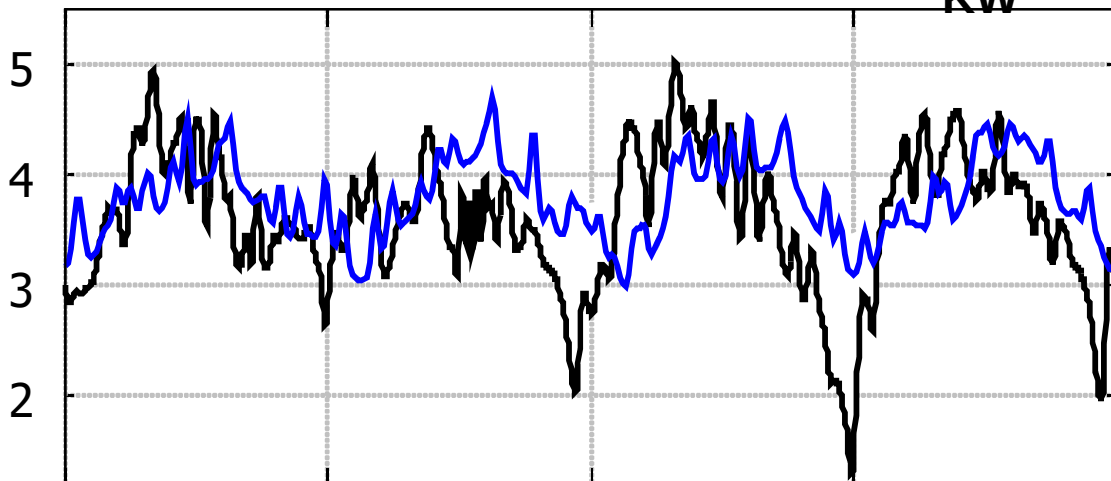
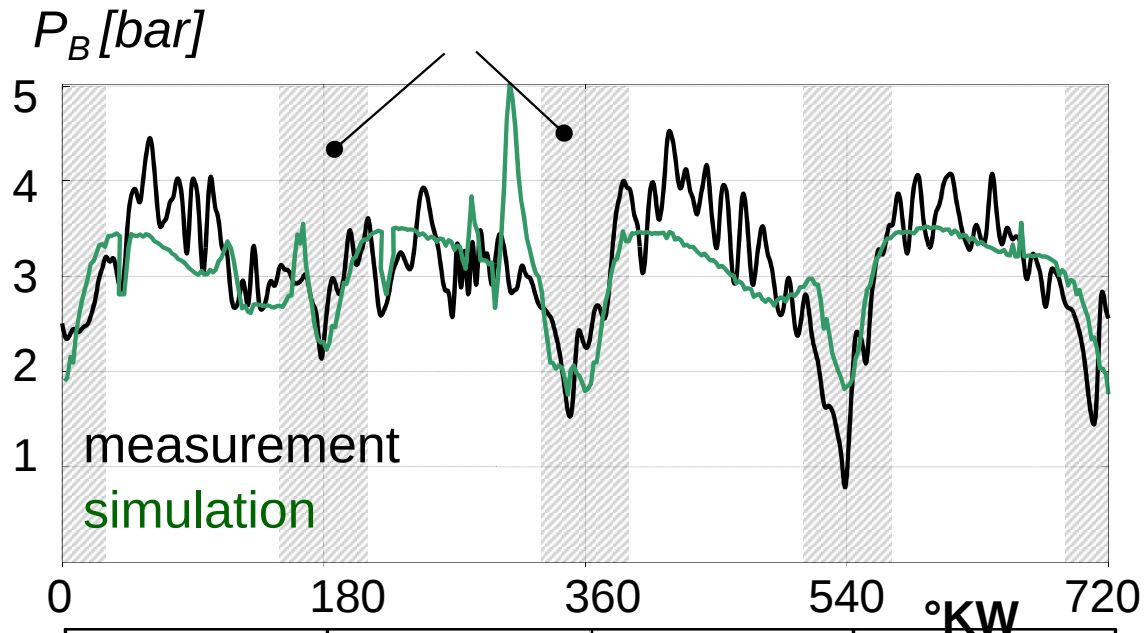
test engine: 2. main / conrod bearing
turbocharged 2.0-l four-cylinder DI diesel engine

Messung
Simulation (1b)



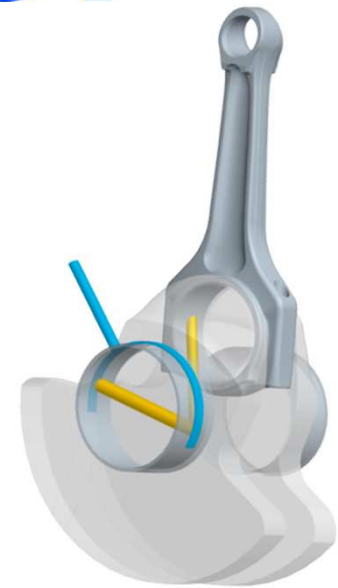
Direkte vs. Diskrete DSHplus-Kopplung

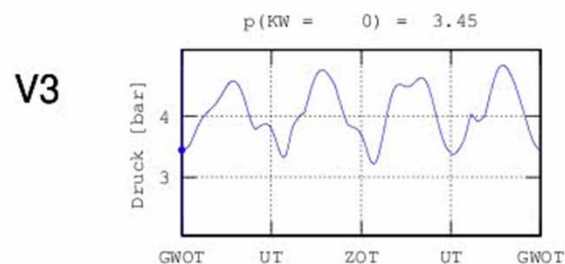
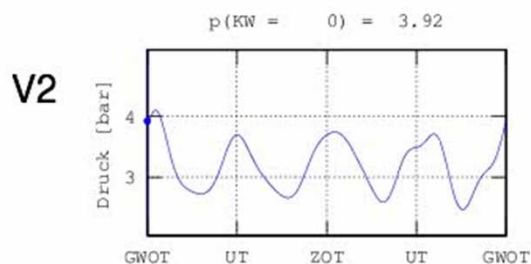
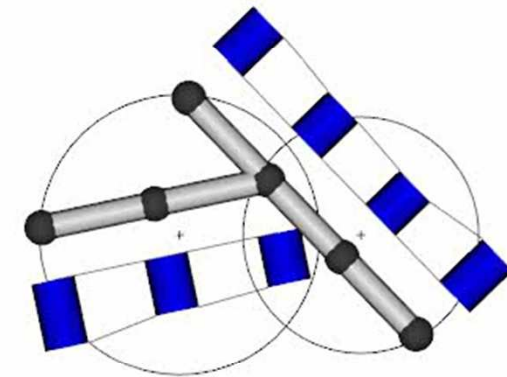
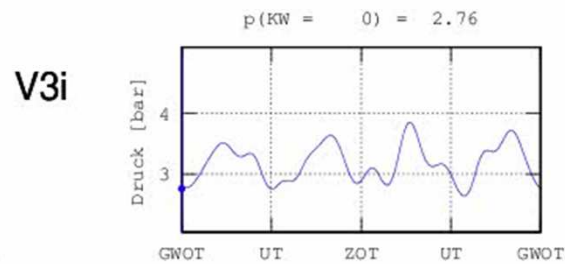
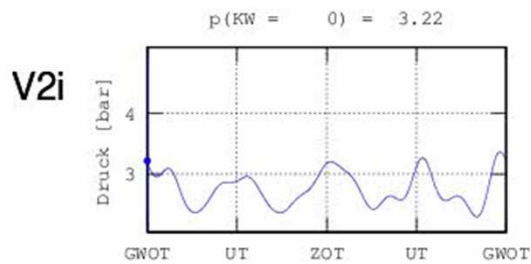
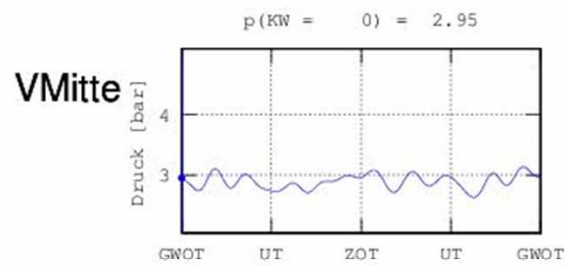
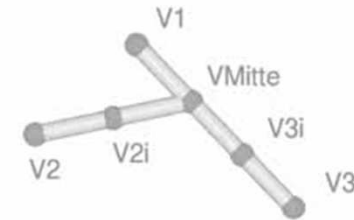
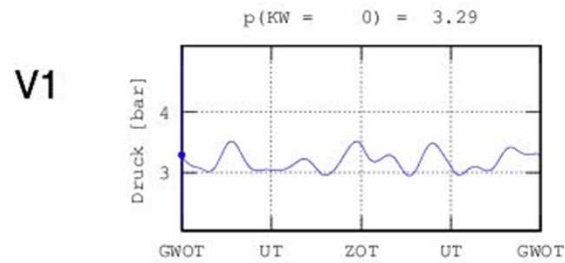
FVV-Vorhaben Ölbedarfsimulation



Schwingungen /
Vorgänge im Ölkanal
werden abgebildet
→ sehr gute
Simulationsgenauigkeit

1HL2-2PL1

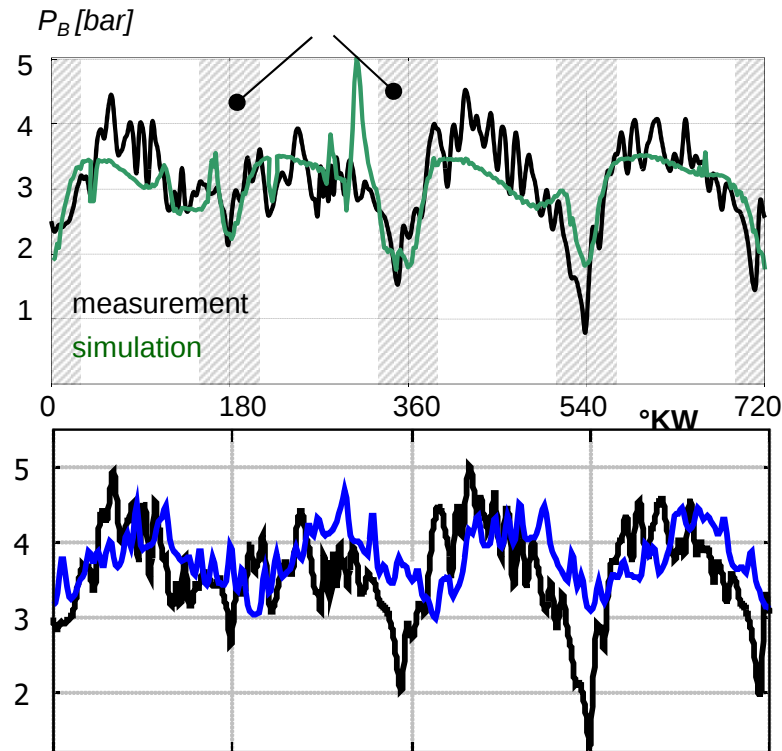
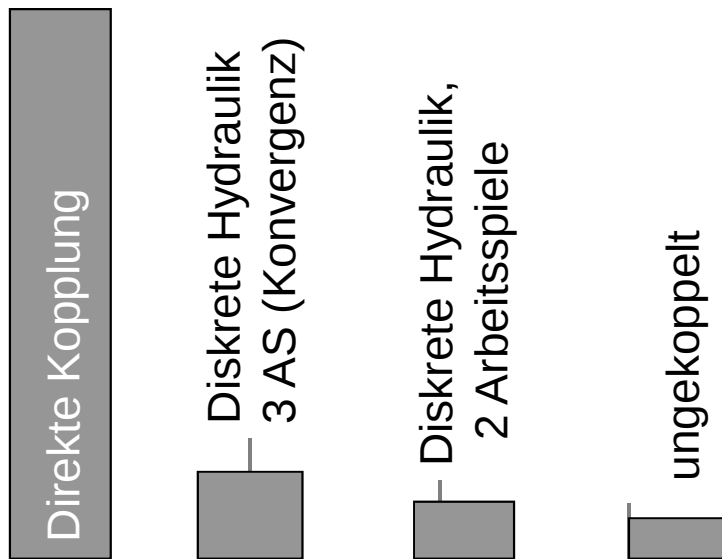




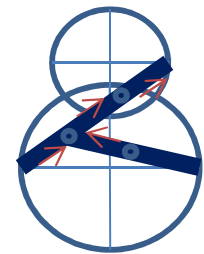
Rechenzeitvergleich

Direkte vs. Diskrete DSH_{plus}-Kopplung

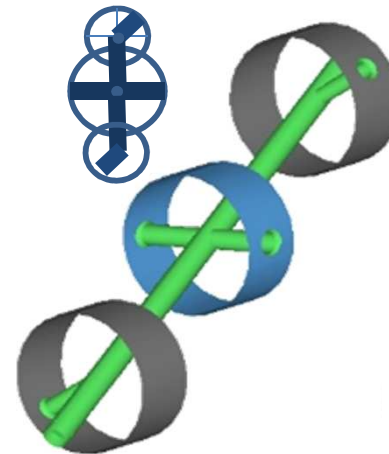
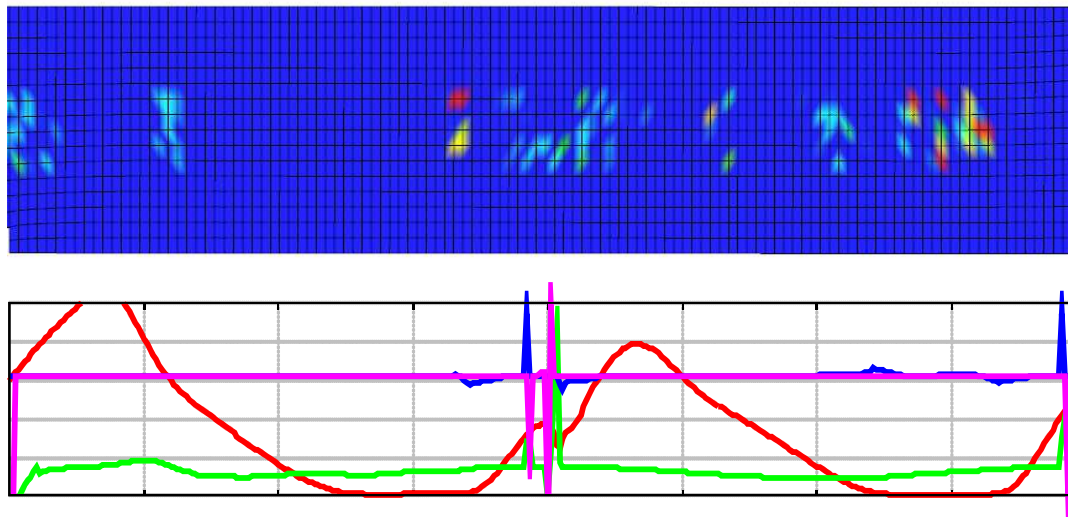
CPU-Zeit



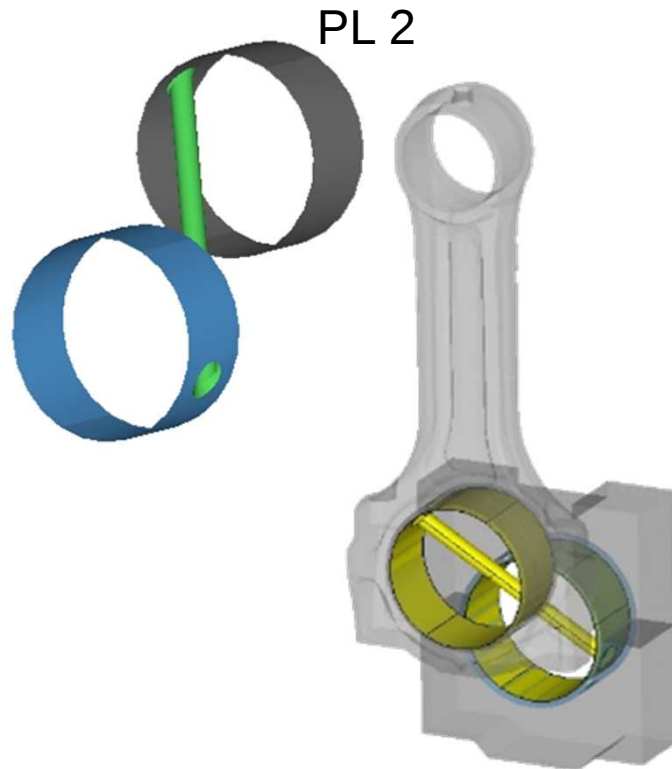
1HL2-2PL1



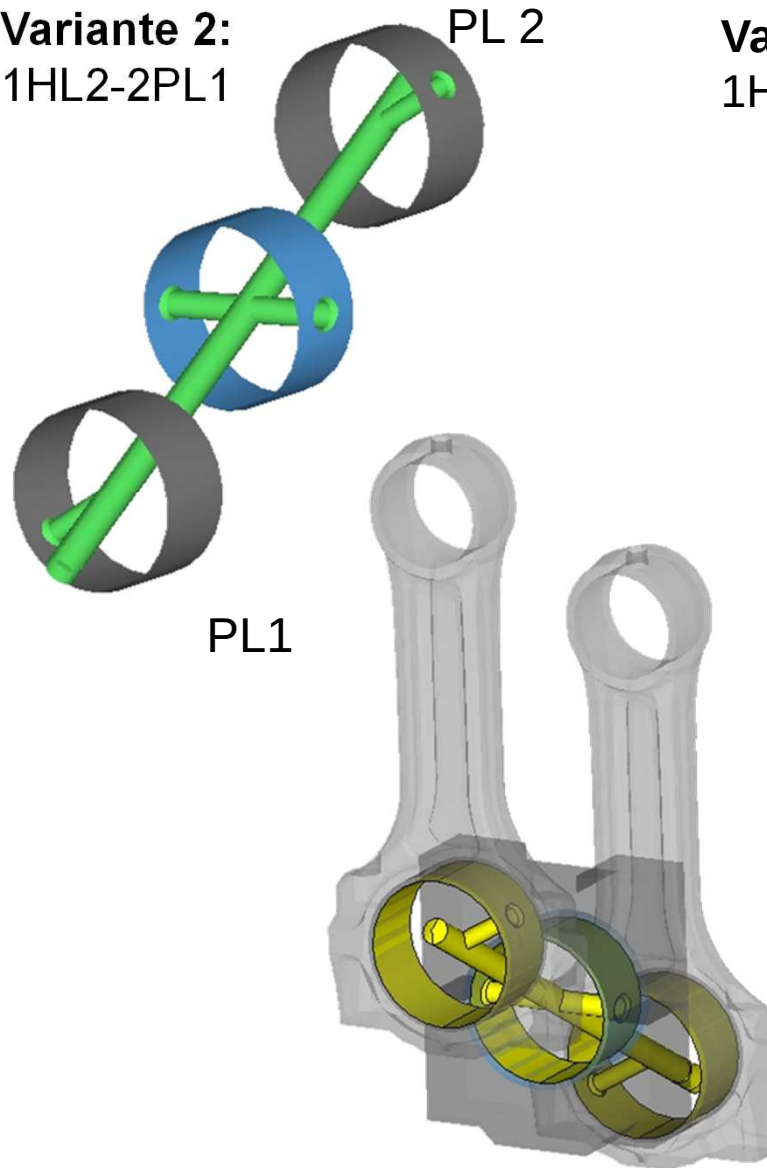
Fallstudie Kavitationsindikatoren



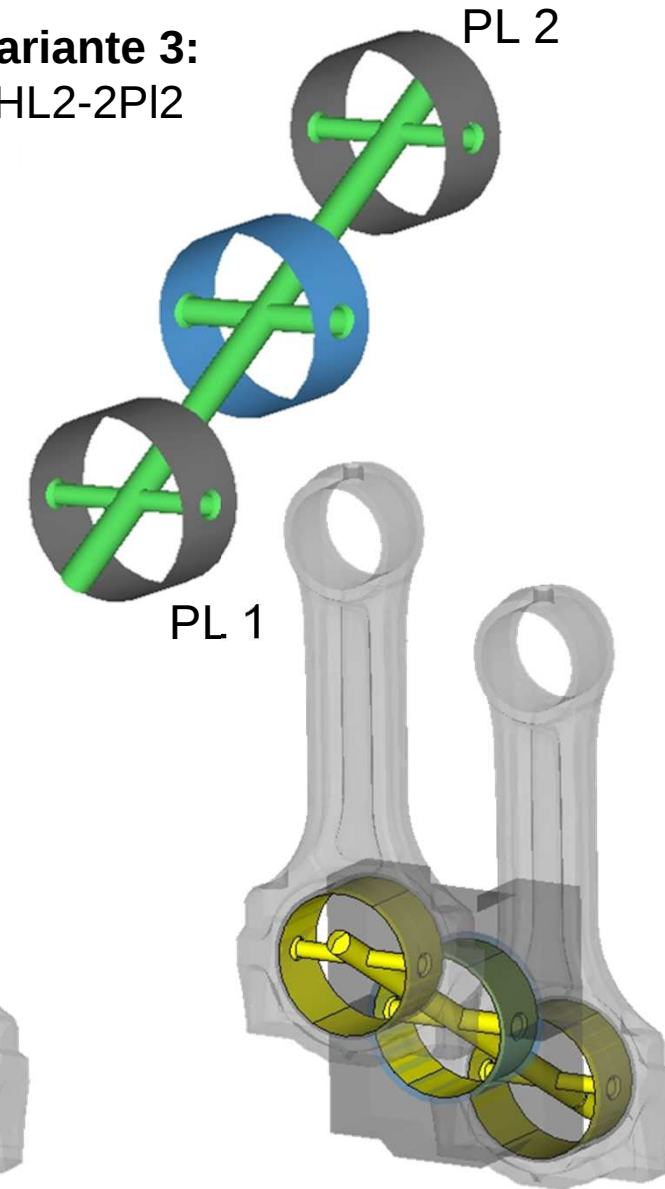
Grund-Variante 1:
1HL1-1PL1



Variante 2:
1HL2-2PL1



Variante 3:
1HL2-2PI2



Kanaldurchmesser

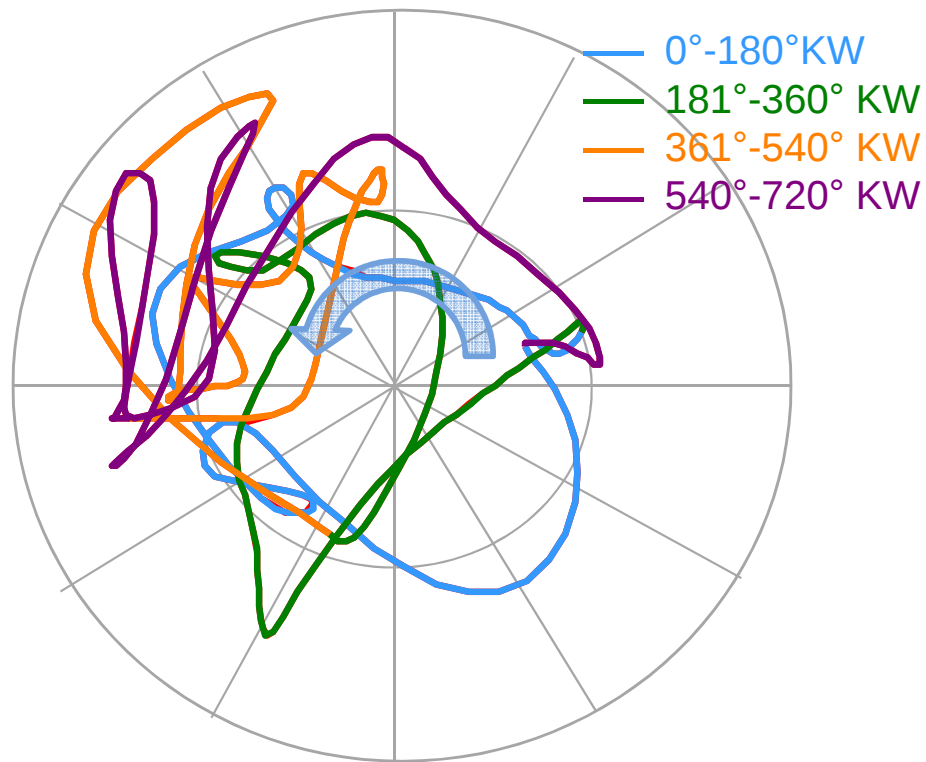
Grundlager: 5 mm

Pleuel 1,2: 4 mm

Rail: 4 mm

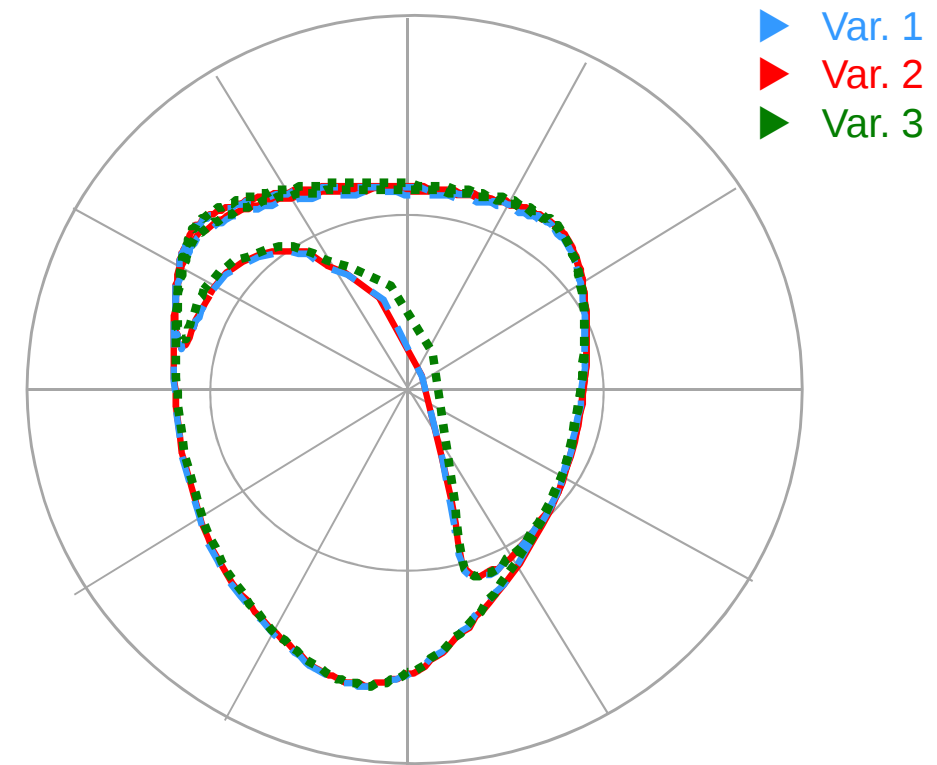
Verlagerungsbahn Hauptlager

- Abweichungen bei unterschiedlicher Ölversorgung der Pleuellvarianten 1,2,3 geringfügig!

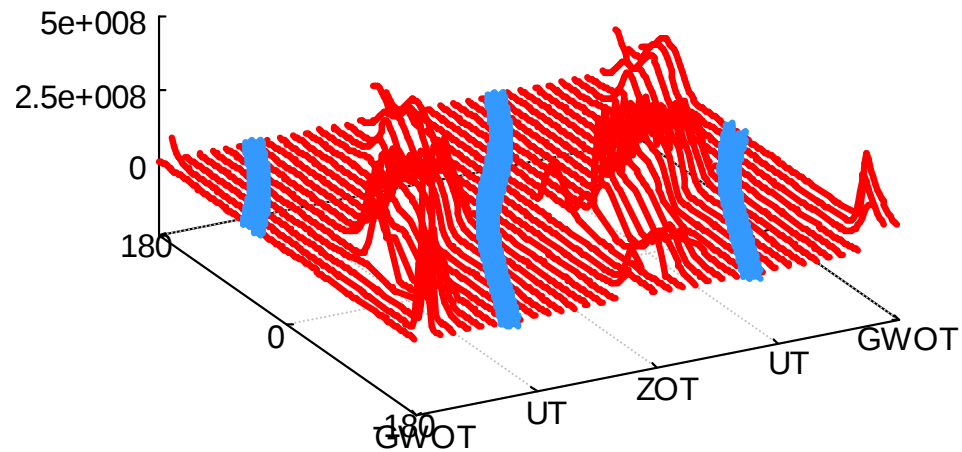


Verlagerungsbahn Pleuellager Var. 1,2,3

- Abweichungen bei unterschiedlicher Ölversorgung

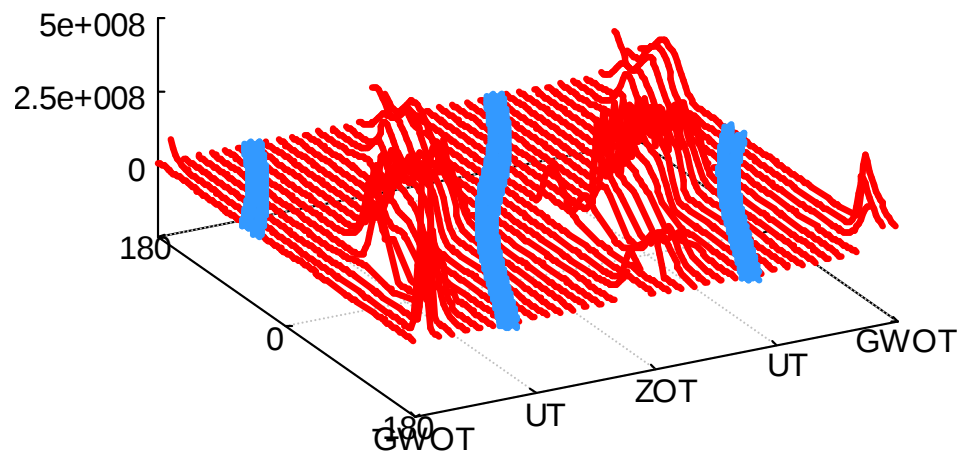


► Var. 1

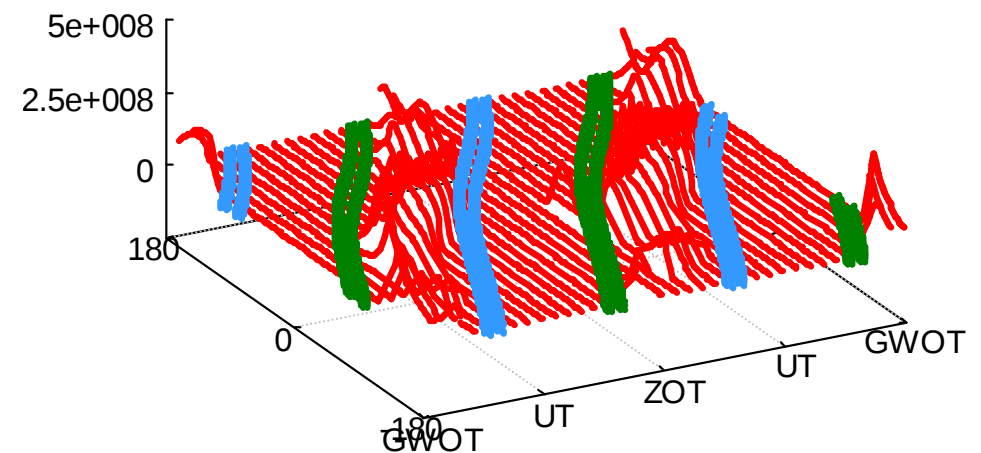


► Bohrung 1
► Bohrung 2

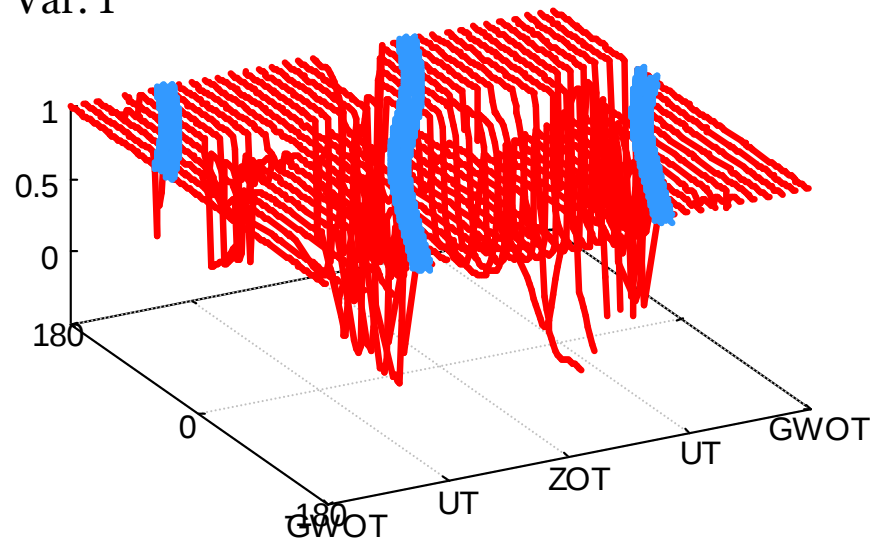
► Var. 2



► Var. 3

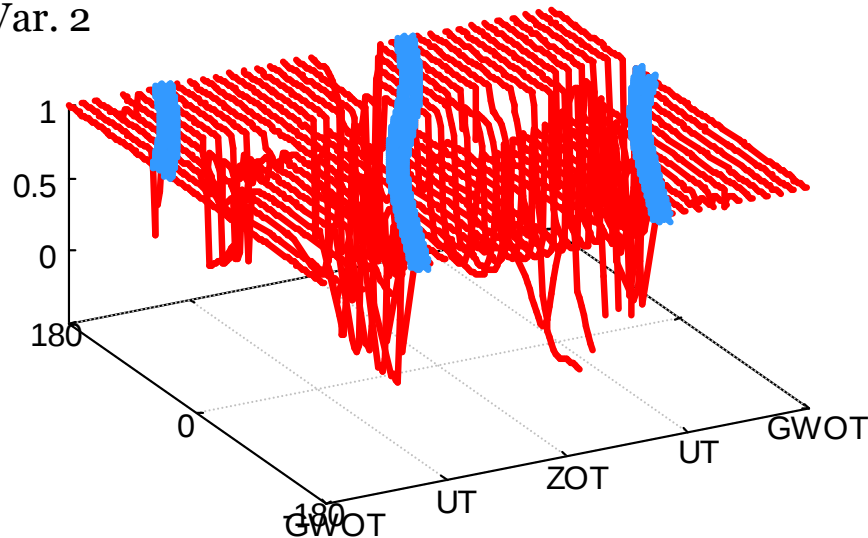


► Var. 1

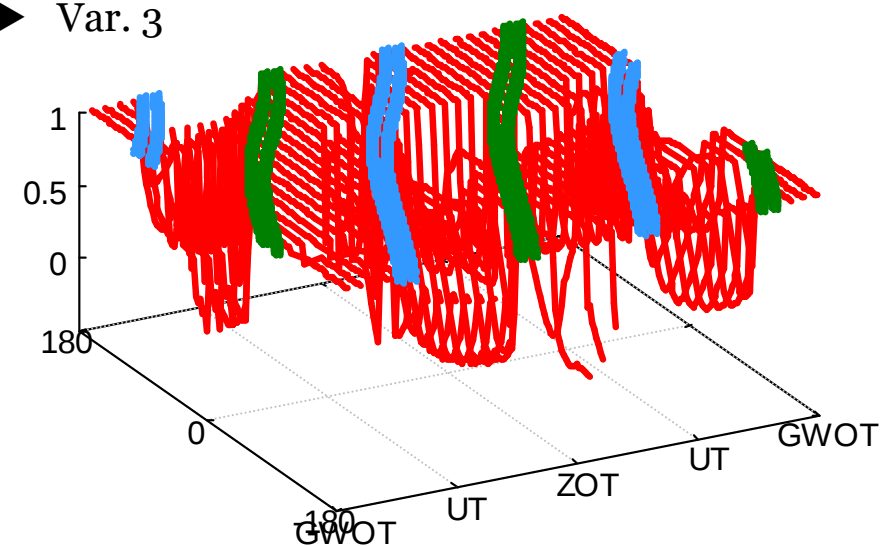


► Bohrung 1
► Bohrung 2

► Var. 2

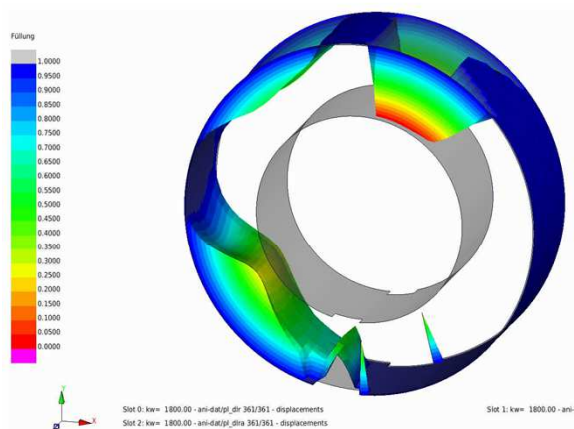


► Var. 3

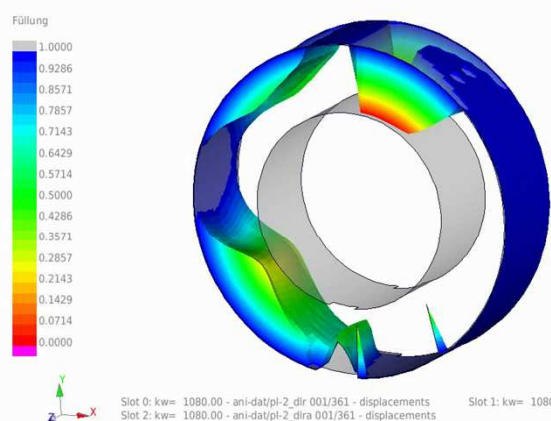


Lokale Dichteverteilung Pleuel

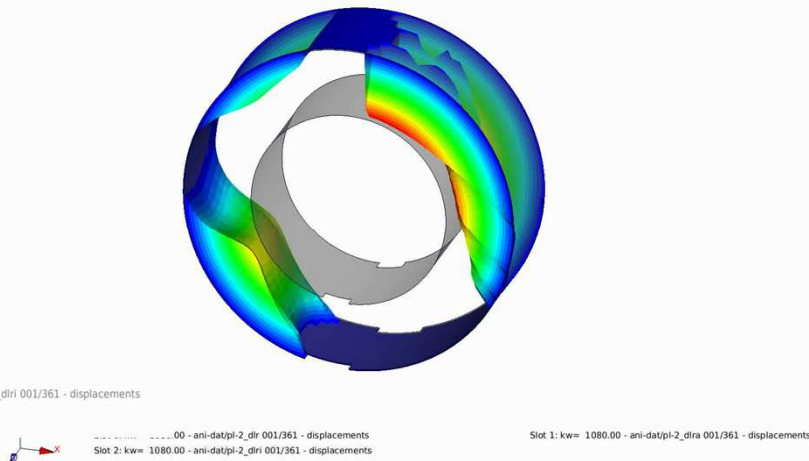
Var. 1 1HL1-1PL1



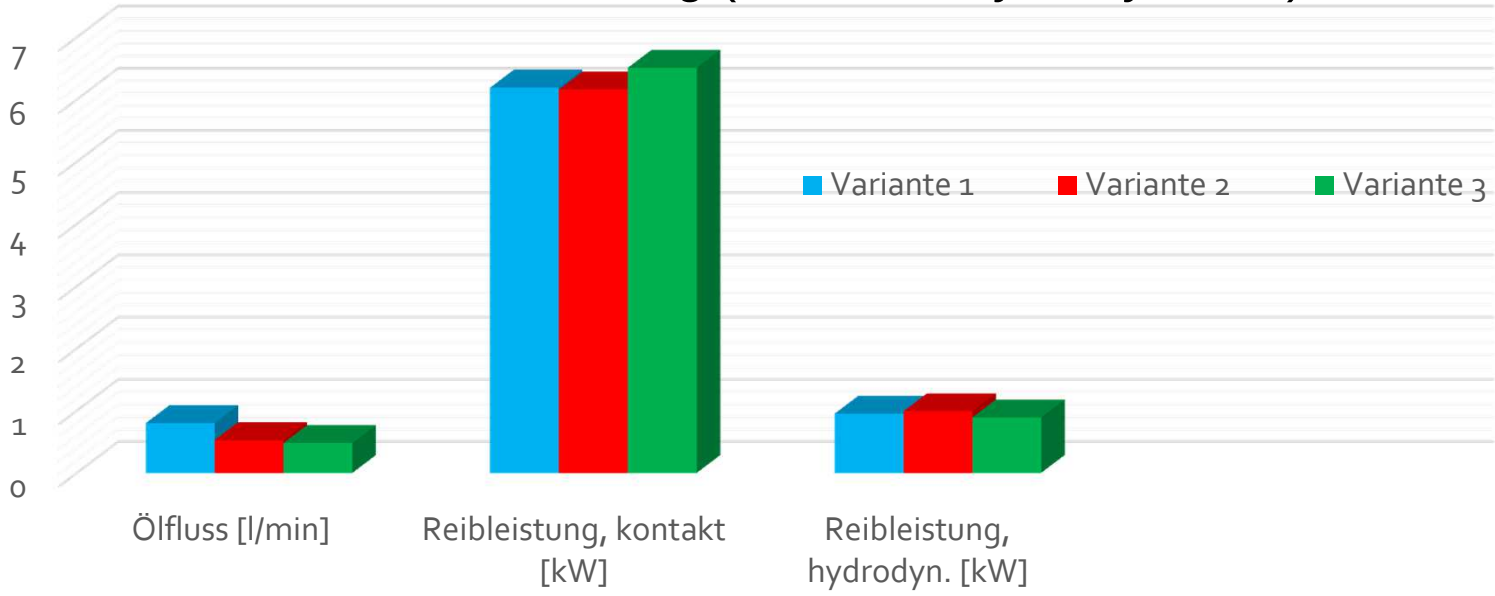
Var. 2 1HL2-2PL1



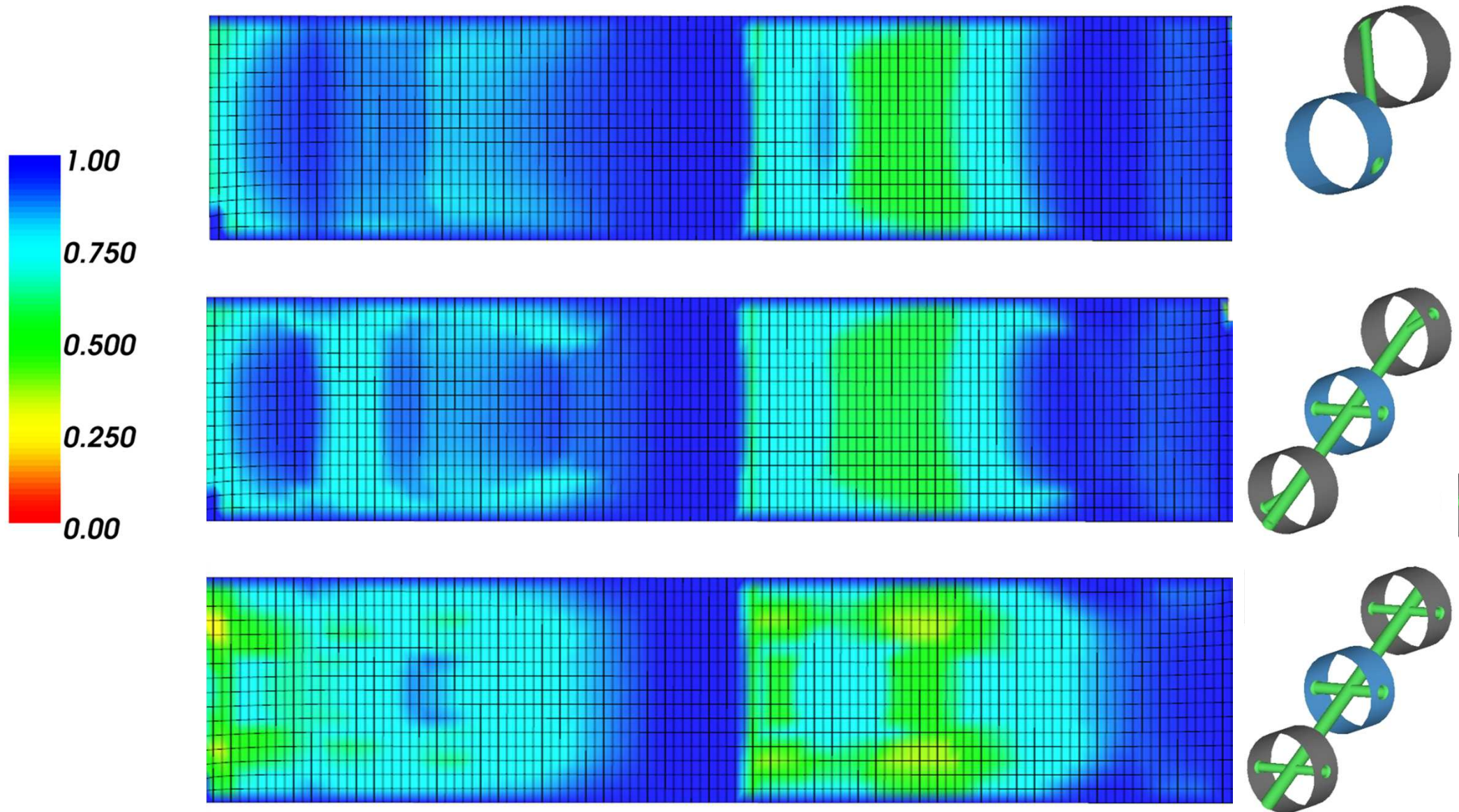
Var. 3 1HL2-2PL2

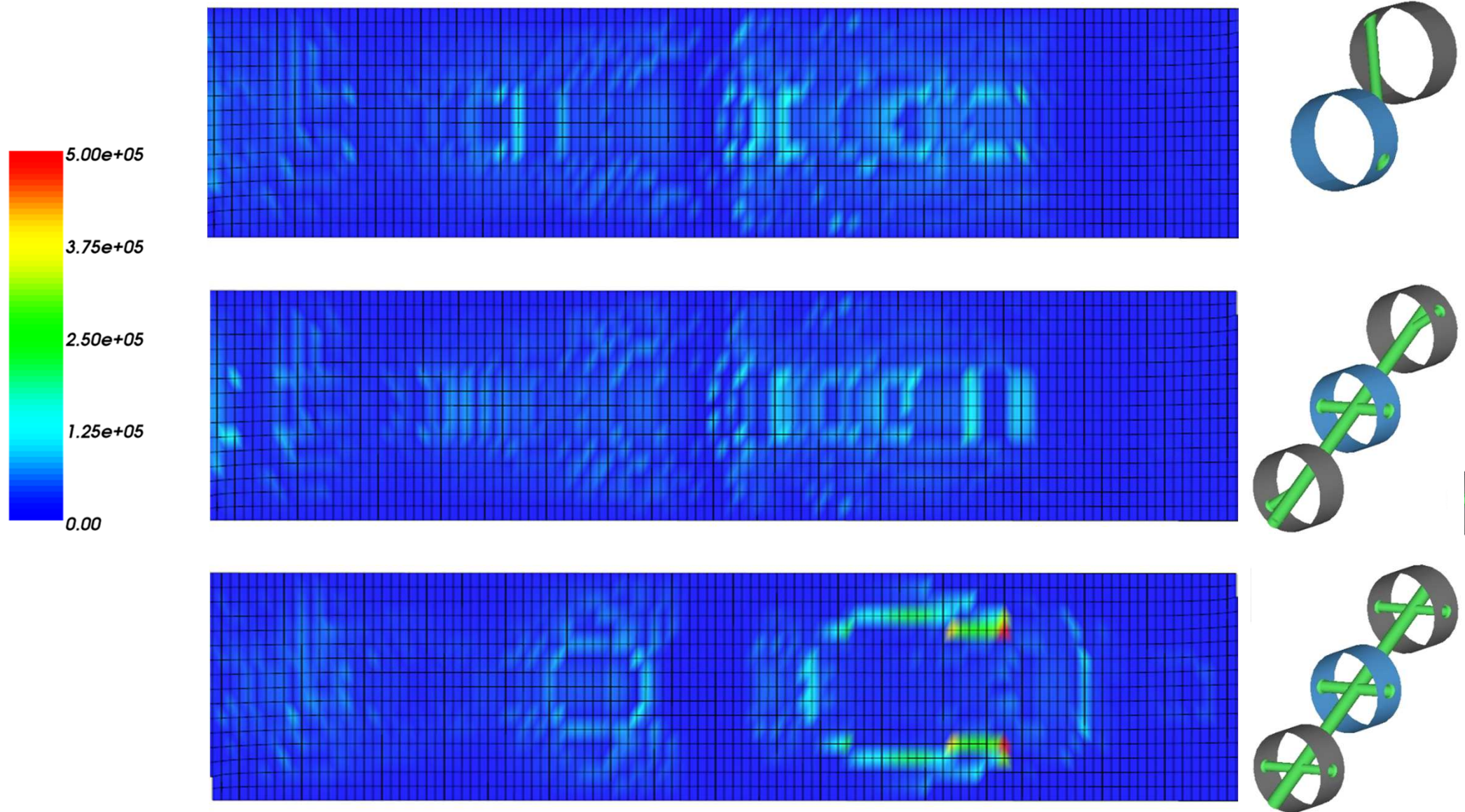


Ölfluss und Reibleistung (Kontakt / Hydrodynamik)



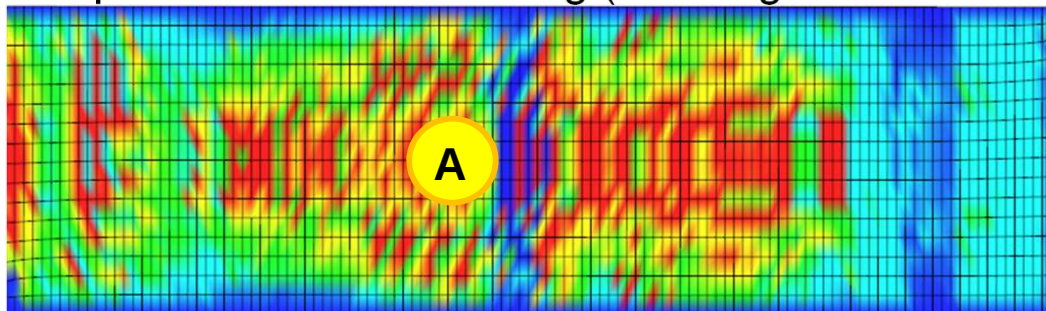
Var. 3 mit geringerer Ölfüllung des Pleuellagers durch die Bohrungslagen führt zu erhöhter Kontaktreibleistung





Entwicklung Kavitationsindikator Strömungskavitation

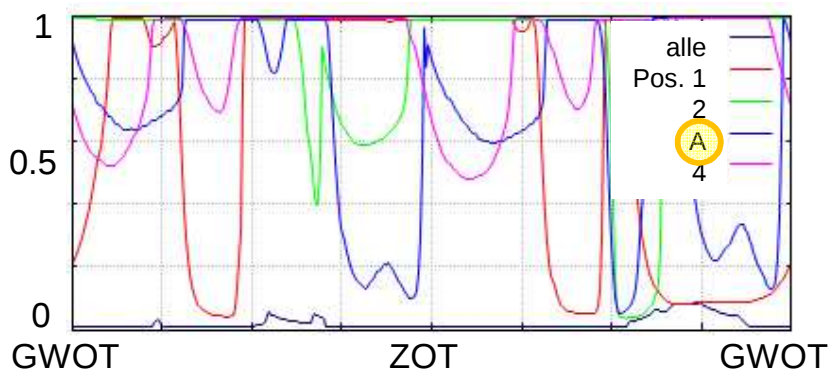
Max. positive Dichteänderung (orts aufgelöst für ein AS)



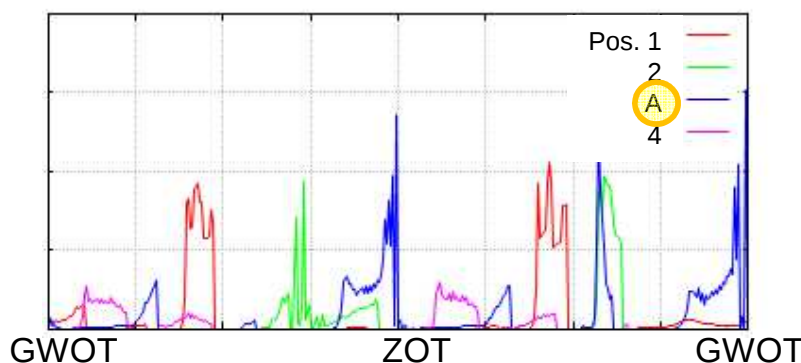
positive Dichteänderung liefert Indikator für schnelles Schließen des Schmierfilms

Gefahr eines Kavitationsschadens in Kombination mit hoher Strömungsgeschw. und ggf. Spaltöffnung

Minimale Spaltfüllung (zeitaufgelöst)

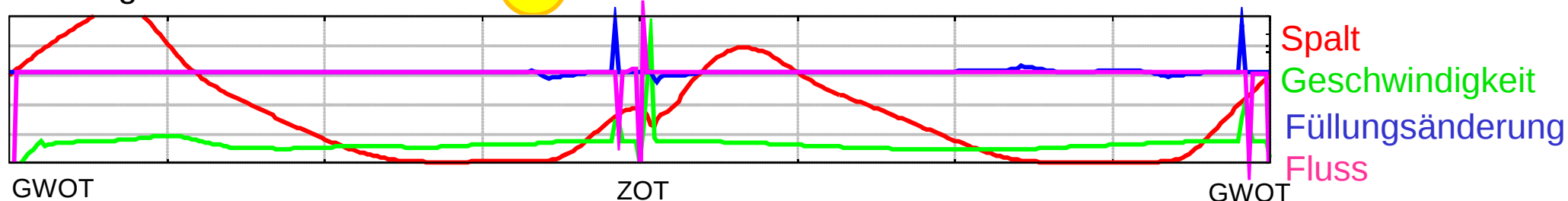


Max. Füllungsgeschwindigkeit (zeitaufgelöst)



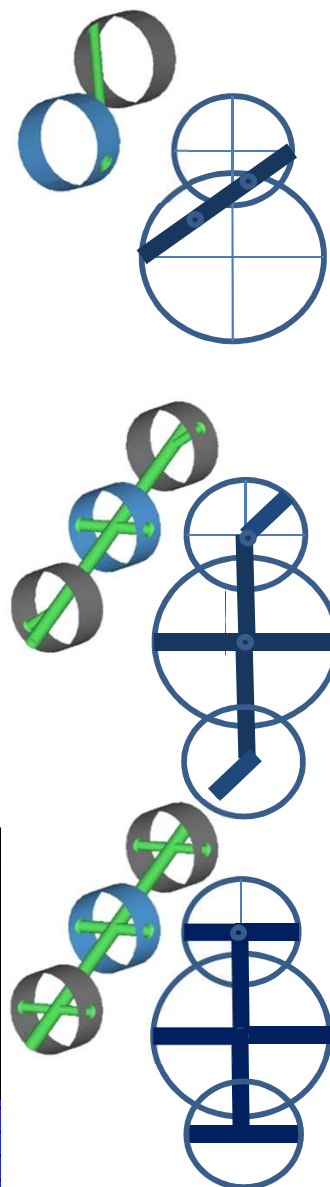
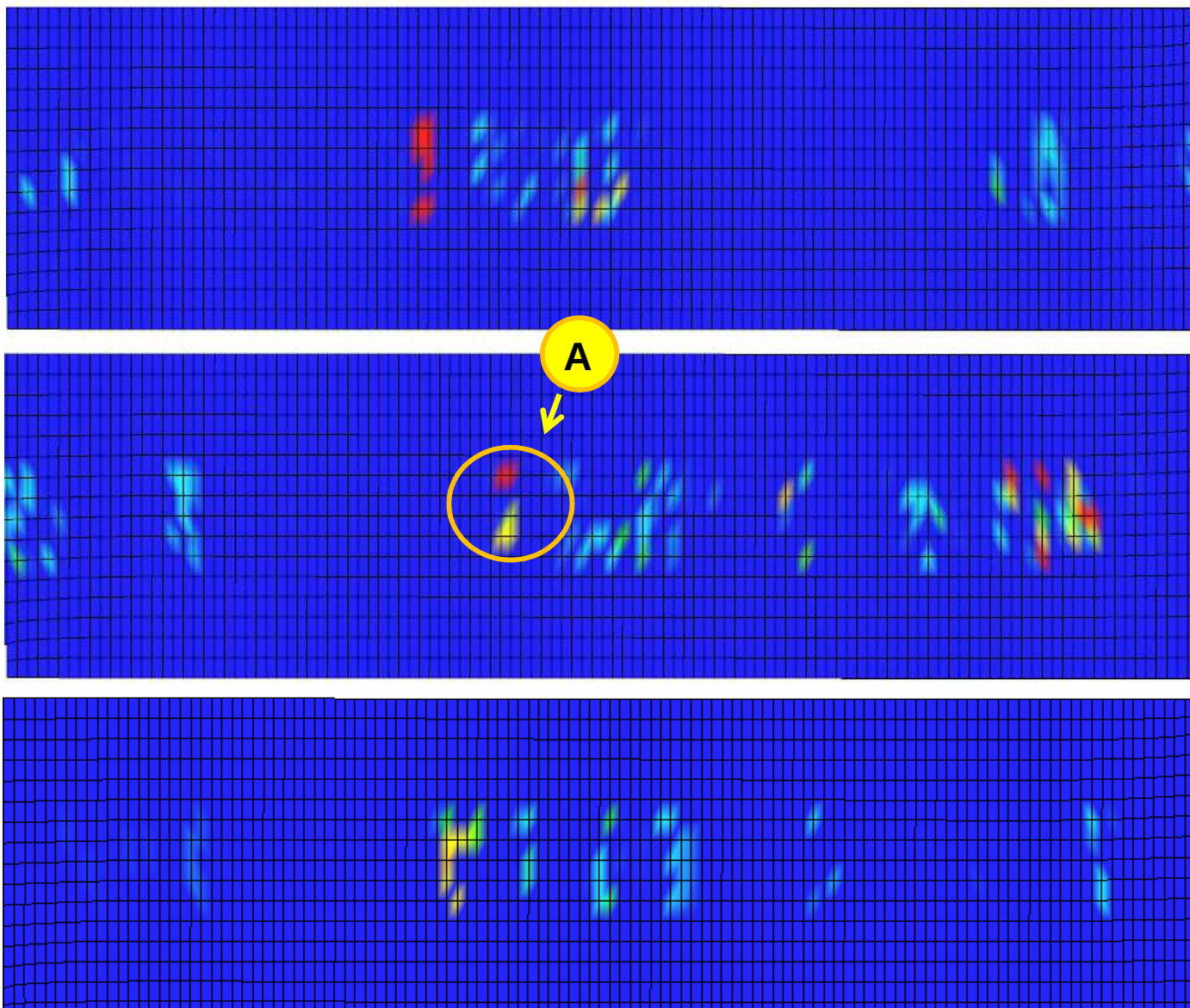
Auswertung orts- und zeitaufgelöst notwendig!

Zeitaufgelöste Größen Position **A**



Kavitationsindikator Strömungskavitation

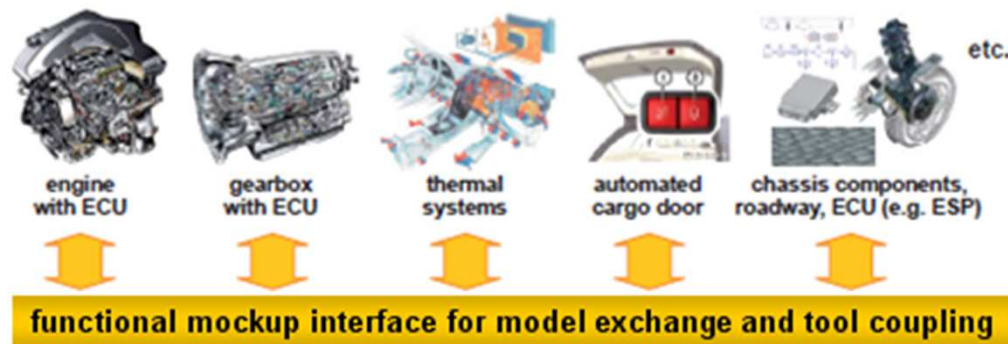
pos. Spaltfüllungsgeschw. * Schmierölfluss * Strömungsgeschw.



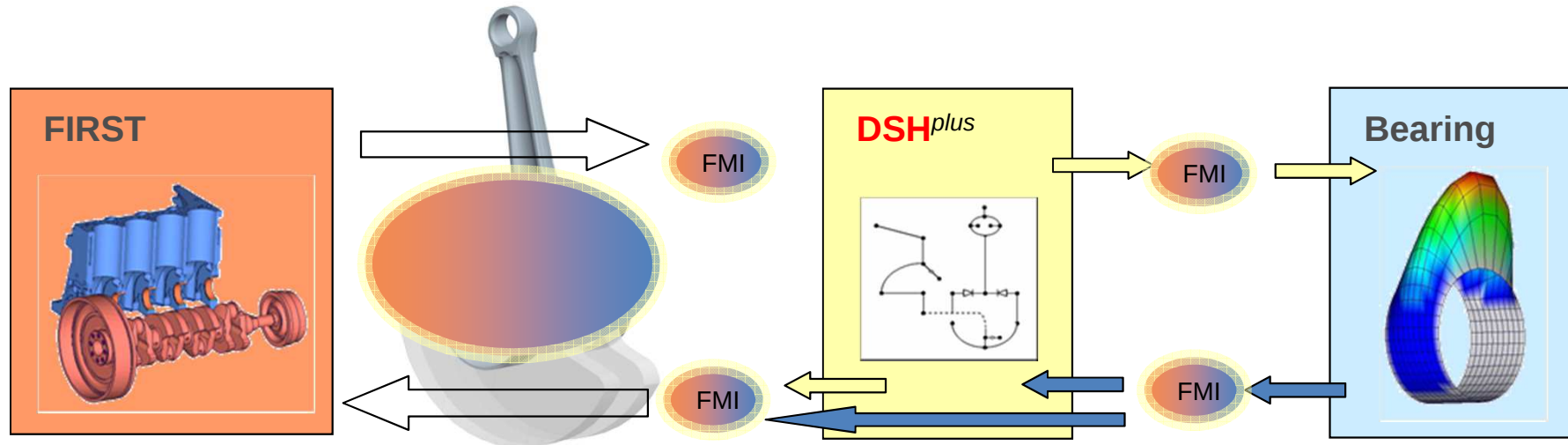
Lokal ermittelter Gefahrenbereich muss mit zeitl. Verlauf der Spaltweite abgeglichen werden.

Im untersuchten Beispiel zeigt sich sehr gute Korrelation mit aufgetretenem Kavitations-schaden.

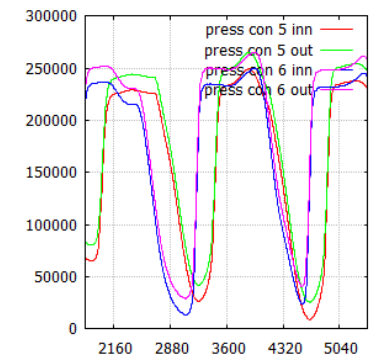
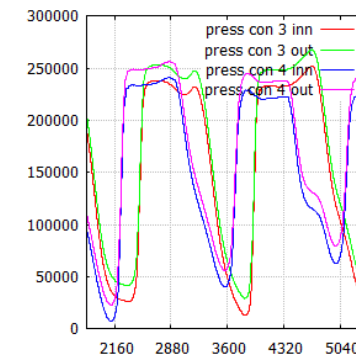
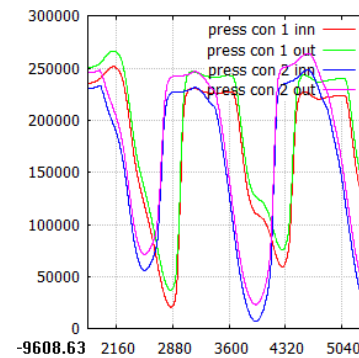
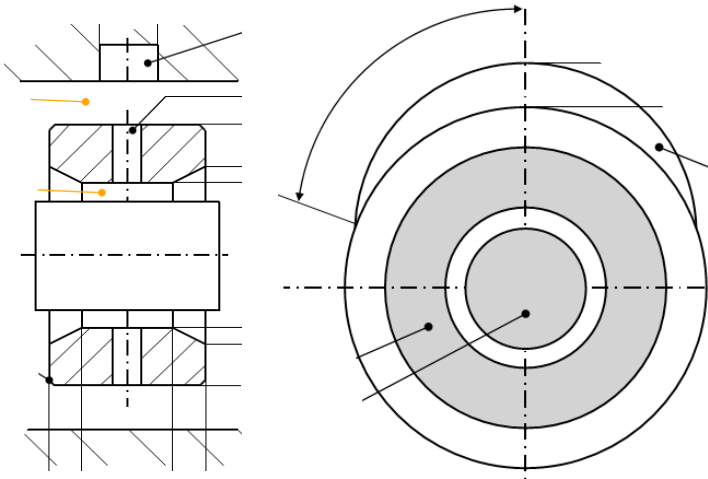
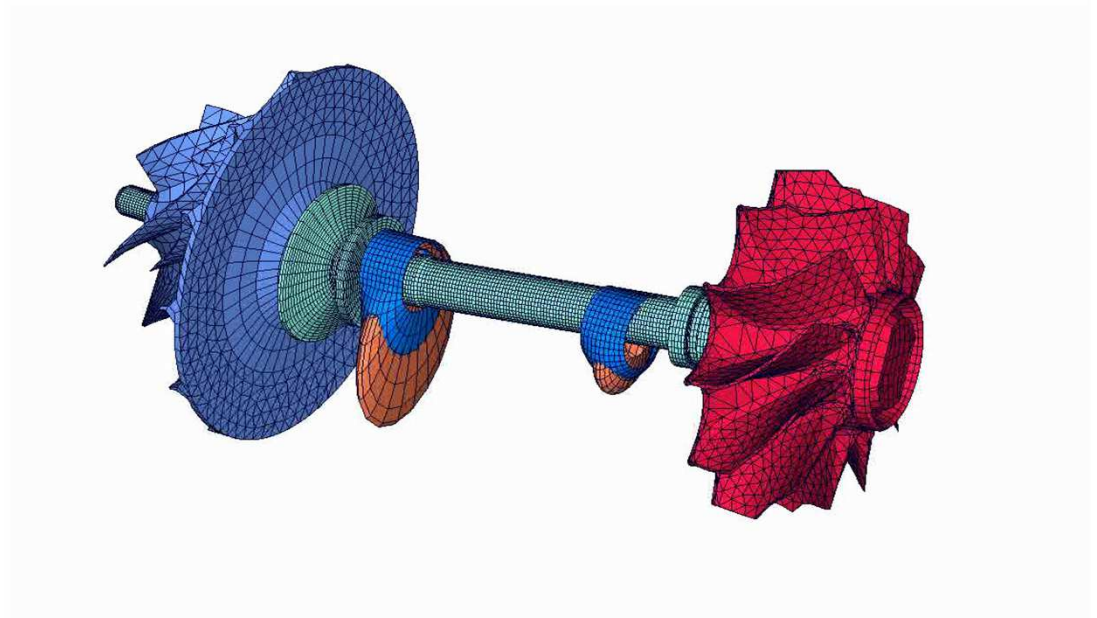
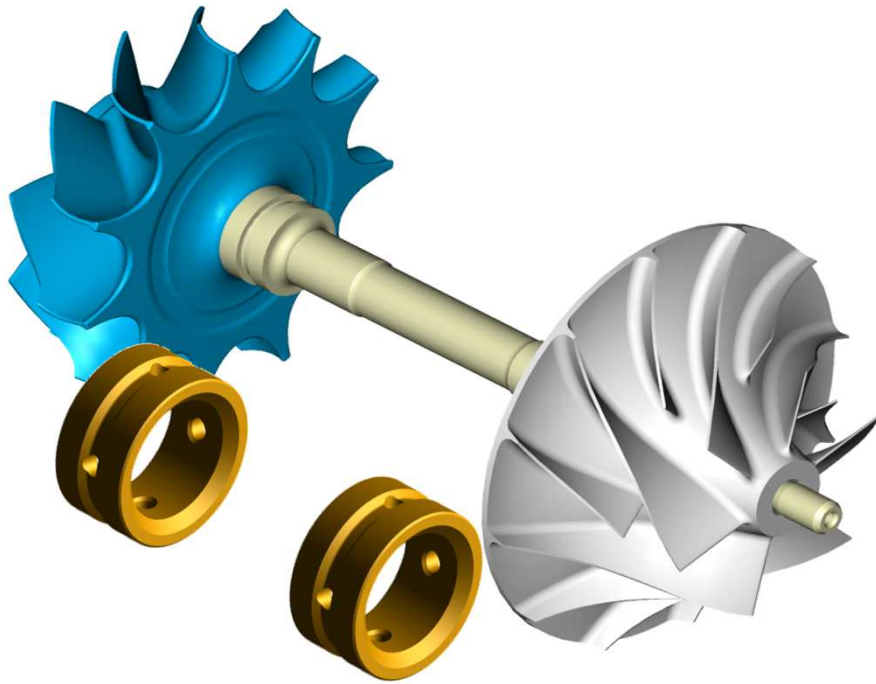
Aktuelle Entwicklung: Functional Mock-up Interface

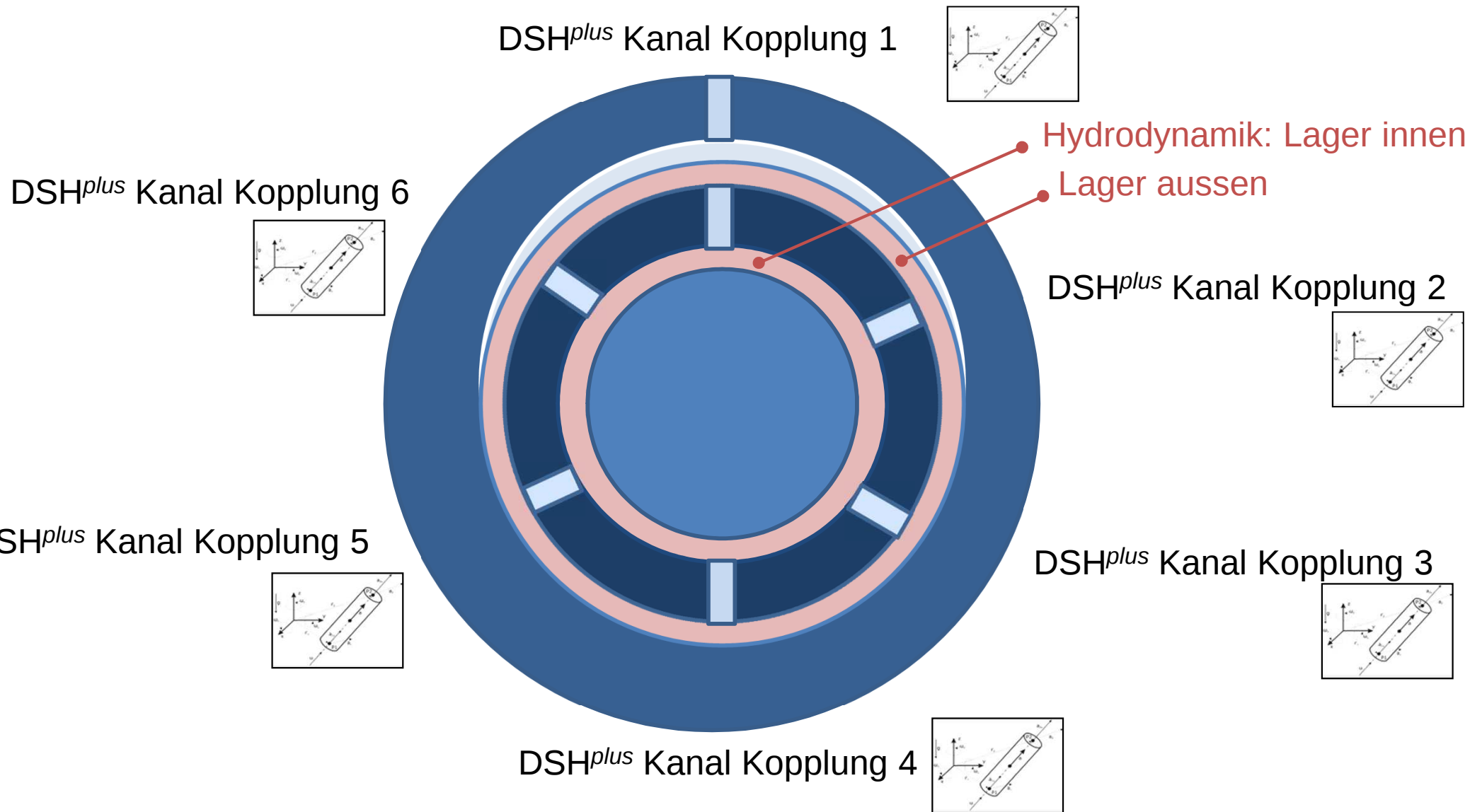


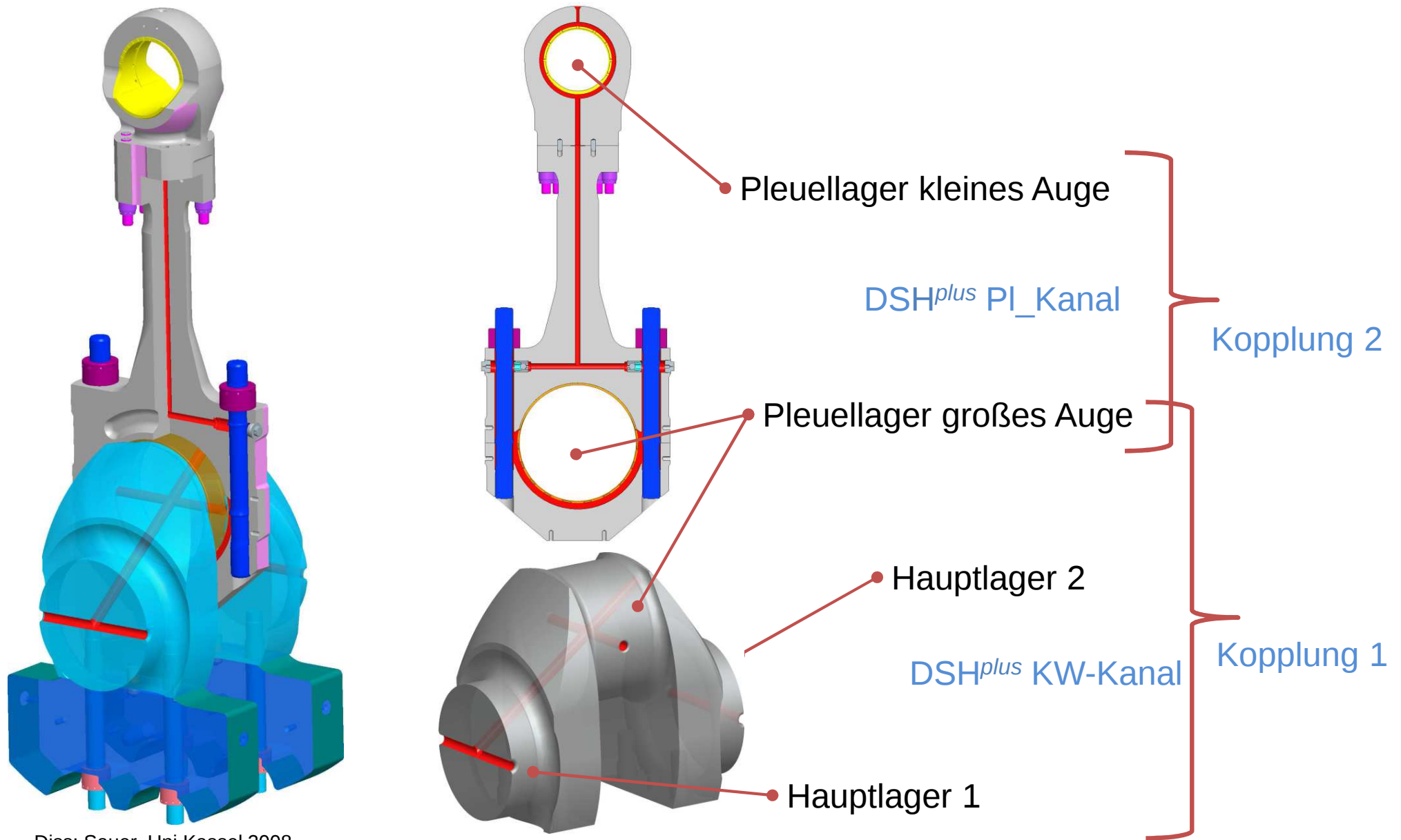
„Das **Functional Mock-up Interface** (oder FMI) definiert eine standardisierte Schnittstelle, mit deren Hilfe verschiedene Simulationssoftware gekoppelt werden können“



- Standard zum Export / Import dynamischer Modelle für Co-Simulation (CO) oder Model Exchange (ME)
- Modelldefinitionen / -parameter werden über XML-File ausgetauscht
- Einbindung des Modells als Library
- Bedatung und Aufruf über standardisierte Calls
- Initialisierung unterschiedlicher Modelle in beliebigen Instanzen
- Dynamisches Linken der Modelle während der Laufzeit



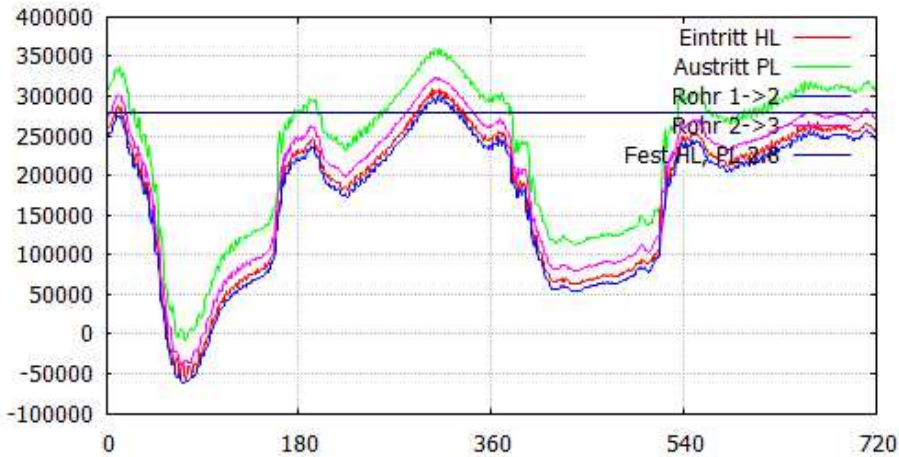




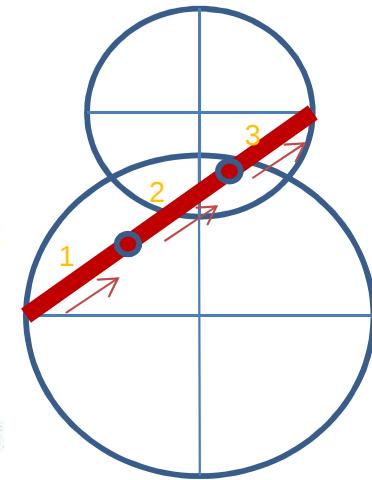
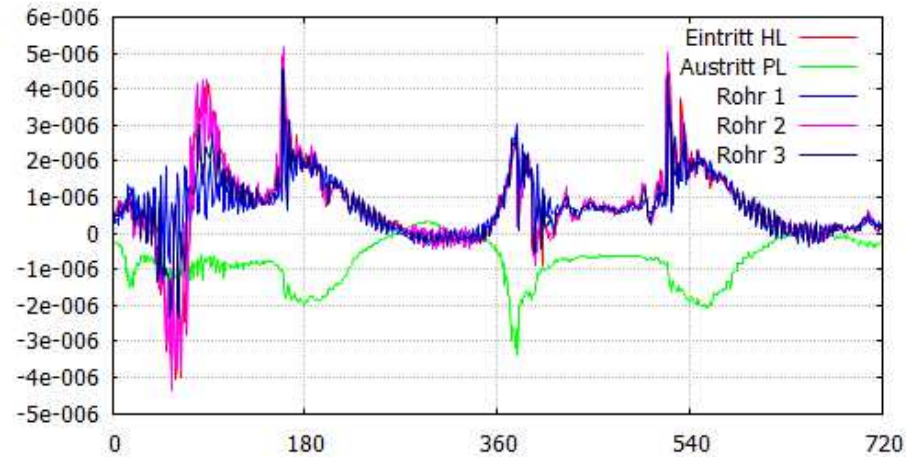
Diss: Sauer, Uni Kassel 2008

Versorgung großes Pleuelauge über 140°-Nut im Hauptlager und direkten I-Ölkanal zum Pleuellager

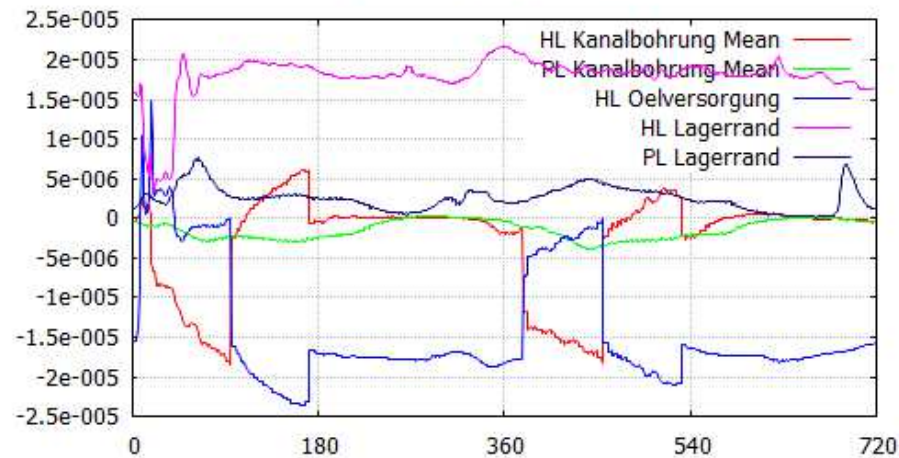
Drucke [N/m²] DSH Teilfuellung



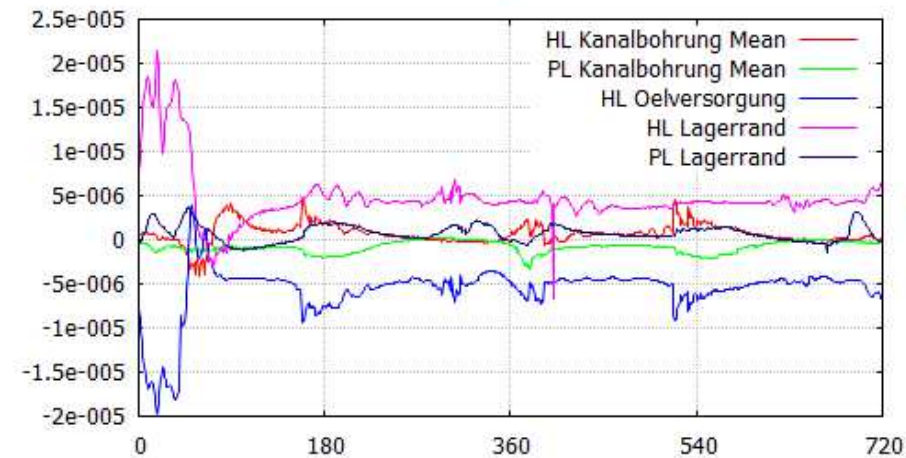
Fluesse [m³/s]

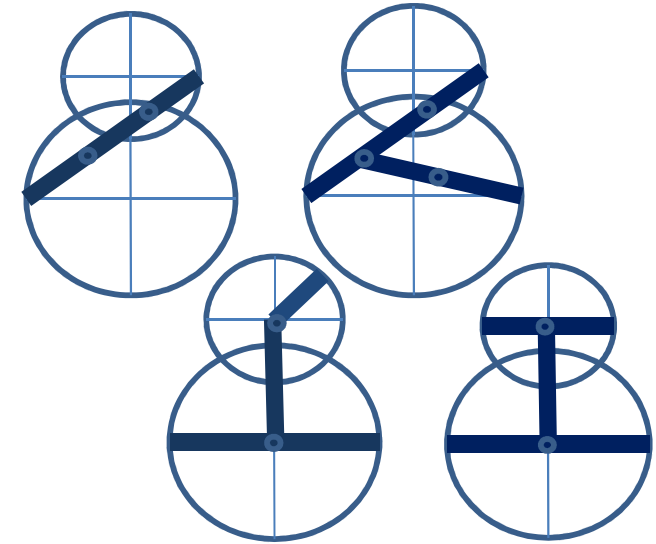
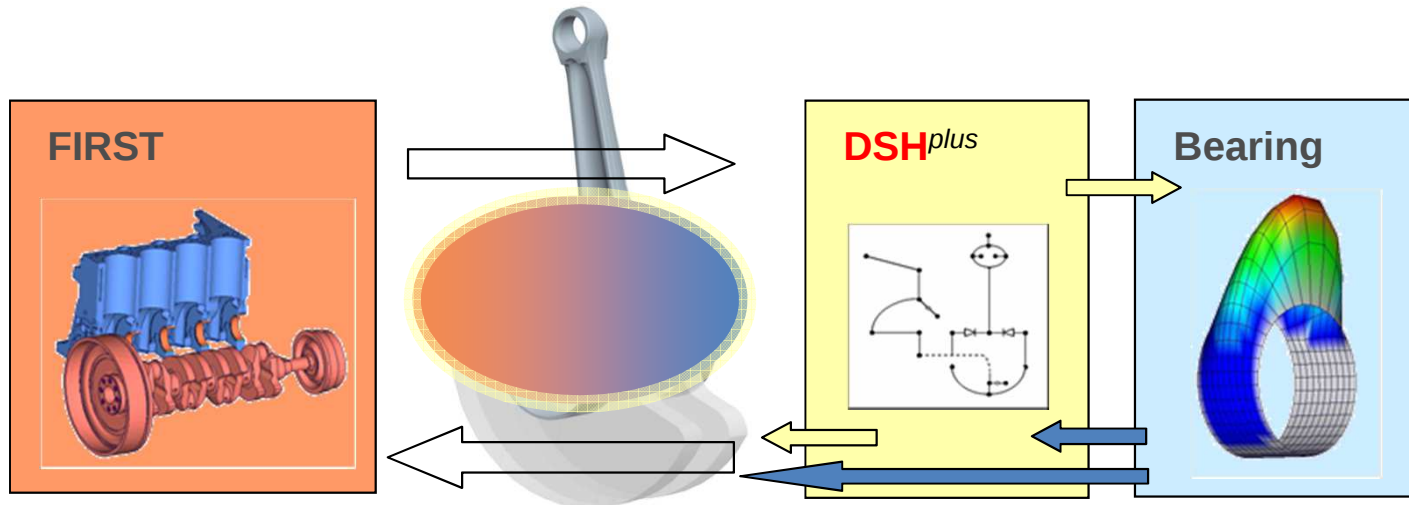


Fluesse [m³/s] ungekoppelt



Fluesse [m³/s]





- o DSH^{plus} Modell in FIRST mit verschiedenen Kanalgeometrie Modellen
- o dynamisches Verhalten im Versorgungskanal verifiziert
- o Kavitationsindikator Strömungskavitation ermöglicht simulationstechnische Prognose
- o Modelle, Öldaten geometrisch parametrisierbar
- o Anbindung FIRST-Lager in Kombination mit Umstellung auf FMI-Schnittstelle

Erste Erfahrungen FMI-Anbindung:

- o Flexible Modelleinbindung ermöglicht
- o Mit angepassten Startbedingungen laufen die gekoppelten System sehr gut zusammen (kaum Simulationszeit-erhöhung)
- o Einfache Erweiterung Modellbibliothek ohne zusätzlichen Einbindungsaufwand