

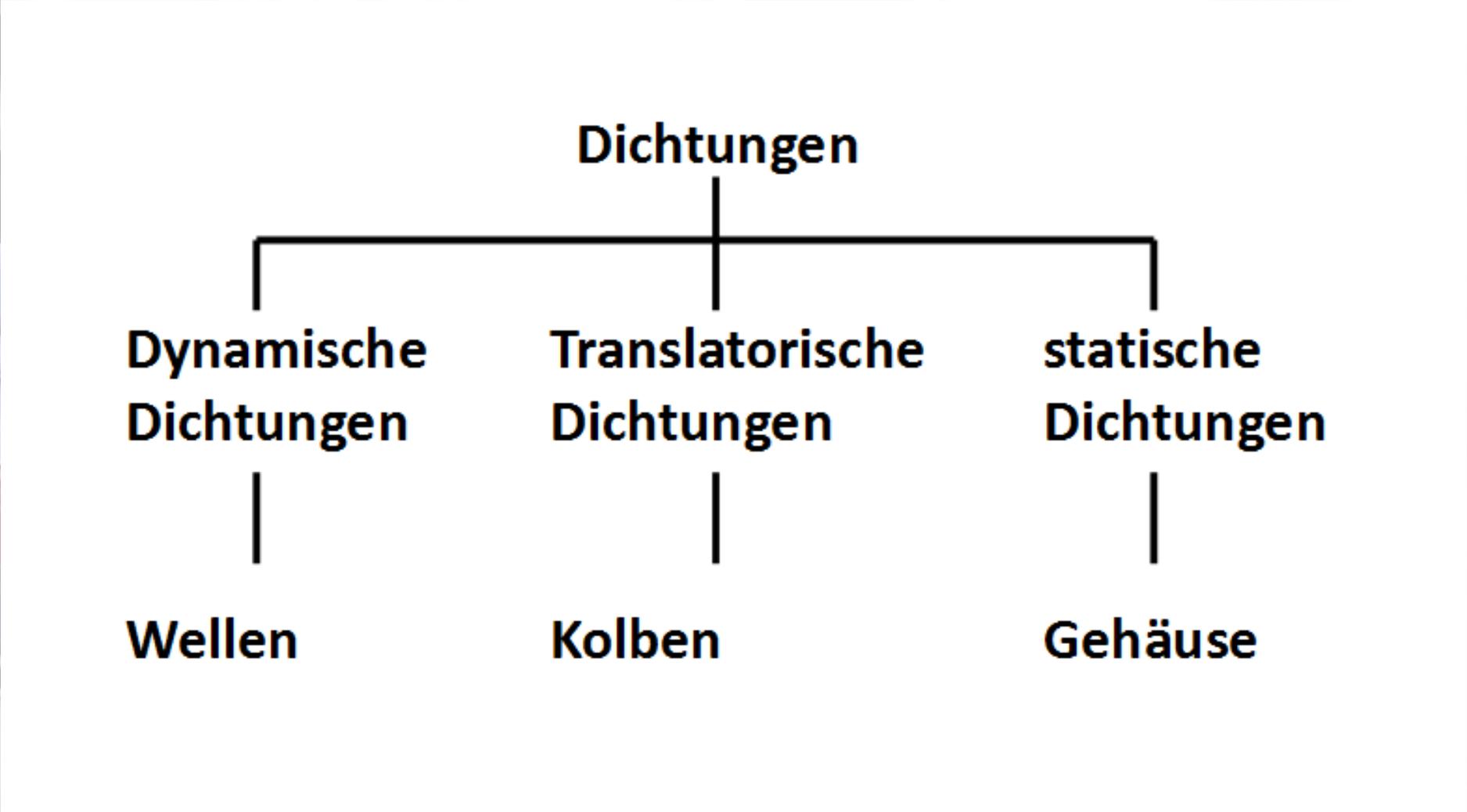


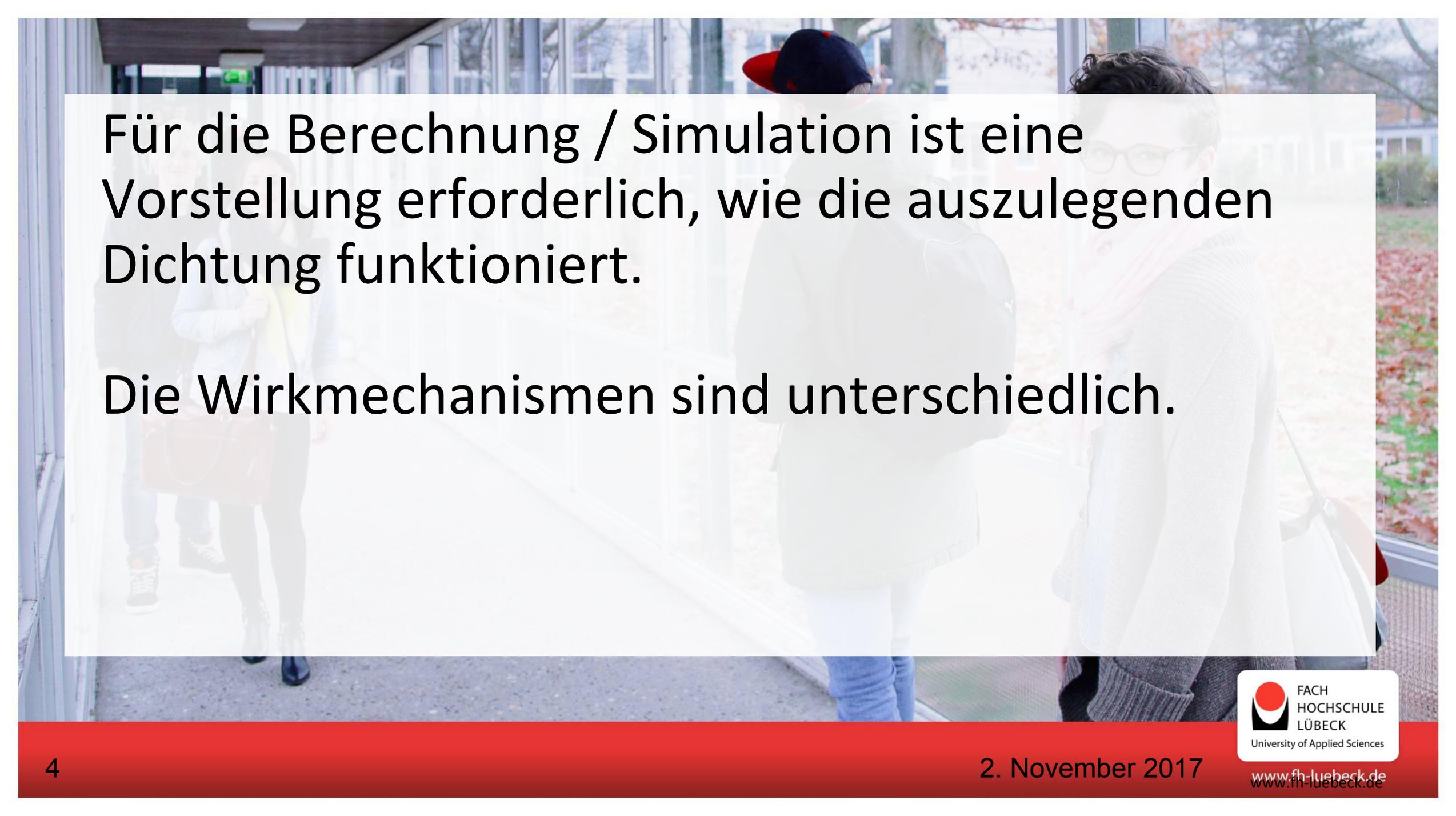
# Funktionsweise von Dichtungen – Berechnung und Simulation

Prof. Dr.-Ing. Roland Kral  
Fachhochschule Lübeck  
Fachbereich Maschinenbau und Wirtschaft

# Inhalt

- Einteilung der Dichtungen
- Bauformen und Wirkungsweisen
- Vorauslegung statischer Dichtungen
- Materialkennwerte
- Simulation
- Zusammenfassung





Für die Berechnung / Simulation ist eine Vorstellung erforderlich, wie die auszulegenden Dichtung funktioniert.

Die Wirkmechanismen sind unterschiedlich.

## Theorien:

- Verzerrung der Gummioberfläche
- Nicht-Newtonisches Fluid

## Wichtig:

Der Luftwinkel ist kleiner als der Ölwinkel

Mittenversatz und Rundlauf beeinflussen die Winkel.  
Die Dichtkante darf auch mit Dichthilfen nicht abheben.





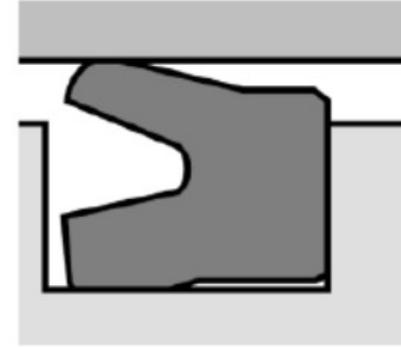
Die Dichtungsmanschette enthält ein Fördergewinde. Die Abstreiferkante und die Rotation der Welle hält das Öl zurück und fördert zum Ölraum.

Kriterium: Kontaktbreite

Ölseitiges Ende der Manschette sollte an der Welle anliegen.



© Bruss Sealing Systems GmbH



Quelle: Haas, Dichtungstechnik

- Translatorisch bewegte Dichtungen wirken bei Betätigung des Kolbens durch die Flächenpressung.
- Typisch ist die druckverstärkte Auslegung der Dichtung.
- Bei der (drucklosen) Rückbewegung des Kolbens wirkt die Dichtung als Abstreifer.

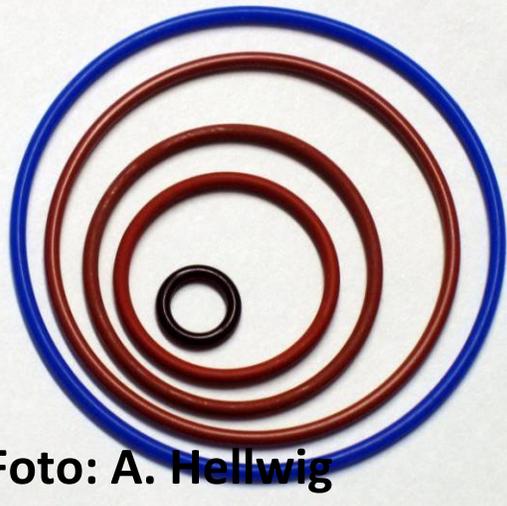
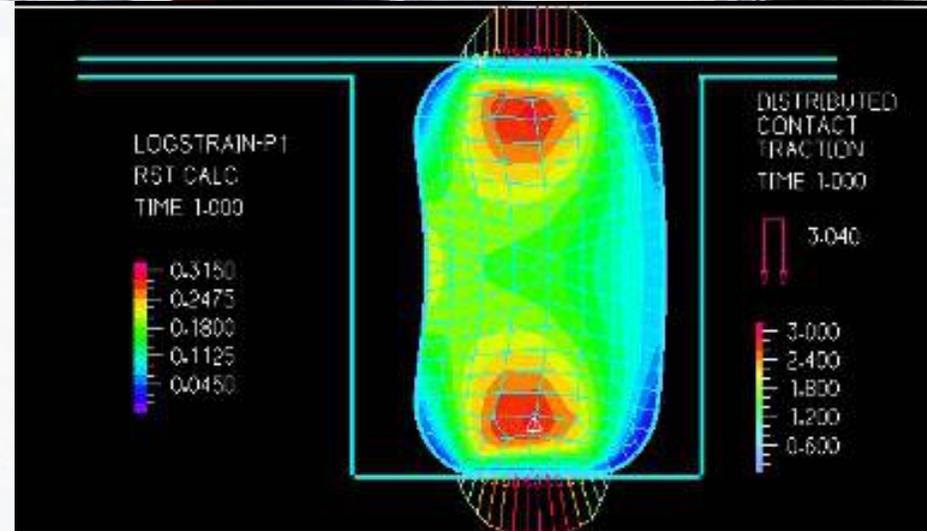


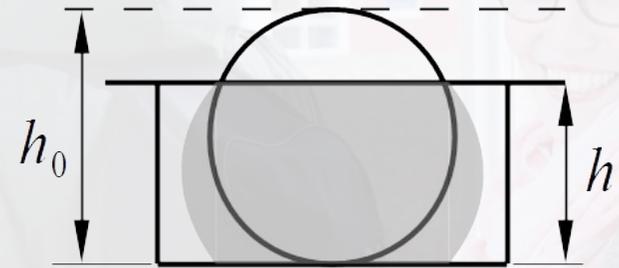
Foto: A. Hellwig



- Flächenpressung muss stets (deutlich) höher als der anliegende Druck sein
- Dichtungsmaterial muss Oberflächenrauigkeiten verschließen
- Eine druckverstärkte Auslegung ist anzustreben

Die Vorauslegung statischer Dichtungen erfolgt über die geometrische Verpressung:

$$v_{geo} = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$



mit der Ausgangshöhe  $h_0$  und der verpressten Höhe  $h_1$

Es können die folgenden Richtwerte verwendet werden:

nominell  $v_{geo} = 22\%$

maximal  $v_{geo} < 33\%$  (Compression Burst)

minimal  $v_{geo} > 10\%$  (Setzen)

## Was bedeutet dies für die Anwendung?

- Die Dichtung hat aufgrund der Fertigung höhere Toleranzen als in der Zerspanung üblich
- Die Umbauungsteile weisen ebenfalls Toleranzen auf z.B. Nuttiefe, Ebenheit
- Im Betrieb können noch Verformungen hinzukommen z.B. Kunststoff-Ventilhauben

Wenn größere Toleranzen oder Verformungen auftreten ist eine größere Dichtungshöhe erforderlich.

Bei einer geometrischen Verpressung von 22 % wird die Dichtung um  $\Delta h = h_0 - h_1 = 0,22 \cdot h_0$  verpresst.

Bei einer Dichtungshöhe von 2 mm sind dies 0,44 mm.

Toleranzen: Dichtung  $\pm 0,1$  mm  
Nutgrund  $\pm 0,1$  mm  
Ebenheit 0,2 mm

Auch ohne Verformung geht die Verpressung gegen Null.

Für einen guten Toleranzausgleich und eine sichere Funktion ist Bauhöhe erforderlich.

Damit der Mediendruck die Flächenpressung erhöhen kann, muss dieser auf die Flanke der Dichtung wirken können.

Elastomer hat eine relativ große Wärmeausdehnung und kann im Medienkontakt quellen.

Bei nomineller Geometrie sollte die Nutfüllung höchstens 80 % betragen. Bei maximaler Verpressung 90-95%.

Wechselt der Druck die Richtung oder treten oszillierende Bewegungen auf sollte die Nut nicht zu breit ausgeführt werden (Kippen der Dichtung, Verschleiß).

# Grundlage der Simulation sind verlässliche Materialdaten

- Materialeigenschaften ändern sich deutlich mit der Temperatur
  - Steifigkeit
  - Reißdehnung
- Glasübergangstemperatur
- Viskoelastisches und viskoplastisches Verhalten
- Medienkontakt
  - Alterung
  - Quellen
- Mullinseffekt

## Minimalanforderung:

- Zug- und Druckkurven bei Einsatztemperatur

## Idealerweise (bei mehreren Temperaturen):

- Zug- und Druck
- Zweiachsiger Zug
- Scherrung
- Kompressibilität
- Wärmedehnung

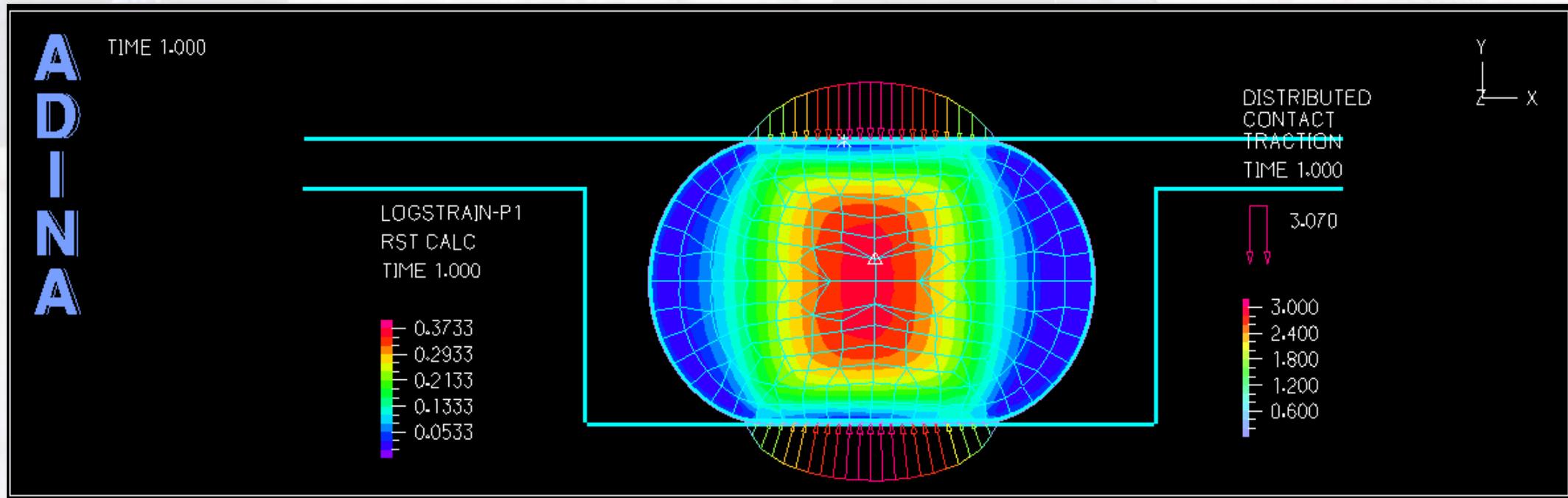


Bild: Axel Products Inc.

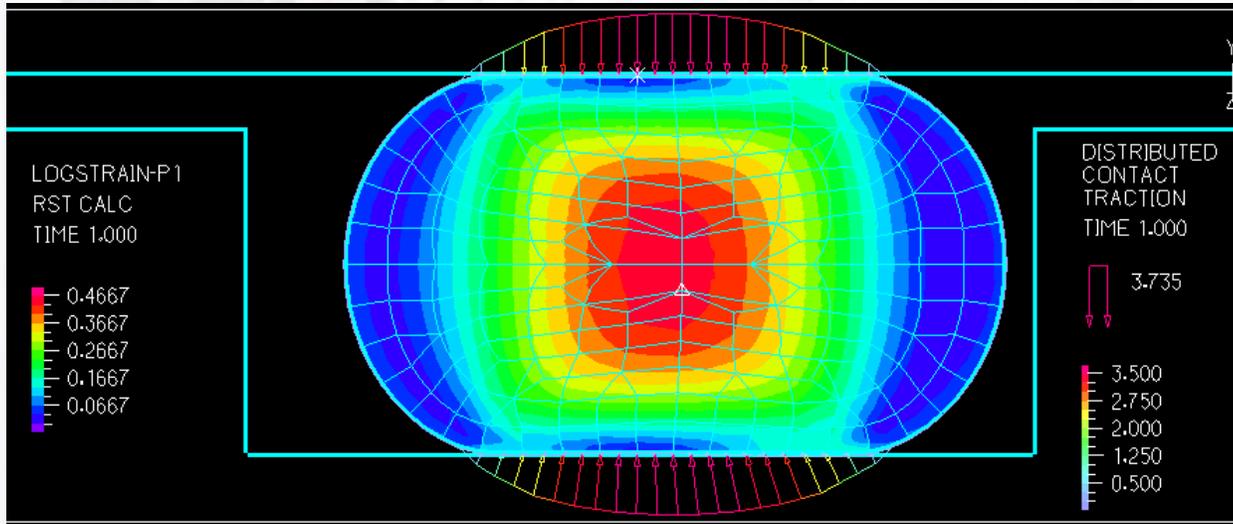
Aus den Materialmessungen kann ein Mooney- oder Ogden-Modell ermittelt werden.

Die Zeitabhängigkeit kann über den Druckverformungsrest, Restdichtkraftmessungen oder die kontinuierliche Spannungsrelaxation ermittelt werden.

# Ein axial verpresster O-Ring 40x4 mit 70 ShoreA liefert bei 25% Verpressung

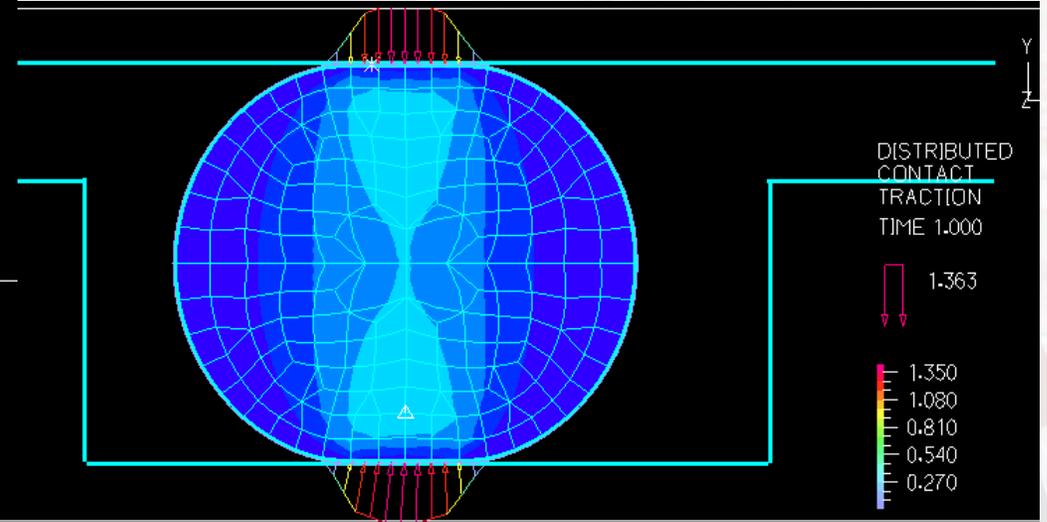


# Die Grenzlagen der Auslegung sind



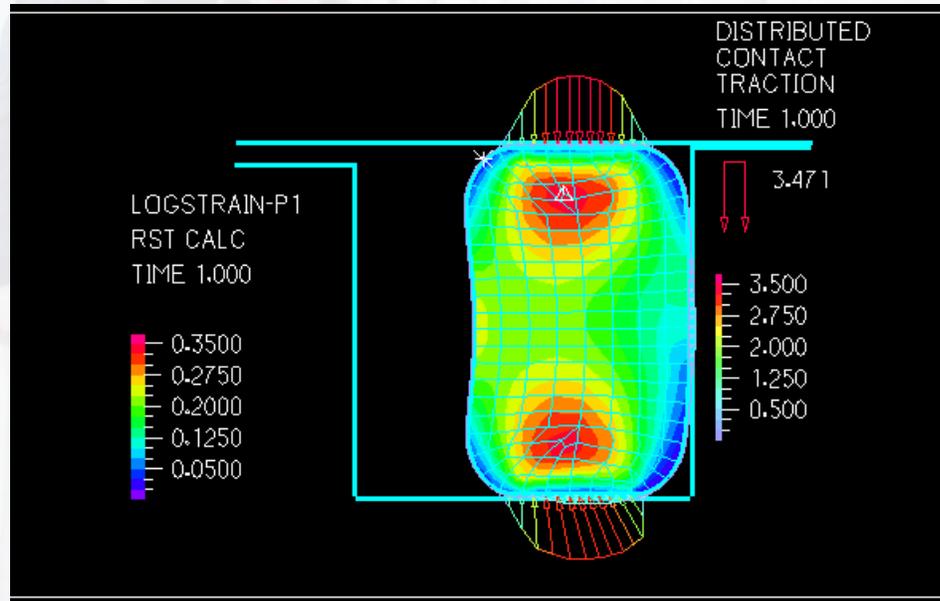
$$\nu_{geo} = 10\%$$
$$1,4 \text{ MPa}$$

$$\nu_{geo} = 33\%$$
$$3,7 \text{ MPa}$$

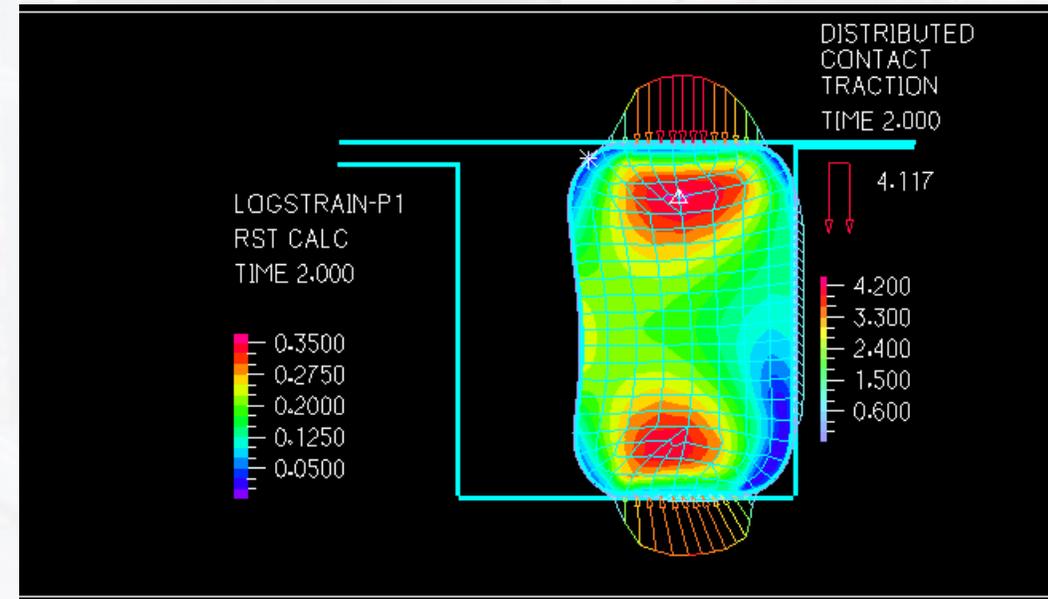


Bei richtiger Auslegung erhöht der Druck die Flächenpressung:  
I-Profil 7,5x3 (Innendurchmesser 44)  $\nu_{geo} = 22\%$

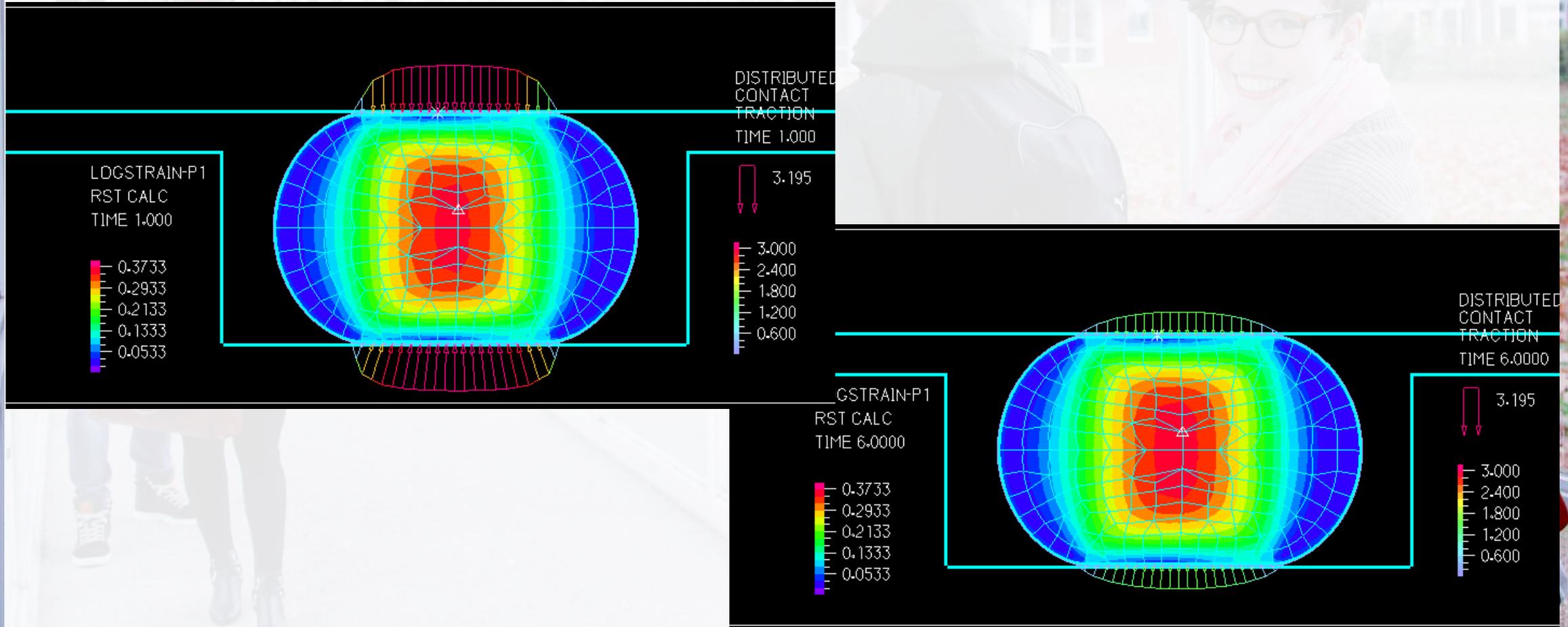
5 bar  
4,1 MPa



0 bar  
3,5 MPa



# Viskoelastisches Verhalten



- Die Vorauslegung statischer Dichtungen erfolgt über die geometrische Verpressung.
- Mit geeigneten Materialmodellen kann das Verhalten einer Dichtung im Betrieb simuliert werden.
- Die Materialdaten zu messen kann ein Problem sein.
- Mit zweidimensionalen Modellen ist eine schnelle Aussage zum Verhalten möglich.
- Eine dreidimensionale Simulation ist nur sinnvoll, wenn eindeutig dreidimensionale Effekte zu untersuchen sind.
- Alle vorgestellten Ergebnisse wurden mit der 900-Knoten-Version von ADINA berechnet.

Ich danke Herrn Ralf Baron, Geschäftsbereichsleiter  
Vertrieb & Entwicklung der Bruss Sealing Systems GmbH,  
Hoisdorf, für die zur Verfügung gestellten Produktbilder.