

Berger/Kiefer (Hrsg.)

DICHTUNGS TECHNIK

JAHRBUCH 2016

ISGATEC®

A 3D rendered graphic with a teal-to-blue gradient background. On the left, a large, stylized dollar sign (\$) is shown in a 3D perspective. To its right, a line graph with a jagged, upward-trending path is also rendered in 3D. The graph sits on a grid floor that recedes into the distance. A semi-transparent grey horizontal bar is positioned across the middle of the image, containing the text 'Trends & Dienstleistungen' in white, bold, sans-serif font.

Trends & Dienstleistungen

Komplexe Kontakt- und Materialmodellierung am Beispiel einer Dichtungssimulation

Das Zusammenspiel von Gleitkomponenten und Dichtringen, welche zumeist aus hyperelastischen Materialien bestehen, ist bei der Auslegung von Bauteilen ein entscheidendes Kriterium für die Zuverlässigkeit und Funktionsfähigkeit. Versagt die Dichtungskombination, so kann ein Versagen des gesamten Systems auftreten. Ein Beispiel hierfür ist die Challenger-Mission im Jahre 1986, bei der ein fehlerhafter O-Ring die Ursache für das Unglück war. Eine Voraussage der Dichtigkeit und somit einer Funktionssicherheit steht bei der Auslegung von Dichtkomponenten an oberster Stelle. Mithilfe von Simulationswerkzeugen, die das Verhalten der Hyperelastizität abbilden, können schon vor der Prototypenfertigung wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, die eine Auslegung von Dichtungen und Systemen erleichtern und die Funktionalität garantieren.

Dichtungen werden in vielen Bereichen eingesetzt. Hier wird beschrieben, wie sich ein hydraulisches Kolbensystem mit Finite-Elemente-Simulationen auf Dichtigkeit untersuchen lässt. Dabei wird ein Kolben gegenüber einem Zylinder mit einem Paket aus hyperelastischem Dichtring und Kunststofftring abgedichtet. Auf den Kolben wirkt Fluiddruck, der sich entlang des Spaltes zwischen Kolben und Zylinder ausbreitet, bis er auf das Dichtungspaket trifft und dieses verformt. Im Anschluss an die Druckausbreitung wirkt eine seitliche Last auf den Kolben. Dieser Lastschritt stellt z.B. ein Kippen eines ausgefahren Kolbens dar. Ziel ist es, eine Aussage über die Dichtigkeit nach dem Kippen des Kolbens treffen zu können, um somit Rückschlüsse auf die Funktionsfähigkeit zu ziehen.

Modellierung

Die 3D-FEM-Berechnung des hydraulischen Systems wird mit einer statisch-mechanischen Analyse durchgeführt. Das hydraulische System besteht aus einem Kolben (Stahl), einem Zylinder (Stahl), Gleitringen (PTFE), einem Dichtungsring (PTFE) und einem O-Ring (hyperelastisches Elastomer).



>>1: 3D-Ansicht des hydraulischen Dichtungssystems bestehend aus Kolben, Zylinder, O-Ring, Gleitringen und Dichtungsring

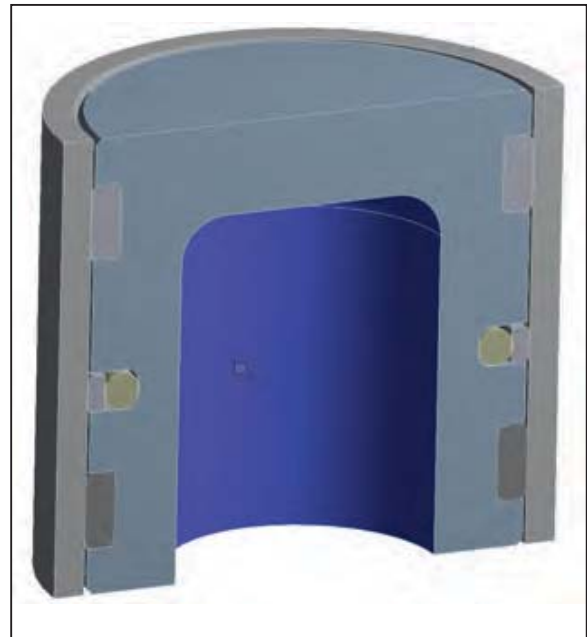
Die einzelnen Komponenten sind in >>1 dargestellt. Durch Ausnutzung der Symmetrie ist dieses 3D-Halbmodell zur Berechnung des Lastszenarios verwendbar.

Um das symmetrische Verhalten des Modells abzubilden, werden die Symmetrieflächen als reibungsfreie Lagerung definiert, was eine Verschiebung in Normalenrichtung unterbindet. Außerdem wird der Kolben auf der Innenseite fixiert gelagert, d.h. die Verschiebungen u_x , u_y und u_z sind null. Die Randbedingungen sind in >>2 zu sehen.

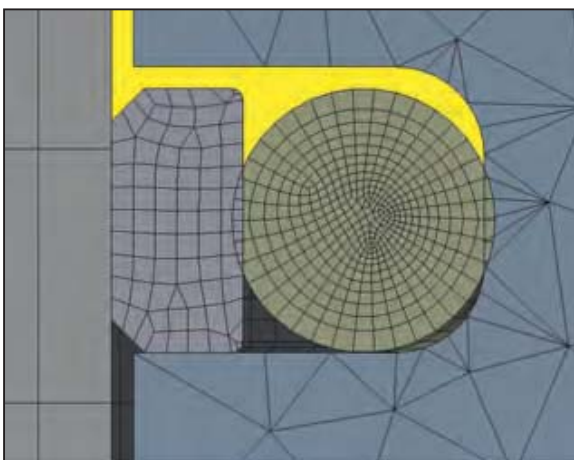
Die Simulation besteht aus drei Lastschritten:

- Lastschritt 1: Zusammenbau
- Lastschritt 2: Fluiddruck von 100 bar
- Lastschritt 3: Radiale Verschiebung um 0,3 mm

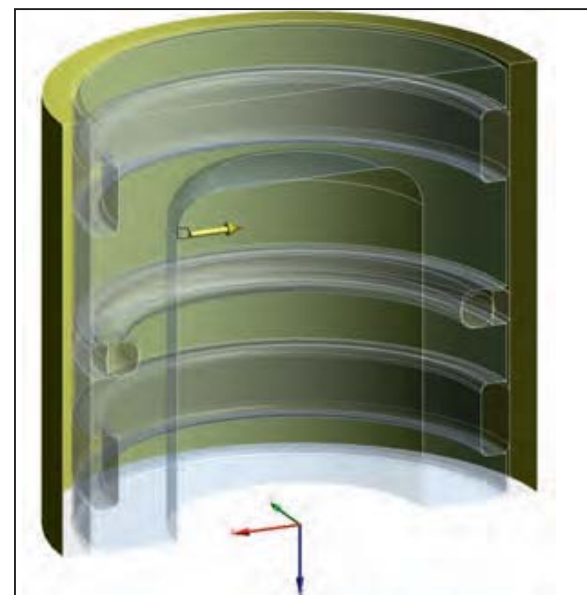
Im ersten Lastschritt werden die einzelnen Komponenten zusammengebaut. Bereits hierbei ergibt sich für den elastischen O-Ring aufgrund der geometrischen Penetration zwischen dem O-Ring und dem Dichtring bzw. dem Kolben eine Deformation >>3. Im zweiten Lastschritt wird ein Fluiddruck von 100 bar auf die Oberseite des Kolbens gegeben, der sich entlang des freien Spalts bis zum Dichtungspaket ausbreitet und dieses verformt. In >>3 ist das Fluid schematisch gelb dargestellt. Im letzten Lastschritt erfolgt ein Verkippen des Kolbens. Zu Beginn beträgt der Fluidspalt zwischen Kolben und Zylinder 0,5 mm. In diesem Lastschritt wird der Zylinder in radialer Richtung um 0,3 mm verschoben, sodass sich der Spalt auf der einen Seite verkleinert und auf der gegenüberliegenden Seite vergrößert. Dies führt zu einer Belastung und Entlastung des Dichtungspakets und der Gleitringe. Die Verschiebung des Zylinders wird auf die äußere Fläche aufgebracht, was in >>4 zu sehen ist.



>>2: Die blauen Flächen links sind als Symmetrieflächen definiert. Die blaue Fläche rechts zeigt die Einspannung des Kolbens



>>3: Detailansicht des Netzes mit der geometrischen Penetration zwischen dem O-Ring und dem Dichtring bzw. dem Kolben. Das Fluid ist gelb dargestellt

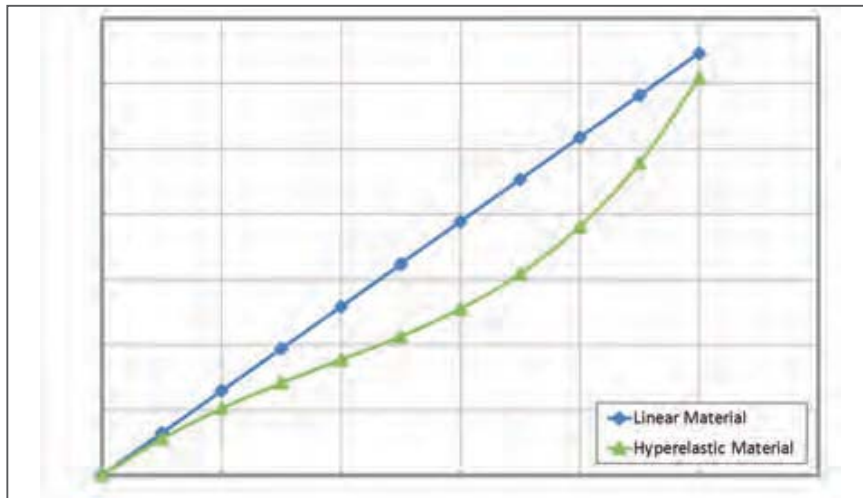


>>4: Der gelbe Pfeil zeigt die Verschiebungsrandbedingung auf die äußere Zylinderfläche

Modellierung hyperelastischer Materialien

Hyperelastizität

Hyperelastizität ist eine Materialnichtlinearität der Strukturmechanik, die das Verhalten von hochelastischem Material wie Gummi oder auch einigen Kunststoffen beschreibt. Hyperelastische Materialien verformen sich meist so sehr, dass Dehnungen von 100% und mehr auftreten, was zu großen Verformungen



>>5: Lineares und hyperelastisches Materialverhalten

führt. Der Zusammenhang zwischen der Spannung und der auftretenden Dehnung ist dabei schon von Beginn an nichtlinear. Einen linear-elastischen Anteil wie z.B. bei Stählen, der durch das Hookesche Gesetz definiert werden kann, ist bei hyper-elastischen Materialien nur sehr selten zu finden. Die Spannungs-Dehnungs-Kurve für ein lineares Material (z.B. Stahl im elastischen Bereich) und einen hyperelastischen Werkstoff ist in >>5 dargestellt. Hyperelastische Werkstoffe weisen ein inkompressibles, elastisches Materialverhalten auf, d.h. sie nehmen nach Entlastung ihre ursprüngliche Form wieder an. Bei derart großen Dehnungen reicht zur Bestimmung der Materialparameter die Betrachtung von nur einer Belastungsart nicht mehr aus. Daher werden neben einachsigen Zug- und Druckversuchen auch biaxiale Zug- und Schubversuche durchgeführt. Das komplexe Werkstoffverhalten ist über die Formänderungsenergiedichte ableitbar, die oft als Polynomansatz ausgedrückt wird.

Materialmodelle mit isotrop hyperelastischem Verhalten

Das hyperelastische Materialverhalten lässt sich in der 3D-FEM-Simulation mithilfe von Materialmodellen abbilden. Zur Beschreibung dieser Materialien wird ein Ansatz für die Formänderungsenergie oder Verzerrungsenergie W gewählt, die von den Invarianten I_1 , I_2 und I_3 abhängt [1]:

$$W = W(I_1, I_2, I_3) \quad (1)$$

Die drei Invarianten werden durch die Streckungen λ gebildet, die als

$$\lambda = \frac{L}{L_0} = \frac{L_0 + \Delta u}{L_0} = 1 + \varepsilon_E \quad (2)$$

definiert sind, wobei ε_E die Ingenieurdehnungen sind.

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \\ I_3 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Die Spannungen ergeben sich aus der Ableitung der Verzerrungsenergiefunktion nach der Verzerrungsmatrix [2]:

$$S_{ij} = \frac{\partial W}{\partial E_{ij}} \equiv 2 \frac{\partial W}{\partial C_{ij}} \quad (4)$$

mit

S_{ij} = Komponenten des zweiten Piola-Kirchhoff Spannungstensors,

W = Verzerrungsenergiefunktion,

E_{ij} = Komponenten des Lagrange-Dehnungstensors,

C_{ij} = Komponenten des rechten Cauchy-Green-Deformationstensors.

Die Verzerrungsenergiefunktion W wird mit einem mathematischen Materialmodell approximiert. Heutzutage steht dem Anwender eine Reihe von Modellen zur Verfügung, die größtenteils auf dem Polynomansatz

$$W = \sum_{i+j=1}^n c_{ij} (\bar{I}_1 - 3)^i (\bar{I}_2 - 3)^j + \sum_{k=1}^n \frac{1}{d_k} (J - 1)^{2k} \quad (5)$$

basieren. Hierzu zählen Neo-Hooke, Mooney-Rivlin, Ogden oder Yeoh. Sind Messdaten eines hyperelastischen Materials vorhanden, so können die Materialmodelle auf diese Daten gefittet werden. Mit den resultierenden Koeffizienten und dem zugehörigen Materialmodell wird schließlich das hyperelastische Materialverhalten approximiert. Ein weiterer Ansatz ist die Verwendung einer Antwortfunktion, bei der die Spannungs-Dehnungs-Kurven einer Probe direkt verwendet werden, ohne einen Approximationsansatz durch eine Polynomfunktion zu wählen.

Das einfachste hyperelastische Materialmodell ist Neo-Hooke, das nur aus zwei Parametern besteht und sich aus der Polynomform ableitet, in dem die Parameter $n = 1$, $c_{01} = 0$ und $c_{10} = \mu/2$ sind.

Model	Dehnungsbereich [2]
Neo-Hookean	Up to 30%
Mooney-Rivlin	< 100% (2nd + 3rd order) < 200% (5th + 9th order)
Ogden	Up to 700%
Yeoh	< 300%
Polynomial	< 300%

>>6: Überblick über den Anwendungsbereich der einzelnen hyperelastischen Materialmodelle

$$W = \frac{\mu}{2} (\bar{I}_1 - 3) + \frac{1}{d} (J - 1)^2 \quad (6)$$

Die Verzerrungen sollten im uniaxialen Fall 30% nicht überschreiten. >>6 gibt einen Überblick über den Anwendungsbereich der einzelnen hyperelastischen Materialmodelle.

Ein weiteres Materialmodell stellt die Mooney-Rivlin-Familie dar. Es gibt Mooney-Rivlin-Materialmodelle mit zwei, drei, fünf und neun Termen. Je mehr Terme das Materialverhalten beschreiben, desto besser können hohe Dehnungen abgebildet werden. Das 2-Term-Mooney-Rivlin-Modell erhält man aus der Polynomform für $n = 1$, was wie folgt lautet:

$$W = c_{10} (\bar{I}_1 - 3) + c_{01} (\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{d} (J - 1)^2, \quad (7)$$

Ein Materialmodell, das Dehnungen bis ca. 700% sehr gut abbilden kann, ist Ogden. Die Verzerrungsenergiefunktion für das Ogden-Modell lautet

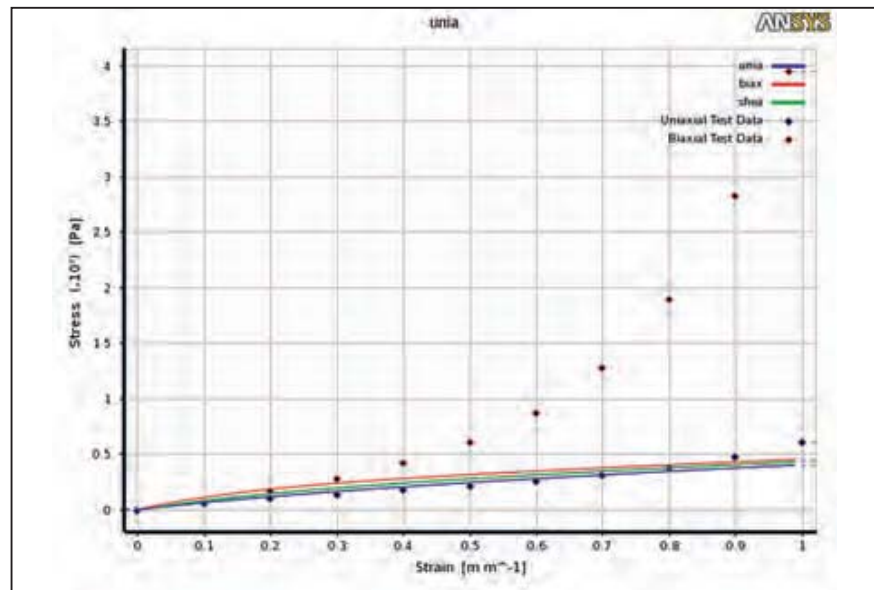
$$W = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\bar{\lambda}_1^{-\alpha_i} + \bar{\lambda}_2^{-\alpha_i} + \bar{\lambda}_3^{-\alpha_i} - 3) + \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} (J - 1)^{2i} \quad (8)$$

mit den Parametern α_i .

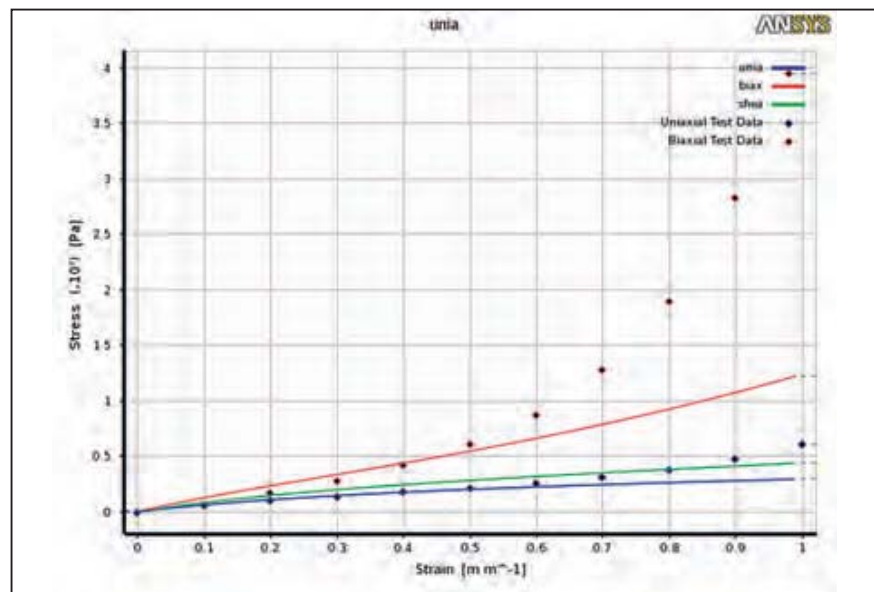
Zur Bestimmung der Parameter für die jeweiligen hyperelastischen Materialmodelle bietet ANSYS die Möglichkeit eines Curve Fittings. Hyperelastisches Curve Fitting ist ein Verfahren, mit dem die Materialkonstanten auf Grundlage von experimentellen Daten für das Modell bestimmt werden. Bei den Materialmodellen Neo-Hooke und Mooney-Rivlin wird ein lineares und bei Ogden ein nichtlineares Fitting durchgeführt. Im nichtlinearen Fall sind Anfangsparameter notwendig.

Für die Berechnung des hydraulischen Systems mit dem hyperelastischen O-Ring stehen Messdaten zur Verfügung, die in die Software eingelesen werden. Anschließend wird ein Materialmodell ausgewählt und ein Fitting durchgeführt. >>7 bis 11 enthalten die Datenpunkte und die mit dem jeweiligen Materialmodell erstellten Kurven, um ein uniaxiales, biaxiales und Schubspannungs-

>>7: Neo-Hooke Fitting

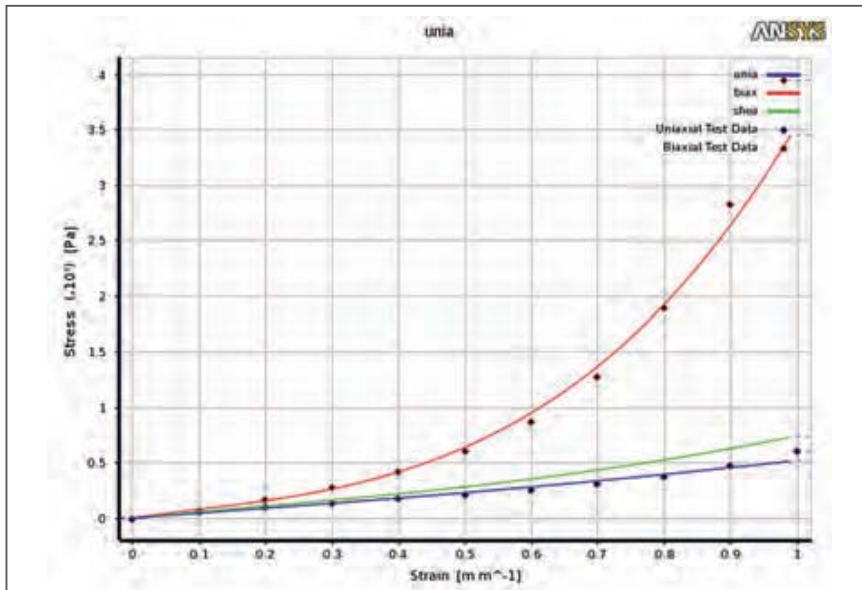


>>8: Mooney-Rivlin Fitting 2ter Ordnung

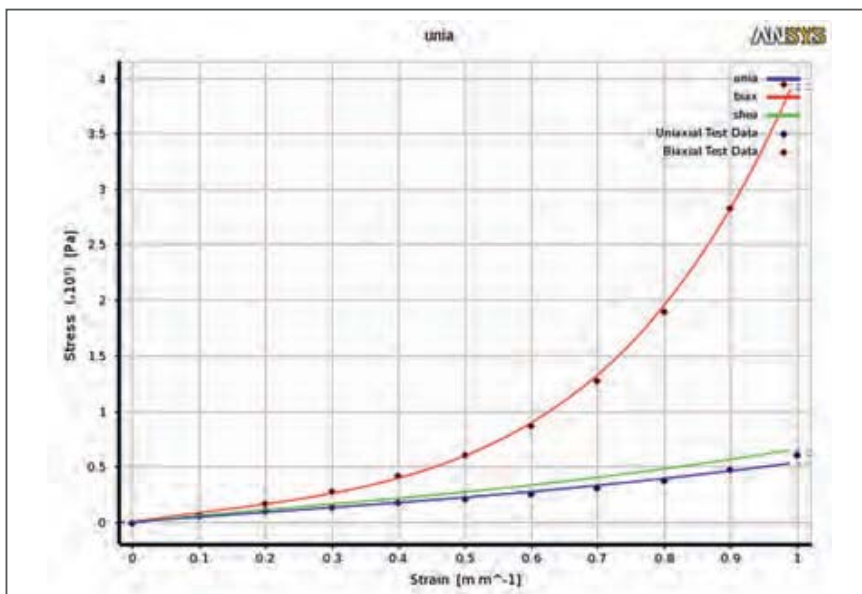


Materialverhalten abzubilden. >>7 zeigt ein Fitting mit dem einfachsten Materialmodell Neo-Hooke. Hier ist zu erkennen, dass im Bereich bis zu einer Dehnung von 30% das Materialverhalten akzeptabel abgebildet werden kann. Für größere Dehnungen ist dieses Modell nicht geeignet.

Werden die verschiedenen Kurven des Mooney-Rivlin-Ansatzes miteinander verglichen, >>8 bis 10, ist erkennbar, dass sich die Kurven mit steigender Anzahl an Termen immer näher an die Messdaten annähern. Eine hohe Genauigkeit kann mit dem 5-Term-Mooney-Rivlin-Modell erzielt werden. In >>7 ist das nichtlineare Fitting mit dem Ogden-Modell dargestellt. Beim Vergleich des



>>9: Mooney-Rivlin
Fitting 3ter Ordnung

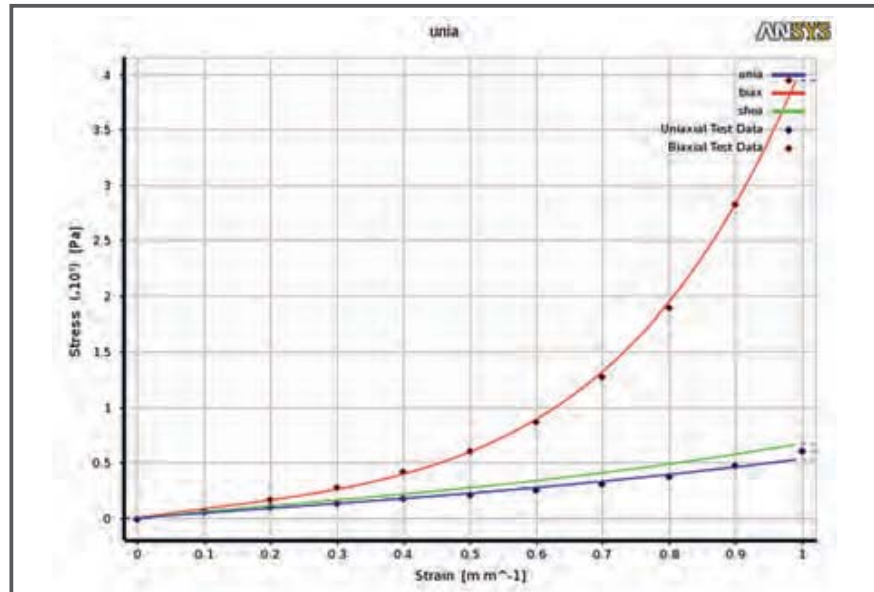


>>10: Mooney-Rivlin
Fitting 5ter Ordnung

5-Term-Mooney-Rivlin-Fitting mit dem Ogden-Fitting können nur geringfügige Unterschiede festgestellt werden.

Für die FE-Simulation des hydraulischen Systems wird das hyperelastische Verhalten des O-Rings mit dem 5-Term-Mooney-Rivlin-Materialmodell abgebildet, da die gefitteten Kurven eine ausgezeichnete Deckung mit den experimentellen Daten aufweisen.

Eine Ausnahme zu den üblichen Materialmodellen ist die Response-Function-Methode. Das „Modell“ der Response Functions beruht auf der näherungswei-



>>11: Ogden Fitting 3ter
Ordnung

sen Ermittlung der Ableitungen der Verzerrungsenergiefunktion nach den Invarianten I_1 und I_2 . Der allgemeine Spannungszustand hyperelastischer, inkompressibler Materialien ist durch

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + dev \left[2 \frac{\partial W}{\partial I_1} b_{ij} - 2I_3 \frac{\partial W}{\partial I_2} b_{ij}^{-1} \right] \quad (9)$$

gegeben [2].

δ_{ij} = Kronecker delta ($\delta_{ij} = 1, i = j; \delta_{ij} = 0, i \neq j$)

p = Druck

b_{ij} = linker Cauchy-Green Deformationstensor

Zusätzlich gilt bei volumetrischer Deformation

$$p = \frac{\partial W}{\partial J} \quad (10)$$

Sind die Ableitungen (Response Functions) W_{I_1} , W_{I_2} und W_J bekannt bzw. können sie aus experimentellen Daten bestimmt werden, sind auch die Spannungen berechenbar. Die Ableitungen W_{I_1} und W_{I_2} (und W_J) sind dabei im Allgemeinen Funktionen der beiden Invarianten I_1 und I_2 (und J). Die deviatorischen Spannungen ergeben sich aus der Deformation $W_j = \partial W / \partial J$ und den Ableitungen des elastischen Potentials $W_{I_1} = \partial W / (\partial I_1)$ und $W_{I_2} = \partial W / (\partial I_2)$. Diese Ableitungen werden Antwortfunktionen (Response Functions) genannt. Für isotrope Hyperelastizität können sie analytisch bestimmt werden. Sie lassen sich jedoch ebenfalls aus

Messdaten ermitteln, in dem die Parameter der Potentialfunktionen auf die Messdaten gefittet werden.

Nach den Gleichungen [2]

$$\sigma_{11} = 2(\lambda_1^2 - \lambda_1^{-1}) \left[\frac{\partial W}{\partial I_1} + \lambda_1^{-1} \frac{\partial W}{\partial I_2} \right] \quad (11)$$

für eine uniaxiale Zugbelastung,

$$\sigma_{11} = 2(\lambda_1^2 - \lambda_1^{-4}) \left[\frac{\partial W}{\partial I_1} + \lambda_1^2 \frac{\partial W}{\partial I_2} \right] \quad (12)$$

für eine biaxiale Zugbelastung und

$$\sigma_{11} = 2(\lambda_1^2 - \lambda_1^{-2}) \left[\frac{\partial W}{\partial I_1} + \frac{\partial W}{\partial I_2} \right] \quad (13)$$

reiner Schubbeanspruchung besteht ein Zusammenhang zwischen Spannung, Deformation und den Antwortfunktionen. Die experimentellen Daten beinhalten Informationen über gemessene Deformationen und Spannungen. Die einzige Unbekannte ist die Gleichung für die Antwortfunktionen. Die volumetrische Antwortfunktion ergibt sich aus Gleichung (10) entweder analytisch oder aus den Messdaten, in dem das Volumenverhältnis dem Druck gegenüber gestellt wird. Aus den Versuchsdaten lässt sich der Druck ermitteln, was zur volumetrischen Antwortfunktion führt. Somit stehen alle Größen zur Verfügung und die Spannung kann berechnet werden.

Simulationstechnologie Fluid-Pressure-Penetration [2]

Die Fluid-Pressure-Penetration-Technologie simuliert ein Fortschreiten von Fluid aufgrund der aktuellen Kontaktsituationen. In diesem speziellen Fall wird ein Ausbreiten des Öls auf der Oberseite des Kolbens bis zum Dichtungspaket simuliert.

Die Ausbreitung des Fluiddrucks erfolgt von zuvor festgelegten Startpunkten bzw. Flächen. In >>12 sind diese rot dargestellt. In diesem Bereich wird die Kontaktsituation untersucht. Ist der Kontaktdruck an den angrenzenden Kontaktelementen niedriger als der aufgeprägte Druck von 100 bar, so pflanzt sich der Fluiddruck weiter fort. Dieser Vorgang wiederholt sich solange bis der Kontaktdruck der Kontaktelemente den aufgeprägten Druck von 100 bar überschreitet und die Propagation

stoppt. Ein entscheidender Vorteil dieser Technologie gegenüber einer manuellen Definition des Fluiddruckbereichs ist, dass vor Rechnungsbeginn nicht festgelegt werden muss, in welchem Bereich der Fluiddruck anliegt. Das Erkennen des Kontaktstatus mit dem dazugehörigen Kontaktdruck und ein Fortschreiten des Fluiddrucks erfolgt vollautomatisch.

Ändern sich die Kontaktbedingungen zwischen dem O-Ring, der Dichtung, dem Kolben und dem Zylinder so wird der Fluiddruck mit der dazugehörigen Oberfläche automatisch angepasst. Wird z.B. der O-Ring bei Belastung mit dem Fluiddruck deformiert, sodass sich die Kontaktsituation von „offen“ auf „geschlossen“ ändert, so wirkt der Fluiddruck jetzt auf eine andere Oberfläche, was Auswirkung auf den Fluiddruck hat. Somit ist ein iteratives Vorgehen zur Bestimmung der Oberfläche notwendig, was bei Anwendung der Fluid-Pressure-Penetration-Technologie automatisch geschieht.

Ergebnisse

Lastschritt 1 – Zusammenbau

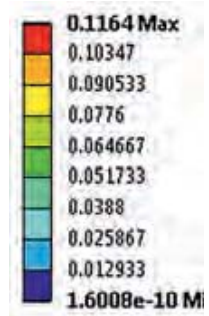
Im ersten Lastschritt erfolgt der Zusammenbau des Kolbensystems. Dabei wird die geometrische Penetration, hervorgerufen durch den O-Ring, minimiert. In >>13 sind das Dichtungspaket und die Gleitringe nach dem 1. Lastschritt zu sehen. >>14 zeigt eine detaillierte Darstellung des Dichtungspakets.

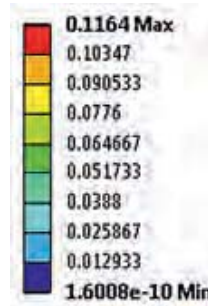
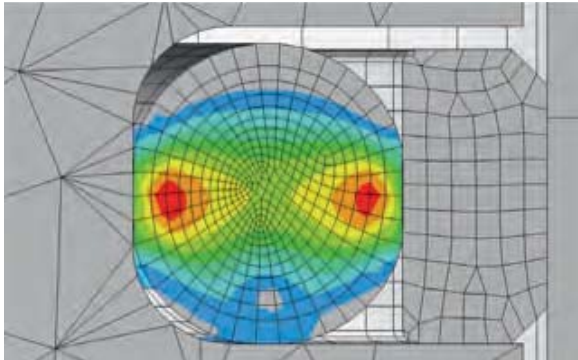


>>12: Die roten Flächen kennzeichnen die Startpunkte für die Fluid-Pressure-Last

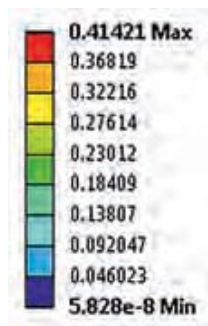
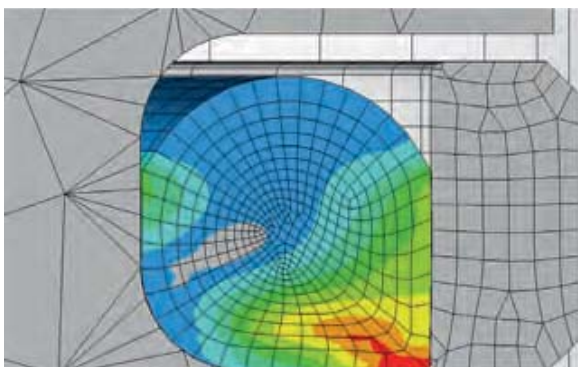


>>13: Globale Ansicht des Verzerrungszustands für die hyperelastische Dichtung nach dem 1. Lastschritt

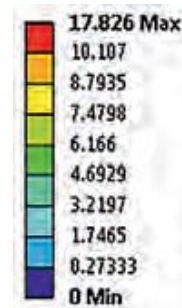
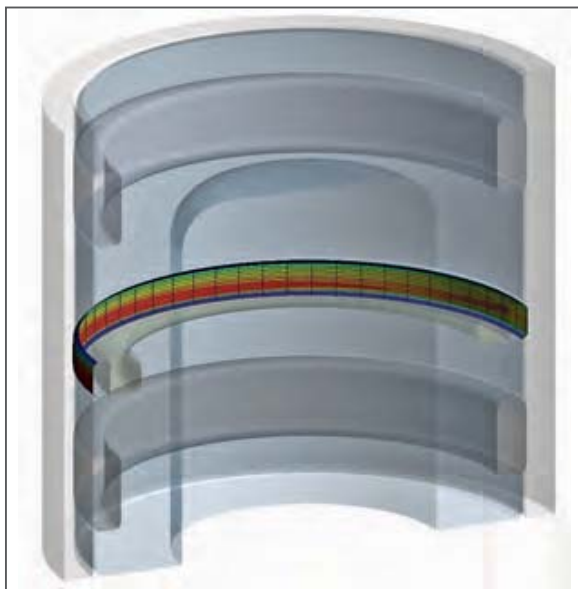




>>14: Detailansicht des Verzerrungszustands für die hyperelastische Dichtung nach dem 1. Lastschritt



>>15: Dehnungszustand der hyperelastischen Dichtung nach Aufbringen des Fluiddrucks

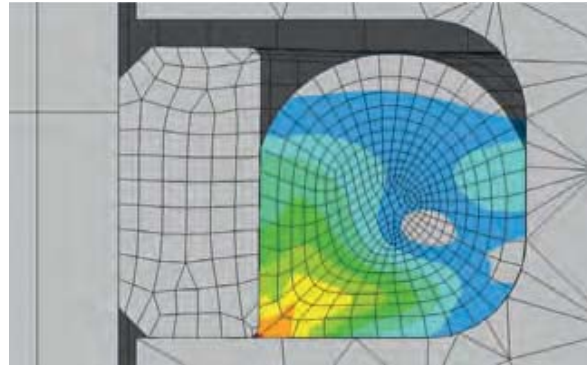
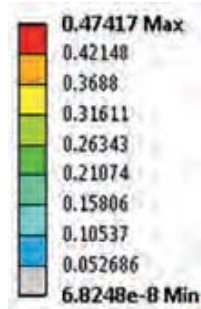


>>16: Kontaktdruck zwischen dem Dichtring und dem Kolben nach einer radialen Verschiebung

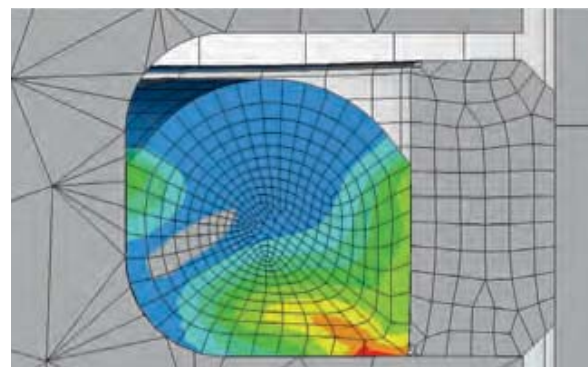
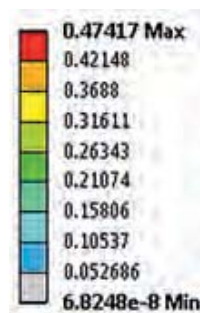
Der O-Ring wurde zusammengedrückt und begrenzt zusammen mit dem Dichtring den Fluidbereich.

Nach dem Zusammenbau betragen die auftretenden Dehnungen am hyperelastischen O-Ring ca. 11% und sind gleichmäßig über den Umfang verteilt, was in >>13 erkennbar ist.

>>17: Ansicht der höher belasteten Seite der hyperelastischen Dichtung nach der radialen Verschiebung. Der Spalt zwischen Kolben und Zylinder verkleinert sich auf 0,2 mm



>>18: Ansicht der entlasteten Seite der hyperelastischen Dichtung nach der radialen Verschiebung. Der Spalt zwischen Kolben und Zylinder vergrößert sich um 0,3 mm auf 0,8 mm



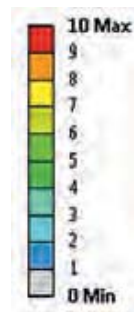
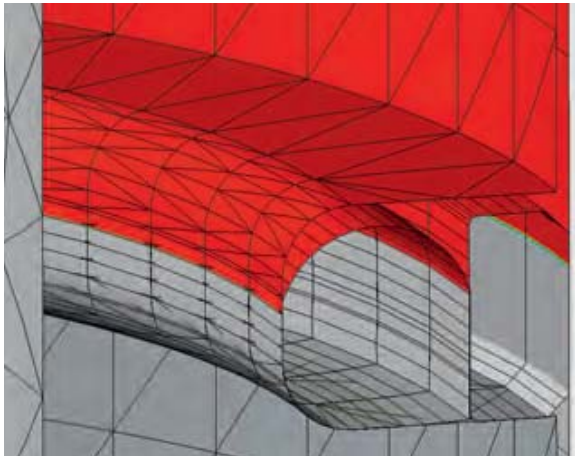
Lastschritt 2 – Fluiddruckbelastung

Im zweiten Lastschritt wird der Fluiddruck von 100 bar aufgebracht. Der Fluiddruck breitet sich von den zuvor festgelegten Startpunkten (siehe Fluid-Pressure-Penetration-Abschnitt), abhängig von der aktuellen Kontaktsituation aus und komprimiert den hyperelastischen O-Ring weiter, der sich aufgrund des wirkenden Drucks an die Nutform anpasst und den Dichtring an die Kolbenwand drückt. In >>15 ist eine detaillierte Darstellung des O-Rings und des Dichtrings zu sehen. Die maximalen Dehnungen des O-Rings betragen 41%.

Lastschritt 3 – Radiale Verschiebung

Im letzten Lastschritt wird der Zylinder um 0,3 mm radial verschoben, was ein Kippen des Kolbens im ausgefahrenen Zustand simulieren soll. Durch die einseitige Belastung ändert sich die Druckverteilung zwischen den Bauteilen, sodass eine Seite weiter belastet wird, wohingegen die gegenüberliegende Seite entlastet wird. In >>16 ist der Verlauf der Kontaktdrücke zwischen dem Dichtring und dem Kolben dargestellt.

Die einseitige Belastung hat zur Folge, dass auf der belasteten Seite der O-Ring komprimiert wird und die Dehnungen gegenüber dem Lastschritt 2 zunehmen >>17. Auf der entlasteten Seite gibt der O-Ring nach und folgt der Bewegung >>18.



>>19: Fluiddruck rot dargestellt. Ein Durchdringen der Flüssigkeit wird verhindert (Bilder: CADFEM GmbH)

Dabei treten maximale Dehnungen von 47% auf. In >>19 ist der Fluiddruck der Kontaktelemente dargestellt. Der aufgebrachte Druck von 100 bar liegt nur bis zum Dichtungspaket an. Die Funktionsfähigkeit des hydraulischen Systems kann gewährleistet werden, da die Kombination aus O-Ring und Dichtung vollständig abdichtet und ein Fortschreiten des Drucks und ein dadurch resultierender Druckabfall vermieden wird.

Fazit

Die Simulation von hyperelastischen Dichtungen ist eine Herausforderung für die Finite-Elemente-Methode. Die implementierten Materialmodelle können das hyperelastische Verhalten nachbilden. Mit der Fluid-Pressure-Penetration-Technologie erfolgt die Lastverteilung des Fluiddrucks in Abhängigkeit des Kontaktstatus vollautomatisch, sodass ein manueller Abgleich entfällt. Die Funktionssicherheit des hydraulischen Systems kann gewährleistet werden, da der Kolben mit dem Dichtungspaket gegenüber dem Zylinder abgedichtet wird und diese Dichtigkeit bei seitlicher Belastung bestehen bleibt.

Für die Auslegung von Dichtungen erweist sich die 3D-FEM-Simulation als hilfreiches Werkzeug. Im Anschluss an eine Vorauslegung kann eine systematische Variation von Eingabeparametern erfolgen. Hierzu werden Geometrieparameter definiert und eine Anzahl an Varianten berechnet. Mithilfe der Optimierungssoftware optiSLang können die Sensitivitäten der einzelnen Eingabeparameter berechnet werden. Die Software ANSYS bietet somit eine umfassende und innovative 3D-FEM-Lösung für die Berechnung von zuverlässigen und robusten, hyperelastischen Dichtungen in Kombination mit Fluid-Pressure-Penetration.

Literatur

- [1] CADFEM GmbH, 2013. Berechnung von Gummi- und Schaumstoffbauteilen. Seminarunterlagen
- [2] ANSYS, Inc., 2013. ANSYS 14.5 Help. Manual

Mit uns kommen Sie schneller ans Ziel – Technisches Consulting



**Stets informiert über aktuelle Entwicklungen,
erarbeiten wir die technisch und wirtschaftlich optimierte Lösung.**

Konstruktions- und Entwicklungsbereiche

- ❑ Teilekonstruktion und -modifikation
- ❑ Werkstoffspezifikation
- ❑ Verarbeitungstechnik, Prozessoptimierung
- ❑ Lieferantenqualifizierung,
Qualitätsmanagement

u.a. für

- ❑ Statische Dichtsysteme
- ❑ Dynamische Dichtsysteme
- ❑ Klebtechnik und
Flüssigdichtsysteme
- ❑ Formteile und Profile

Rufen Sie uns an! Telefon: +49 (0) 621-717 68 88-0

DICHTEN KLEBEN ELASTOMER

WWW.ISGATEC.COM