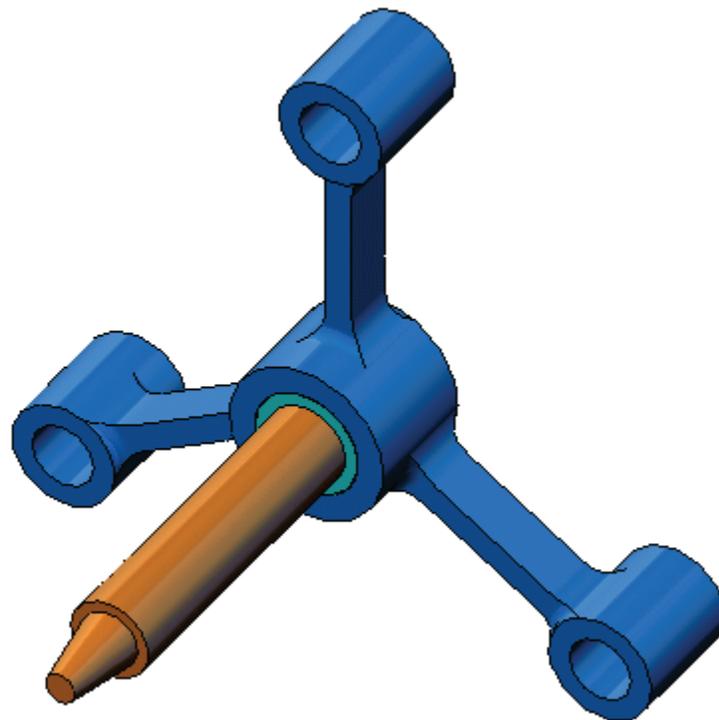




Einführung in Anwendungen der Spannungsanalyse mit SolidWorks Simulation Kursleiterhandbuch



© 1995 – 2010, urheberrechtlich geschützt durch Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, ein Unternehmen der Dassault Systèmes S.A.-Gruppe, 300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742, USA. Alle Rechte vorbehalten.

Die Informationen in diesem Dokument sowie die behandelte Software können ohne Ankündigung geändert werden und stellen keine Verpflichtungen seitens der Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks) dar.

Es ist untersagt, Material ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung von DS SolidWorks in irgendeiner Form oder auf irgendeine Weise, elektronisch oder manuell, für welchen Zweck auch immer, zu vervielfältigen oder zu übertragen.

Die in diesem Dokument behandelte Software wird unter einer Lizenz ausgeliefert und darf nur in Übereinstimmung mit den Lizenzbedingungen verwendet und kopiert werden. Alle Gewährleistungen, die von DS SolidWorks in Bezug auf die Software und Dokumentation übernommen werden, sind im Lizenzvertrag festgelegt, und nichts, was in diesem Dokument aufgeführt oder durch dieses Dokument bzw. dessen Inhalt impliziert ist, darf als Modifizierung oder Änderung irgendwelcher Bedingungen (einschließlich Gewährleistungen) in diesem Lizenzvertrag betrachtet werden.

Patenthinweise

Die mechanische 3D CAD-Software von SolidWorks® ist durch die US-amerikanischen Patente 5.815.154, 6.219.049, 6.219.055, 6.611.725, 6.844.877, 6.898.560, 6.906.712, 7.079.990, 7.477.262, 7.558.705, 7.571.079, 7.590.497, 7.643.027, 7.672.822, 7.688.318, 7.694.238 und 7.853.940 sowie durch Patente anderer Länder (z. B. EP 1.116.190 und JP 3.517.643) geschützt.

Die Software eDrawings® ist durch die US-amerikanischen Patente 7.184.044 und 7.502.027 sowie das kanadische Patent 2.318.706 geschützt.

Weitere US-amerikanische Patente und Patente anderer Länder angemeldet.

Markenhinweise und Produktnamen für SolidWorks Produkte und Dienstleistungen

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, eDrawings und das eDrawings Logo sind eingetragene Marken und FeatureManager ist eine eingetragene Gemeinschaftsmarke von DS SolidWorks.

CircuitWorks, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst und XchangeWorks sind Marken von DS SolidWorks.

FeatureWorks ist eine eingetragene Marke von Geometric Software Solutions Ltd.

SolidWorks 2011, SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation und eDrawings Professional sind Produktnamen von DS SolidWorks.

Andere Marken- oder Produktbezeichnungen sind Marken oder eingetragene Marken der jeweiligen Eigentümer.

COMMERCIAL COMPUTER SOFTWARE - EIGENTUMSRECHTE

Eingeschränkte Rechte der US-Regierung. Die Verwendung, Duplizierung oder Veröffentlichung durch die US-Regierung unterliegt den Beschränkungen gemäß der Definition in FAR 52.227-19 (Commercial Computer Software - Restricted Rights), DFARS 227.7202 (Commercial Computer Software and Commercial Computer Software Documentation) und im Lizenzabkommen, wie zutreffend.

Lieferant/Hersteller:

Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742, USA

Hinweise zu den Urheberrechten für SolidWorks Standard, Premium, Professional und für die Schulungsprodukte

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., © 1986 – 2010. Alle Rechte vorbehalten.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Siemens Industry Software Limited, © 1986 – 2010. Alle Rechte vorbehalten.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Geometric Ltd., © 1998 – 2010.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Microsoft Corporation, © 1996 – 2010. Alle Rechte vorbehalten.

Teile dieser Software beinhalten PhysX™ und sind urheberrechtlich geschützt durch NVIDIA, © 2006 – 2010.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Luxology, Inc., © 2001 – 2010. Alle Rechte vorbehalten, Patente angemeldet.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch DriveWorks Ltd., © 2007 – 2010.

Urheberrechtlich geschützt durch Adobe Systems Inc. und seinen Lizenzgebern, © 1984 – 2010. Alle Rechte vorbehalten. Geschützt durch die US-amerikanischen Patente 5.929.866, 5.943.063, 6.289.364, 6.563.502, 6.639.593 und 6.754.382. Patente angemeldet.

Adobe, das Adobe Logo, Acrobat, das Adobe PDF Logo, Distiller und Reader sind eingetragene Marken oder Marken von Adobe Systems Inc. in den USA und/oder anderen Ländern.

Weitere Copyright-Informationen finden Sie in SolidWorks unter **Hilfe > SolidWorks Info**.

Hinweise zu den Urheberrechten für SolidWorks Simulation-Produkte

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch die Solversoft Corporation, © 2008.

PCGLSS © 1992-2007, Computational Applications and System Integration, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

Hinweise zu den Urheberrechten für Enterprise PDM

Outside In® Viewer Technology, © 1992 – 2010, Oracle

© 1995 – 2010, Oracle. Alle Rechte vorbehalten.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Microsoft Corporation, © 1996 – 2010. Alle Rechte vorbehalten.

Hinweise zu den Urheberrechten für eDrawings-Produkte

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Tech Soft 3D, © 2000 – 2010.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Jean-Loup Gailly und Mark Adler, © 1995 – 1998.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch 3Dconnexion, © 1998 – 2001.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Open Design Alliance, © 1998 – 2010. Alle Rechte vorbehalten.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Spatial Corporation, © 1995 – 2009.

Diese Software basiert zum Teil auf der Arbeit der Independent JPEG Group.

Hinweise für den Kursleiter

Mit dem vorliegenden Handbuch soll SolidWorks Anwendern das SolidWorks Simulation Software-Paket vorgestellt werden. Diese Lektion hat folgende Zielsetzung:

- 1 Vorstellung der grundlegenden Konzepte der statischen strukturellen Analyse und deren Vorteile
- 2 Veranschaulichung der Benutzerfreundlichkeit und prägnante Beschreibung der Verfahrensstufen zur Durchführung dieser Analysen
- 3 Einführung in die Grundregeln für statische Analysen und in die Vorgehensweise für zuverlässige und genaue Ergebnisse

Dieses Dokument ist ähnlich wie das SolidWorks Kursleiterhandbuch in Lektionen unterteilt. Das *SolidWorks Simulation Arbeitsbuch für Kursteilnehmer* enthält zugehörige Seiten zu dieser Lektion.

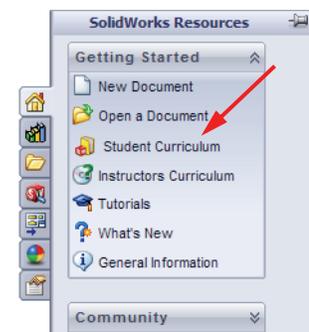
Hinweis: Mit dieser Lektion sollen nicht alle Funktionen von SolidWorks Simulation eingehend geübt, sondern nur die grundlegenden Konzepte und Regeln von linearen statischen Analysen vorgestellt und die Benutzerfreundlichkeit der Software sowie die Verfahrensstufen zur Durchführung dieser Analysen veranschaulicht werden.

Lehr-Edition Studienplan- und Kursunterlagen-DVD

Im Lieferumfang dieses Kurses ist eine *Lehr-Edition Studienplan- und Kursunterlagen-DVD* enthalten.

Bei der Installation dieser DVD wird ein Ordner namens `SolidWorks Curriculum_and_Courseware_2010` erstellt, der unter anderem Verzeichnisse für diesen Kurs enthält.

Darüber hinaus kann weiteres Kursmaterial für die Kursteilnehmer innerhalb von SolidWorks heruntergeladen werden. Klicken Sie dazu im Task-Fensterbereich auf die Registerkarte **SolidWorks Ressourcen** und wählen Sie anschließend **Studienplan für Studierende**.



Doppelklicken Sie auf den Kurs, den Sie herunterladen möchten. Wählen Sie den Kurs bei gedrückter **Strg**-Taste aus, um eine ZIP-Datei herunterzuladen. Die Datei `Lessons` (Lektionen) enthält die für die Lektionen erforderlichen Teile. Die Datei `Student Guide` (Kursteilnehmerhandbuch) enthält die PDF-Datei des Kurses.

Für Kursleiter steht weiteres Kursmaterial auf der SolidWorks Website zum Download bereit. Klicken Sie dazu im Task-Fensterbereich auf die Registerkarte **SolidWorks Ressourcen** und wählen Sie anschließend **Studienplan für Referenten**. Dadurch gelangen Sie zu der unten dargestellten Seite **Ressourcen für Lehrzwecke**.

Home > Support > Learning Resources > Educator Resources*

Educator Resources*

Educator references including lesson plans, PowerPoint presentations, student goals, vocabulary, and student assessments. These materials are provided in a combination of project-based and topic-based formats.

Note: These Educator Resources are for SolidWorks 2010. For SolidWorks 2009 resources, [click here](#).

EDU Curriculum Introduction (2010)
Overview of the guides and resources listed below.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Curriculum introduction		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resources		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SolidWorks Teacher Guide (2010)
Includes lesson plans, presentations, student goals, vocabulary, and assessments.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	NOR	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Student SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teacher SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Instructor Presentation		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Sustainability Project (2010)
Perform life cycle assessment.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook		X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Presentation		X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X

SolidWorks® Simulation Educator Guide (2010)
An introduction to the principles of analysis using SolidWorks Simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-

SolidWorks® Flow Simulation Educator Guide (2010)
An introduction to the principles of fluid flow analysis using Solidworks Flow Simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Presentation		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Lesson files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SolidWorks® Motion Educator Guide (2010)
From dynamics to kinematics, incorporate theory through virtual simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-

SAE Car Project (2010)
Design and Analyze Parts and Assemblies for Racing Competitions.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Student files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bridge Design Project (2010)
Use SolidWorks Simulation to analyze different loading conditions of the bridge.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook		X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-
Student files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Presentation		X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-

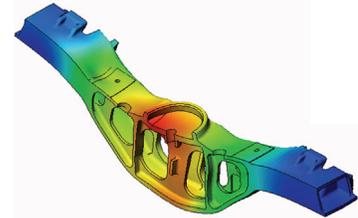
CO2 Car Design Project (2010)
Design and analyze a CO2 powered car. Make design changes to reduce drag.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook and SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SolidWorks Simulation Produktreihe

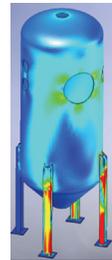
Dieser Kurs konzentriert sich auf die Einführung in die statisch lineare Simulation von elastischen Körpern mit SolidWorks Simulation. Die vollständige Produktreihe deckt jedoch noch weitere wichtige Analysebereiche ab. In den folgenden Abschnitten werden alle SolidWorks Simulation Pakete und Module kurz vorgestellt.

Mit statischen Studien können lineare Spannungsanalysen von Teilen und Baugruppen ausgeführt werden, die statischen Lasten ausgesetzt sind. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:
Hält das Teil den normalen Betriebslasten stand?
Ist das Modell überdimensioniert?
Kann der Sicherheitsfaktor durch Konstruktionsänderungen erhöht werden?



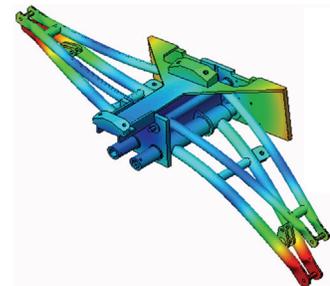
Mit Knickstudien kann die Leistung von dünnen Teilen unter Stauchung analysiert werden. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

Die Standfüße des Kessels halten den Fließkräften stand. Sind sie jedoch auch stark genug ausgelegt, um bei einem Stabilitätsverlust nicht zu versagen?
Kann mit Änderungen an der Konstruktion die Stabilität der dünnen Komponenten in der Baugruppe sichergestellt werden?



Mit Frequenzstudien können die Eigenschwingungen und -frequenzen analysiert werden. Eine solche Analyse ist nicht nur in der allgemeinen Konstruktion, sondern auch bei vielen statisch oder dynamisch belasteten Komponenten wichtig. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

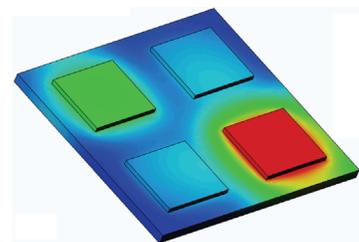
Schwingt das Teil unter den normalen Betriebslasten?
Eignen sich die Komponenten aufgrund ihrer Schwingungseigenschaften für die vorgesehene Anwendung?
Können die Schwingungseigenschaften durch Konstruktionsänderungen verbessert werden?



Mit thermischen Studien kann die Wärmeübertragung aufgrund von Leitung, Konvektion und Strahlung analysiert werden. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

Haben die Temperaturänderungen Auswirkung auf das Modell?
Wie verhält sich das Modell in einer Betriebsumgebung mit Temperaturschwankungen?

Wie lange dauert es, bis das Modell abkühlt oder überhitzt?
Führen Temperaturänderungen zur einer Ausdehnung des Modells?
Führen die durch die Temperaturänderung verursachten Spannungen zum Versagen des Produkts? (Zur Beantwortung dieser Frage wird in der Regel eine Kombination aus statischen und thermischen Studien durchgeführt.)



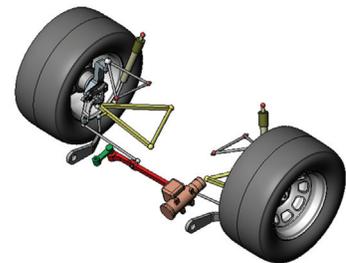
Mit Fallprüfungsstudien wird die Belastung von beweglichen Teilen oder Baugruppen beim Aufprall auf ein Hindernis analysiert. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:
 Was passiert, wenn das Produkt während des Transports nicht ordnungsgemäß behandelt oder fallen gelassen wird?
 Wie verhält sich das Produkt beim Aufprall auf einen harten Holzfußboden, einen Teppichboden oder einen Betonboden?



Optimierungsstudien werden verwendet, um die Ausgangskonstruktion auf der Grundlage ausgewählter Kriterien, wie z. B. maximale Spannung, Gewicht, optimale Frequenz usw., zu verbessern (optimieren). Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:
 Kann die Form des Modells unter Beibehaltung des Entwurfsplans geändert werden?
 Kann die Konstruktion leichter, kleiner oder kostengünstiger gemacht werden, ohne dass sich dies auf die Leistungsfähigkeit auswirkt?



Mit Ermüdungsstudien kann die Beständigkeit von Teilen und Baugruppen analysiert werden, die über längere Zeiträume wiederholt belastet werden. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:
 Kann die Lebensdauer des Produkts genau bestimmt werden?
 Lässt sich die Lebensdauer des Produkts durch Änderungen an der aktuellen Konstruktion verlängern?



Hält das Modell Kraft- oder Temperaturschwankungen über längere Zeiträume stand?
 Können Konstruktionsänderungen zu einer Minimierung der durch Kraft- oder Temperaturschwankungen verursachten Schäden beitragen?

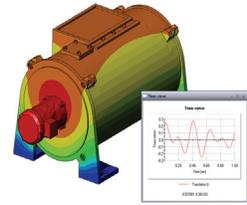
Mit nichtlinearen Studien kann die Spannung in Teilen oder Baugruppen analysiert werden, die extremen Belastungen und/oder großen Verformungen unterliegen. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

Funktionieren Teile aus Gummi (wie z. B. O-Ringe) wie erwartet unter der gegebenen Belastung?

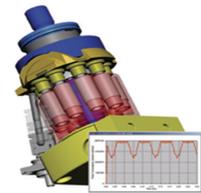
Kommt es unter den normalen Betriebsbedingungen zu einer übermäßigen Durchbiegung des Modells?



Mit dynamischen Studien werden Objekte analysiert, die zeitabhängigen Lasten unterliegen. Typische Beispiele dafür sind Fahrzeugkomponenten, die Stoßbeanspruchungen unterliegen, Turbinen, die Schwingungskräften unterliegen, Flugzeugkomponenten, die zufällig einwirkenden Kräften unterliegen, usw. Sowohl lineare (kleine strukturelle Verformungen, Grundmaterialmodelle) als auch nichtlineare Analysen (große strukturelle Verformungen, extreme Belastungen und erweiterte Modelle) stehen hier zur Verfügung. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen: Halten die Aufhängungen der Stoßbeanspruchung stand, wenn das Fahrzeug durch ein großes Schlagloch in der Straße fährt? Wie groß ist die Verformung unter diesen Umständen?



Mit Motion Simulation kann das kinematische und dynamische Verhalten von Mechanismen analysiert werden. Die Verbindungs- und Trägheitskräfte können anschließend in SolidWorks Simulation Studien übertragen werden, um die Spannungsanalyse durchzuführen. Dieses Modul liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:



Welche Größe muss der Motor oder Antrieb für die Konstruktion haben?

Ist die Konstruktion der Verknüpfungs-, Zahnrad- oder Riegelmechanismen optimal?

Welche Verschiebungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigen haben die Mechanismuskomponenten?

Ist der Mechanismus effizient? Kann sie verbessert werden?

Mit dem Modul für Verbundstoffe können Strukturen aus Schichtverbundstoffen simuliert werden.

Dieses Modul liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

Versagt das Verbundstoffmodell unter der gegebenen Belastung?

Kann die Struktur mithilfe von Verbundstoffmaterialien

leichter gemacht werden, ohne dass dadurch die Festigkeit und Sicherheit beeinträchtigt werden?

Lösen sich die Schichten des Schichtverbunds auf?

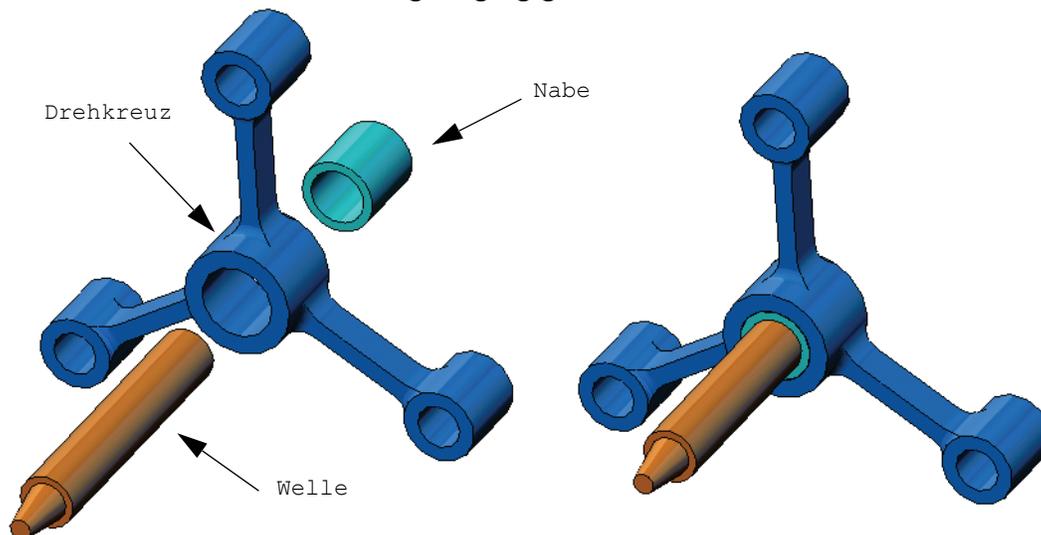


Lektion 1: Grundlegende Funktionen von SolidWorks Simulation

Ziele dieser Lektion

- ❑ Einführung der Konstruktionsanalyse als ein unentbehrliches, ergänzendes Werkzeug für die 3D-Modellierung mit SolidWorks. Nach erfolgreichem Abschluss sollen die Kursteilnehmer in der Lage sein, die grundlegenden Konzepte der Konstruktionsanalyse und ihre Implementierung durch SolidWorks Simulation zu verstehen. Die Kursteilnehmer sollen erkennen, wie sich mithilfe der Analyse durch Verringerung der zeitintensiven und teuren Konstruktionszyklen Zeit und Geld sparen lässt.
- ❑ Demonstration der Konstruktionsanalyse anhand einer aktiven Lernübung. Mit dieser Lernübung sollen die Kursteilnehmer den Einstieg finden und einige Schritte zur Durchführung einer Analyse vollziehen. Unter Beachtung dieses Aspekts werden die Schritte mit möglichst knapper Beschreibung durchgeführt.
- ❑ Einführung des Konzepts der Vernetzung eines Modells. Die erzeugte Vernetzung hängt von den aktiven Vernetzungspräferenzen ab. Die entsprechenden Optionen werden nicht näher erläutert, sondern im Rahmen der Lektion festgelegt, so dass alle Kursteilnehmer mit einer ähnliche Vernetzung arbeiten und folglich zu ähnlichen Ergebnissen gelangen. Eine Beschreibung der Optionen ist verfügbar, indem Sie im PropertyManager, wo die Optionen festgelegt werden, auf die Schaltfläche „Hilfe“ klicken.

Die Analyseergebnisse können je nach den verwendeten Versionen von SolidWorks und SolidWorks Simulation geringfügig variieren.



Gliederung

- Unterrichtsdiskussion
- Aktive Lernübung – Durchführen einer statischen Analyse
 - Öffnen des Dokuments `spider.SLDASM`
 - Überprüfen des SolidWorks Simulation Menüs
 - Wechseln zum SolidWorks Simulation Manager
 - Einrichten der Analyseeinheiten
 - Schritt 1: Erstellen einer statischen Studie
 - Schritt 2: Zuweisen von Materialien
 - Schritt 3: Anwenden von Einspannungen
 - Schritt 4: Anwenden von Lasten
 - Schritt 5: Vernetzen der Baugruppe
 - Schritt 6: Ausführen der Analyse
 - Schritt 7: Visualisieren der Ergebnisse
 - Visualisieren der Von-Mises-Spannung
 - Bewegungssimulation der graphischen Darstellung
 - Visualisieren der resultierenden Verschiebungen
 - Ist die Konstruktion sicher?
 - Wie sicher ist die Konstruktion?
 - Erzeugen eines Studienberichts
 - Speichern der Arbeitsergebnisse und Beenden von SolidWorks
- 5-minütiger Test
- Unterrichtsdiskussion – Ändern von Materialzuweisungen
- Weiterführende Fragen – Modifizieren der Geometrie
- Übungen und Projekte – Durchbiegung eines Balkens aufgrund einer endseitig angewendeten Kraft
- Zusammenfassung

Unterrichtsdiskussion

Bitten Sie die Kursteilnehmer, Objekte um sie herum zu identifizieren sowie Lasten und Einspannungen für diese Objekte anzugeben. Beispiel: Bitten Sie die Kursteilnehmer, für die Beine ihres Stuhls die Spannung zu schätzen.

Antwort

- Spannung ist gleich Kraft pro Flächeneinheit (bzw. Kraft geteilt durch Fläche). Die Stuhlbeine stützen das Gewicht des Kursteilnehmers und zusätzlich das Stuhlgewicht. Stuhlkonstruktion und Sitzposition des Kursteilnehmers bestimmen, welcher Anteil der Last auf einzelne Stuhlbeine entfällt. Die durchschnittliche Spannung errechnet sich als Summe von Kursteilnehmer- und Stuhlgewicht, geteilt durch die Anzahl der Stuhlbeine.

Weiterführende Fragen

Der Zweck dieses Abschnitts besteht darin, Kursteilnehmer zu ermutigen, über Anwendungen der Spannungsanalyse nachzudenken. Bitten Sie die Kursteilnehmer, die Spannung zu schätzen, der ihre Füße ausgesetzt sind, wenn sie aufstehen. Ist die Spannung an allen Punkten dieselbe? Was geschieht, wenn sich ein Kursteilnehmer nach vorne, nach hinten oder seitwärts beugt? Wie steht es mit der Spannung am Knie und an den Sprunggelenken? Sind diese Informationen von Nutzen für die Konstruktion künstlicher Gelenke?

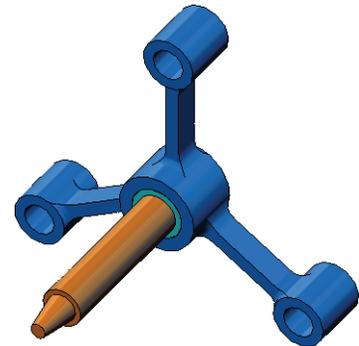
Antwort

- Spannung ist gleich Kraft pro Flächeneinheit (bzw. Kraft geteilt durch Fläche). Die hier wirkende Kraft ist das Gewicht des Kursteilnehmers. Die das Gewicht stützende Fläche ist gerade die Fläche, an der die Füße die Schuhe berühren. Die Schuhe verteilen die Last und geben sie an den Fußboden weiter. Die Reaktionskraft des Fußbodens sollte dem Gewicht des Kursteilnehmers entsprechen.
- In aufrechter Stellung stützt jeder Fuß ungefähr die Hälfte des Gewichts. Beim Gehen verlagert sich das Gewicht auf einen Fuß. Der Kursteilnehmer kann spüren, dass die Spannung (bzw. der Druck) an einigen Punkten höher ist. In aufrechter Stellung kann er seine Zehen bewegen, was darauf hinweist, dass diese einer geringen oder gar keiner Belastung ausgesetzt sind. Wenn er sich vorwärts beugt, wird die Spannung neu verteilt, wobei sich die Belastung der Zehen erhöht und diejenige der Ferse verringert. Die durchschnittliche Spannung ergibt sich als das Verhältnis des Gewichts zur Fläche, an der die Füße die Schuhe berühren.
- Die durchschnittliche Spannung am Knie und den Sprunggelenken lässt sich schätzen, sofern die das Gewicht tragende Fläche bekannt ist. Genauere Ergebnisse erfordern die Durchführung einer Spannungsanalyse. Wenn es gelingt, das Knie oder Sprunggelenk mit den korrekten Abmessungen in SolidWorks zu modellieren, und wenn die elastischen Eigenschaften der verschiedenen Teile bekannt sind, kann die statische Analyse die Spannung für jeden Punkt des Gelenks unter verschiedenen Stütz- und Belastungsszenarien liefern. Diese Ergebnisse können zur Optimierung von künstlichen Ersatzgelenken verwendet werden.
- Unter Umständen möchten die Kursteilnehmer wissen, ob es möglich ist, mit SolidWorks Simulation Knochen zu modellieren. Diese Frage ist zu bejahen. Einige Probleme dieser Art wurden bereits von SolidWorks Simulation Anwendern gelöst und die Ergebnisse zur Konstruktion von künstlichen Ersatzgelenken verwendet.

Aktive Lernübung – Durchführen einer statischen Analyse

Verwenden Sie SolidWorks Simulation zur Durchführung einer statischen Analyse der rechts abgebildeten Baugruppe Spider.SLDASM.

Die schrittweise Anleitung ist nachfolgend beschrieben.



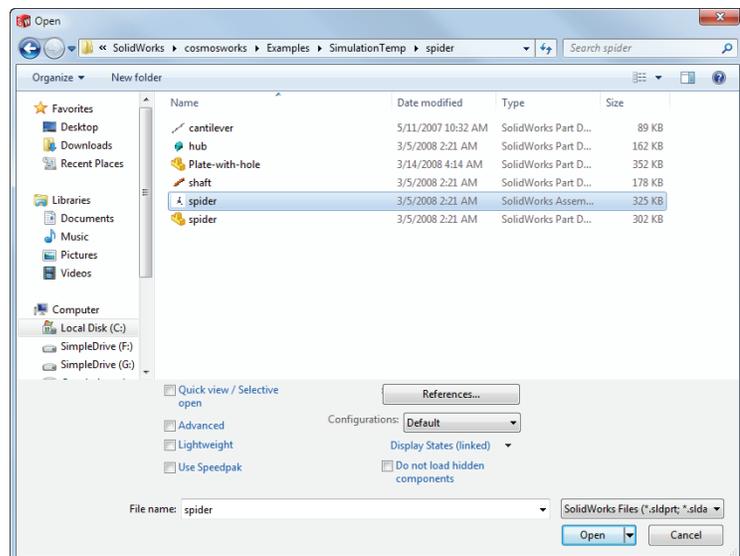
Erstellen des temporären Verzeichnisses SimulationTemp

Es wird empfohlen, die SolidWorks Simulation Schulungsbeispiele in einem temporären Verzeichnis zu speichern, um die Originalversionen für die wiederholte Verwendung parat zu haben.

- 1 Erstellen Sie ein temporäres Verzeichnis mit dem Namen `SimulationTemp` im Ordner `Examples` im Installationsverzeichnis von `SolidWorks Simulation`.
- 2 Kopieren Sie das Verzeichnis `SolidWorks Simulation Education Examples` in das Verzeichnis `SimulationTemp`.

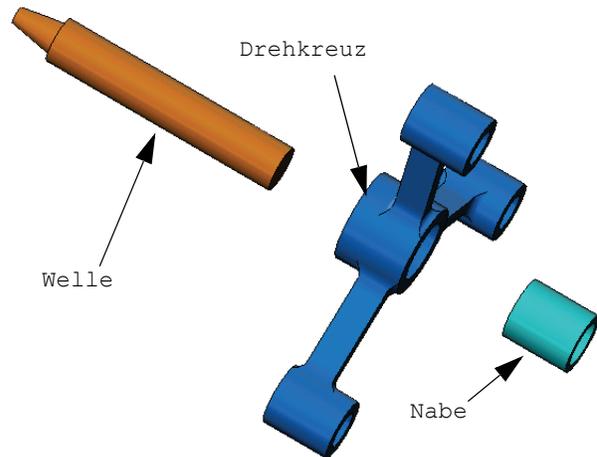
Öffnen des Dokuments Spider.SLDASM

- 1 Klicken Sie in der Standard-Symbolleiste auf **Öffnen** . Das Dialogfeld **Öffnen** wird angezeigt.
- 2 Navigieren Sie zum Ordner `SimulationTemp` im Installationsverzeichnis von `SolidWorks Simulation`.
- 3 Wählen Sie die Datei `Spider.SLDASM` aus.
- 4 Klicken Sie auf **Öffnen**.



Die Baugruppendatei spider.SLDASM wird geöffnet.

Die Baugruppe spider besteht aus drei Komponenten: shaft (Welle), hub (Nabe) und spider leg (Drehkreuz). In der folgenden Abbildung sind diese Baugruppenkomponenten in der Explosionsansicht dargestellt.



Überprüfen des SolidWorks Simulation Menüs

Wenn SolidWorks Simulation ordnungsgemäß installiert ist, wird das SolidWorks Simulation Menü in der Menüleiste von SolidWorks angezeigt. Andernfalls verfahren Sie wie folgt:



- 1 Klicken Sie auf **Extras, Zusatzanwendungen**.

Das Dialogfeld **Zusatzanwendungen** wird angezeigt.

- 2 Aktivieren Sie die Kontrollkästchen neben SolidWorks Simulation.

Wenn SolidWorks Simulation nicht in der Liste aufgeführt ist, müssen Sie SolidWorks Simulation installieren.

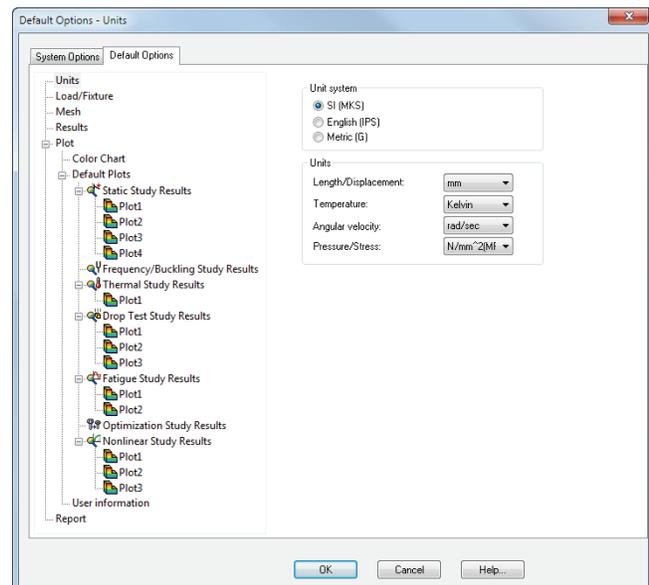
- 3 Klicken Sie auf **OK**.

Das Simulation Menü wird in der Menüleiste von SolidWorks angezeigt.

Einrichten der Analyseeinheiten

Vor dem Beginn der Lektion werden die Analyseeinheiten festgelegt.

- 1 Klicken Sie in der SolidWorks Menüleiste auf **Simulation, Optionen**.
- 2 Klicken Sie auf die Registerkarte **Standardoptionen**.
- 3 Wählen Sie unter **Einheitensystem** die Option **SI (MKS)** aus.
- 4 Stellen Sie **Länge/Verschiebung** auf **mm** und **Druck/Spannung** auf **N/mm² (MPa)** ein.
- 5 Klicken Sie auf **OK**.



Schritt 1: Erstellen einer Studie

Der erste Schritt zur Durchführung der Analyse besteht darin, eine Studie zu erstellen.

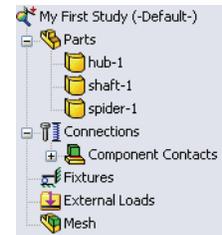
1 Klicken Sie oben im Bildschirm im SolidWorks Hauptmenü auf **Simulation, Studie**.
Der PropertyManager für **Studie** wird angezeigt.

2 Geben Sie unter **Name** den Text My First Study (Erste Studie) ein.

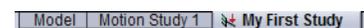
3 Wählen Sie unter **Typ** die Option **Statisch**.

4 Klicken Sie auf **OK**.

SolidWorks Simulation erstellt unter dem FeatureManager eine Simulation Studienstruktur.



Außerdem wird am unteren Rand des Fensters eine Registerkarte erstellt, mit der Sie zwischen mehreren Studien und dem Modell wechseln können.



Schritt 2: Zuweisen von Materialien

Alle Komponenten der Baugruppe sind aus legiertem Stahl gefertigt.

Zuweisen des Materials „Legierter Stahl“ an alle Komponenten

1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Teile**, und wählen Sie **Material auf alles anwenden** aus dem Kontextmenü.

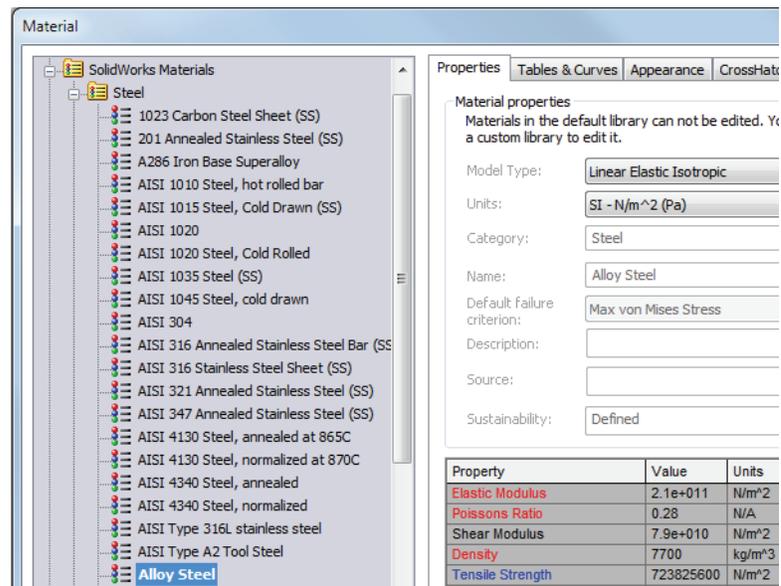
Das Dialogfeld **Material** wird angezeigt.

2 Gehen Sie wie folgt vor:

a) Klappen Sie den Bibliotheksordner **SolidWorks Materialien** auf.

b) Erweitern Sie die Kategorie **Stahl**.

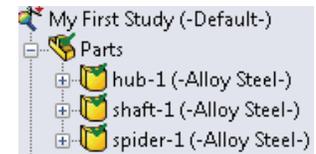
c) Wählen Sie **Legierter Stahl** aus.



Hinweis: Die mechanischen und physikalischen Eigenschaften von legiertem Stahl werden in der Tabelle rechts angezeigt.

- 3 Klicken Sie auf **Anwenden**.
- 4 Schließen Sie das Fenster **Materialien**.

Legierter Stahl wird allen Komponenten als Material zugewiesen. Diese Zuweisung wird durch ein Häkchen auf jedem Komponentensymbol angezeigt. Beachten Sie, dass der Name des zugewiesenen Materials neben dem Komponentennamen eingeblendet wird.



Schritt 3: Anwenden von Einspannungen

Im Folgenden werden die drei Bohrungen fixiert.

- 1 Verwenden Sie die **Pfeil**-Tasten, um die Baugruppe, wie in der Abbildung gezeigt, zu drehen.
- 2 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Einspannungen**, und wählen Sie **Fixierte Geometrie** aus dem Kontextmenü.

Der PropertyManager **Einspannung** wird angezeigt.

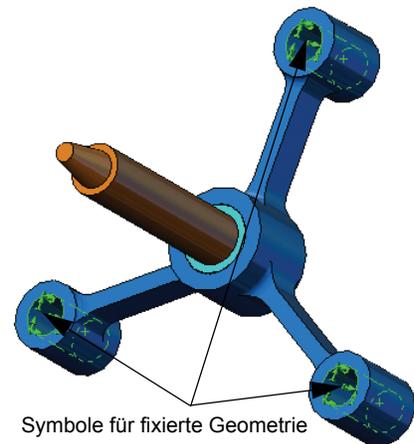
- 3 Vergewissern Sie sich, dass für **Typ** die Einstellung **Fixierte Geometrie** festgelegt ist.
- 4 Klicken Sie im Grafikbereich auf die Flächen der drei Bohrungen, wie in der folgenden Abbildung gezeigt.

Im Feld **Flächen, Kanten, Eckpunkte für Einspannung** werden Fläche<1>, Fläche<2> und Fläche<3> angezeigt.

- 5 Klicken Sie auf .

Die Einspannung Fixiert wird angewendet, und auf den ausgewählten Flächen werden die entsprechenden Symbole angezeigt.

Darüber hinaus wird in der Simulation Studienstruktur im Ordner **Einspannungen** das Feature **Fixiert-1** angezeigt. Der Name der Einspannung kann jederzeit geändert werden.



Schritt 4: Anwenden von Lasten

Im Folgenden wird eine Kraft von 2.250 N (505,82 lbf) normal auf die in der Abbildung gezeigte Fläche angewendet.

- 1 Klicken Sie oben im Grafikbereich auf das Symbol

Ausschnitt vergrößern , und vergrößern Sie den verjüngten Teil der Welle.

- 2 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Externe Lasten**, und wählen Sie **Kraft** aus dem Kontextmenü.

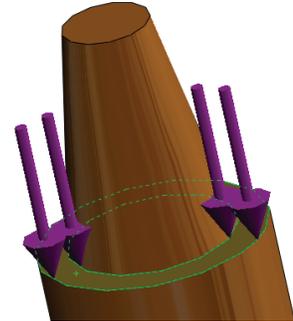
Der PropertyManager **Kraft/Drehmoment** wird angezeigt.

- 3 Klicken Sie in der grafischen Darstellung auf die in der Abbildung gezeigte Fläche.

Im Listenfeld **Flächen und Schalenkanten für Normalkraft** wird **Fläche<1>** angezeigt.

- 4 Stellen Sie sicher, dass für die Richtung die Option **Normal** ausgewählt ist.
- 5 Vergewissern Sie sich, dass für **Einheiten** die Einstellung **SI** festgelegt ist.
- 6 Geben Sie im Feld **Kraftwert**  den Wert **2.250** ein.
- 7 Klicken Sie auf .

SolidWorks Simulation wendet die Kraft auf die ausgewählte Fläche an, und im Ordner **Externe Lasten** wird das Feature **Kraft-1** angezeigt.



Ausblenden von Symbolen für Einspannungen und Lasten

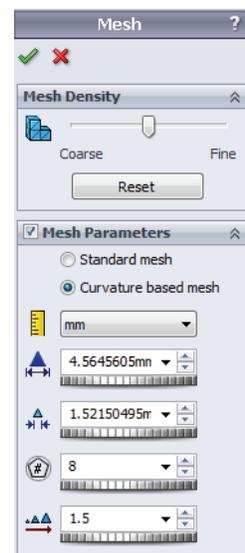
Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Einspannungen** oder **Externe Lasten**, und wählen Sie **Alles ausblenden** aus dem Kontextmenü.

Schritt 5: Vernetzen der Baugruppe

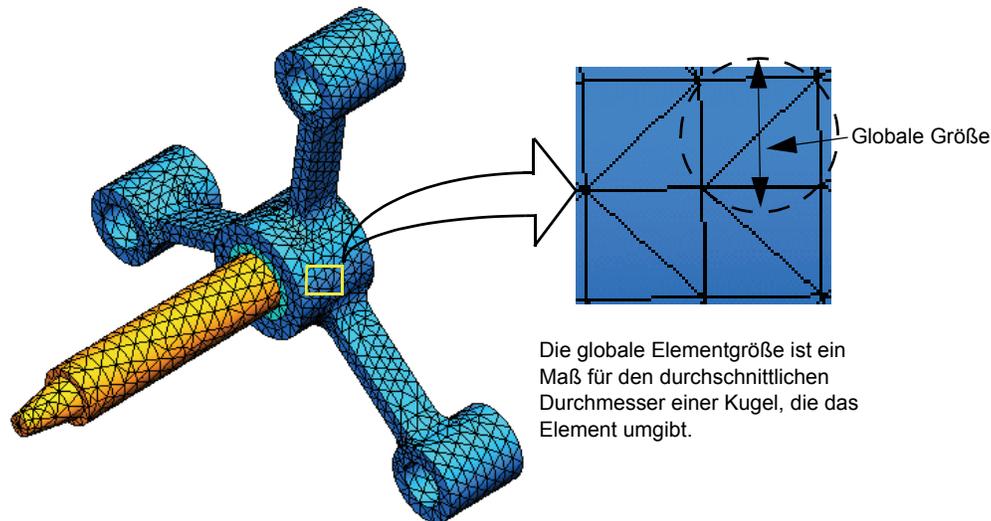
Bei der Vernetzung wird das Modell in kleinere, als Elemente bezeichnete Teile unterteilt. Auf Grundlage der geometrischen Modellbemaßungen schlägt SolidWorks Simulation eine Standard-Elementgröße (in diesem Fall 4,564 mm) vor, die bei Bedarf geändert werden kann.

- 1 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Netz**, und wählen Sie **Netz erstellen** aus dem Kontextmenü.

Der PropertyManager für **Netz** wird angezeigt.



- 2 Aktivieren Sie das Kontrollkästchen neben **Netzparameter**, um das Gruppenfeld aufzuklappen.
Achten Sie darauf, dass **Krümmungsbasierte Vernetzung** ausgewählt ist.
Verwenden Sie die durch das Programm vorgeschlagenen Standardwerte für **Maximale Elementgröße** , **Minimale Elementgröße** , **Mindestanzahl von Elementen im Kreis**  und **Elementgrößen-Wachstumsverhältnis** .
- 3 Klicken Sie auf **OK**, um mit der Vernetzung zu beginnen.



Schritt 6: Ausführen der Analyse

Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf das Symbol *My First Study*, und wählen Sie **Ausführen** aus dem Kontextmenü, um die Analyse zu starten.

Nach Abschluss der Analyse erstellt SolidWorks Simulation automatisch Standardergebnisdarstellungen, die im Ordner *Ergebnisse* gespeichert werden.

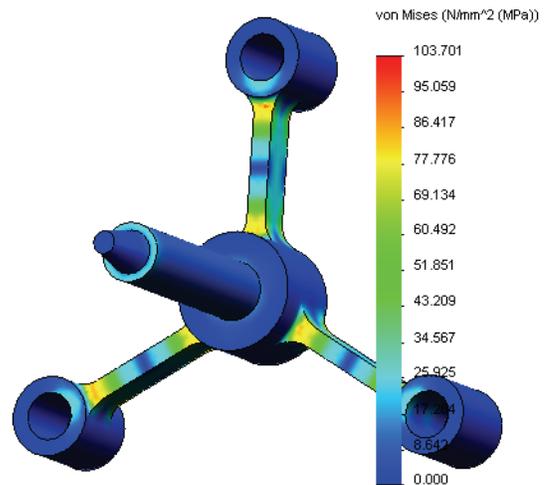
Schritt 7: Visualisieren der Ergebnisse

von-Mises-Spannung

- 1 Klicken Sie auf das Plus-Zeichen  neben dem Ordner **Ergebnisse**.

Alle Symbole für Standarddarstellungen werden angezeigt.

Hinweis: Wenn keine Standarddarstellung zu sehen ist, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse**, und wählen Sie **Spannungsdarstellung definieren** aus dem Kontextmenü. Legen Sie die gewünschten Optionen im PropertyManager fest, und klicken Sie auf .



- 2 Doppelklicken Sie auf **Spannung1 (-von Mises-)**, um die Spannungsdarstellung anzuzeigen.

Hinweis: Um die Beschriftung mit den Mindest- und Höchstwerten in der Darstellung anzuzeigen, doppelklicken Sie auf die Legende, und aktivieren Sie dann die Kontrollkästchen **Minimale Beschriftungen** und **Maximale Beschriftungen**. Klicken Sie anschließend auf .

Bewegungssimulation der graphischen Darstellung

- 1 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Spannung1 (-von Mises-)**, und wählen Sie **Bewegungssimulation** aus dem Kontextmenü.

Der PropertyManager **Bewegungssimulation** wird eingeblendet, und die Bewegungssimulation startet automatisch.

- 2 Halten Sie die Bewegungssimulation an, indem Sie auf die Schaltfläche **Stop**  klicken. Die Bewegungssimulation muss angehalten werden, um die AVI-Datei auf der Festplatte zu speichern.

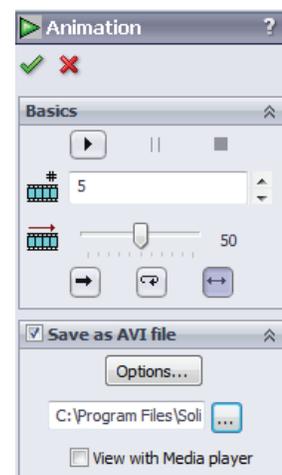
- 3 Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Als AVI-Datei speichern**, klicken Sie anschließend auf  zum Durchsuchen, und wählen Sie einen Zielordner, in dem die AVI-Datei gespeichert werden soll.

- 4 Klicken Sie auf , um die Bewegungssimulation wiederzugeben.

Die Bewegungssimulation wird im Bereich der grafischen Darstellung wiedergegeben.

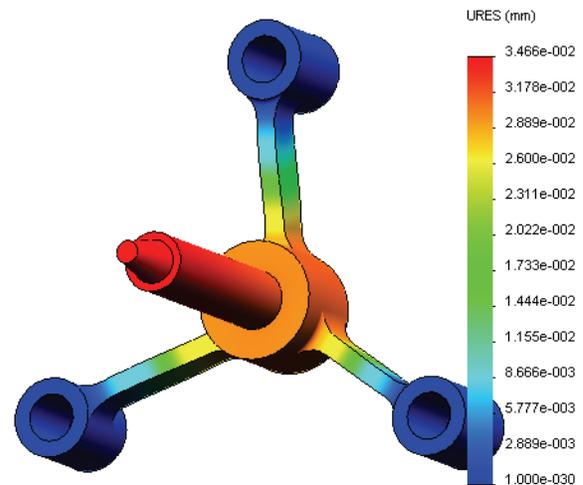
- 5 Klicken Sie auf , um die Bewegungssimulation **anzuhalten**.

- 6 Klicken Sie auf , um den PropertyManager für **Bewegungssimulation** zu schließen.



Visualisieren der resultierenden Verschiebungen

- 1 Doppelklicken Sie auf das Symbol **Verschiebung1** (-Resultierende Verschiebung-), um die Darstellung der resultierenden Verschiebung anzuzeigen.



Ist die Konstruktion sicher?

Der Assistent **Faktor der Sicherheitsverteilung** kann Ihnen bei der Beantwortung dieser Frage helfen. Im Folgenden wird der Assistent verwendet, um den Sicherheitsfaktor für jeden Punkt im Modell zu schätzen. Bei diesem Vorgang müssen Sie ein Fehlerkriterium für die Streckgrenze auswählen.

- 1 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse**, und wählen Sie **Darstellung des Sicherheitsfaktors definieren** aus dem Kontextmenü.

Der PropertyManager **Faktor der Sicherheitsverteilung** Schritt 1 von 3 wird angezeigt.

- 2 Klicken Sie unter **Kriterium** auf **Max. von-Mises-Spannung**.

Hinweis: Es sind mehrere Kriterien für die Streckgrenze verfügbar. Das von-Mises-Kriterium wird gewöhnlich zur Überprüfung auf Materialversagen für zähe Materialien verwendet.



- 3 Klicken Sie auf  **Weiter**.

Der PropertyManager **Faktor der Sicherheitsverteilung** **Schritt 2 von 3** wird angezeigt.

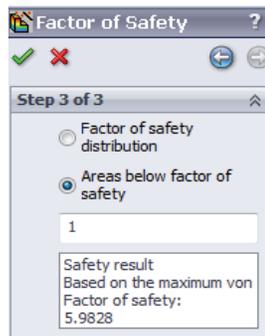
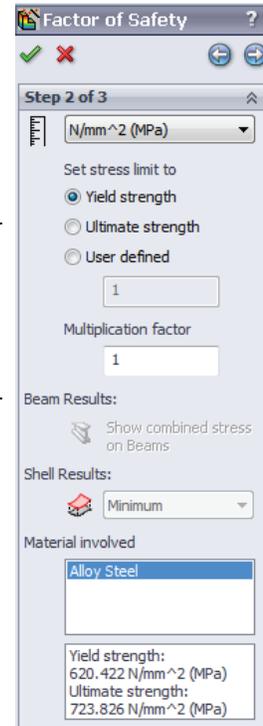
- 4 Stellen Sie **Einheiten**  auf **N/mm² (MPa)** ein.
5 Klicken Sie unter **Spannungsgrenze festlegen** auf **Fließgrenze**.

Hinweis: Beim Erreichen der Fließgrenze setzt sich die plastische Verformung des Materials mit einer höheren Geschwindigkeit fort. Im Extremfall verformt sich das Material u. U. auch dann weiter, wenn die Last nicht erhöht wird.

- 6 Klicken Sie auf  **Weiter**.

Der PropertyManager **Faktor der Sicherheitsverteilung** **Schritt 3 von 3** wird angezeigt.

- 7 Wählen Sie **Bereiche unterhalb des Sicherheitsfaktors**, und geben Sie **1** ein.
8 Klicken Sie auf , um die Darstellung zu erstellen.



Untersuchen Sie das Modell auf unsichere Bereiche, die in Rot dargestellt werden. Da die Darstellung keine roten Stellen aufweist, ist das Modell als sicher anzusehen.

Wie sicher ist die Konstruktion?

- 1 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse**, und wählen Sie **Darstellung des Sicherheitsfaktors definieren** aus dem Kontextmenü.

Der PropertyManager **Faktor der Sicherheitsverteilung Schritt 1 von 3** wird angezeigt.

- 2 Klicken Sie unter **Kriterium** auf **Max. von-Mises-Spannung**.

- 3 Klicken Sie auf **Weiter**.

Der PropertyManager **Faktor der Sicherheitsverteilung Schritt 2 von 3** wird angezeigt.

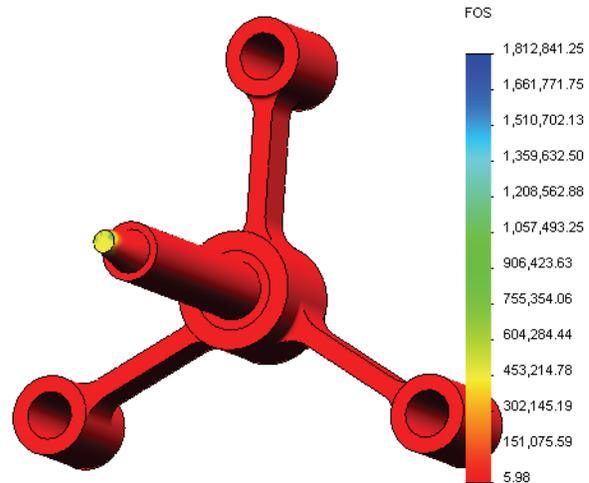
- 4 Klicken Sie auf **Weiter**.

Der PropertyManager **Faktor der Sicherheitsverteilung Schritt 3 von 3** wird angezeigt.

- 5 Klicken Sie unter **Ergebnis darstellen** auf **Faktor der Sicherheitsverteilung**.

- 6 Klicken Sie auf .

Sie zeigt die Verteilung des Sicherheitsfaktors. Der kleinste Sicherheitsfaktor-Wert beträgt ungefähr 5,98.

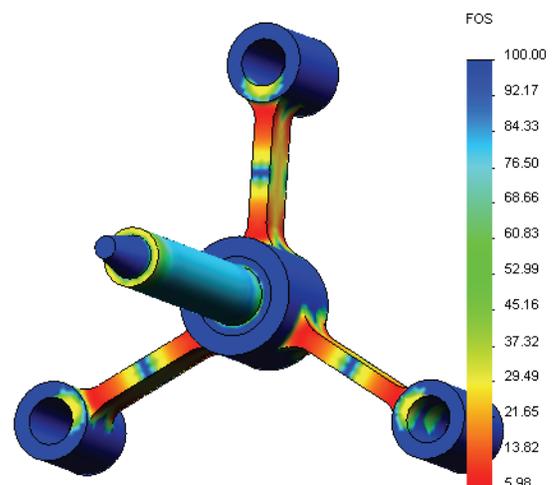


Hinweis: Ein Sicherheitsfaktor-Wert von 1,0 bedeutet, dass das Material an dieser Stelle gerade beginnt, sich plastisch zu verformen. Ein Sicherheitsfaktor von 2.0 bedeutet, dass die Konstruktion an dieser Stelle sicher ist und das Material sich erst zu verformen beginnt, wenn die Lasten verdoppelt werden.

Da einige Modellbereiche nur sehr geringer Spannung ausgesetzt sind, ist der Maximalwert des Sicherheitsfaktors sehr hoch (d. h. höher als 1.800.000). Um die Darstellung aussagekräftiger zu machen, ändern wir jetzt in der Legende den Maximalwert auf 100.

- 7 Doppelklicken Sie auf die Legende, klicken Sie dann auf **Definiert** und geben Sie den Wert **100** in das Feld **Max** ein.

- 8 Klicken Sie auf , um die abgeänderte Darstellung anzuzeigen.



Speichern aller erzeugten grafischen Darstellungen

- 1 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Symbol *My First Study*, und klicken Sie anschließend auf **Alle Darstellungen als JPEG-Dateien speichern**.
Das Dialogfeld **Ordner suchen** wird angezeigt.
- 2 Wechseln Sie zu dem Verzeichnis, in dem Sie alle Ergebnisdarstellungen speichern möchten.
- 3 Klicken Sie auf **OK**.

Erzeugen eines Studienberichts

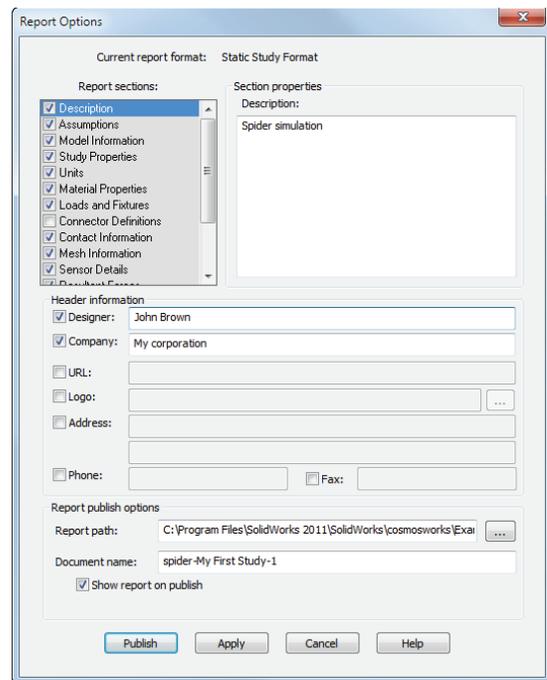
Mit dem Dienstprogramm zur Berichterstellung **Report** können Sie Ihre Arbeit rasch und systematisch für jede Studie dokumentieren. Durch dieses Programm werden strukturierte Berichte in Form von MS Word-Dokumenten erstellt, in denen alle Aspekte der Studie aufgeführt sind.

- 1 Klicken Sie oben im Bildschirm im SolidWorks Hauptmenü auf **Simulation, Bericht**.

Das Dialogfeld **Berichtsoptionen** wird angezeigt.

Unter **Berichtsabschnitte** können Sie die Abschnitte auswählen, die in den Bericht mit einbezogen werden sollen. Verwenden Sie die Kontrollkästchen neben den einzelnen Abschnitten, um diese ein- oder auszuschließen.

- 2 Alle Berichtsabschnitte können angepasst werden. Wählen Sie beispielsweise **Beschreibung** unter den **Berichtsabschnitten** aus und geben Sie dann den Text in das Feld **Abschnittseigenschaften** ein. Die übrigen Abschnitte können in gleicher Weise angepasst werden.



3 Der Name für **Designer** und **Firma** sowie das **Logo** und andere Eigentumseinzelheiten werden unter **Kopfzeileninformationen** eingegeben.
Als Logo-Dateien werden JPEG- (*.jpg, **GIF**- *.gif) oder Bitmap-Dateien (*.bmp) unterstützt.

4 Unter **Berichtsveröffentlichungsoptionen** wird der **Berichtspfad angegeben**, unter dem das Word-Dokument gespeichert werden soll. Auch müssen Sie das Kontrollkästchen **Bericht bei Veröffentlichung anzeigen** aktivieren.

5 Klicken Sie auf **Veröffentlichen**.

Der Bericht wird in Ihrem Word-Dokument geöffnet. Ferner kann das Dokument nötigenfalls zum Abschluss noch bearbeitet werden.

Das Programm erzeugt außerdem im SolidWorks Simulation Manager das Symbol  im Ordner `Bericht`.

Zum Bearbeiten eines Abschnitts des Berichts klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Berichtsymbol und klicken anschließend auf **Definition bearbeiten**. Ändern Sie den Abschnitt, und klicken Sie auf **OK**, um den vorhandenen Bericht zu ersetzen.

Schritt 8: Speichern der Arbeitsergebnisse und Beenden von SolidWorks

- 1 Klicken Sie auf der Standard-Symbolleiste auf , oder wählen Sie **Datei, Speichern**.
- 2 Klicken Sie im Hauptmenü auf **Datei, Beenden**.

5-minütiger Test – Lösungsschlüssel

- 1 Wie starten Sie eine SolidWorks Sitzung?
Antwort: Klicken Sie in der Taskleiste von Windows auf **Start, Programme, SolidWorks, SolidWorks Anwendung**. Die Anwendung SolidWorks wird gestartet.
- 2 Wie gehen Sie vor, wenn das SolidWorks Simulation Menü beim Öffnen einer Datei nicht in der Menüleiste von SolidWorks zu sehen ist?
Antwort: Klicken Sie auf **Extras, Zusatzanwendungen**, aktivieren Sie die Kontrollkästchen neben SolidWorks Simulation, und klicken Sie dann auf **OK**.
- 3 Welche Arten von Dokumenten kann SolidWorks Simulation analysieren?
Antwort: SolidWorks Simulation kann Teile und Baugruppen analysieren.
- 4 Was ist in diesem Zusammenhang unter Analyse zu verstehen?
Antwort: Eine Analyse ist ein Vorgang, bei dem das Verhalten einer Konstruktion unter praxisähnlichen Bedingungen simuliert wird.
- 5 Warum ist diese Analyse wichtig?
Antwort: Eine Konstruktionsanalyse kann dazu beitragen, bessere, sicherere und billigere Produkte zu entwerfen. Sie spart Zeit und Geld, indem sie den Bedarf an herkömmlichen teuren Entwurfszyklen verringert.
- 6 Was ist eine Analysestudie?
Antwort: Eine Analysestudie repräsentiert ein Szenario aus Analysetyp, Materialien, Lasten und Einspannungen.
- 7 Welche Arten von Analysen lassen sich mit SolidWorks Simulation durchführen?
Antwort: SolidWorks Simulation eignet sich zur Durchführung von Frequenz-, Knick-, Ermüdungs-, Optimierungs- und Druckbehälteranalysen, Fallprüfungen, statischen und thermischen Analysen sowie nicht-linearen statischen, linearen und nicht-linearen dynamischen Analysen.
- 8 Was wird bei einer statischen Analyse berechnet?
Antwort: Eine statische Analyse berechnet Spannungen, Dehnungen, Verschiebungen und Reaktionskräfte für ein gegebenes Modell.
- 9 Was ist unter Spannung zu verstehen?
Antwort: Spannung misst die Stärke einer auftretenden Kraft pro Fläche.
- 10 Welche wesentlichen Schritte zeichnet eine Analyse aus?
Antwort: Die Hauptschritte einer Analyse sind: Erstellen einer Studie, Zuweisen von Materialien, Anwenden von Einspannungen, Anwenden von Lasten, Vernetzen des Modells, Ausführen der Analyse und Visualisieren der Ergebnisse.
- 11 Wie können Sie das Material eines Bauteils ändern?
Antwort: Klicken Sie mit der rechten Maustaste unter dem Ordner `Teile` Ihrer Studie auf das Teil-Symbol, und wählen Sie **Material auf alles anwenden** aus dem Kontextmenü. Wählen Sie das neue Material aus, und klicken Sie auf **OK**.
- 12 Der Sicherheitsfaktor-Assistent zeigt an einigen Stellen einen Sicherheitsfaktor von 0,8. Ist Ihre Konstruktion sicher?
Antwort: Nein. Für eine sichere Konstruktion sollte die untere Grenze des Sicherheitsfaktors nicht weniger als 1,0 betragen.

Unterrichtsdiskussion – Ändern von Materialzuweisungen

Bitte Sie die Kursteilnehmer, den Komponenten der Baugruppe unterschiedliche Materialien unter Verwendung der Vorgaben in der folgenden Tabelle zuzuweisen und anschließend die Analyse auszuführen.

Komponente	Materialbezeichnung
Welle	Legierter Stahl
Nabe	Grauguss
Drehkreuz	Aluminium 6061

Antwort

Gehen Sie wie folgt vor, um den Baugruppen-Komponenten unterschiedliche Materialien zuzuweisen:

Zuweisen von grauem Gusseisen als Material für `hub` (Nabe)

- 1 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur innerhalb des Ordners `Teile` mit der rechten Maustaste auf das Symbol `hub-1`, und wählen Sie **Material anwenden/bearbeiten** aus dem Kontextmenü.
Das Dialogfeld **Material** wird angezeigt.
- 2 Wählen Sie in `SolidWorks Materialien` unter der Kategorie `Eisen` die Option **Graues Gusseisen** aus.
- 3 Klicken Sie auf **Anwenden** und dann auf **Schließen**.

Zuweisen von 6061 Aluminiumlegierung als Material für `spider leg` (Drehkreuz)

- 1 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur innerhalb des Ordners `Teile` mit der rechten Maustaste auf das Symbol `spider-1`, und wählen Sie **Material anwenden/bearbeiten** aus dem Kontextmenü.
Das Dialogfeld **Material** wird angezeigt.
- 2 Wählen Sie in `SolidWorks Materialien` unter der Kategorie `Aluminiumlegierungen` die Option **6061 Legierung** aus.
- 3 Klicken Sie auf **Anwenden** und dann auf **Schließen**.

Erneutes Ausführen der Studie und Visualisieren der Ergebnisse

Wenn keine Standarddarstellung zu sehen ist, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse**, und wählen Sie **Spannungsdarstellung definieren** aus dem Kontextmenü. Legen Sie die gewünschten Optionen im PropertyManager fest, und klicken Sie auf .

- 1 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf das Symbol **Studie**, und wählen Sie **Ausführen** aus dem Kontextmenü.

Hinweis: Um die neuen Ergebnisse zu erhalten, müssen Sie das Modell nicht erneut vernetzen.

- 2 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager auf das Plus-Zeichen  neben dem Ordner **Ergebnisse**.

Die Symbole für Standarddarstellungen werden angezeigt.

Hinweis: Wenn keine Standarddarstellung zu sehen ist, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse**, und wählen Sie **Spannungsdarstellung definieren** aus dem Kontextmenü. Legen Sie die gewünschten Optionen im PropertyManager fest, und klicken Sie auf .

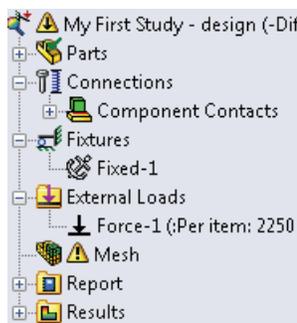
- 3 Doppelklicken Sie auf **Spannung1 (-von Mises-)**, um die Darstellung der von-Mises-Spannung anzuzeigen.

Weiterführende Fragen – Modifizieren der Geometrie

Nachdem Sie die Ergebnisse visualisiert haben, möchten Sie möglicherweise Änderungen an Ihrer Konstruktion vornehmen. Bitten Sie die Kursteilnehmer, eine Änderung an der Geometrie vorzunehmen und die Ergebnisse neu zu berechnen. Vergessen Sie nicht, darauf hinzuweisen, dass nach einer Änderung der Geometrie das Modell neu vernetzt und die Studie erneut ausgeführt werden muss. In den folgenden Anleitungen wird beschrieben, wie Sie die Durchmesser der drei Bohrungen ändern und die Ergebnisse erneut auswerten.

Antwort

- Klicken Sie auf die Registerkarte für den FeatureManager .
- Klicken Sie auf das Plus-Zeichen (+) neben (-) spider<1>.
- Klicken Sie auf das Plus-Zeichen (+) neben Cut-Extrude2. Das Symbol Sketch7 wird angezeigt.
- Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Symbol Sketch7, und wählen Sie anschließend die Option **Skizze bearbeiten** . Die Skizze wird geöffnet.
- Drücken Sie die Leertaste, und wählen Sie im Menü **Ausrichtung** die Option ***Vorderseite** aus.
- Doppelklicken Sie auf die Bemaßung **15,24 mm**. Das Dialogfeld **Modifizieren** wird angezeigt.
- Geben Sie den Wert **16,5 mm** im Dialogfeld **Modifizieren** ein, und klicken Sie auf .
- Klicken Sie im Bestätigungs-Eckfeld auf **OK**.
- Klicken Sie auf das Symbol **Komponente bearbeiten** , um den Bearbeitungsmodus zu verlassen.



- Neben My First Study und Netz wird ein Warnungssymbol  angezeigt.
- Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Symbol Netz, und klicken Sie anschließend auf **Netz erstellen**, um das Modell erneut zu vernetzen. Eine Warnmeldung weist darauf hin, dass mit der erneuten Vernetzung die aktuellen Ergebnisse gelöscht werden. Klicken Sie auf **OK**.
- Verwenden Sie die Standardwerte für **Maximale Elementgröße** , **Minimale Elementgröße** , **Mindestanzahl von Elementen im Kreis**  und **Elementgrößen-Wachstumsverhältnis** . Beachten Sie, dass sich diese Werte von den bisherigen unterscheiden.
- Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Analyse durchführen (lösen)**, und klicken Sie auf .
- Überprüfen Sie nach dem Abschluss der Analyse die Standardergebnisse für die von-Mises-Spannung, Verschiebung und Dehnung und andere, zuvor beschriebene Ergebnisse.

Übungen und Projekte – Durchbiegung eines Balkens aufgrund einer endseitig angewendeten Kraft

Für einige einfache Probleme lassen sich exakte Antworten finden. Eines dieser Probleme betrifft einen Balken, der (wie abgebildet) an einem Ende durch eine Kraft belastet wird. Das Problem soll mithilfe von SolidWorks Simulation gelöst werden. Anschließend sollen die gewonnenen Ergebnisse mit der exakten Lösung verglichen werden.

Aufgaben

1 Öffnen Sie die Datei `Front_Cantilever.sldprt` im Ordner `Examples`, der sich im Installationsverzeichnis von SolidWorks Simulation befindet.

2 Messen Sie Breite, Höhe und Länge des Kragbalkens (verwenden Sie hierzu das **Messen**-Werkzeug .

Antwort: Die Breite ist 25,4 mm (1 Zoll), die Höhe ist 25,4 mm (1 Zoll) und die Länge ist 254 mm (10 Zoll).

3 Speichern Sie das Bauteil unter einem anderen Namen.

4 Erstellen Sie eine **statische** Studie.

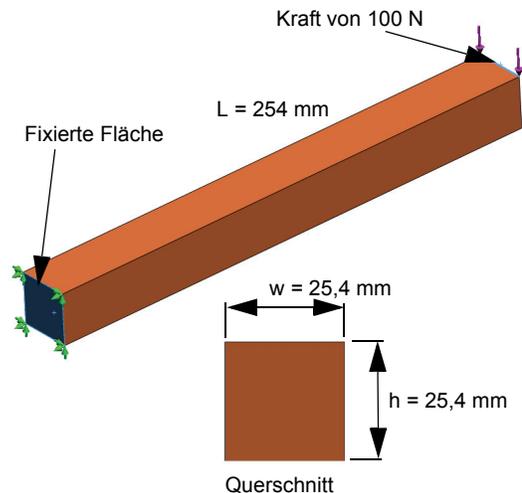
Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie auf **Simulation, Studie**.
- Geben Sie einen Namen für die Studie ein.
- Legen Sie für **Analyseart** die Einstellung **Statisch** fest.
- Klicken Sie auf **OK**.

5 Weisen Sie dem Teil das Material Alloy Steel (Legierter Stahl) zu. Welchen Wert hat das Elastizitätsmodul in N/mm^2 (MPa)?

Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf das Symbol `Front_Cantilever`, und wählen Sie **Material anwenden/bearbeiten** aus dem Kontextmenü. Das Dialogfeld **Material** wird angezeigt.
- Klappen Sie die Bibliothek `SolidWorks Materialien` auf.
- Klappen Sie die Kategorie `Stahl` auf und wählen Sie **Legierter Stahl** aus.
- Wählen Sie im Menü **Einheiten** die Einstellung **SI - N/mm^2 (MPa)**. Wie Sie sehen, hat das **Elastizitätsmodul in x** den Wert **210.000 MPa**.
- Klicken Sie auf **Anwenden** und dann auf **Schließen**.



6 Fixieren Sie eine der Endflächen des Kragbalkens.

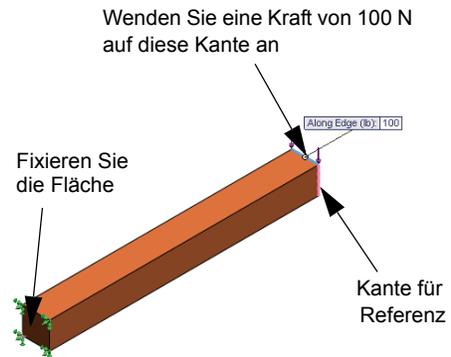
Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Einspannungen**, und wählen Sie **Fixierte Geometrie** aus dem Kontextmenü. Der PropertyManager **Einspannung** wird angezeigt.
- Wählen Sie unter **Typ** die Option **Fixierte Geometrie**.
- Klicken Sie auf die Endfläche des Balkens, wie in der Abbildung gezeigt.
- Klicken Sie auf .

7 Wenden Sie eine abwärts gerichtete Kraft von 500 N (112,4 lbf) auf die obere Kante der anderen Endfläche an.

Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Externe Lasten**, und wählen Sie **Kraft** aus dem Kontextmenü. Der PropertyManager **Kraft/Drehmoment** wird angezeigt.
- Wählen Sie unter **Typ** die Option **Kraft**.
- Klicken Sie auf die in der Abbildung gezeigte Kante.
- Stellen Sie sicher, dass Im Feld **Flächen, Kanten, Eckpunkte, Referenzpunkte für Kraft** der Wert **Kante<1>** angezeigt wird.
- Klicken Sie auf **Ausgewählte Richtung** und wählen Sie für **Fläche, Kante, Ebene für Richtung** die seitliche Kante des Balkens aus.
- Wählen Sie im Menü **Einheiten** die Option **SI**.
- Geben Sie unter **Kraft** den Wert **500** in das Wertefeld ein. Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Richtung umkehren**. Dieser Wert bestimmt eine vertikal abwärts gerichtete Kraft.
- Klicken Sie auf .



8 Vernetzen Sie das Teil, und führen Sie die Analyse aus.

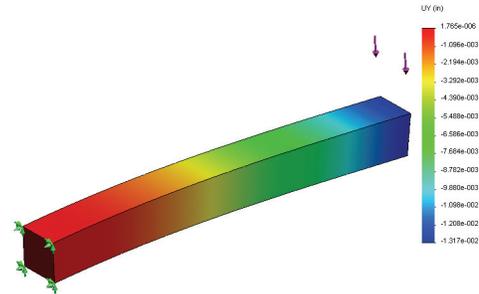
Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf das Symbol **Netz**.
- Verwenden Sie die Standardwerte für **Maximale Elementgröße** , **Minimale Elementgröße** , **Mindestanzahl von Elementen im Kreis**  und **Elementgrößen-Wachstumsverhältnis** .
- Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Analyse durchführen (lösen)**.
- Klicken Sie auf .

- 9 Erzeugen Sie nach dem Abschluss der Analyse eine grafische Darstellung der Verschiebung in der Y-Richtung. Die Y-Richtung ist mit der Richtung 2 von Ebene1 identisch. Welche Maximalverschiebung in Y-Richtung ist am freien Ende des Kragbalkens festzustellen?

Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf den Ordner Ergebnisse, und wählen Sie **Verschiebungsdarstellung definieren** aus dem Kontextmenü. Der PropertyManager für **Verschiebungsdarstellung** wird angezeigt.
- Stellen Sie Einheiten  auf mm ein.
- Wählen Sie **UY: Y-Verschiebung** für **Komponente**  aus.
- Klicken Sie auf .
- Die vertikale Verschiebung am freien Ende beträgt **- 0,3764 mm** (- 0,0148 Zoll).



- 10 Berechnen Sie die theoretische Vertikalverschiebung am freien Ende unter Verwendung der folgenden Gleichung:

$$UY_{Theory} = \frac{4FL^3}{Ewh^3}$$

Antwort: Für dieses Problem sind folgende Informationen verfügbar:

F = Endlast = - 500 N (112,4 lbf),

L = Länge des Balkens = 254 mm (10 Zoll),

E = Elastizitätsmodul = 210.000 N/mm² (30.457.919 psi),

w = Breite des Balkens = 25,4 mm (1 Zoll),

h = Höhe des Balkens = 25,4 mm (1 Zoll).

Nach dem Einsetzen der numerischen Werte in die vorherige Gleichung ergibt sich:

$UY_{Theory} = - 0,3749$ mm (- 0,01476 Zoll).

- 11 Berechnen Sie den Fehler der Vertikalverschiebung anhand der folgenden Gleichung:

$$ErrorPercentage = \left(\frac{UY_{Theory} - UY_{Simulation}}{UY_{Theory}} \right) 100$$

Antwort: Der prozentuale Fehler der maximalen Vertikalverschiebung beträgt 0,4 %. Für die meisten Anwendungen der Konstruktionsanalyse ist ein Fehler von ungefähr 5 % akzeptabel.

Arbeitsblatt „Begriffe“ – Lösungsschlüssel

Name: _____ Kurs: _____ Datum: _____

Tragen Sie an den entsprechenden Leerstellen die richtigen Antworten ein.

- 1 Bezeichnung für die Reihenfolge, die sich aus dem Erstellen eines Modells in SolidWorks, dem Fertigen eines Prototyps und dem Testen des Prototyps ergibt: **Herkömmlicher Konstruktionszyklus**
- 2 Bezeichnung für ein *Was-wäre-wenn*-Szenario, das Analyseart, Materialien, Lasten und Einspannungen spezifiziert: **Studie**
- 3 Das von SolidWorks Simulation zur Analyse verwendete Verfahren: **Finite-Elemente-Methode (FEM)**
- 4 Art der Studie, mit der Verschiebungen, Dehnungen und Spannungen berechnet werden: **Statische Studie**
- 5 Verfahren, mit dem ein Modell in kleinere Teile unterteilt wird: **Vernetzung**
- 6 Kleine einfache Formen, die während der Vernetzung erzeugt werden: **Elemente**
- 7 Bezeichnung für gemeinsame Punkte von Elementen: **Knoten**
- 8 Die auf eine Fläche wirkende Kraft, geteilt durch diese Fläche: **Durchschnittliche Spannung**
- 9 Der plötzliche Zusammenbruch schlanker Konstruktionen aufgrund axial kompressiver Lasten: **Knicken**
- 10 Eine Studie, welche die Hitzeentwicklung für eine Konstruktion berechnet: **Thermische Studie**
- 11 Eine Zahl, die eine allgemeine Beschreibung des Spannungszustands liefert: **von-Mises-Spannung**
- 12 In Ebenen ohne Schubspannung auftretende Normalspannungen: **Hauptspannungen**
- 13 Die Frequenz, mit der ein Körper schwingen kann: **Eigenschwingung**
- 14 Art der Analyse, die zur Vermeidung von Resonanz verwendet werden kann: **Frequenzanalyse**

Quiz – Lösungsschlüssel

Name: _____ Kurs: _____ Datum: _____

Anleitung: Beantworten Sie jede Frage, indem Sie die richtige(n) Antwort(en) in den freien Platz im Anschluss an die Frage eintragen.

- 1 Sie testen ein Konstruktion, indem Sie eine Studie erstellen. Was ist unter einer Studie zu verstehen?
Antwort: Eine Studie ist ein *Was-wäre-wenn*-Szenario, das Analyseart, Materialien, Lasten und Einspannungen spezifiziert.
- 2 Welche Arten von Analysen lassen sich mit SolidWorks Simulation durchführen?
Antwort: Frequenz-, Knick-, Ermüdungs-, Optimierungs- und Druckbehälteranalysen, Fallprüfungen, statische und thermische Analysen sowie nicht-lineare statische, lineare und nicht-lineare dynamische Analysen.
- 3 Nachdem Sie die Ergebnisse einer Studie berechnet haben, ändern Sie die Festlegungen für Material, Lasten und/oder Einspannungen. Müssen Sie für das Modell erneut eine Vernetzung durchführen?
Antwort: Nein. Sie müssen lediglich die Studie erneut ausführen.
- 4 Nach der Vernetzung einer Studie ändern Sie die Geometrie. Müssen Sie für das Modell erneut eine Vernetzung durchführen?
Antwort: Ja. Nachdem Sie die Geometrie geändert haben, müssen Sie das Modell erneut vernetzen.
- 5 Wie erstellen Sie eine neue statische Studie?
Antwort: So erstellen Sie eine neue statische Studie:
 - Klicken Sie auf **Simulation, Studie**. Das Dialogfeld **Studie** wird angezeigt.
 - Geben Sie unter **Studiename** den Namen der neuen Studie ein. Verwenden Sie einen aussagekräftigen Namen.
 - Wählen Sie unter **Studientyp** die Option **Statisch**.
 - Klicken Sie auf .
- 6 Was ist unter einer Vernetzung zu verstehen?
Antwort: Eine Vernetzung (bzw. ein Netz) ist die Sammlung von Elementen und Knoten, die beim Vernetzen des Modells erzeugt wird.
- 7 Wie viele Symbole werden für eine Baugruppe im Ordner `Teile` angezeigt?
Antwort: Für jeden Körper wird ein Symbol angezeigt. Eine Komponente kann sich aus mehreren Körpern zusammensetzen.

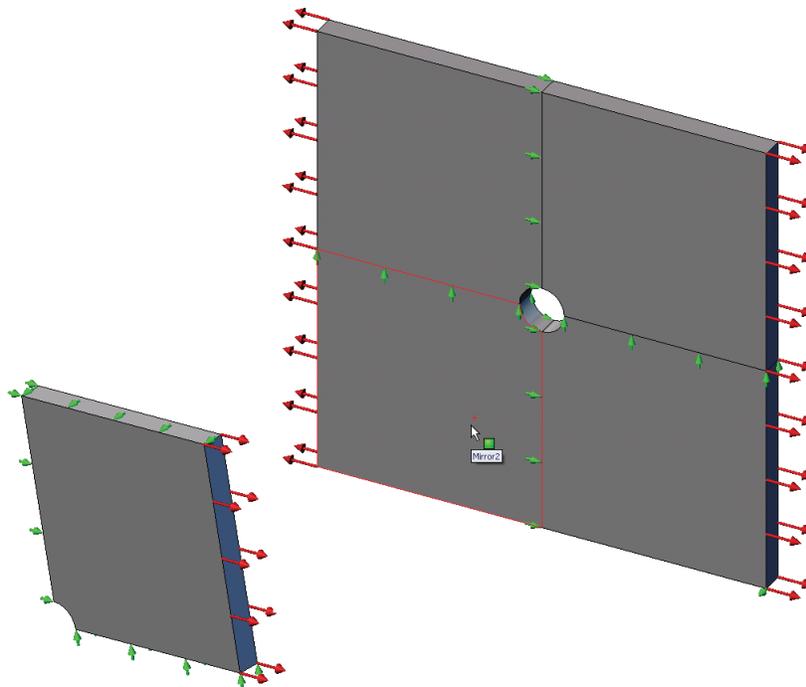
Zusammenfassung

- ❑ SolidWorks Simulation ist eine vollständig in SolidWorks integrierte Software zur Konstruktionsanalyse.
- ❑ Eine Konstruktionsanalyse kann dazu beitragen, bessere, sicherere und billigere Produkte zu entwerfen.
- ❑ Eine statische Analyse berechnet Verschiebungen, Dehnungen, Spannungen und Reaktionskräfte für ein gegebenes Modell.
- ❑ Eine Frequenzanalyse berechnet die Eigenschwingungen und die zugehörigen Schwingungsformen.
- ❑ Mit einer Knickungsanalyse lassen sich Knicklasten für komprimierte Bauteile berechnen.
- ❑ Eine Fallprüfungsanalyse berechnet die Aufpralllast von Objekten, die auf eine feste oder elastische Oberfläche fallen.
- ❑ Eine thermische Analyse berechnet die Temperaturverteilung unter thermischer Belastung und thermischen Randbedingungen.
- ❑ Eine Optimierungsanalyse optimiert ein gegebenes Modell auf der Basis von Zielfunktionen (im Sinne einer Minimierung von Volumen oder Masse).
- ❑ Materialien geben nach und verformen sich, wenn die Spannung ein bestimmtes Limit erreicht.
- ❑ Die von-Mises-Spannung ist eine Kennzahl für die Bewertung des Spannungszustands an einer gegebenen Stelle.
- ❑ Der Assistent für den Faktor der Sicherheitsverteilung prüft die Sicherheit einer Konstruktion.
- ❑ Zur Simulation eines Modells wird es von SolidWorks Simulation in kleinere Einheiten unterteilt, die aus einfachen Formen bestehen und als Elemente bezeichnet werden. Dieser Vorgang wird *Vernetzung* genannt.
- ❑ Die wesentlichen Schritte bei der Durchführung einer Analyse in SolidWorks Simulation lauten:
 - Erstellen einer Studie
 - Zuweisen von Materialien
 - Anwenden von Einspannungen zur Vermeidung von Starrkörperbewegungen
 - Anwenden von Lasten
 - Vernetzen des Modells
 - Ausführen der Analyse
 - Visualisieren der Ergebnisse

Lektion 2: Adaptionsmethoden in SolidWorks Simulation

Ziele dieser Lektion

- Einführung des Konzepts der Adaptionsmethoden für statische Studien. Nach erfolgreichem Abschluss dieser Lektion sollen die Kursteilnehmer in der Lage sein, die grundlegenden Konzepte adaptiver Methoden und ihre Implementierung durch SolidWorks Simulation zu verstehen.
- Analysieren von Teilen eines Modells anstelle des gesamten Modells. Im zweiten Teil dieser Lektion analysieren die Kursteilnehmer ein reduziertes Modell, das lediglich ein Viertel der Daten des ursprünglichen Modells umfasst, unter Verwendung von Symmetrieeinspannungen. Die Teilnehmer sollen in der Lage sein zu erkennen, unter welchen Bedingungen sie Symmetrieeinspannungen anwenden können, ohne die Genauigkeit der Ergebnisse zu beeinträchtigen.
- Einführung des Konzepts der Schalenvernetzung. Die Unterschiede zwischen einer Schale und einer Volumenkörpervernetzung werden in der Projektdiskussion eingehender behandelt. Die Kursteilnehmer sollen erkennen können, welche Modelle sich besser für die Schalenvernetzung eignen.
- Vergleichen von SolidWorks Simulation Ergebnissen mit bekannten theoretischen Lösungen. Für das in dieser Lektion beschriebene Problem existiert eine theoretische Lösung. Für die Klasse von Problemen mit analytischen Lösungen sollen die Kursteilnehmer in der Lage sein, den prozentualen Fehler abzuleiten und zu entscheiden, ob dieser akzeptabel ist oder nicht.



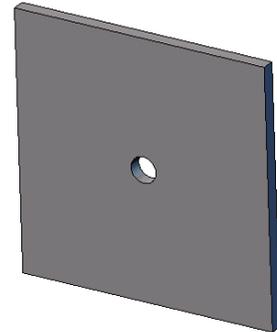
Gliederung

- Aktive Lernübung – Adaptionismethoden in SolidWorks Simulation
 - **Teil 1**
 - Öffnen des Dokuments `Plate-with-hole.SLDPRT`
 - Überprüfen des SolidWorks Simulation Menüs
 - Speichern des Modells in einem temporären Verzeichnis
 - Einrichten der Analyseeinheiten
 - Schritt 1: Erstellen einer statischen Studie
 - Schritt 2: Zuweisen von Materialien
 - Schritt 3: Anwenden von Einspannungen
 - Schritt 4: Anwenden von Druck
 - Schritt 5: Vernetzen des Modells und Ausführen der Analyse
 - Schritt 6: Visualisieren der Ergebnisse
 - Schritt 7: Überprüfen der Ergebnisse
 - **Teil 2**
 - Modellieren eines Viertels der Platte unter Anwendung von Symmetrieeinspannungen
 - **Teil 3**
 - Anwenden der h-adaptiven Methode
- 5-minütiger Test
- Unterrichtsdiskussion – Erstellen einer Frequenzstudie
- Übungen und Projekte – Modellieren der Viertelplatte mit einer Schalenvernetzung
- Zusammenfassung

Aktive Lernübung – Teil 1

Verwenden Sie SolidWorks Simulation zur Durchführung einer statischen Analyse des rechts abgebildeten Teils `Plate-with-hole.SLDPRT`.

Sie berechnen die Spannungen in einer quadratischen Platte von 500 mm x 500 mm x 25 mm (19,68 Zoll x 19,68 Zoll x 0,98 Zoll) mit einem mittigen Loch, das einen Radius von 25 mm (0,98 Zoll) hat. Die Platte wird einer Zugdruckkraft von 1 MPa (145,04 psi) ausgesetzt.



Anschließend vergleichen Sie die Spannungskonzentration in der näheren Umgebung des Loches mit bekannten theoretischen Ergebnissen.

Die schrittweise Anleitung ist nachfolgend beschrieben.

Erstellen des temporären Verzeichnisses `Simulationtemp`

Es wird empfohlen, die SolidWorks Simulation Schulungsbeispiele in einem temporären Verzeichnis zu speichern, um die Originalversionen für die wiederholte Verwendung parat zu haben.

- 1 Erstellen Sie ein temporäres Verzeichnis mit dem Namen `Simulationtemp` im Ordner `Examples` im Installationsverzeichnis von SolidWorks Simulation.
- 2 Kopieren Sie das Verzeichnis `SolidWorks Simulation Education Examples` in das Verzeichnis `Simulationtemp`.

Öffnen des Dokuments `Plate-with-hole.SLDPRT`

- 1 Klicken Sie in der Standard-Symboleiste auf **Öffnen** . Das Dialogfeld **Öffnen** wird angezeigt.
- 2 Navigieren Sie zum Ordner `Simulationtemp` im Installationsverzeichnis von SolidWorks Simulation.
- 3 Wählen Sie die Datei `Plate-with-hole.SLDPRT` aus.
- 4 Klicken Sie auf **Öffnen**.

Die Bauteildatei `Plate-with-hole.SLDPRT` wird geöffnet.

Beachten Sie, dass zwei Konfigurationen für das Bauteil verfügbar sind: (a) `Quarter plate` (Viertelplatte) und (b) `Whole plate` (Gesamte Platte). Stellen Sie sicher, dass die Konfiguration `Whole plate` (Gesamte Platte) aktiviert ist.

Hinweis: Die Konfigurationen des Dokuments sind auf der Registerkarte „ConfigurationManager“  oben im linken Fensterbereich aufgelistet.

Überprüfen des SolidWorks Simulation Menüs

Wenn die Zusatzanwendung SolidWorks Simulation aktiviert ist, wird das SolidWorks Simulation Menü in der Menüleiste von SolidWorks angezeigt. Andernfalls verfahren Sie wie folgt:



- 1 Klicken Sie auf **Extras, Zusatzanwendungen**.
Das Dialogfeld **Zusatzanwendungen** wird angezeigt.
- 2 Aktivieren Sie die Kontrollkästchen neben SolidWorks Simulation.
Wenn SolidWorks Simulation nicht in der Liste aufgeführt ist, müssen Sie SolidWorks Simulation installieren.
- 3 Klicken Sie auf **OK**.
Das SolidWorks Simulation Menü wird in der Menüleiste von SolidWorks angezeigt.

Einrichten der Analyseeinheiten

Vor dem Beginn der Lektion werden die Analyseeinheiten festgelegt.

- 1 Klicken Sie auf **Simulation, Optionen**.
- 2 Klicken Sie auf die Registerkarte **Standardoptionen**.
- 3 Stellen Sie **Einheitensystem** auf **SI (MKS)** ein und legen Sie **mm** als Längeneinheit und **N/mm² (MPa)** als Druckeinheit fest.
- 4 Klicken Sie auf .

Schritt 1: Erstellen einer Studie

Der erste Schritt zur Durchführung der Analyse besteht darin, eine Studie zu erstellen.

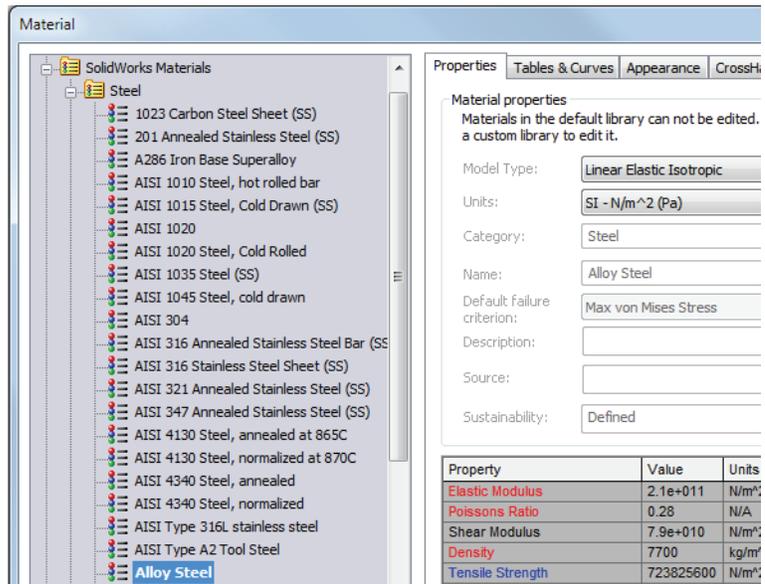
- 1 Klicken Sie oben im Bildschirm im SolidWorks Hauptmenü auf **Simulation, Studie**.
Der PropertyManager für **Studie** wird angezeigt.
 - 2 Geben Sie unter **Name** den Text `Whole plate` (Gesamte Platte) ein.
 - 3 Wählen Sie unter **Typ** die Option **Statisch**.
 - 4 Klicken Sie auf .
- SolidWorks Simulation erstellt unter dem FeatureManager eine Simulation Studienstruktur.

Schritt 2: Zuweisen von Materialien**Zuweisen des Materials „Legierter Stahl“**

- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Plate-with-hole**, und wählen Sie **Material auf alle Körper anwenden** aus dem Kontextmenü.

Das Dialogfeld **Material** wird angezeigt.

- 2 Gehen Sie wie folgt vor:
 - a) Klappen Sie den Bibliotheksordner SolidWorks Materialien auf.
 - b) Erweitern Sie die Kategorie Stahl.
 - c) Wählen Sie **Legierter Stahl** aus.



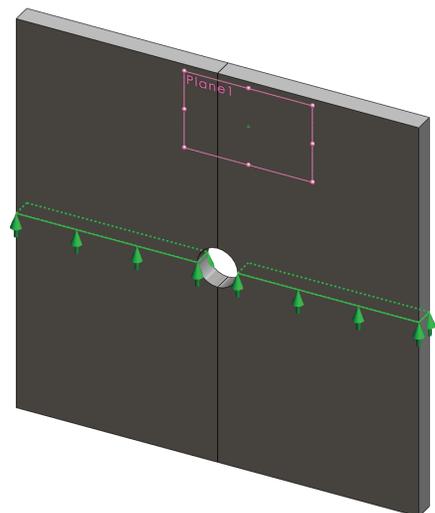
Hinweis: Die mechanischen und physikalischen Eigenschaften von legiertem Stahl werden in der Tabelle rechts angezeigt.

- 3 Klicken Sie auf **OK**.

Schritt 3: Anwenden von Einspannungen

Im Folgenden wenden Sie Einspannungen an, um Drehungen außerhalb der Ebene und freie Körperbewegungen zu verhindern.

- 1 Drücken Sie die Leertaste, und wählen Sie im Menü **Ausrichtung** die Option ***Trimetrisch** aus. Die Ausrichtung des Modells ist in der Abbildung sichtbar.
- 2 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Einspannungen**, und wählen Sie **Erweiterte Einspannungen** aus dem Kontextmenü. Der PropertyManager **Einspannung** wird angezeigt.
- 3 Vergewissern Sie sich, dass für **Typ** die Einstellung **Referenzgeometrie verwenden** festgelegt ist.
- 4 Klicken Sie im Grafikbereich auf die in der Abbildung gezeigten acht Kanten.



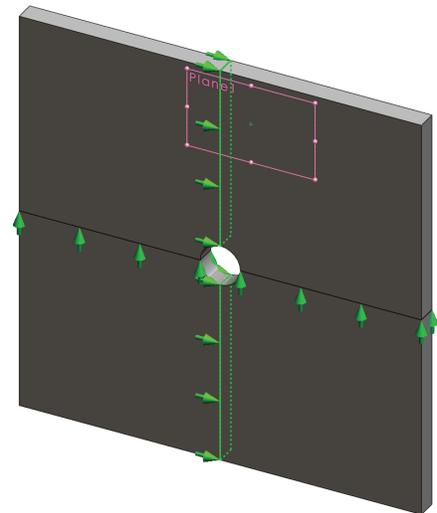
Im Feld **Flächen, Kanten, Eckpunkte für Einspannung** werden die Bezeichnungen **Kante<1>** bis **Kante<8>** angezeigt.

- 5 Klicken Sie in das Feld **Fläche, Kante, Ebene, Achse für Richtung**, und wählen Sie im aufschwingenden FeatureManager den Eintrag Ebene1.
- 6 Wählen Sie unter **Translationen** die Option **Entlang Ebenenrichtung 2**
- 7 Klicken Sie auf

Die Einspannungen werden angewendet, und ihre Symbole werden auf den ausgewählten Kanten angezeigt.

Darüber hinaus wird im Ordner Einspannungen ein Einspannungssymbol (Referenzgeometrie-1) angezeigt.

Verfahren Sie auf ähnliche Weise unter Verwendung der Schritte 2 bis 7, um Einspannungen auf den Satz der 8 vertikalen Kanten (siehe nebenstehende Abbildung) **Entlang Ebenenrichtung 1** von Ebene1 anzuwenden.

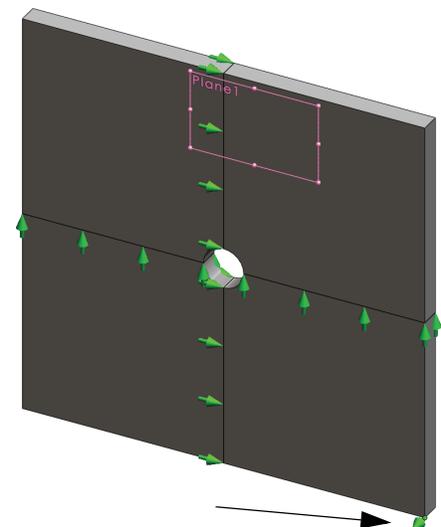


Um Verschiebungen des Modells in der globalen Z-Richtung zu verhindern, muss auf dem in der folgenden Abbildung gezeigten Eckpunkt eine Einspannung definiert werden.

- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner Einspannungen, und wählen Sie **Erweiterte Einspannungen** aus dem Kontextmenü.

Der PropertyManager **Einspannung** wird angezeigt.

- 2 Vergewissern Sie sich, dass für **Typ** die Einstellung **Referenzgeometrie verwenden** festgelegt ist.
- 3 Klicken Sie in der grafischen Darstellung auf den in der Abbildung gezeigten Eckpunkt. Im Feld **Flächen, Kanten, Eckpunkte für Einspannung** wird Eckpunkt<1> angezeigt.



- 4 Klicken Sie in das Feld **Fläche, Kante, Ebene, Achse für Richtung**, und wählen Sie im aufschwingenden FeatureManager den Eintrag Ebene1.
- 5 Wählen Sie unter **Translationen** die Option **Normal zur Ebene**
- 6 Klicken Sie auf

Schritt 4: Anwenden von Druck

Im Folgenden wenden Sie einen Druck von 1 MPa (145,04 psi) normal auf die in der Abbildung gezeigten Flächen an.

- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner Externe Lasten, und wählen Sie **Druck** aus dem Kontextmenü.

Der PropertyManager für **Druck** wird angezeigt.

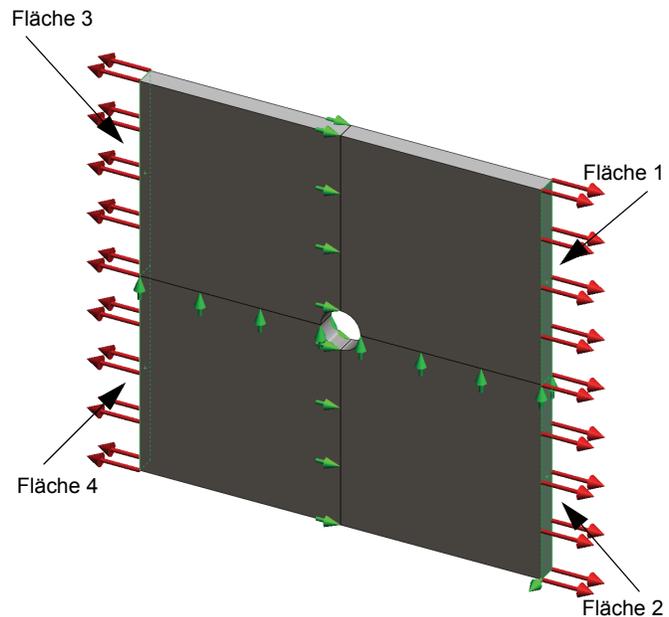
- 2 Wählen Sie unter **Typ** die Option **Normal auf ausgewählte Fläche**.

- 3 Klicken Sie im Grafikbereich auf die vier in der Abbildung gezeigten Flächen.

Im Listenfeld **Flächen für Druck** werden die Bezeichnungen Fläche<1> bis Fläche<4> angezeigt.

- 4 Vergewissern Sie sich, dass für **Einheiten** die Einstellung **N/mm² (MPa)** festgelegt ist.
- 5 Geben Sie in das Feld **Druckwert** den Wert **1** ein.
- 6 Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Richtung umkehren**.
- 7 Klicken Sie auf .

SolidWorks Simulation wendet den Normaldruck auf die ausgewählte Flächen an, und im Ordner Externe Lasten wird das Symbol Druck-1 angezeigt.



Ausblenden von Symbolen für Einspannungen und Lasten

Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner Einspannungen oder Externe Lasten, und wählen Sie **Alles ausblenden** aus dem Kontextmenü.

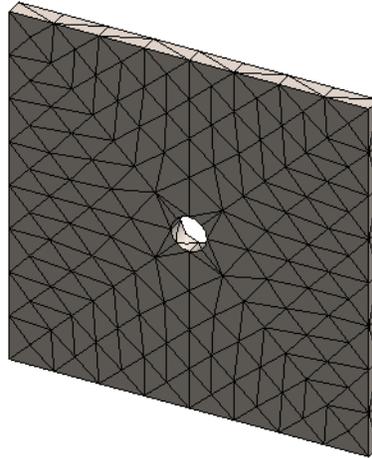
Schritt 5: Vernetzen des Modells und Ausführen der Studie

Bei der Vernetzung wird das Modell in kleinere, als Elemente bezeichnete Teilstücke unterteilt. Auf Grundlage der geometrischen Modellbemaßungen schlägt SolidWorks Simulation eine Standard-Elementgröße vor, die bei Bedarf geändert werden kann.

- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner Netz, und wählen Sie **Netz erstellen** aus dem Kontextmenü.
Der PropertyManager für **Netz** wird angezeigt.
- 2 Aktivieren Sie das Kontrollkästchen neben **Netzparameter**, um das Gruppenfeld aufzuklappen.
Achten Sie darauf, dass **Krümmungsbasierte Vernetzung** ausgewählt ist.

- 3 Geben Sie **50 mm** für **Maximale Elementgröße**  ein und akzeptieren Sie für die weiteren Parameter (**Minimale Elementgröße** , **Mindestanzahl von Elementen im Kreis**  und **Elementgrößenzunahme-Verhältnis** ) einfach die Standardwerte.
- 4 Aktivieren Sie unter **Optionen** das Kontrollkästchen **Analyse durchführen (lösen)**, und klicken Sie auf .

Hinweis: Um die Netzdarstellung anzuzeigen, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Netz**, und wählen Sie **Netz anzeigen** aus dem Kontextmenü.



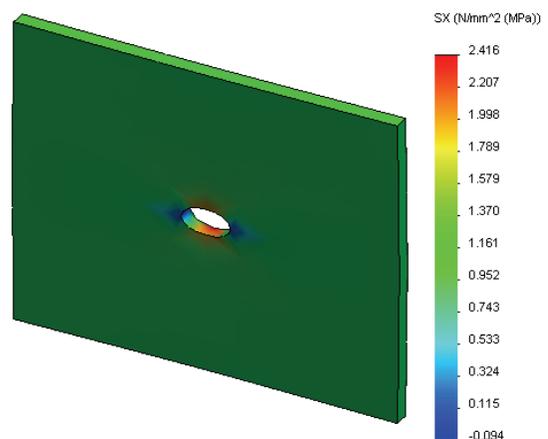
Schritt 6: Visualisieren der Ergebnisse

Normalspannung in der globalen X-Richtung

- 1 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse** , und wählen Sie die Option **Spannungsdarstellung definieren**.
Der PropertyManager für **Spannungsdarstellung** wird angezeigt.
- 2 Legen Sie unter **Anzeige** folgende Einstellungen fest:
 - a) Wählen Sie im Feld **Komponente** die Option **SX: X-Normalspannung** aus.
 - b) Stellen Sie die **Einheiten** auf **N/mm² (MPa)** ein.
- 3 Klicken Sie auf .

Die Darstellung der Normalspannung in X-Richtung wird angezeigt.

Beachten Sie die Konzentration der Spannungen in der Umgebung des Loches.



Schritt 7: Überprüfen der Ergebnisse

Die maximale Normalspannung σ_{\max} für eine Platte mit einem rechteckigen Durchschnitt und einem mittigen runden Loch ergibt sich durch folgende Gleichung:

$$\sigma_{\max} = k \cdot \left(\frac{P}{t(D-2r)} \right) \qquad k = 3.0 - 3.13 \left(\frac{2r}{D} \right) + 3.66 \left(\frac{2r}{D} \right)^2 - 1.53 \left(\frac{2r}{D} \right)^3$$

wobei:

D = Plattenbreite = 500 mm (19,69 Zoll)

r = Lochradius = 25 mm (0,98 Zoll)

t = Plattendicke = 25 mm (0,98 Zoll)

P = Axiale Zugkraft = Druck * (D * t)

Der analytische Wert für die maximale Normalspannung lautet $\sigma_{\max} = 3,0245$ MPa (438,67 psi).

Das entsprechende Ergebnis von SolidWorks Simulation (ohne Verwendung von Adaptionmethoden) lautet: SX = 2,416 MPa (350,41 psi).

Dieses Ergebnis weicht von der theoretischen Lösung um ungefähr 20,1 % ab. Im Folgenden werden Sie erfahren, dass diese bedeutende Abweichung auf die Grobheit des Netzes zurückgeführt werden kann.

Aktive Lernübung – Teil 2

Im zweiten Teil der Übung wird ein Viertel der Platte unter Verwendung der Symmetrieeinspannungen modelliert.

Hinweis: Mit den Symmetrieeinspannungen kann nur ein Teil des Modells analysiert werden. Auf diese Weise lässt sich erheblich Zeit sparen, insbesondere dann, wenn Sie mit großen Modellen arbeiten.

Symmetriebedingungen erfordern, dass Geometrie, Lasten, Materialeigenschaften und Einspannungen an allen Punkten der Symmetrieebene gleich sind.

Schritt 1: Aktivieren einer neuen Konfiguration

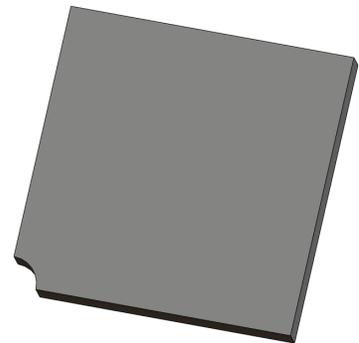
- 1 Klicken Sie auf die Registerkarte für den ConfigurationManager .
- 2 Doppelklicken Sie im **ConfigurationManager** auf das Symbol `Quarter plate`.



Die Konfiguration `Quarter plate` (Viertelplatte) wird aktiviert.

Das Modell der Viertelplatte wird im Grafikbereich angezeigt.

Hinweis: Um auf eine Studie einer inaktiven Konfiguration zuzugreifen, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Symbol der Studie, und wählen Sie **SW-Konfiguration aktivieren** aus dem Kontextmenü.

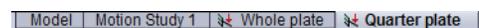


Schritt 2: Erstellen einer Studie

Die neue Studie, die Sie erstellen, basiert auf der aktiven Konfiguration `Quarter plate`.

- 1 Klicken Sie oben im Bildschirm im SolidWorks Hauptmenü auf **Simulation, Studie**. Der PropertyManager für **Studie** wird angezeigt.
- 2 Geben Sie unter **Name** den Text `Quarter plate` (Viertelplatte) ein.
- 3 Wählen Sie unter **Typ** die Option **Statisch**.
- 4 Klicken Sie auf .

SolidWorks Simulation erstellt unten im Bildschirm eine Registerkarte für die Studienstruktur.



Schritt 3: Zuweisen von Materialien

Führen Sie das in Schritt 2 von Teil 1 beschriebene Verfahren aus, um das Material **Alloy Steel** (Legierter Stahl) zuzuweisen.

Schritt 4: Anwenden von Einspannungen

Im Folgenden wenden Sie Einspannungen auf die Symmetrieflächen an.

- 1 Verwenden Sie die **Pfeil**-Tasten, um das Modell, wie in der Abbildung gezeigt, zu drehen.
- 2 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Einspannungen**, und wählen Sie **Erweiterte Einspannungen** aus dem Kontextmenü.

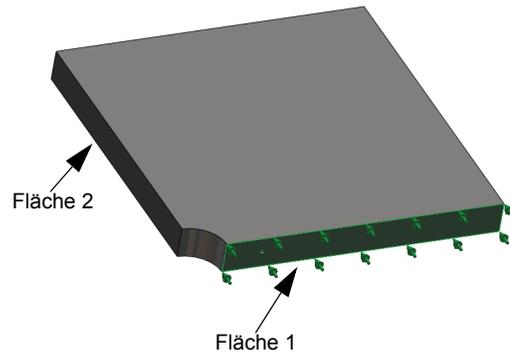
Der PropertyManager **Einspannung** wird angezeigt.

- 3 Stellen Sie **Typ** auf **Symmetrie** ein.
- 4 Klicken Sie im Grafikbereich auf die in der Abbildung gezeigten Fläche 1 und Fläche 2.

Im Feld **Planarflächen für Einspannung** werden die Bezeichnungen Fläche<1> und Fläche<2> angezeigt.

- 5 Klicken Sie auf .

Im Folgenden beschränken Sie die obere Kante der Platte, um Verschiebungen in der globalen Z-Richtung zu verhindern.



Beschränken der oberen Kante:

- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Einspannungen**, und wählen Sie **Erweiterte Einspannungen** aus dem Kontextmenü.

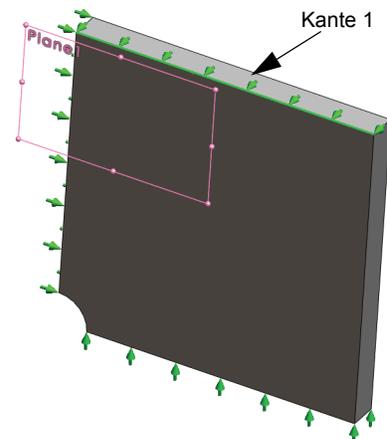
Legen Sie für **Typ** die Einstellung **Referenzgeometrie verwenden** fest.

- 2 Klicken Sie in der grafischen Darstellung auf die in der Abbildung gezeigte obere Kante der Platte.

Im Feld **Flächen, Kanten, Eckpunkte für Einspannung** wird Kante<1> angezeigt.

- 3 Klicken Sie in das Feld **Fläche, Kante, Ebene, Achse für Richtung**, und wählen Sie im aufschwingenden FeatureManager den Eintrag Ebene1.
- 4 Wählen Sie unter **Translationen** die Option **Normal auf Ebene** . Stellen Sie sicher, dass die beiden anderen Komponenten deaktiviert sind.
- 5 Klicken Sie auf .

Nach dem Anwenden aller Einspannungen werden zwei Elemente (**Symmetrie-1**) und (**Referenzgeometrie-1**) im Ordner **Einspannungen** angezeigt.



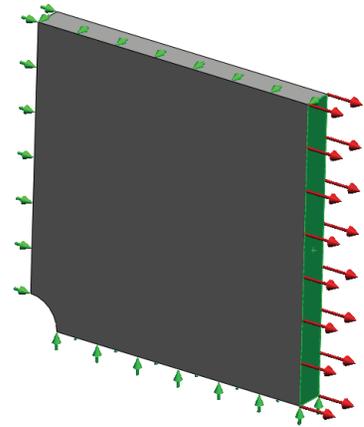
Schritt 5: Anwenden von Druck

Ein Druck von 1 MPa (145,04 psi) soll, wie in der Abbildung unten gezeigt, angewendet werden:

- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Externe Lasten**, und wählen Sie **Druck** aus dem Kontextmenü.

Der PropertyManager für **Druck** wird angezeigt.

- 2 Wählen Sie unter **Typ** die Option **Normal auf ausgewählte Fläche**.
- 3 Klicken Sie im Grafikbereich auf die in der Abbildung gezeigte Fläche.



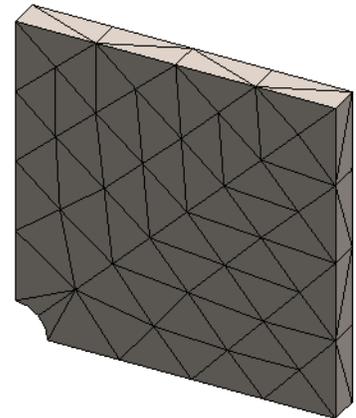
- 1 Fläche<1> wird im Feld **Flächen für Druck** angezeigt.
- 2 Stellen Sie **Einheiten**  auf **N/mm² (MPa)** ein.
- 3 Geben Sie in das Feld **Druckwert**  den Wert **1** ein.
- 4 Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Richtung umkehren**.
- 5 Klicken Sie auf .

SolidWorks Simulation wendet den Normaldruck auf die ausgewählte Fläche an, und im Ordner **Externe Lasten** wird das Symbol **Druck-1**  angezeigt.

Schritt 6: Vernetzen des Modells und Ausführen der Analyse

Wenden Sie dieselben Vernetzungseinstellungen an, die bereits in Schritt 5 von Teil 1, Vernetzen des Modells und Ausführen der Studie, auf Seite 2-7 beschrieben wurden. Führen Sie dann die Analyse aus.

Die resultierende Netzdarstellung ist in der nebenstehenden Abbildung zu sehen.

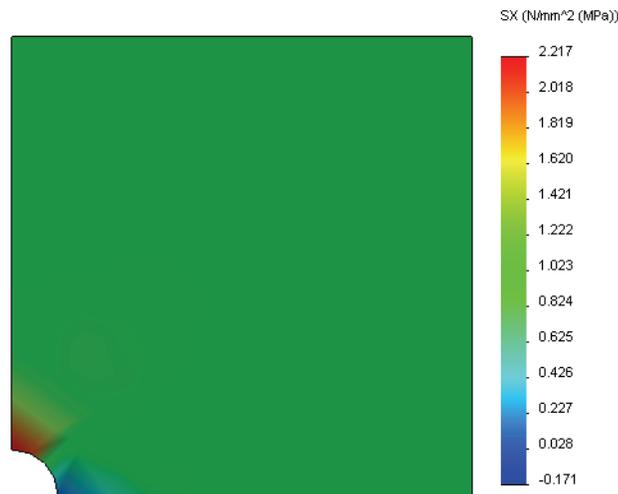


Schritt 7: Anzeigen der Normalspannungen in der globalen X-Richtung

- 1 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse** , und wählen Sie **Spannungsdarstellung definieren** aus dem Kontextmenü.
- 2 Legen Sie im PropertyManager für **Spannungsdarstellung** unter **Anzeige** folgende Einstellungen fest:
 - a) Wählen Sie **SX: X-Normalspannung**.
 - b) Wählen Sie **N/mm² (MPa)** unter **Einheiten**.

- 3 Klicken Sie unter **Modellverformung** auf **Wahrer Maßstab**.
- 4 Legen Sie unter **Eigenschaft** folgende Einstellungen fest:
 - a) Wählen Sie die Option **Darstellung mit Ansichtsausrichtung des Namens verknüpfen**.
 - b) Wählen Sie ***Vorderseite** aus dem Menü.
- 5 Klicken Sie auf .

Die Normalspannung in X-Richtung wird auf dem real deformierten Modell der Platte angezeigt.



Schritt 8: Überprüfen der Ergebnisse

Für das Viertel-Modell beträgt die maximale SX-Normalspannung 2,217 MPa (321,55 psi). Dieses Ergebnis ist mit dem Ergebnis für die gesamte Platte vergleichbar.

Dieses Ergebnis weicht von der theoretischen Lösung um ungefähr 36 % ab. Wie bereits in der Schlussfolgerung von Teil 1 dieser Lektion erwähnt, werden Sie feststellen, dass diese Abweichung auf die Grobheit des berechneten Netzes zurückzuführen ist. Sie können die Genauigkeit verbessern, indem Sie manuell eine kleinere Elementgröße festlegen oder automatische Adaptionismethoden verwenden.

In Teil 3 werden Sie die h-adaptive Methode zur Verbesserung der Genauigkeit einsetzen.

Aktive Lernübung – Teil 3

In diesem dritten Teil der Übung wenden Sie die h-adaptive Methode zur Lösung desselben Problems für die Konfiguration `Quarter plate` (Viertelplatte) an.

Um die Leistungsfähigkeit der h-adaptiven Methode zu demonstrieren, vernetzen Sie das Modell unter Verwendung eines höheren Wertes für die Elementgröße und beobachten anschließend, wie die h-Methode das Netz durch Änderung der Elementgröße verfeinert, um die Genauigkeit der Ergebnisse zu verbessern.

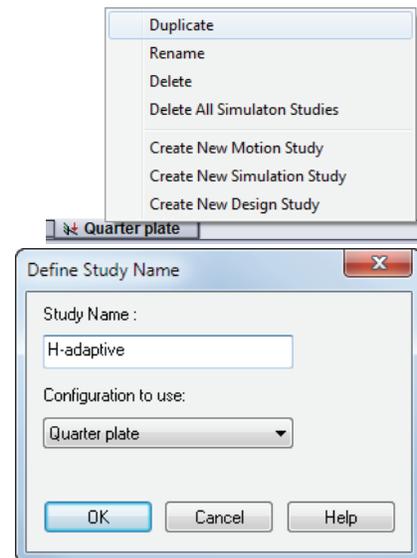
Schritt 1: Definieren einer neuen Studie

Sie erstellen eine neue Studie, indem Sie die vorherige Studie kopieren.

- 1 Klicken Sie unten im Bildschirm mit der rechten Maustaste auf die Studie `Quarter plate` (Viertelplatte), und wählen Sie **Duplizieren** aus dem Kontextmenü.

Das Dialogfeld **Studiennamen festlegen** wird angezeigt.

- 2 Geben Sie in das Feld **Studienname** den Text `H-adaptive` (H-adaptiv) ein.
- 3 Wählen Sie unter **Zu verwendende Konfiguration** die Option **Quarter plate** (Viertelplatte).
- 4 Klicken Sie auf **OK**.

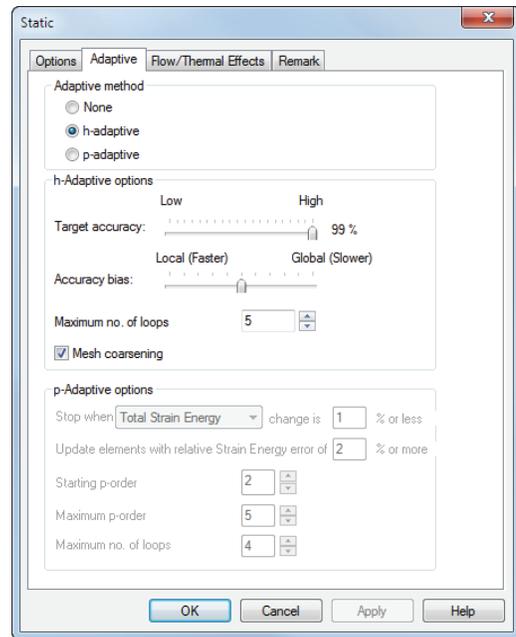


Schritt 2: Festlegen der Parameter für die h-adaptive Methode

- 1 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf `H-adaptive`, und wählen Sie **Eigenschaften** aus dem Kontextmenü.
- 2 Wählen Sie im Dialogfeld auf der Registerkarte **Optionen** unter **Gleichungslöser** die Option **FFEPlus** aus.
- 3 Wählen Sie auf der Registerkarte **Adaption** unter **Adaptionmethode** die Option **h-adaptiv** aus.

- 4 Legen Sie unter **h-Adaptionsoptionen** die folgenden Einstellungen fest:
- Schieben Sie den Schieberegler **Zielgenauigkeit** auf 99 %.
 - Legen Sie die Einstellung für **Maximale Anzahl der Schleifen** auf den Wert **5** fest.
 - Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Netzvergrößerung**.
- 5 Klicken Sie auf **OK**.

Hinweis: Durch Duplizieren der Studie werden alle Ordner der Ausgangsstudie in die neue Studie kopiert. Solange die Eigenschaften der neuen Studie unverändert bleiben, müssen Sie Materialeigenschaften, Lasten, Einspannungen usw. nicht neu definieren.



Schritt 3: Erneutes Vernetzen des Modells und Ausführen der Studie

- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Netz**, und wählen Sie **Netz erstellen** aus dem Kontextmenü.

Eine Warnmeldung weist darauf hin, dass eine erneute Vernetzung die Ergebnisse der Studie löscht.

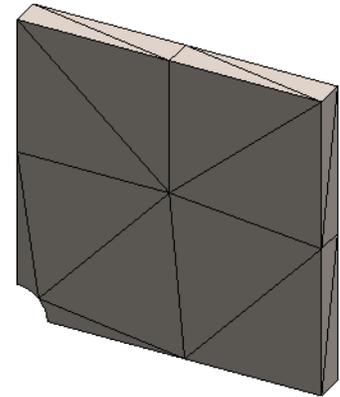
- 2 Klicken Sie auf **OK**.

Der PropertyManager für **Netz** wird angezeigt.

- 3 Geben Sie **125 mm** (4,92 Zoll) für **Maximale Elementgröße**  ein und akzeptieren Sie für die weiteren Parameter (**Minimale Elementgröße** , **Mindestanzahl von Elementen im Kreis**  und **Elementgrößenzunahme-Verhältnis** ) einfach die Standardwerte.

Dieser hohe Wert für die globale Elementgröße dient dazu, die Verfeinerung der Vernetzung durch die h-adaptive Methode und die damit einhergehende Verbesserung der Genauigkeit zu demonstrieren.

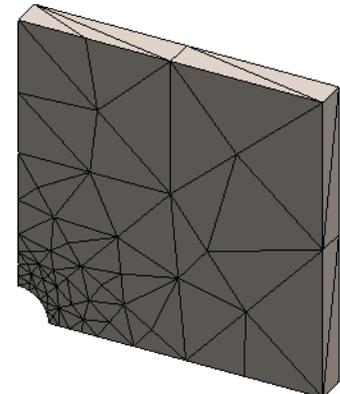
- 4 Klicken Sie auf . Die Abbildung oben zeigt das ursprünglich grobe Netz.
- 5 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Symbol **H-adaptive**, und wählen Sie **Ausführen**.



Schritt 4: Anzeigen der Ergebnisse

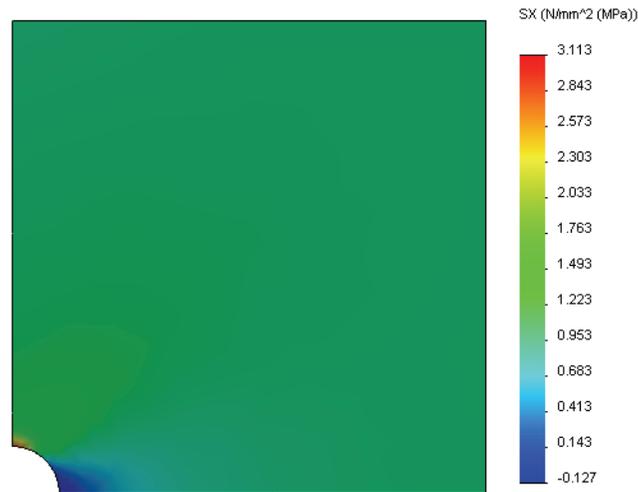
Mit der Anwendung der h-adaptiven Methode wird die ursprüngliche Elementgröße verringert. Beachten Sie den Übergang von einer gröberen Vernetzung an den Plattenrändern zu einer feineren Vernetzung in der Nähe des zentral gelegenen Loches.

Um das konvertierte Netz anzuzeigen, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Symbol **Netz**, und wählen Sie anschließend **Netz anzeigen** aus.



Anzeigen der Normalspannung in der globalen X-Richtung

Doppelklicken Sie im SolidWorks Simulation Manager auf die Darstellung **Spannung (X-Normal)** im Ordner Ergebnisse .



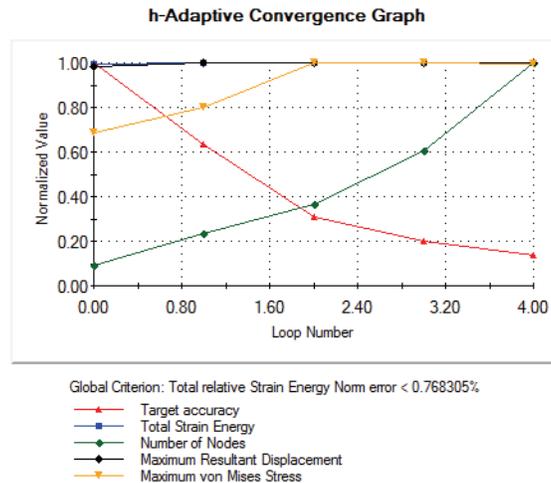
Der analytische Wert für die maximale Normalspannung lautet $\sigma_{\max} = 3,113 \text{ MPa}$ (451,5 psi).

Das SolidWorks Simulation Ergebnis nach Anwendung der h-adaptiven Methode beträgt $SX = 3,113 \text{ MPa}$ und liegt damit sehr nahe bei der analytischen Lösung (Fehler: ungefähr 2,9 %).

Hinweis: Die in den Studieneigenschaften festgelegte Zielgenauigkeit (in diesem Fall 99 %) bedeutet nicht, dass die resultierenden Spannungen innerhalb der maximalen Fehlertoleranz von 1 % liegen. Bei der Finite-Elemente-Methode werden andere Größen als Spannungen verwendet, um die Genauigkeit der Lösung zu bestimmen. Es kann jedoch abschließend gesagt werden, dass die Spannungslösung genauer wird, da der adaptive Algorithmus das Netz verfeinert.

Schritt 9: Anzeigen des Konvergenzdiagramms

- 1 Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf den Ordner Ergebnisse , und wählen Sie **Adaptives Konvergenzdiagramm definieren** aus dem Kontextmenü.
- 2 Aktivieren Sie im PropertyManager alle Optionen, und klicken Sie auf . Das Konvergenzdiagramm aller überprüften Größen wird angezeigt.



Hinweis: Um die Genauigkeit der Lösung weiter zu verbessern, kann die Studie mit der h-adaptiven Methode wiederholt ausgeführt werden. Bei jeder erneuten Ausführung der Studie wird das Netz am Ende der letzten Iteration der vorherigen Ausführung als Ausgangsnetz für die neue Ausführung verwendet. Führen Sie dazu die h-adaptive Studie erneut aus.

5-minütiger Test – Lösungsschlüssel

- 1 Wenn Sie die Einstellungen für Materialien, Lasten oder Einspannungen ändern, führt das zur Annullierung der Ergebnisse, jedoch nicht zur Annullierung der Vernetzung. Warum?

Antwort: Material, Lasten und Einspannungen werden auf Geometrie angewendet. Die Vernetzung bleibt so lange gültig, wie die Geometrie und die Vernetzungsparameter nicht geändert werden. Die Analyseergebnisse werden ungültig, sobald eine Änderung an den Materialien, Lasten oder Einspannungen vorgenommen wird.

- 2 Führt die Änderung einer Bemaßung zur Annullierung der aktuellen Vernetzung?

Antwort: Ja. Die Vernetzung approximiert die Geometrie. Folglich erfordert jede Änderung der Geometrie eine erneute Vernetzung.

- 3 Wie aktivieren Sie eine Konfiguration?

Antwort: Klicken Sie auf die Registerkarte „ConfigurationManager“ , und doppelklicken Sie auf die gewünschte Konfiguration in der Liste. Sie können die mit einer Studie verknüpfte Konfiguration auch aktivieren, indem Sie mit der rechten Maustaste auf das Symbol der Studie klicken und anschließend die Option **SW-Konfiguration aktivieren** auswählen.

- 4 Was ist eine Starrkörperbewegung?

Antwort: Eine Starrkörperschwingung bezieht sich auf den Körper als Ganzes, ohne Deformation. Der Abstand zwischen zwei Punkten auf dem Körper bleibt immer konstant. Die Bewegung des Körpers induziert keinerlei Dehnungen oder Spannungen.

- 5 Was ist unter der h-adaptiven Methode zu verstehen, und wann wird sie verwendet?

Antwort: Die h-adaptive Methode ist ein Verfahren, das versucht, die Ergebnisse statischer Studien automatisch zu optimieren, indem es Fehler im Spannungsfeld schätzt und darauf basierend die Vernetzung in Regionen mit hohem Fehleranteil fortschreitend verfeinert, bis ein geschätzter Genauigkeitsgrad erreicht ist.

- 6 Welchen Vorteil bietet die Anwendung der h-adaptiven Methode zur Verbesserung der Genauigkeit im Vergleich zur Verwendung der Vernetzungssteuerung?

Antwort: Bei Verwendung der Vernetzungssteuerung müssen Sie die Elementgröße und die Regionen, in denen die Ergebnisse optimiert werden müssen, manuell angeben. Die h-adaptive Methode identifiziert Regionen mit hohem Fehleranteil automatisch und verfeinert diese beständig, bis der angegebene Genauigkeitsgrad oder die maximal zulässige Anzahl an Iterationen erreicht ist.

- 7 Ändert sich die Anzahl der Elemente während der Iterationen der p-adaptiven Methode?

Antwort: Nein. Die p-adaptive Methode erhöht die Ordnung des Polynoms, um die Ergebnisse in Bereichen mit hohem Fehleranteil bei den Spannungswerten zu verbessern.

Unterrichtsdiskussion – Erstellen einer Frequenzstudie

Bitte Sie die Kursteilnehmer, Frequenzstudien für das Modell der Platte mit Loch zu erstellen und zwar jeweils eine Studie für die Konfiguration `Whole plate` (Ganze Platte) und eine Studie für die Konfiguration `Quarter plate` (Viertelplatte). Um die Eigenfrequenzen der Platte zu ermitteln, werden nur die Einspannungen angewendet, mit denen die Symmetrie des Viertelplattenmodells gesteuert wird.

Weisen Sie darauf hin, dass Symmetrieeinspannungen bei Frequenz- und Knickstudien vermieden werden sollten, da in diesem Fall nur symmetrische Schwingungsformen extrahiert werden. Sämtliche antisymmetrischen Schwingungsformen werden nicht erfasst. Erklären Sie außerdem, dass Starrkörperformen vorhanden sind, weil Einspannungen fehlen.

Erstellen einer Frequenzstudie auf Basis der `Whole plate`-Konfiguration

- 1 Aktivieren Sie die Konfiguration `Whole plate`.
- 2 Klicken Sie oben im Bildschirm im SolidWorks Hauptmenü auf **Simulation, Studie**.
Der PropertyManager für **Studie** wird angezeigt.
- 3 Geben Sie unter **Name** den Text `Freq-Whole` (Freq-Gesamt) ein.
- 4 Wählen Sie unter **Typ** die Option **Frequenz**.
- 5 Klicken Sie auf .

Festlegen der Eigenschaften für die Frequenzstudie

- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf das Symbol `Freq-Whole`, und wählen Sie **Eigenschaften** aus dem Kontextmenü.
Das Dialogfeld **Frequenz** wird angezeigt.
- 2 Legen Sie die Einstellung für **Anzahl der Frequenzen** auf den Wert **15** fest.
- 3 Wählen Sie unter **Gleichungslöser** die Option **FFEPlus**.
- 4 Klicken Sie auf **OK**.

Zuweisen von Material

Ziehen Sie den Ordner `Plate-with-hole` in der Studie `Whole plate` in die Studie `Freq-Whole`, und legen Sie ihn dort ab.

Die Materialeigenschaften der Studie `Whole plate` werden kopiert und für die neue Studie übernommen.

Anwenden von Lasten und Einspannungen

Hinweis: Die Einspannungen und der Druck werden bei der Frequenzanalyse nicht berücksichtigt. Sie möchten die Eigenfrequenzen der vollkommen unbeschränkten und unbelasteten Platte ermitteln.

Modelle ohne Einspannung sind nur in Frequenz- und Knickstudien zulässig. In allen anderen Studientypen müssen angemessene Einspannungen angewendet werden.

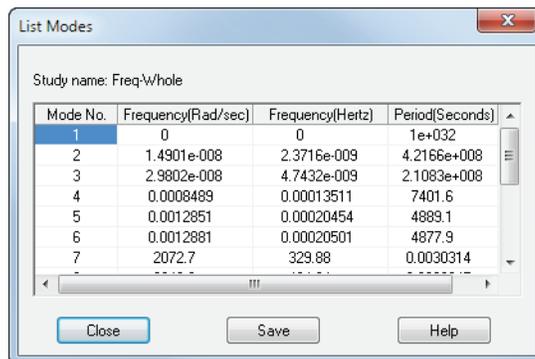
Vernetzen Sie das Modell, und führen Sie die Analyse aus.

- 1 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Symbol **Netz**, und wählen Sie anschließend die Option **Netz erstellen**.
- 2 Erweitern Sie die Darstellung von **Optionen**.
- 3 Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Analyse durchführen (lösen)**.
- 4 Klappen Sie das Gruppenfeld **Netzparameter** auf.
- 5 Klicken Sie auf , um die Standardeinstellung für alle Vernetzungsparameter (**Maximale Elementgröße** , **Minimale Elementgröße** , **Mindestanzahl der Elemente im Kreis** ) und **Elementgrößenzunahme-Verhältnis** ) zu akzeptieren.

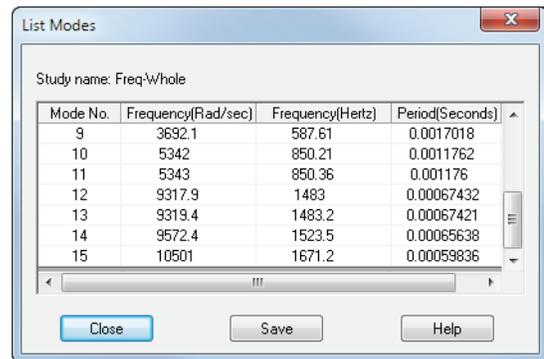
Auflisten von Resonanzfrequenzen und Anzeigen von Schwingungsformen

- 1 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse**, und wählen Sie die Option **Resonanzfrequenzen auflisten**.

In der Tabelle **Schwingungen auflisten** werden die ersten 15 Frequenzen ungleich 0 aufgelistet.



Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	0	0	1e+032
2	1.4901e-008	2.3716e-009	4.2166e+008
3	2.9802e-008	4.7432e-009	2.1083e+008
4	0.0008489	0.00013511	7401.6
5	0.0012851	0.00020454	4889.1
6	0.0012881	0.00020501	4877.9
7	2072.7	329.88	0.0030314



Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
9	3632.1	587.61	0.0017018
10	5342	850.21	0.0011762
11	5343	850.36	0.001176
12	9317.9	1483	0.00067432
13	9319.4	1483.2	0.00067421
14	9572.4	1523.5	0.00065638
15	10501	1671.2	0.00059836

Hinweis: Die ersten paar Frequenzen haben den Wert 0 oder einen Wert von fast 0. Dieses Ergebnis zeigt, dass Starrkörperformen erkannt wurden und diesen sehr kleine Werte (oder der Wert 0) zugewiesen wurden. Weil das vorliegende Modell vollkommen unbeschränkt ist, ergeben sich sechs Starrkörperformen.

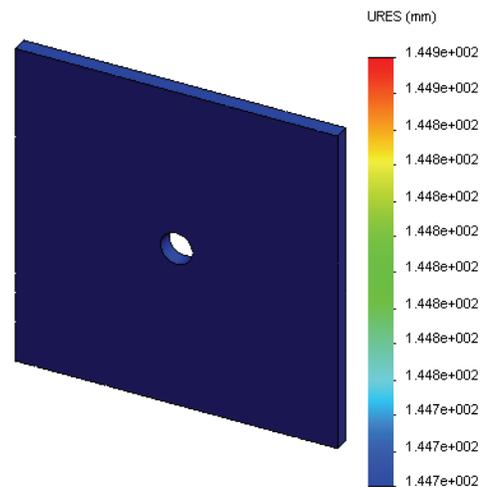
Der erste von 0 verschiedene Wert entspricht der Frequenz 7 und beträgt 2.072,7 Hz. Dies ist die erste Eigenfrequenz der unbeschränkten Platte.

Schließen Sie das Fenster Schwingungen auflisten.

- 2 Erweitern Sie **Ergebnisse**, und doppelklicken Sie auf die Darstellung **Verschiebung1**.

Die erste Starrkörperform wird im Grafikbereich angezeigt.

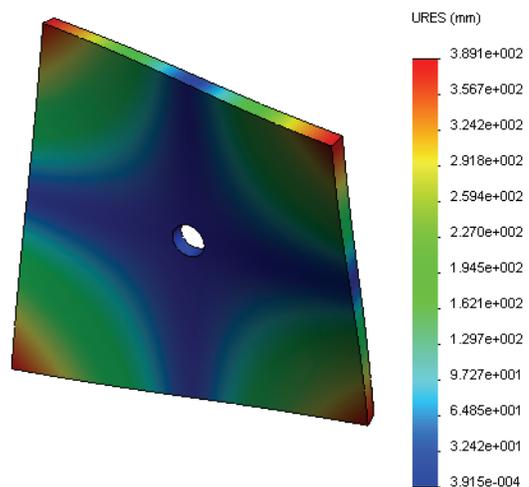
Hinweis: Die Frequenz 1 entspricht der Starrkörperform, bei der die Platte entlang der globalen X-Richtung als Starrkörper verschoben wird. Deshalb wird keine Verformung angezeigt.



Anzeigen der ersten Eigenfrequenz der Platte

- 1 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse**, und wählen Sie die Option **Schwingungsform-/Verschiebungsdarstellung definieren** aus.
- 2 Geben Sie unter **Darstellungsschritte** den Wert **7** für **Schwingungsform** ein.
- 3 Klicken Sie auf **OK**.

Hinweis: Die Frequenz 7 entspricht der ersten Eigenfrequenz der Platte.



Bewegungssimulation der Schwingungsformdarstellungen

- 1 Doppelklicken Sie auf das Schwingungsform-Symbol (**Verschiebung6**), um es zu aktivieren, klicken Sie anschließend mit der rechten Maustaste auf das Symbol, und wählen Sie die Option **Bewegungssimulation**.

Der PropertyManager für **Bewegungssimulation** wird angezeigt.

- 2 Klicken Sie auf .

Die Bewegungssimulation wird im Bereich der grafischen Darstellung wiedergegeben.

- 3 Klicken Sie auf , um die Bewegungssimulation zu stoppen.

- 4 Klicken Sie auf , um den Modus der Bewegungssimulation zu beenden.

Bewegungssimulation anderer Schwingungsformdarstellungen

- 1 Doppelklicken Sie auf das Schwingungsform-Symbol für andere Frequenzen (oder definieren Sie neue Schwingungsformdarstellungen für höhere Schwingungsformen), klicken Sie anschließend mit der rechten Maustaste auf das Symbol, und wählen Sie die Option **Bewegungssimulation** aus.
- 2 Analysieren Sie außerdem die Starrkörperperform-Bewegungssimulationen für die Frequenzen 1 bis 6.

Erstellen einer Frequenzstudie auf Basis der Quarter plate-Konfiguration

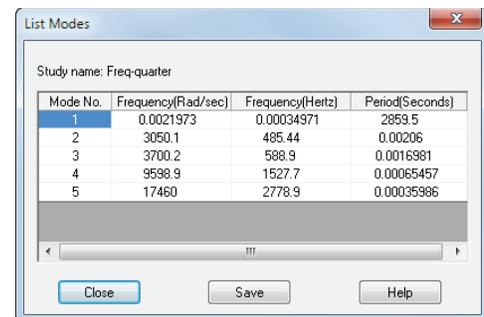
- 1 Aktivieren Sie die Konfiguration Quarter plate.
- 2 Folgen Sie den zuvor beschriebenen Schritten, um eine Frequenzstudie mit dem Namen Freq-quarter (Freq-Viertel) zu erstellen.

Hinweis: Ziehen Sie den Ordner Einspannungen in der Studie Quarter plate in die Studie Freq-quarter, und unterdrücken Sie die Einspannung Referenzgeometrie-1.

Auflisten von Resonanzfrequenzen

Die ersten fünf Resonanzfrequenzen werden wie gezeigt aufgelistet.

Aktivieren Sie die Bewegungssimulation der Schwingungsformdarstellungen für die Studie Freq-quarter, und vergleichen Sie die Darstellungen mit denen der Studie Freq-Whole.



Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	0.0021973	0.00034971	2859.5
2	3050.1	485.44	0.00206
3	3700.2	588.9	0.0016981
4	9598.9	1527.7	0.00065457
5	17460	2778.9	0.00035986

Hinweis: Weil Sie nur ein Viertel des Modells analysiert haben, werden antisymmetrische Schwingungsformen in der Studie Freq-quarter nicht erfasst. Deshalb wird eine Frequenzanalyse des ganzen Modells dringend empfohlen.

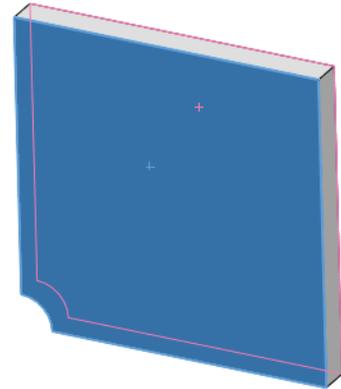
Weil die Einspannung Symmetrie-1 das Modell in bestimmten Richtungen einschränkt, wird nur eine einzige Starrkörperperform (Frequenz 0) erkannt.

Projekte – Modellieren der Viertelplatte mit einer Schalenvernetzung

Verwenden Sie die Schalenvernetzung, um eine Lösung für das Modell der Viertelplatte zu berechnen. Zur Verbesserung der Genauigkeit der Ergebnisse verwenden Sie die Vernetzungssteuerung.

Aufgaben

- 1 Klicken Sie oben im Bildschirm im SolidWorks Hauptmenü auf **Einfügen, Oberfläche, Mittelfläche**.
- 2 Wählen Sie die Vorder- und Rückseite der Platte aus, wie in der Abbildung gezeigt.
- 3 Klicken Sie auf **OK**.
- 4 Erstellen Sie eine **statische** Studie mit der Bezeichnung `Shells-quarter` (Schalen-Viertel).
- 5 Klappen Sie den Ordner `Plate-with-hole` auf, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf `SolidBody` (Volumenkörper), und wählen Sie **Aus Analyse ausschließen** aus dem Kontextmenü.
- 6 Definieren Sie Schalen mit **25 mm** Wanddicke (Schalenformel **Dünn**). Gehen Sie wie folgt vor:
 - a) Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf `SurfaceBody` (Schalenkörper) im Ordner `Plate-with-hole`, und wählen Sie **Definition bearbeiten** aus dem Kontextmenü.
 - b) Wählen Sie im PropertyManager **Schalendefinition** die Einheit **mm** aus, und geben Sie für **Wanddicke** den Wert **25 mm** ein.
 - c) Klicken Sie auf .
- 7 Weisen Sie der Schale das Material **Legierter Stahl** zu. Gehen Sie wie folgt vor:
 - a) Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner `Plate-with-hole`, und wählen Sie **Material auf alle Körper anwenden** aus dem Kontextmenü.
 - b) Klappen Sie die Bibliothek `SolidWorks Materialien` auf, und wählen Sie **Legierter Stahl** in der Kategorie `Stahl` aus.
 - c) Klicken Sie auf **Anwenden** und dann auf **Schließen**.
- 8 Wenden Sie Symmetrieeinspannungen auf die beiden in der Abbildung gezeigten Kanten an.

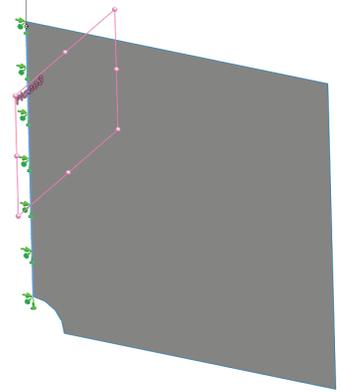


Hinweis: Für eine Schalenvernetzung reicht es aus, anstelle der Fläche eine Kante durch ein Lager zu beschränken.

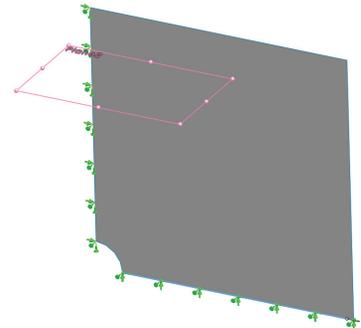
Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- a) Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner `Einspannungen`, und wählen Sie **Erweiterte Einspannungen** aus dem Kontextmenü.

- b) Wählen Sie im Feld **Flächen, Kanten, Eckpunkte für Einspannung** die in der Abbildung gezeigte Kante aus.
- c) Wählen Sie im Feld **Fläche, Kante, Ebene, Achse für Richtung** die Ebene3 aus.
- d) Wählen Sie **Normal auf Ebene** als Translation und **Entlang Ebenenrichtung 1** und **Entlang Ebenenrichtung 2** als Rotationen aus.
- e) Klicken Sie auf .



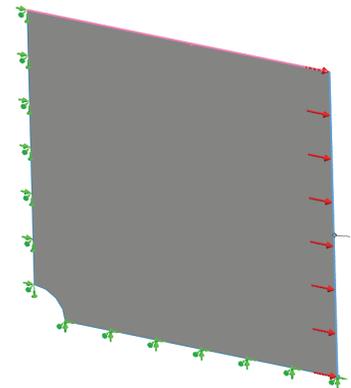
- 9 Wenden Sie mit demselben Verfahren eine Symmetrieeinspannung auf die andere in der Abbildung gezeigte Kante an. Wählen Sie dieses Mal Ebene2 im Feld **Fläche, Kante, Ebene, Achse für Richtung** aus.



- 10 Wenden Sie einen **Druck** von **1 N/mm² (MPa)** auf die in der Abbildung gezeigte Kante an.

Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

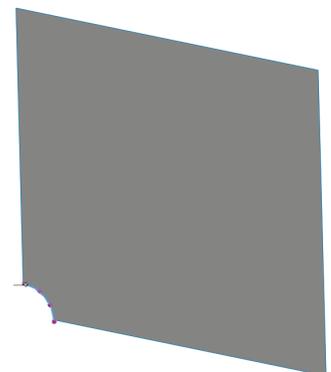
- a) Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Externe Lasten**, und wählen Sie **Druck** aus dem Kontextmenü.
- b) Wählen Sie unter **Typ** die Option **Referenzgeometrie verwenden**.
- c) Wählen Sie im Feld **Flächen, Kanten für Druck** die in der Abbildung gezeigte vertikale Kante aus.
- d) Wählen Sie im Feld **Fläche, Kante, Ebene, Achse für Richtung** die in der Abbildung gezeigte Kante aus.
- e) Geben Sie im Dialogfeld **Druckwert** den Wert **1 N/mm² (MPa)** ein und aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Richtung umkehren**.
- f) Klicken Sie auf .



- 11 Wenden Sie die Vernetzungssteuerung auf die in der Abbildung gezeigte Kante an.

Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- a) Klicken Sie in der Simulation Studienstruktur mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Netz**, und wählen Sie **Vernetzungssteuerung anwenden** aus dem Kontextmenü. Der PropertyManager für **Vernetzungssteuerung** wird angezeigt.
- b) Markieren Sie die Lochkante, wie in der Abbildung gezeigt.
- c) Klicken Sie auf .



12 Vernetzen Sie das Teil, und führen Sie die Analyse aus.

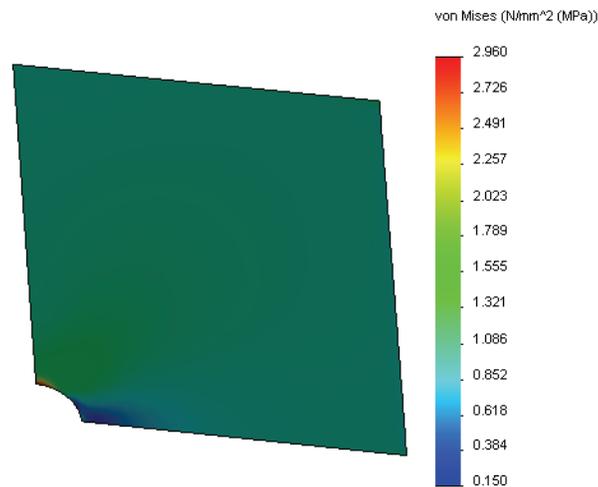
Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Netz**, und wählen Sie **Netz erstellen** aus dem Kontextmenü.
- Verwenden Sie die standardmäßigen Vernetzungsparameter.
- Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Analyse durchführen (lösen)**.
- Klicken Sie auf .

13 Erzeugen Sie eine grafische Darstellung der Spannung in der X-Richtung. Welchen Wert hat die maximale SX-Spannung?

Antwort: Gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse**, und wählen Sie **Spannungsdarstellung definieren** aus dem Kontextmenü. Das Dialogfeld **Spannungsdarstellung** wird angezeigt.
- Wählen Sie im Feld **Komponente** die Option **SX: X-Normalspannung** aus.
- Wählen Sie **N/mm² (MPa)** für die **Einheiten** aus.
- Klicken Sie auf .
- Die maximale SX-Normalspannung beträgt 2,96 MPa (429,31 psi.)



14 Berechnen Sie den Fehler der SX-Normalspannung anhand der folgenden Gleichung:

$$ErrorPercentage = \left(\frac{SX_{Theory} - SX_{COSMOS}}{SX_{Theory}} \right) 100$$

Antwort:

Die theoretische Lösung für die maximale SX-Spannung lautet: $SX_{max} = 3,0245$ MPa (438,67 psi).

Der prozentuale Fehler der maximalen SX-Spannung beträgt 2,1 %.

Für die meisten Anwendungen der Konstruktionsanalyse ist ein Fehler von ungefähr 5 % akzeptabel.

Arbeitsblatt „Begriffe“ – Lösungsschlüssel

Name: _____ Kurs: _____ Datum: _____

Tragen Sie an den entsprechenden Leerstellen die richtigen Antworten ein.

- 1 Eine Methode zur Optimierung von Spannungsergebnissen durch automatische Verfeinerung der Vernetzung in Regionen mit Spannungskonzentration: **h-Adaptiv**
- 2 Eine Methode zur Optimierung von Spannungsergebnissen durch Erhöhung der Polynomordnung: **p-Adaptiv**
- 3 Typ der Freiheitsgrade eines Knotens in einem tetraedrischen Element: **Translatorisch**
- 4 Typ der Freiheitsgrade eines Knotens in einem Schalenelement: **Translatorisch und rotatorisch**
- 5 Material mit gleichen elastischen Eigenschaften in alle Richtungen: **Isotrop**
- 6 Für voluminöse Modelle geeigneter Vernetzungstyp: **Volumenkörpervernetzung**
- 7 Für dünnwandige Modelle geeigneter Vernetzungstyp: **Schalenvernetzung**
- 8 Für Modelle mit dünnen und voluminösen Bauteilen geeigneter Vernetzungstyp: **Gemischtes Netz**

Quiz – Lösungsschlüssel

Name: _____ Kurs: _____ Datum: _____

Anleitung: Beantworten Sie jede Frage, indem Sie die richtige(n) Antwort(en) in den freien Platz im Anschluss an die Frage eintragen.

- 1 Wie viele Knoten weisen Schalenelemente mit Entwurfsqualität und Schalenelemente mit hoher Qualität auf?

Antwort: 3 für Entwurfsqualität und 6 für hohe Qualität

- 2 Erfordert eine Änderung der Wanddicke einer Schale eine erneute Vernetzung?

Antwort: Nein.

- 3 Was sind Adaptionismethoden, und welche Idee liegt ihnen zugrunde?

Antwort: Adaptionismethoden sind iterative Verfahren, die versuchen, die Genauigkeit statischer Studien automatisch zu optimieren. Sie basieren auf der Schätzung des Fehlerprofils in einem Spannungsfeld. Wenn ein Knoten Bestandteil mehrerer Knoten ist, produziert der Gleichungslöser bezüglich desselben Knotens unterschiedliche Antworten für jedes Element. Die Variation dieser Ergebnisse liefert die Daten für eine Schätzung des Fehlers. Je näher diese Werte beieinander liegen, desto genauer sind die Ergebnisse für den Knoten.

- 4 Welchen Vorteil bietet es, mehrere Konfigurationen in einer Studie zu verwenden?

Antwort: Sie können mit der Geometrie Ihres Modells innerhalb ein und desselben Dokuments experimentieren. Jede Studie ist mit einer Konfiguration verknüpft. Wenn Sie die Geometrie einer Konfiguration ändern, wirkt sich dies lediglich auf die mit ihr verknüpften Studien aus.

- 5 Wie lässt sich rasch eine neue Studie erstellen, die nur geringfügig von einer vorhandenen Studie abweicht?

Antwort: Ziehen Sie über Ziehen und Ablegen das Symbol einer vorhandenen Studie auf das oberste Symbol im SolidWorks Simulation Manager, und definieren Sie anschließend die Studie, indem Sie Features bearbeiten, hinzufügen oder löschen.

- 6 Was können Sie tun, um die Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse zu erhöhen, wenn keine Adaptionismethoden verfügbar sind?

Antwort: Vernetzen Sie das Modell unter Verwendung einer kleineren Elementgröße, und führen Sie die Studie erneut aus. Wenn sich die Ergebnisse weiterhin signifikant unterscheiden, wiederholen Sie den Vorgang, bis die Ergebnisse konvergieren.

- 7 In welcher Reihenfolge berechnet das Programm die Spannungen, Verschiebungen und Dehnungen?

Antwort: Das Programm berechnet zuerst die Verschiebungen, dann die Dehnungen und zuletzt die Spannungen.

- 8 Welche Größe – Verschiebung oder Spannung – konvergiert bei einer adaptiven Lösung schneller?

Die Verschiebung konvergiert schneller als die Spannung. Dies liegt an der Tatsache, dass die Spannung die zweite Ableitung der Verschiebung darstellt.

Zusammenfassung

- ❑ Die Anwendung von Adaptionismethoden basiert auf einer Fehlerschätzung bezüglich der Stetigkeit eines Spannungsfeldes. Adaptionismethoden sind nur für statische Studien verfügbar.
- ❑ Sie optimieren die Genauigkeit ohne Eingriffe des Benutzers.
- ❑ Der theoretische Wert für die Spannung, die aus der Punktanwendung einer konzentrierten Last resultiert, ist unendlich. Die Spannungen erhöhen sich in dem Maße, in dem Sie eine feinere Vernetzung um die Singularität oder die h-adaptive Methode verwenden.
- ❑ Die Anwendung der Vernetzungssteuerung erfordert, dass Sie kritische Bereiche identifizieren, bevor Sie die Studie ausführen. Für die Anwendung von Adaptionismethoden ist keine Identifizierung kritischer Bereiche durch den Benutzer erforderlich.
- ❑ Symmetrie kann (sofern sinnvoll) genutzt werden, um die Problemgröße zu reduzieren. In diesem Fall sollte das Modell symmetrische Eigenschaften in Bezug auf Geometrie, Einspannungen, Lasten und Material über die Symmetrieebenen hinweg aufweisen.
- ❑ In der Frequenzanalyse sind keine Einspannungen zulässig. Deshalb sind Starrkörperformen (Frequenzen vom Wert 0 oder einem Wert nahe 0) vorhanden.
- ❑ Symmetrieeinspannungen sollten bei Frequenz- und Knickstudien vermieden werden, da andernfalls nur symmetrische Schwingungsformen extrahiert werden können.
- ❑ Dünne Bauteile werden am besten mit Schalenelementen modelliert. Schalenelemente widerstehen Membran- und Biegekräften.
- ❑ Voluminöse Modelle sollten mit Volumenkörperelementen vernetzt werden.
- ❑ Ein gemischtes Netz sollte verwendet werden, wenn voluminöse und dünne Bauteile innerhalb ein und desselben Modells kombiniert werden.

