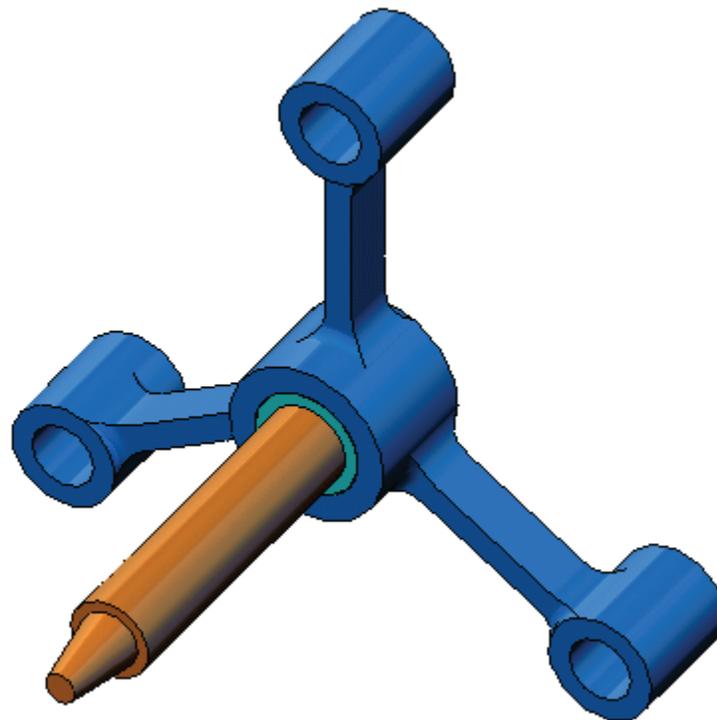




Einführung in Anwendungen der Spannungsanalyse mit SolidWorks Simulation Arbeitsbuch für Kursteilnehmer



© 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

Zu diesem Kurs

Der Kurs *Einführung in Anwendungen der Spannungsanalyse mit SolidWorks Simulation* und das Begleitmaterial sollen Ihnen helfen, die Verwendung von SolidWorks Simulation in einem schulischen Umfeld zu erlernen.

Online-Lehrbücher

Der Kurs *Einführung in Anwendungen der Spannungsanalyse mit SolidWorks Simulation* stellt eine Begleitdokumentation dar und wird durch die SolidWorks Simulation Online-Lehrbücher ergänzt.

Zugriff auf die Lehrbücher

Um die Online-Lehrbücher zu öffnen, klicken Sie auf **Hilfe, SolidWorks Lehrbücher, Alle SolidWorks Lehrbücher**. Neben dem SolidWorks Fenster wird ein zweites Fenster mit einer Liste der verfügbaren Lehrbücher eingeblendet. Wenn Sie den Cursor über die Verknüpfungen bewegen, wird unten im Fenster eine Abbildung des jeweiligen Lehrbuchs angezeigt. Klicken Sie auf die gewünschte Verknüpfung, um das entsprechende Lehrbuch zu öffnen.

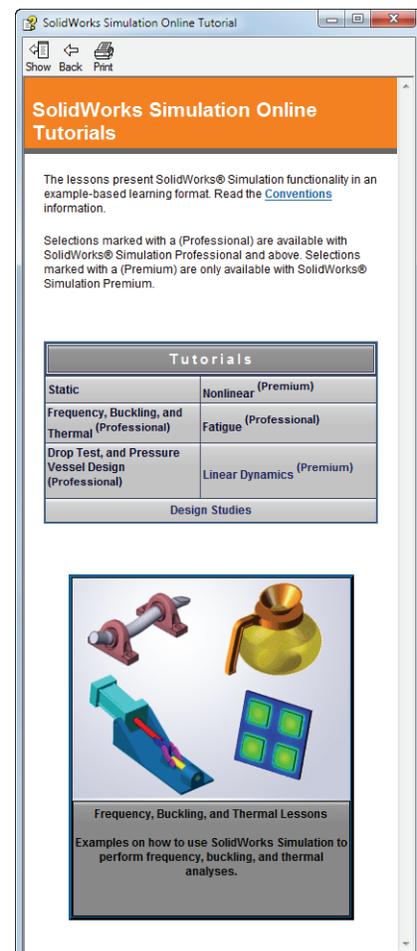
Konventionen

Stellen Sie die Bildschirmauflösung für eine optimale Anzeige der Lehrbücher auf 1280 x 1024 ein.

In den Lehrbüchern werden die folgenden Symbole angezeigt:

 Ruft den nächsten Bildschirm im Lehrbuch auf.

 Steht für eine Anmerkung oder einen Tipp. Hierbei handelt es sich nicht um eine Verknüpfung; die Informationen werden rechts neben dem Symbol angezeigt. Anmerkungen und Tipps bieten nützliche Hinweise und beschreiben zeitsparende Verfahren.



 Sie können auf die meisten Symbolleistenflächen in den Lektionen klicken, um die entsprechende SolidWorks Schaltfläche einzublenden. Wenn Sie zum ersten Mal auf die Schaltfläche klicken, wird folgende ActiveX-Meldung eingeblendet: Ein ActiveX-Steuerelement auf dieser Seite ist möglicherweise für die Interaktion mit anderen Elementen der Seite nicht sicher. Möchten Sie die Interaktion zulassen? Dies ist eine Standardvorsichtsmaßnahme. Die ActiveX-Steuerelemente in den Online-Lehrbüchern haben keine negativen Auswirkungen auf Ihr System. Wenn Sie auf **Nein** klicken, werden die Scripts für dieses Thema deaktiviert. Klicken Sie auf **Ja**, um die Scripts auszuführen und die Schaltfläche einzublenden.

Mit  **Datei öffnen** und **Option festlegen** wird automatisch die Datei geöffnet bzw. die Option festgelegt.

 **Videobeispiel** zeigt ein Video zu diesem Schritt an.

 **Weitere Informationen über...** stellt eine Verbindung zu weiteren Informationen über ein Thema her. Obwohl diese Informationen zum Durcharbeiten des Lehrbuchs nicht erforderlich sind, bieten sie Zusatzdetails zum jeweiligen Thema.

 **Weshalb...** bildet eine Verknüpfung zu weiteren Informationen über einen Vorgang und die Gründe, weshalb eine bestimmte Methode gewählt wurde. Diese Informationen sind für das Durcharbeiten des Lehrbuchs nicht erforderlich.

Drucken der Lehrbücher

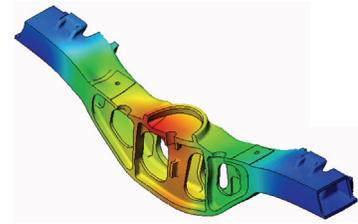
Bei Bedarf können die Online-Lehrbücher gedruckt werden. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- 1 Klicken Sie auf der Lehrbuch-Navigationssymbolleiste auf **Anzeigen** . Dadurch wird das Inhaltsverzeichnis der Online-Lehrbücher angezeigt.
- 2 Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Buch, das die zu druckende Lektion darstellt, und wählen Sie **Drucken** aus dem Kontextmenü. Das Dialogfeld **Hilfethemen drucken** wird angezeigt.
- 3 Wählen Sie **Das ausgewählte Hilfethema samt Unterthemen drucken**, und klicken Sie auf **OK**.
- 4 Wiederholen Sie diesen Vorgang für jede Lektion, die Sie drucken möchten.

SolidWorks Simulation Produktreihe

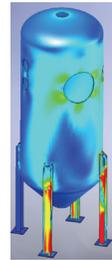
Dieser Kurs konzentriert sich auf die Einführung in die statisch lineare Simulation von elastischen Körpern mit SolidWorks Simulation. Die vollständige Produktreihe deckt jedoch noch weitere wichtige Analysebereiche ab. In den folgenden Abschnitten werden alle SolidWorks Simulation Pakete und Module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



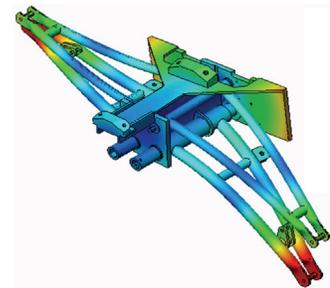
Mit Knickstudien kann die Leistung von dünnen Teilen unter Stauchung analysiert werden. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

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?



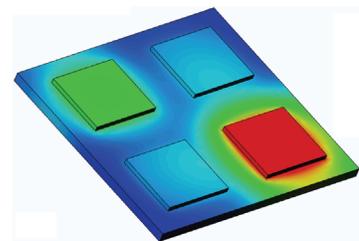
Mit Frequenzstudien können die Eigenschwingungen und -frequenzen analysiert werden. Eine solche Analyse ist nicht nur in der allgemeinen Konstruktion, sondern auch bei vielen statisch oder dynamisch belasteten Komponenten wichtig. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

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.)



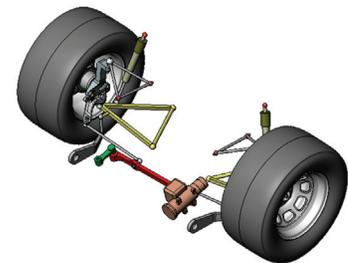
Mit Fallprüfungsstudien wird die Belastung von beweglichen Teilen oder Baugruppen beim Aufprall auf ein Hindernis analysiert. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:
Was passiert, wenn das Produkt während des Transports nicht ordnungsgemäß behandelt oder fallen gelassen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

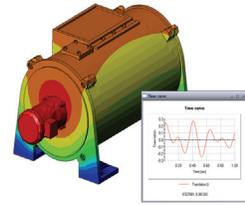
Mit nichtlinearen Studien kann die Spannung in Teilen oder Baugruppen analysiert werden, die extremen Belastungen und/oder großen Verformungen unterliegen. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

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

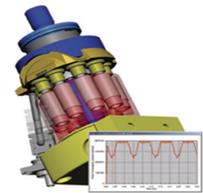
Kommt es unter den normalen Betriebsbedingungen zu einer übermäßigen Durchbiegung des Modells?



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 Beschleunigungen haben die Mechanismuskomponenten?
Ist der Mechanismus effizient? Kann sie verbessert werden?

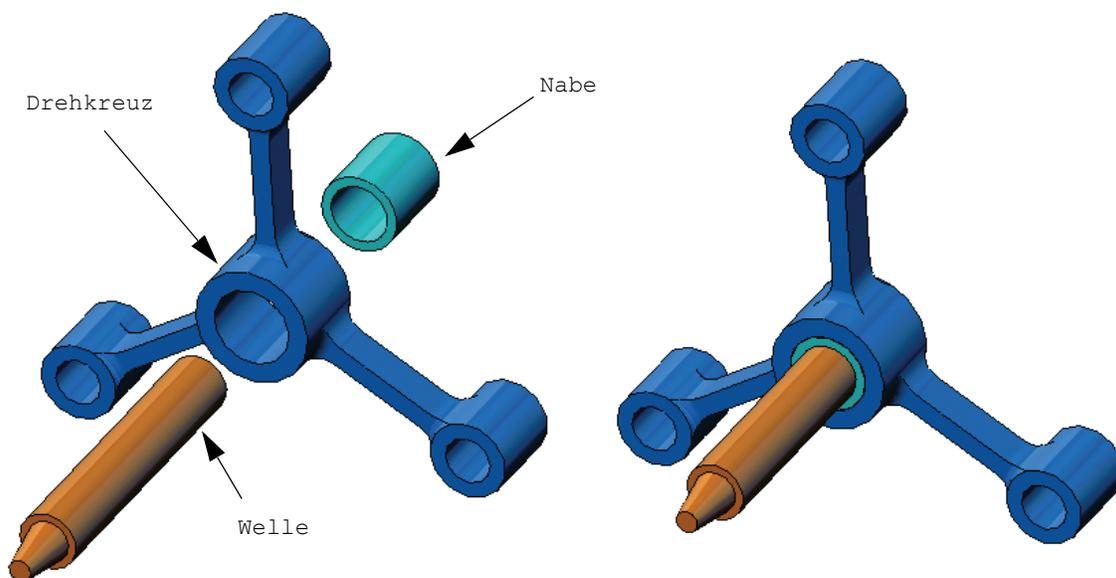
Mit dem Modul für Verbundstoffe können Strukturen aus Schichtverbundstoffen simuliert werden. Dieses Modul liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:



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

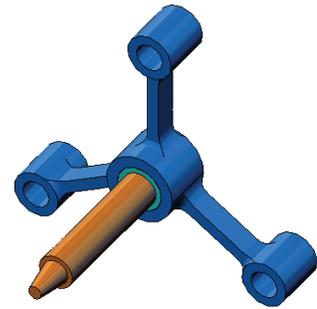
Nach erfolgreichem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein, die grundlegenden Funktionen von SolidWorks Simulation zu verstehen und eine statische Analyse der nachfolgend abgebildeten Baugruppe durchzuführen.



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.



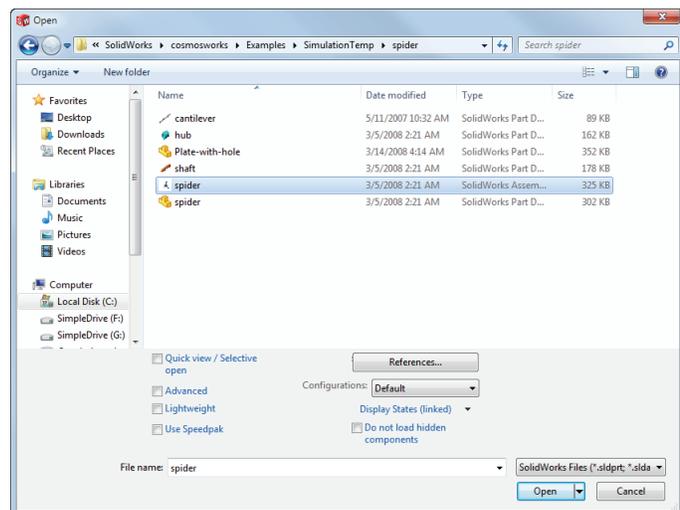
Erstellen des temporären Verzeichnisses SimulationTemp

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.

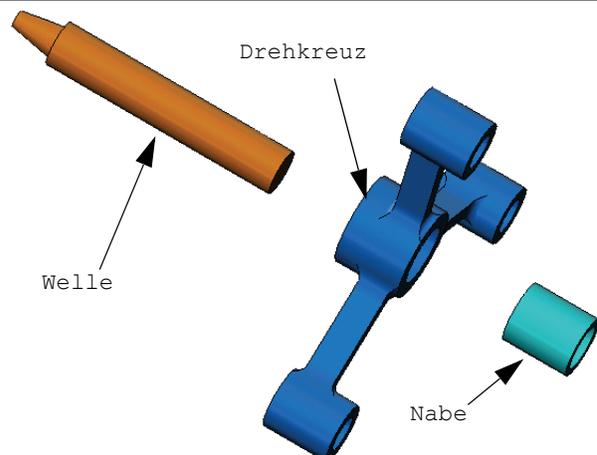
Öffnen des Dokuments Spider.SLDASM

- 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.

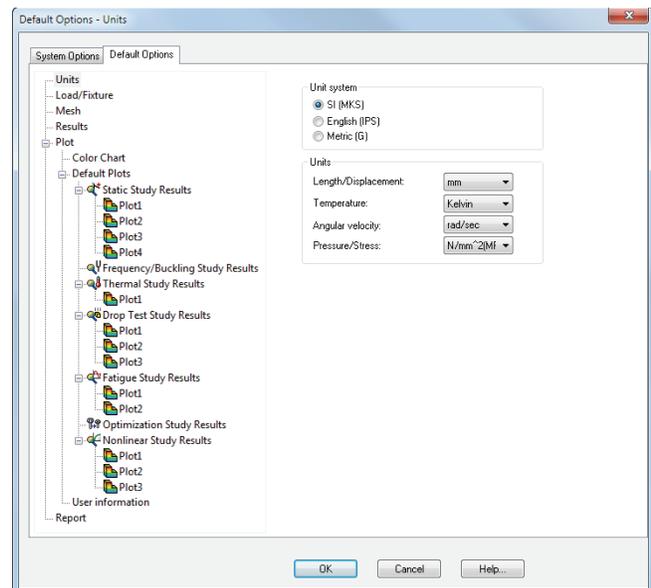
- 3 Klicken Sie auf **OK**.

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.

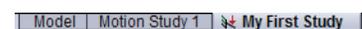
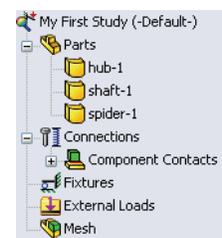
- 2 Geben Sie unter **Name** den Text **My First Study** (Erste Studie) ein.

- 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.

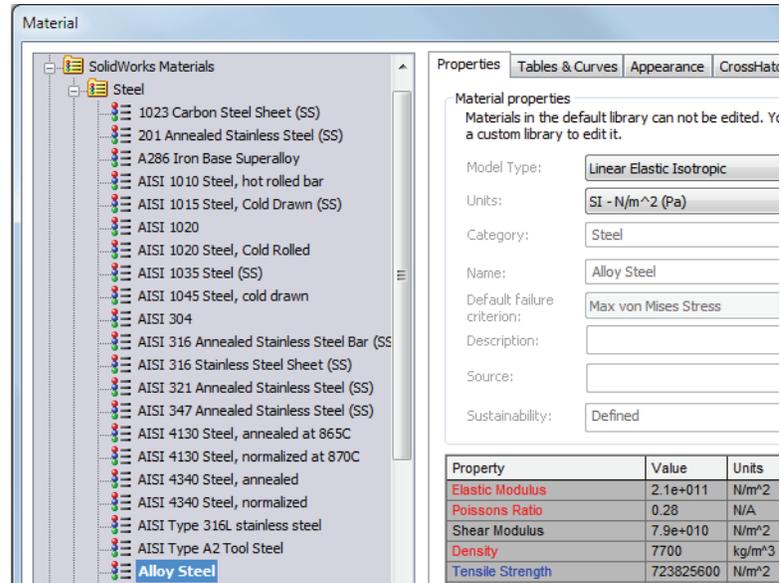
Zuweisen des Materials „Legierter Stahl“ an alle Komponenten

- 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:

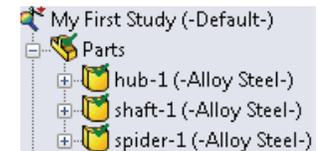
- a) Klappen Sie den Bibliotheksordner **SolidWorks Materialien** auf.
- b) Erweitern Sie die Kategorie **Stahl**.
- c) Wählen Sie **Legierter Stahl** aus.



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.



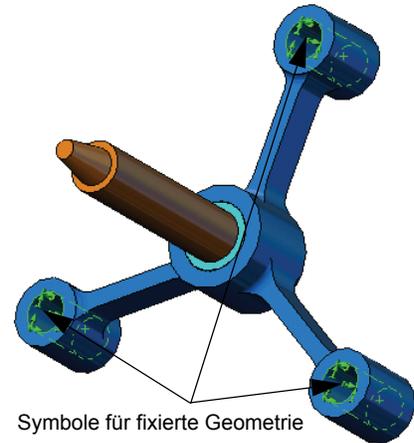
- 4 Klicken Sie im Grafikbereich auf die Flächen der drei Bohrungen, wie in der folgenden Abbildung gezeigt.

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.

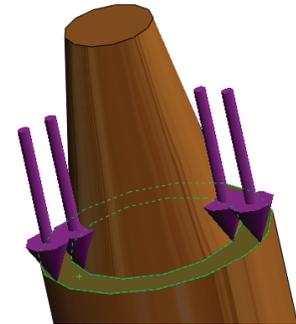
- 4 Stellen Sie sicher, dass für die Richtung die Option **Normal** ausgewählt ist.

- 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.

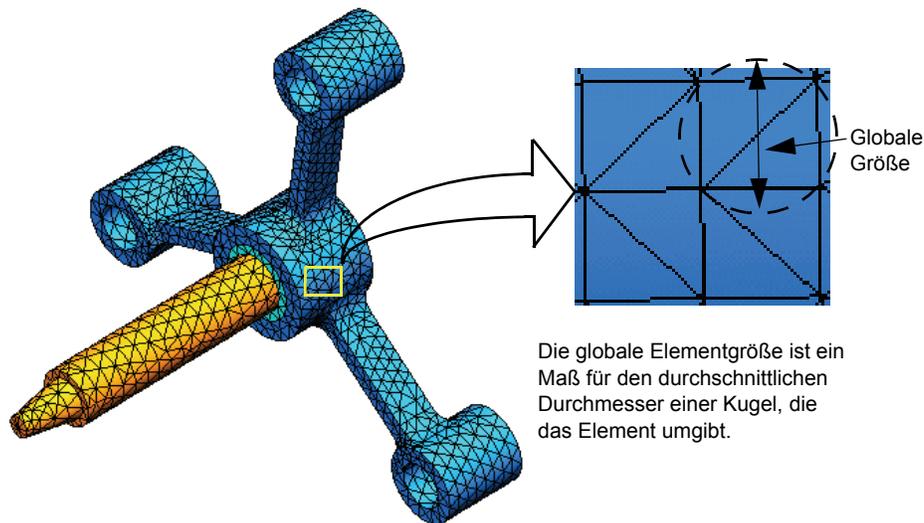
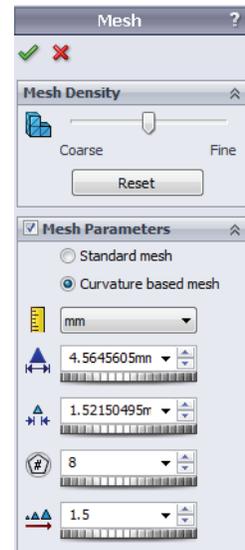
Der PropertyManager für **Netz** wird angezeigt.

- 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.

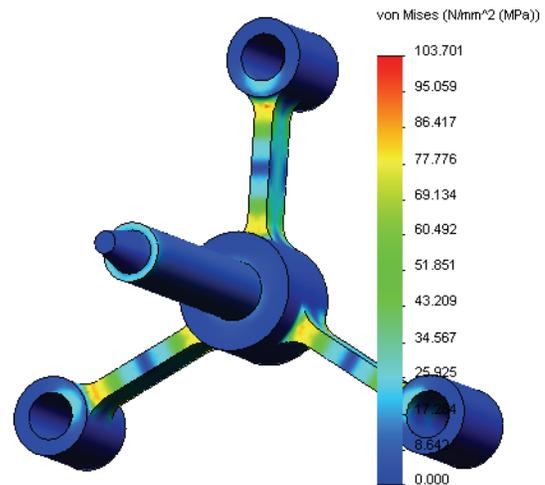
Schritt 7: Visualisieren der Ergebnisse

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.

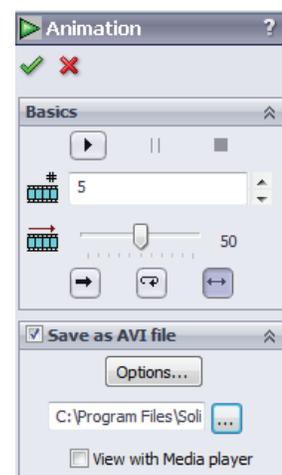
- 3 Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Als AVI-Datei speichern**, klicken Sie anschließend auf  zum Durchsuchen, und wählen Sie einen Zielordner, in dem die AVI-Datei gespeichert werden soll.

- 4 Klicken Sie auf , um die Bewegungssimulation wiederzugeben.

Die Bewegungssimulation wird im Bereich der grafischen Darstellung wiedergegeben.

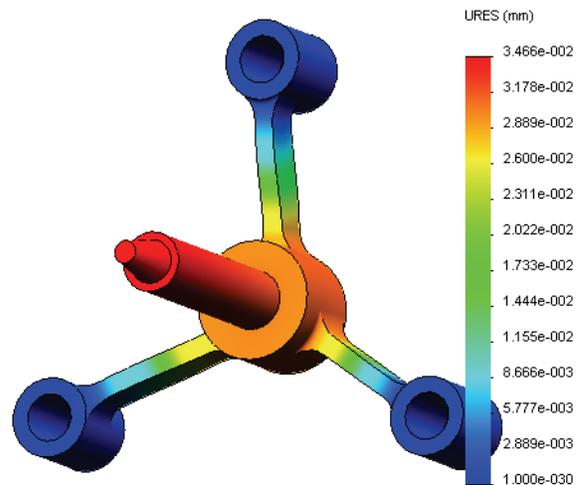
- 5 Klicken Sie auf , um die Bewegungssimulation **anzuhalten**.

- 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**.

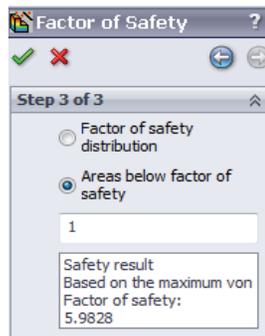
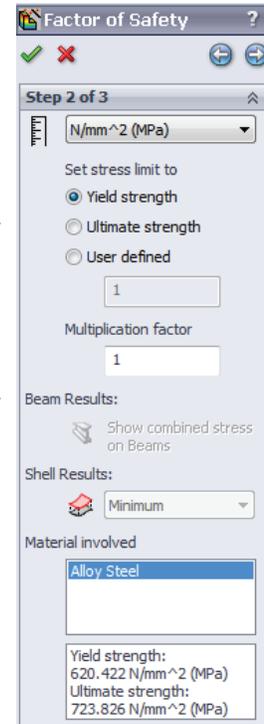
Hinweis: Es sind mehrere Kriterien für die Streckgrenze verfügbar. Das von-Mises-Kriterium wird gewöhnlich zur Überprüfung auf Materialversagen für zähe Materialien verwendet.



- 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.

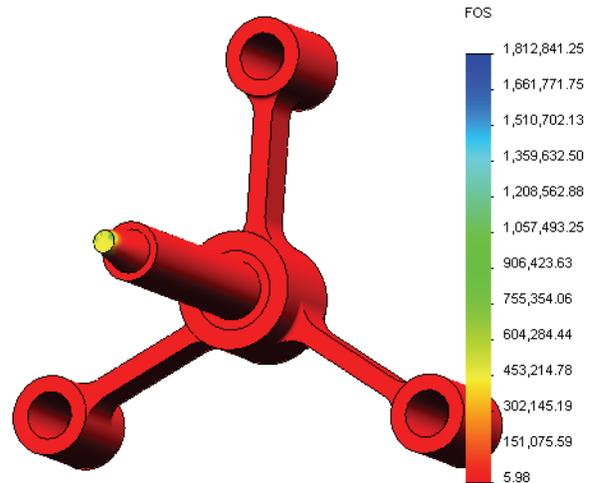
- 4 Klicken Sie auf **Weiter**.

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.

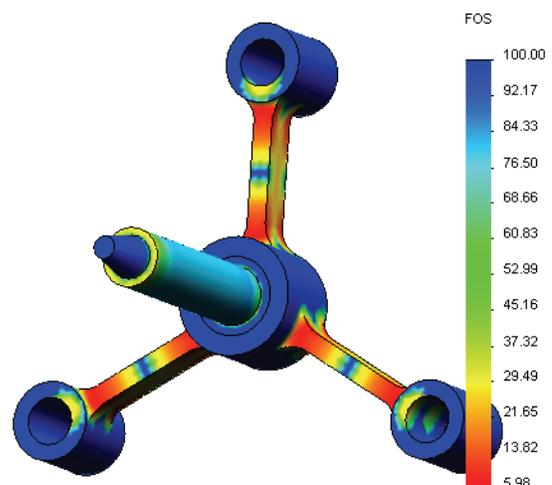


Hinweis: Ein Sicherheitsfaktor-Wert von 1,0 bedeutet, dass das Material an dieser Stelle gerade beginnt, sich plastisch zu verformen. Ein Sicherheitsfaktor von 2.0 bedeutet, dass die Konstruktion an dieser Stelle sicher ist und das Material sich erst zu verformen beginnt, wenn die Lasten verdoppelt werden.

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

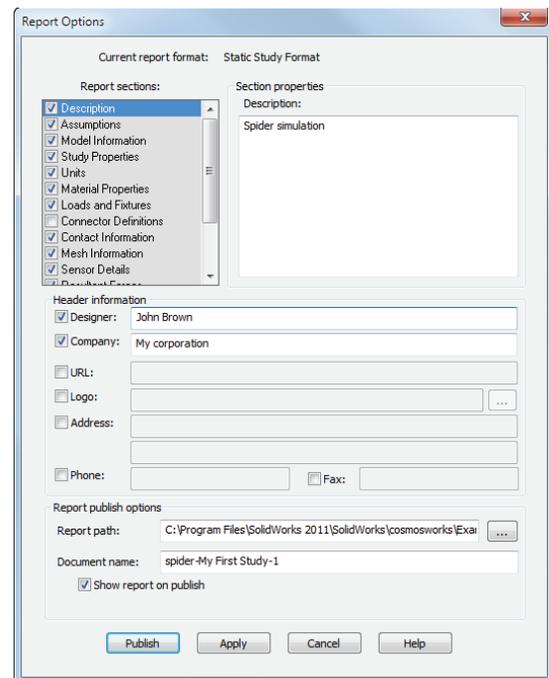
Mit dem Dienstprogramm zur Berichterstellung **Report** können Sie Ihre Arbeit rasch und systematisch für jede Studie dokumentieren. Durch dieses Programm werden strukturierte Berichte in Form von MS Word-Dokumenten erstellt, in denen alle Aspekte der Studie aufgeführt sind.

- 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

- 1 Wie starten Sie eine SolidWorks Simulation Sitzung?

- 2 Wie gehen Sie vor, wenn das SolidWorks Simulation Menü nicht in der Menüleiste von SolidWorks angezeigt wird?

- 3 Welche Arten von Dokumenten kann SolidWorks Simulation analysieren? _____

- 4 Was ist in diesem Zusammenhang unter Analyse zu verstehen? _____

- 5 Warum ist diese Analyse wichtig? _____

- 6 Was ist eine Analysestudie? _____

- 7 Welche Arten von Analysen lassen sich mit SolidWorks Simulation durchführen?

- 8 Was wird bei einer statischen Analyse berechnet? _____

- 9 Was ist unter Spannung zu verstehen? _____

- 10 Welche wesentlichen Schritte zeichnet eine Analyse aus? _____

- 11 Wie können Sie das Material eines Bauteils ändern? _____

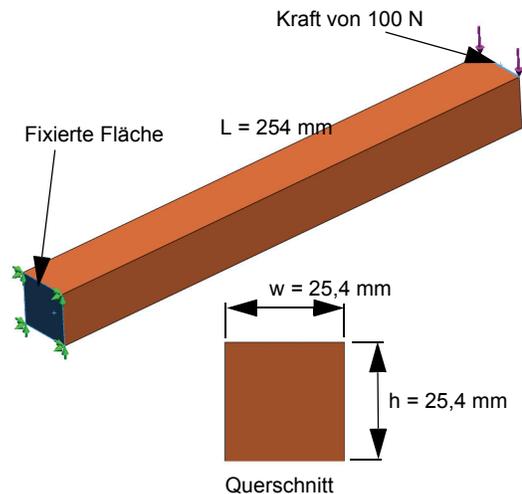
- 12 Der Assistent zur Konstruktionsprüfung zeigt an einigen Stellen einen Sicherheitsfaktor von 0,8. Ist Ihre Konstruktion sicher? _____

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

- Öffnen Sie die Datei `Front_Cantilever.sldprt` im Ordner `Examples`, der sich im Installationsverzeichnis von SolidWorks Simulation befindet.
- Messen Sie Breite, Höhe und Länge des Kragbalkens.
- Speichern Sie das Bauteil unter einem anderen Namen.
- Erstellen Sie eine **statische** Studie.
- Weisen Sie dem Teil das Material **Alloy Steel** (Legierter Stahl) zu. Welchen Wert hat das Elastizitätsmodul in psi?



- Antwort:** _____
- Fixieren Sie eine der Endflächen des Kragbalkens.
 - Wenden Sie eine abwärts gerichtete Kraft von **500 N** auf die obere Kante der anderen Endfläche an.
 - Vernetzen Sie das Teil, und führen Sie die Analyse aus.
 - Erzeugen Sie eine grafische Darstellung der Verschiebung in der Y-Richtung. Welche Maximalverschiebung in Y-Richtung ist am freien Ende des Kragbalkens festzustellen?
- Antwort:** _____
- Berechnen Sie die theoretische Vertikalverschiebung am freien Ende unter Verwendung der folgenden Gleichung:

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

F bezeichnet die Kraft, L die Länge des Balkens, E ist das Elastizitätsmodul, w und h stehen für die Breite bzw. die Höhe des Balkens.

Antwort: _____

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

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

Antwort: _____

Arbeitsblatt „Begriffe“

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:

- 2 Bezeichnung für ein *Was-wäre-wenn*-Szenario, das Analyseart, Materialien, Lasten und Einspannungen spezifiziert: _____
- 3 Das von SolidWorks Simulation zur Analyse verwendete Verfahren: _____
- 4 Art der Studie, mit der Verschiebungen, Dehnungen und Spannungen berechnet werden: _____
- 5 Verfahren, mit dem ein Modell in kleinere Teile unterteilt wird: _____
- 6 Kleine einfache Formen, die während der Vernetzung erzeugt werden: _____
- 7 Bezeichnung für gemeinsame Punkte von Elementen: _____
- 8 Die auf eine Fläche wirkende Kraft, geteilt durch diese Fläche: _____
- 9 Der plötzliche Zusammenbruch schlanker Konstruktionen aufgrund axial kompressiver Lasten: _____
- 10 Eine Studie, welche die Hitzeentwicklung für eine Konstruktion berechnet:

- 11 Eine Zahl, die eine allgemeine Beschreibung des Spannungszustands liefert:

- 12 In Ebenen ohne Schubspannung auftretende Normalspannungen: _____
- 13 Die Frequenz, mit der ein Körper schwingen kann: _____
- 14 Art der Analyse, die zur Vermeidung von Resonanz verwendet werden kann:

Quiz

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? _____

- 2 Welche Arten von Analysen lassen sich mit SolidWorks Simulation durchführen? _____

- 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? _____

- 4 Nach der Vernetzung einer Studie ändern Sie die Geometrie. Müssen Sie für das Modell erneut eine Vernetzung durchführen? _____

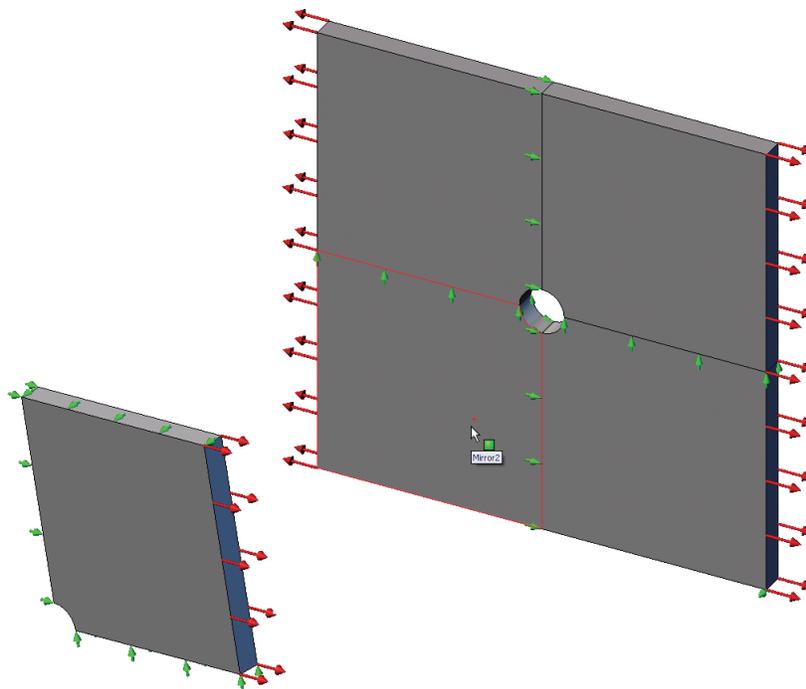
- 5 Wie erstellen Sie eine neue statische Studie? _____

- 6 Was ist unter einer Vernetzung zu verstehen? _____

- 7 Wie viele Symbole werden für eine Baugruppe im Ordner `Volumenkörper` angezeigt? _____

Lektion 2: Adaptionsmethoden in SolidWorks Simulation

Nach erfolgreichem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein, (a) adaptive Methoden zur Verbesserung der Genauigkeit der Ergebnisse zu verwenden, und (b) Symmetrieeinspannungen anzuwenden, um sich bei der Analyse auf einen Teil der Modelldaten (in diesem Fall auf ein Viertel der Daten) zu beschränken.



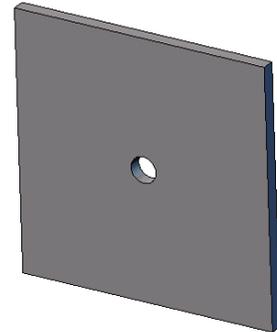
Sie berechnen die Spannungen in einer quadratischen Platte von 500 mm x 500 mm x 25 mm (19,68 Zoll x 19,68 Zoll x 0,98 Zoll) mit einem mittigen Loch, das einen Radius von 25 mm (0,98 Zoll) hat. Die Platte wird einer Zugdruckkraft von 1 MPa (145,04 psi) ausgesetzt.

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

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

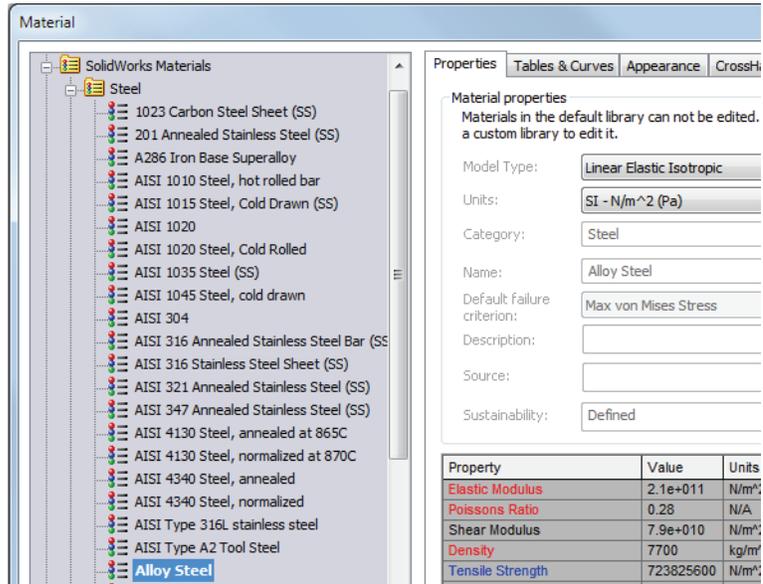
Zuweisen des Materials „Legierter Stahl“

- 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.



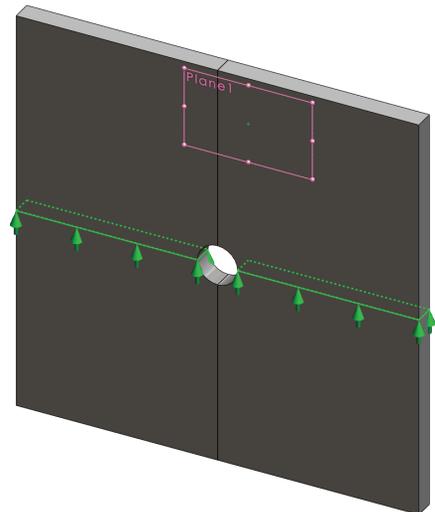
Hinweis: Die mechanischen und physikalischen Eigenschaften von legiertem Stahl werden in der Tabelle rechts angezeigt.

- 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.

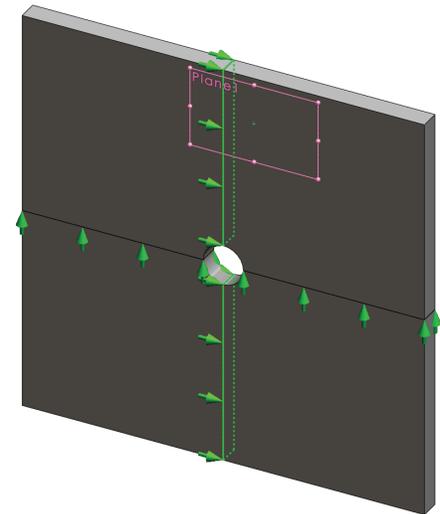


- 4 Klicken Sie im Grafikbereich auf die in der Abbildung gezeigten acht Kanten.
Im Feld **Flächen, Kanten, Eckpunkte für Einspannung** werden die Bezeichnungen Kante<1> bis Kante<8> angezeigt.
- 5 Klicken Sie in das Feld **Fläche, Kante, Ebene, Achse für Richtung**, und wählen Sie im aufschwingenden 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.

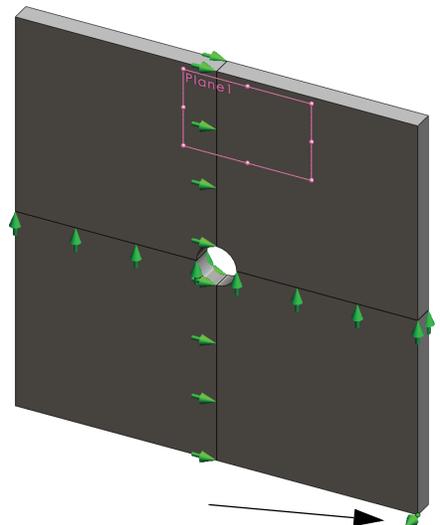
- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Einspannungen**, und wählen Sie **Erweiterte Einspannungen** aus dem Kontextmenü.

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

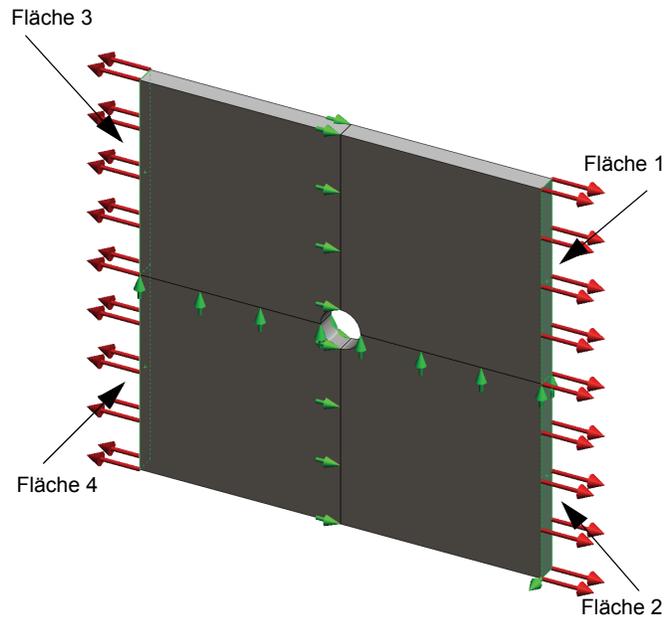
Im Folgenden wenden Sie einen Druck von 1 MPa (145,04 psi) normal auf die in der Abbildung gezeigten Flächen an.

- 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.

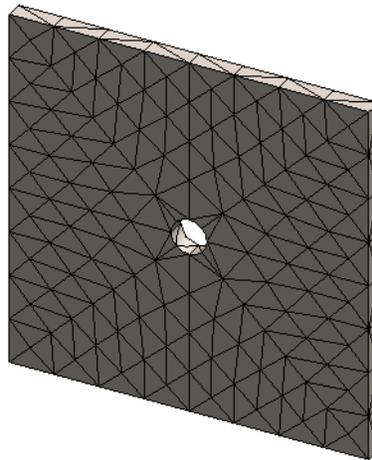
Der PropertyManager für **Netz** wird angezeigt.

- 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.



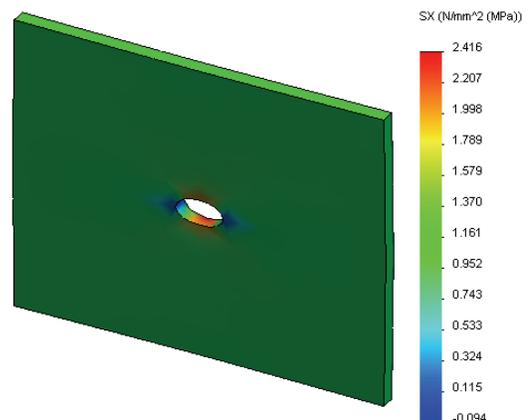
Schritt 6: Visualisieren der Ergebnisse

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.

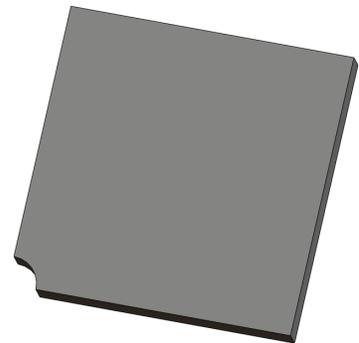
Schritt 1: Aktivieren einer neuen Konfiguration

- 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.



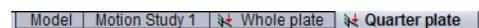
Hinweis: Um auf eine Studie einer inaktiven Konfiguration zuzugreifen, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Symbol der Studie, und wählen Sie **SW-Konfiguration aktivieren** aus dem Kontextmenü.

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.

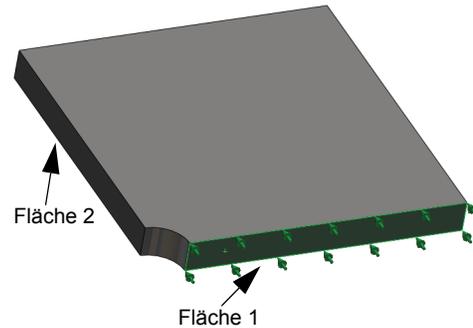
Der PropertyManager **Einspannung** wird angezeigt.

- 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:

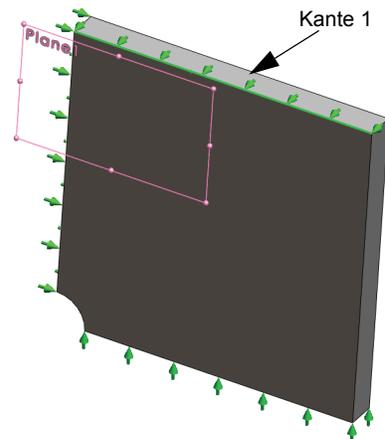
- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Einspannungen**, und wählen Sie **Erweiterte Einspannungen** aus dem Kontextmenü.

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:

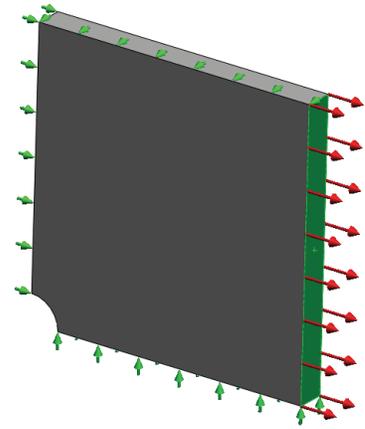
- 1 Klicken Sie im SolidWorks Simulation Manager mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Externe Lasten**, und wählen Sie **Druck** aus dem Kontextmenü.

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.

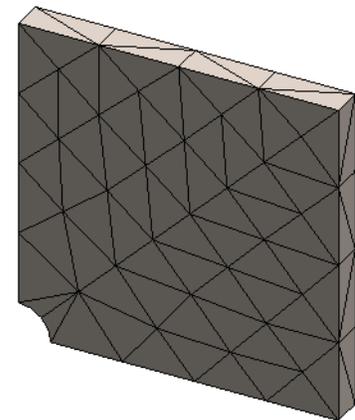
- 1 Fläche<1> wird im Feld **Flächen für Druck** angezeigt.
- 2 Stellen Sie **Einheiten**  auf **N/mm² (MPa)** ein.
- 3 Geben Sie in das Feld **Druckwert**  den Wert **1** ein.
- 4 Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Richtung umkehren**.
- 5 Klicken Sie auf .

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 Adaptionmethoden 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.

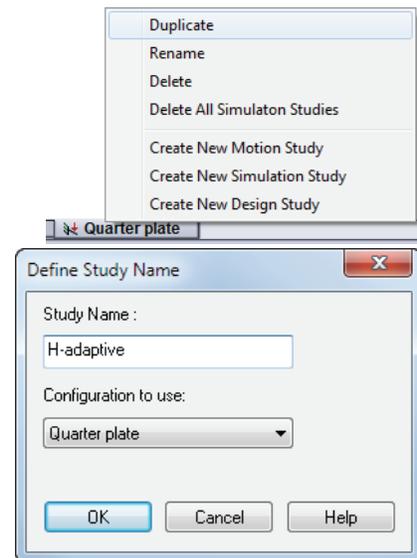
Schritt 1: Definieren einer neuen Studie

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**.

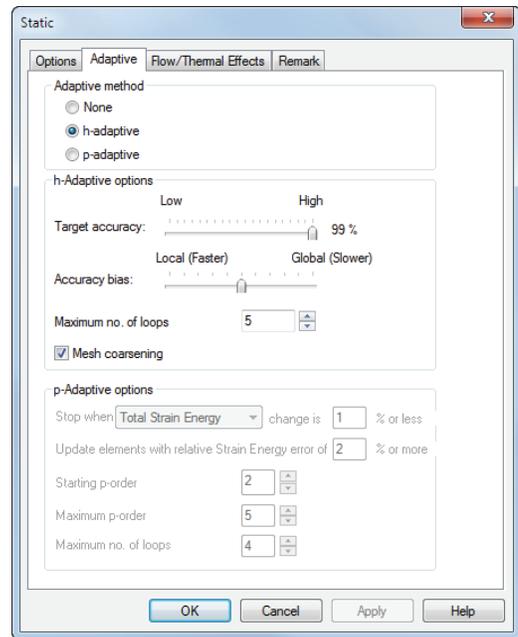


Schritt 2: Festlegen der Parameter für die h-adaptive Methode

- 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:
 - a) Schieben Sie den Schieberegler **Zielgenauigkeit auf 99 %**.
 - b) Legen Sie die Einstellung für **Maximale Anzahl der Schleifen** auf den Wert **5** fest.
 - c) 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.

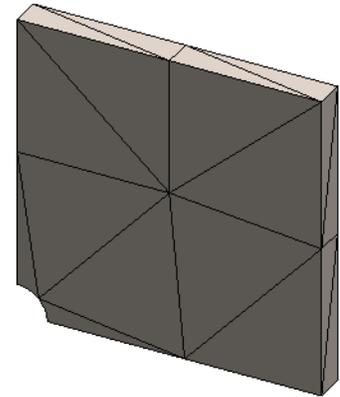
- 2 Klicken Sie auf **OK**.

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.

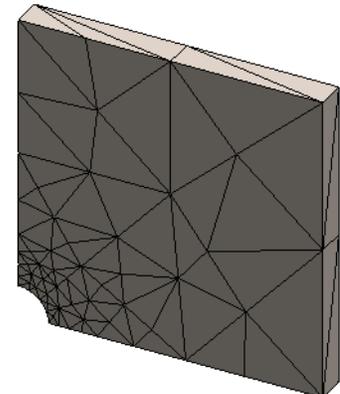
Dieser hohe Wert für die globale Elementgröße dient dazu, die Verfeinerung der Vernetzung durch die h-adaptive Methode und die damit einhergehende Verbesserung der Genauigkeit zu demonstrieren.

- 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**

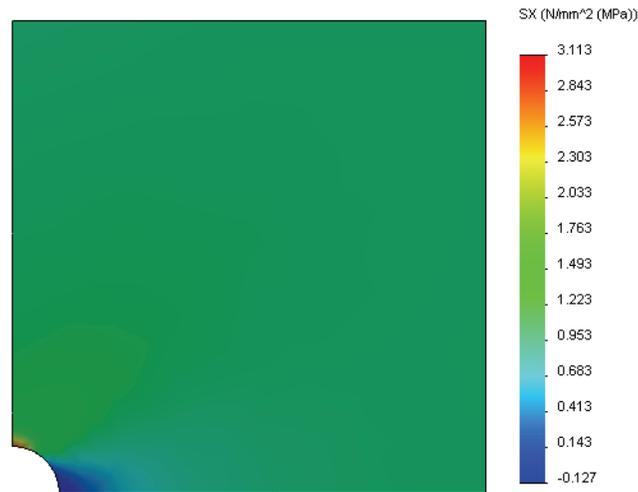
Mit der Anwendung der h-adaptiven Methode wird die ursprüngliche Elementgröße verringert. Beachten Sie den Übergang von einer gröberen Vernetzung an den Plattenrändern zu einer feineren Vernetzung in der Nähe des zentral gelegenen Loches.

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 .



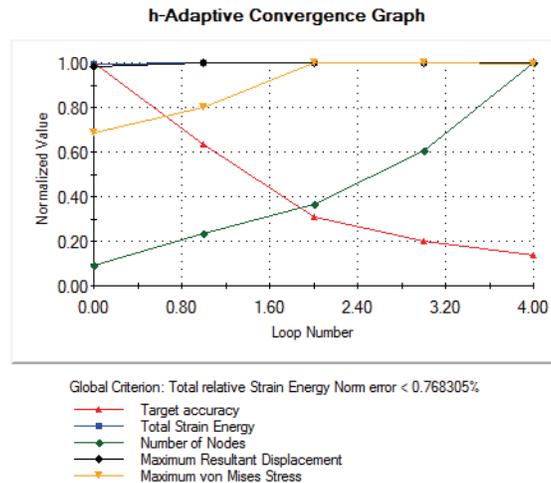
Der analytische Wert für die maximale Normalspannung lautet $\sigma_{\max} = 3,113$ MPa (451,5 psi).

Das SolidWorks Simulation Ergebnis nach Anwendung der h-adaptiven Methode beträgt $SX = 3,113$ 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

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

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

- 3 Wie aktivieren Sie eine Konfiguration? _____

- 4 Was ist eine Starrkörperbewegung? _____

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

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

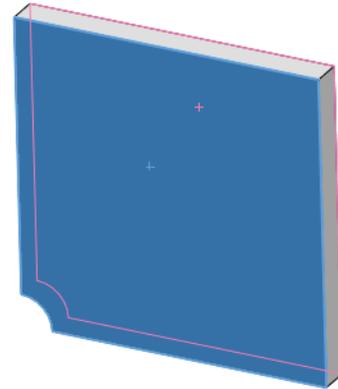
- 7 Ändert sich die Anzahl der Elemente während der Iterationen der p-adaptiven Methode? _____

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

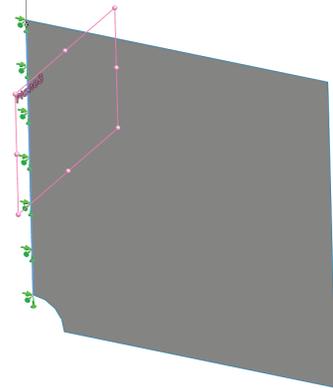
- 1 Klicken Sie oben im Bildschirm im SolidWorks Hauptmenü auf **Einfügen, Oberfläche, Mittelfläche**.
- 2 Wählen Sie die Vorder- und Rückseite der Platte aus, wie in der Abbildung gezeigt.
- 3 Klicken Sie auf **OK**.
- 4 Erstellen Sie eine **statische** Studie mit der Bezeichnung `Shells-quarter` (Schalen-Viertel).
- 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**.



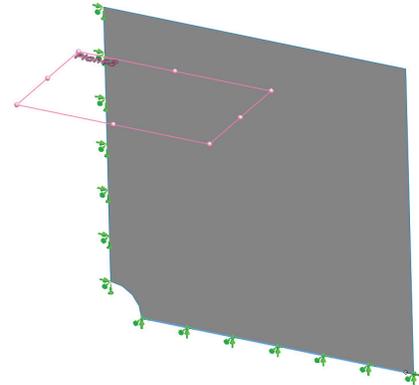
- 8 Wenden Sie Symmetrieeinspannungen auf die beiden in der Abbildung gezeigten Kanten an.

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

- Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Einspannungen**, und wählen Sie **Erweiterte Einspannungen** aus dem Kontextmenü.
- Wählen Sie im Feld **Flächen, Kanten, Eckpunkte für Einspannung** die in der Abbildung gezeigte Kante aus.
- Wählen Sie im Feld **Fläche, Kante, Ebene, Achse für Richtung** die Ebene3 aus.
- Wählen Sie **Normal auf Ebene** als Translation und **Entlang Ebenenrichtung 1** und **Entlang Ebenenrichtung 2** als Rotationen aus.
- Klicken Sie auf .

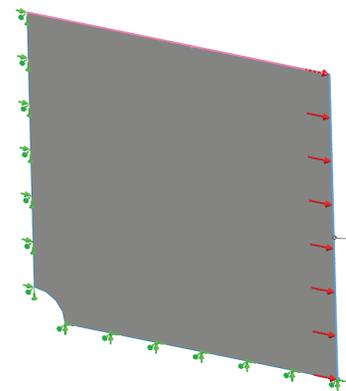


- 9 Wenden Sie mit demselben Verfahren eine Symmetrieeinspannung auf die andere in der Abbildung gezeigte Kante an. Wählen Sie dieses Mal Ebene2 im Feld **Fläche, Kante, Ebene, Achse für Richtung** aus.

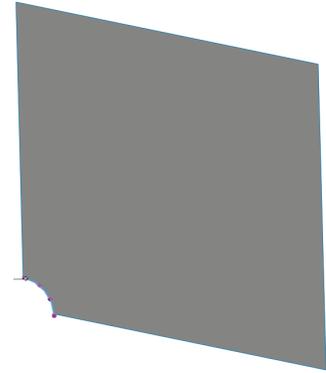


- 10 Wenden Sie einen **Druck** von **1 N/mm² (MPa)** auf die in der Abbildung gezeigte Kante an.

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



- 11 Wenden Sie die Vernetzungssteuerung auf die in der Abbildung gezeigte Kante an. Durch eine kleinere Elementgröße wird die Genauigkeit erhöht.
- 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.
 - Markieren Sie die Lochkante, wie in der Abbildung gezeigt.
 - Klicken Sie auf .



- 12 Vernetzen Sie das Teil, und führen Sie die Analyse aus.
- 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.
 - Markieren Sie die Lochkante, wie in der Abbildung gezeigt.
 - Klicken Sie auf .

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

Antwort: _____

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

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

Antwort: _____

Arbeitsblatt „Begriffe“

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:

2 Eine Methode zur Optimierung von Spannungsergebnissen durch Erhöhung der Polynomordnung:

3 Typ der Freiheitsgrade eines Knotens in einem tetraedrischen Element:

4 Typ der Freiheitsgrade eines Knotens in einem Schalenelement:

5 Material mit gleichen elastischen Eigenschaften in alle Richtungen:

6 Für voluminöse Modelle geeigneter Vernetzungstyp:

7 Für dünnwandige Modelle geeigneter Vernetzungstyp:

8 Für Modelle mit dünnen und voluminösen Bauteilen geeigneter Vernetzungstyp:

Quiz

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?

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

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

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

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

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

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

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