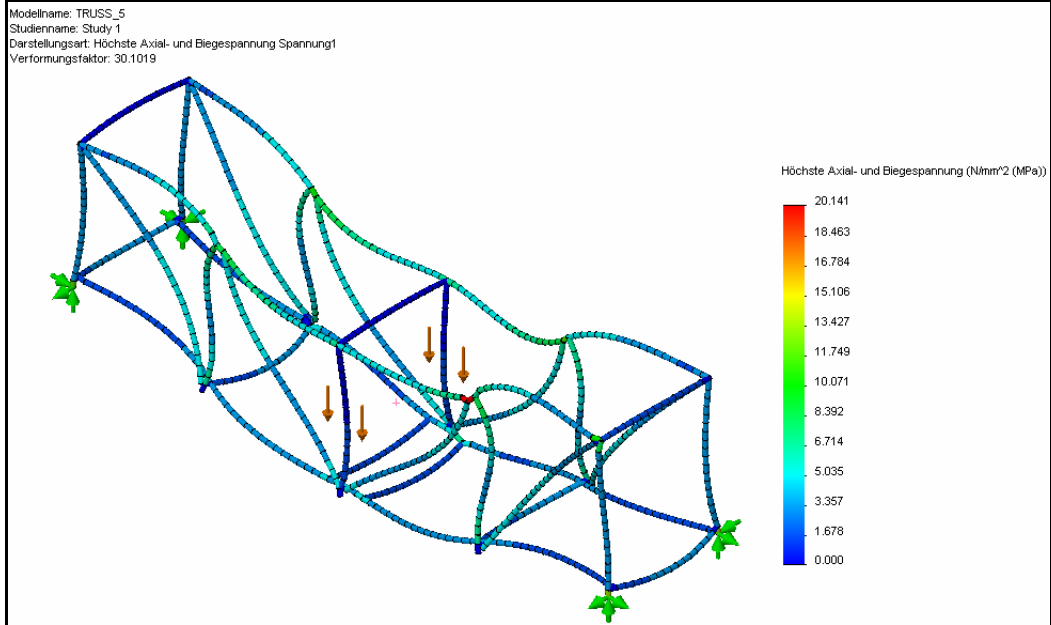




# Brückenkonstruktionsprojekt mit SolidWorks® Software



Dassault Systèmes SolidWorks  
Corporation  
300 Baker Avenue

Außerhalb der USA: +1-978-371-5011  
Fax: +1-978-371-7303  
E-Mail: [info@solidworks.com](mailto:info@solidworks.com)  
Internet: <http://www.solidworks.com/education>

© 1995-2010, 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 vorliegenden Lizenzvertrag festgelegt, und nichts, was in diesem Dokument aufgeführt oder durch dieses Dokument impliziert ist, darf als Modifizierung oder Änderung dieser Gewährleistungen betrachtet werden.

#### **Patenthinweise**

Die SolidWorks® 3D-CAD-Software für Maschinenbau 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 Patente anderer Länder (z.B. EP 1.116.190 und JP 3.517.643) geschützt.

Die eDrawings® Software 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 sind angemeldet.

#### **Warenzeichen und Produktnamen für SolidWorks Produkte und Services**

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

#### **KOMMERZIELLE 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

#### **Copyright-Vermerke für die Produkte SolidWorks Standard, Premium, Professional und Education**

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, 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

#### **Copyright-Vermerke 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.

#### **Copyright-Vermerke für das Enterprise PDM Produkt**

Outside In® Viewer Technology ist urheberrechtlich geschützt durch Oracle, © 1992-2010.

© Copyright 1995-2010, Oracle. Alle Rechte vorbehalten.

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

#### **Copyright-Vermerke 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 die Spatial Corporation, © 1995-2009. Die Software basiert zum Teil auf der Arbeit der Independent JPEG Group.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Lektion 1: Einführung.....</b>	<b>1</b>
Zu diesem Handbuch .....	2
Die SolidWorks Software .....	2
Voraussetzungen.....	2
Typographische Konventionen .....	3
Vorbereitung .....	3
Analysieren einer Konstruktion mithilfe von SolidWorks und SolidWorks Simulation.....	6
<b>Lektion 2: Tragwerkkonstruktion .....</b>	<b>7</b>
Was ist unter einem Tragwerk zu verstehen? .....	8
Tragwerkkonstruktionen.....	9
Fachwerke .....	9
Balken .....	10
Festigkeit.....	11
Querschnittsform.....	12
Verschiebungen.....	12
Material .....	14
Fachwerkwände .....	15
Dreiecke .....	15
<b>Lektion 3: Verwenden der Trägerberechnung .....</b>	<b>17</b>
Anwenden der Trägerberechnung.....	18
Größenordnung .....	18
Starten von SolidWorks und Öffnen eines Teils .....	19
Hinzufügen von SolidWorks Simulation .....	19
Die Modellgeometrie .....	20
Vereinfachen der Analyse.....	20
Der einfach gestützte Stab .....	21

## SolidWorks

### Konstruktionstechnik und Technologie

Montagevorrichtungen .....	21
Externe Lasten.....	21
Theoretisches Modell .....	21
Warum sind einfach gestützte Träger wichtig?.....	22
Erforderliche Daten für die Trägerberechnung .....	23
Zusammentragen der Daten .....	24
Zuweisen eines Materials .....	25
Querschnittseigenschaften .....	26
Verwenden des Befehls „Messen“ .....	28
Trägerberechnung.....	29
<b>Lektion 4: Analysieren des Tragwerks .....</b>	<b>31</b>
Analyse der Konstruktion .....	32
Überblick über SolidWorks Simulation .....	32
Konstruktionsanalyse .....	33
Stufen der Konstruktionsanalyse .....	34
Konstruktionszyklus.....	35
Änderungen im Modell .....	35
Studie erstellen.....	36
FeatureManager-Strukturbaum und Simulations-Studienbaum.....	37
Die Umgebung .....	37
Maßeinheiten.....	40
Vorverarbeitung .....	40
Material .....	41
Montagevorrichtungen .....	41
Externe Kräfte .....	43
Vernetzen des Modells.....	45
Analyse .....	46
Prognosen .....	46
Einige Begriffe.....	47
Biegung und Verschiebung .....	47
Zugspannung und Druckspannung .....	48
Spannungen .....	48
Fließgrenze .....	48
Sicherheitsfaktor .....	49
Nachbearbeitung .....	49
Interpretieren der Ergebnisse.....	51
Erstellen einer neuen Darstellung .....	51
Iterierende Änderungen .....	53
Bestimmen der Last.....	53
Bearbeiten der Simulationsdaten.....	53
Schlussfolgerung.....	54

<b>Lektion 5: Durchführen von Konstruktionsänderungen .....</b>	<b>55</b>
Erweitern der Konstruktion .....	56
Öffnen des Modells .....	56
Vorhandene Studie.....	56
Ändern der Last.....	57
Querverstrebungen.....	58
Öffnen des Modells .....	58
Vorhandene Studie.....	59
Was hat die Querverstrebung bewirkt? .....	59
Arbeiten mit Darstellungen.....	60
Verformungsfaktor .....	60
Modell über verformte Geometrie legen.....	61
Das schwächste Glied .....	62
Sondieren von Elementen.....	63
Anpassen des Zahlenformats.....	65
Lösung .....	66
Vervollständigen der Querverstrebungen .....	66
Vergleichen von Spannungen .....	67
Querbalken auf der Oberseite .....	68
Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht.....	69
Effizienzvergleich .....	70
Weiterführende Fragen .....	71
Lesen des Diagramms .....	72
<b>Lektion 6: Verwenden einer Baugruppe .....</b>	<b>73</b>
Erstellen einer Baugruppe.....	74
Testen mithilfe eines Testkörpers .....	74
Ändern des Modells.....	76
Kollisionserkennung .....	77
Aktualisieren der Analyse .....	78
<b>Lektion 7: Erstellen von Zeichnungen der Tragwerkskonstruktion.....</b>	<b>80</b>
Zeichnungen .....	81
Erstellen von Zeichenansichten .....	81
Was ist eine Zuschnittslisten-Tabelle?.....	83
Warum sind zwei gleich lange Elemente vorhanden? .....	84
Stücklistensymbole .....	85

<b>Lektion 8: Berichte und SolidWorks eDrawings®</b> .....	<b>86</b>
Berichte und SolidWorks eDrawings .....	87
Erstellen eines Berichts.....	87
SolidWorks eDrawings® ermöglicht die Weitergabe und gemeinsame Nutzung von Informationen.....	90
Vorteile von eDrawings .....	90
Anzeigen von eDrawings-Dateien .....	90
Erstellung einer SolidWorks eDrawing .....	91
Die Benutzeroberfläche von eDrawings .....	92
Funktionen von eDrawings .....	92
Wiedergeben einer eDrawings-Bewegungssimulation .....	93
Speichern von eDrawings-Dateien.....	93
Speichern der eDrawings-Datei .....	93
Weiterführende Fragen .....	95
<b>Lektion 9: Erstellen eines physischen Modells     und Testen der Tragwerkkonstruktion</b> .....	<b>96</b>
Physische Modellierung der Konstruktion .....	97
Zuschneiden auf Länge .....	97
Testen der Konstruktion .....	105
Erzeugen der Spannweite .....	105
Details .....	105
Anwenden der Last.....	106
Verwenden gebräuchlicher Objekte mit bekanntem Gewicht .....	106
<b>Glossar</b> .....	<b>107</b>

# **Lektion 1**

## **Einführung**

Nach Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein,

- die Beziehungen zwischen Bauteilen, Baugruppen und Zeichnungen zu beschreiben,
- die Hauptkomponenten der Benutzeroberfläche von SolidWorks zu identifizieren und
- die benötigten Begleitdateien herunterzuladen und zu extrahieren.

## Zu diesem Handbuch

Das *Brückenkonstruktionsprojekt* vermittelt Ihnen die Prinzipien der Konstruktionsanalyse als integralen Bestandteil eines kreativen und iterativen Konstruktionsprozesses unter Verwendung von SolidWorks und SolidWorks Simulation.

Bei diesem Projekt soll nach dem Grundsatz „Learning by Doing“ anhand einer vollständigen Konstruktionsanalyse vorgegangen werden.

## Die SolidWorks Software

SolidWorks ist eine Software zur Automatisierung des Konstruktionsprozesses. In SolidWorks skizzieren Sie Ideen und experimentieren mit unterschiedlichen Entwürfen, um 3D-Modelle unter Verwendung der einfach zu erlernenden grafischen Benutzeroberfläche von Windows® zu erstellen.

SolidWorks wird von Studenten, Konstrukteuren, Technikern und anderen Fachleuten genutzt, um einfache und komplexe Bauteile, Baugruppen und Zeichnungen zu produzieren.

## Voraussetzungen

Bevor Sie mit dem *Brückenkonstruktionsprojekt* beginnen, sollten Sie die folgenden, in die SolidWorks Software integrierten Online-Übungsanleitungen durcharbeiten:

- Lektion 1 – Teile
- Lektion 2 – Baugruppen
- Lektion 3 – Zeichnungen

Sie können auf die Online-Übungsanleitungen über den Menüpfad **Hilfe, SolidWorks Lehrbücher, Alle SolidWorks Lehrbücher (Satz 1)** zugreifen. Nach dem Aufruf der Online-Übungsanleitungen wird das Hauptfenster von SolidWorks entsprechend angepasst und die Übung in einem eigenen Fenster angezeigt.

Alternativ können Sie auch die folgenden Lektionen aus dem Handbuch *An Introduction to Engineering Design With SolidWorks* durcharbeiten:

- Lektion 1: Verwenden der Benutzeroberfläche (Using the Interface)
- Lektion 2: Grundlegende Funktionen (Basic Functionality)
- Lektion 3: 40-Minuten – Schnellstart (The 40-Minute Running Start)
- Lektion 4: Baugruppen – Grundlagen (Assembly Basics)
- Lektion 6: Grundlagen des Zeichnens (Drawing Basics)



## Typographische Konventionen

In diesem Handbuch werden die folgenden typographischen Konventionen verwendet:

Konvention	Bedeutung
<b>Bold Sans Serif</b>	Befehle und Optionen von SolidWorks werden mit dieser Schriftart hervorgehoben. Beispiel: Die Sequenz <b>Einfügen, Aufsatz</b> bedeutet, die Option <b>Aufsatz</b> aus dem Menü <b>Einfügen</b> zu wählen ist.
Typewriter	Namen von Features und Dateien werden mit dieser Schriftart hervorgehoben. Beispiel: <b>Skizze1</b> .
<b>17 Führen Sie diesen Schritt aus</b>	Die einzelnen Schritte in den Lektionen werden unter Verwendung der Schriftart Sans Serif Bold nummeriert.

## Vorbereitung


Sofern dies noch nicht geschehen ist, kopieren Sie die Begleitdateien für die Lektionen auf Ihren Computer, bevor Sie mit dem Projekt beginnen.

### 1 Starten Sie SolidWorks.

Starten Sie die SolidWorks Anwendung über das **Start**-Menü.

### 2 SolidWorks Ressourcen.

Klicken Sie auf die Registerkarte **SolidWorks**

**Ressourcen**  und dann auf **Student Curriculum** (Studienplan für Studierende).



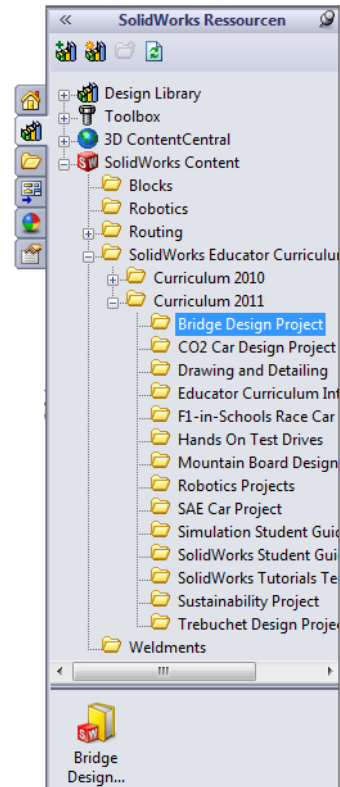
### 3 SolidWorks Content.

Klappen Sie den Ordner SolidWorks Educator Curriculum auf.

Klappen Sie den entsprechenden Ordner Curriculum <Jahr> auf.

Klicken Sie auf den Ordner Bridge Design Project.

Im unteren Fensterbereich wird ein Symbol für eine ZIP-Datei angezeigt, welche die Begleitdateien für dieses Projekt enthält.



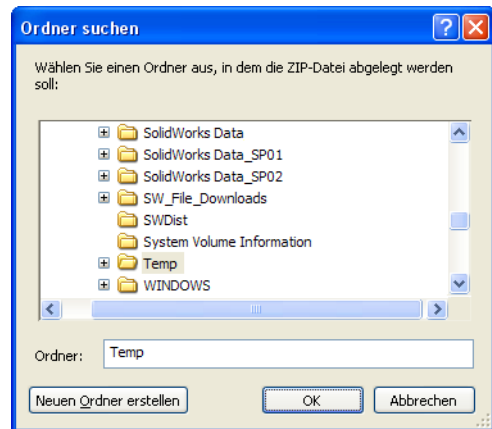
### 4 Laden Sie die ZIP-Datei herunter.

Drücken Sie **Strg**, und klicken Sie auf das Symbol Bridge Design Project - English (Brückenbauprojekt - Englisch).

Sie werden aufgefordert, einen Ordner anzugeben, in dem die ZIP-Datei gespeichert werden soll.

Fragen Sie Ihren Kursleiter, wo Sie die ZIP-Datei speichern sollen. In der Regel ist C:\Temp eine gute Wahl für den Speicherort.

Klicken Sie auf **OK**.

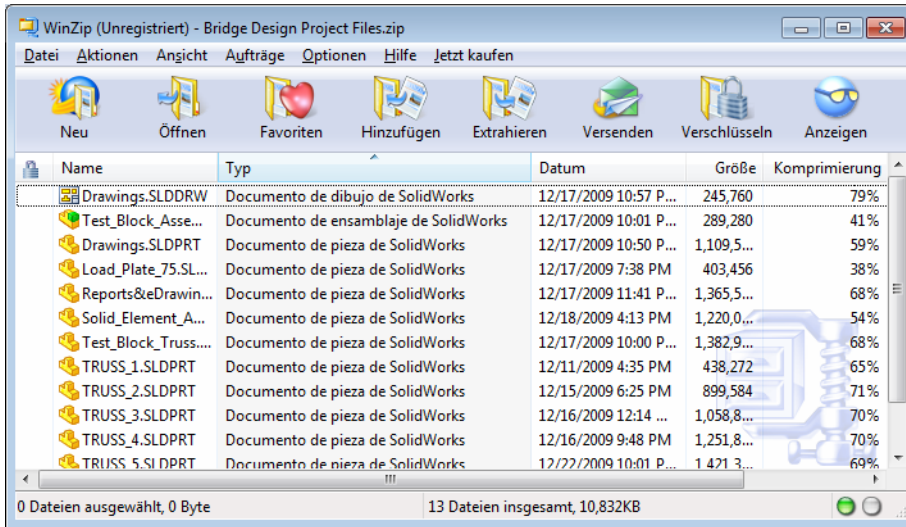


**Tipp:** Merken Sie sich den Ordner, in dem Sie die Projektdaten gespeichert haben.

5 Öffnen Sie die ZIP-Datei.

Navigieren Sie zu dem Ordner, in dem sich die ZIP-Datei befindet, die Sie in Schritt 4 gespeichert haben.

Doppelklicken Sie auf die Datei Bridge Design Project.zip.



6 Klicken Sie auf „Extrahieren“.

Klicken Sie auf **Extrahieren** und wechseln Sie zu dem Verzeichnis, in dem Sie die Projektdateien speichern möchten. Das System erstellt automatisch einen Ordner mit dem Namen **\_Bridge\_Design\_Project\_ENG** an dem von Ihnen angegebenen Speicherort. Beispiel: Ein häufig gewählter Speicherort ist der Ordner **Eigene Dateien**. Sprechen Sie mit Ihrem Kursleiter ab, wo die Dateien gespeichert werden sollen.



Sie verfügen jetzt über einen Ordner namens **Bridge Design Project** auf Ihrer Festplatte. Die Daten in diesem Ordner werden in den Übungen verwendet.

**Tipp:** Merken Sie sich den Ordner, in dem Sie die Projektdaten gespeichert haben.

## **Analysieren einer Konstruktion mithilfe von SolidWorks und SolidWorks Simulation**

Während dieser Sitzung lernen Sie, eine Konstruktion unter Verwendung von SolidWorks und SolidWorks Simulation zu analysieren. Sie können die Konstruktion auch mithilfe von Balsaholz modellieren (siehe „Physische Modellierung der Konstruktion“ auf Seite 97).

Nachdem Sie Gelegenheit hatten, die einfache Handhabung der SolidWorks Software zur Volumenkörpermodellierung im praktischen Test zu erproben, überprüfen Sie anhand einer Baugruppe, ob die Komponenten zusammenpassen.

Anschließend erstellen Sie eine Zeichnung einschließlich der zugehörigen Zuschnittliste für eine der Komponenten. Falls ein Drucker zur Verfügung steht, können Sie die Zeichnung ausdrucken.

## **Lektion 2**

# **Tragwerkkonstruktion**

Nach dem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein,

- ein Tragwerk zu definieren,
- verschiedene Typen von Fachwerken zu beschreiben,
- Balken zu charakterisieren,
- die Faktoren zu erläutern, welche die Festigkeit eines Balkens bestimmen,
- ein Trägheitsmoment zu berechnen und
- die Bedeutung der Querversteifung in einem Tragwerk nachzuvollziehen.

## Was ist unter einem Tragwerk zu verstehen?

Tragwerke sind Baukonstruktionen, die üblicherweise für Eisenbahnbrücken sowie Brücken für den Kfz.- und Fußgängerverkehr verwendet werden. Beispiele für derartige Konstruktionen finden sich überall in der Welt.



## Tragwerkkonstruktionen

Tragwerkkonstruktionen sollen einfach und effizient sein. Dies bedeutet, dass sie leicht zu erstellen sein und ihren Zweck mit minimalem Materialaufwand erfüllen müssen. Es gibt eine Vielfalt von Tragwerkkonstruktionen, die sich hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und der zu überbrückenden Spannweite unterscheiden. Eine Tragwerkkonstruktion kann mehrere Überbrückungen innerhalb ein und derselben Brücke umfassen.

## Fachwerke

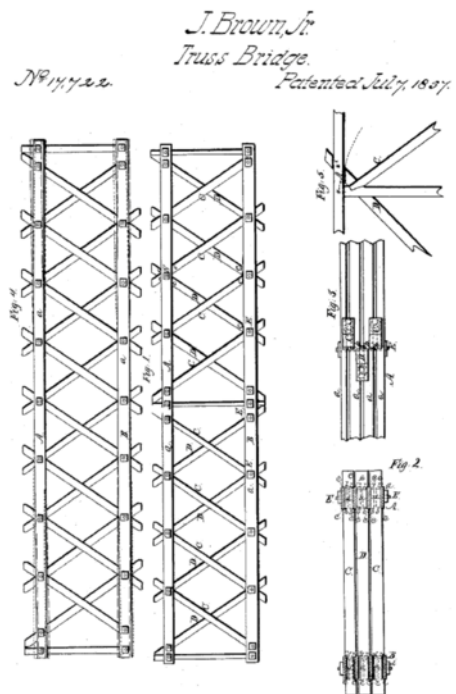
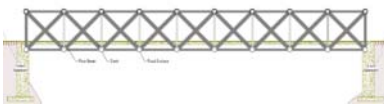
Fachwerke sind spezielle Tragwerke, die in der Regel für Eisenbahnbrücken verwendet werden. Sie bestehen üblicherweise aus einer Fahrbahn oder Schienenstrecke, zwei Seitenwänden und manchmal einem versteifenden Überbau. Sie werden im Rahmen dieses Projekts eine Fachwerkkonstruktion analysieren.



Suchen Sie unter dem Stichwort **Fachwerk** nach weiteren Informationen.

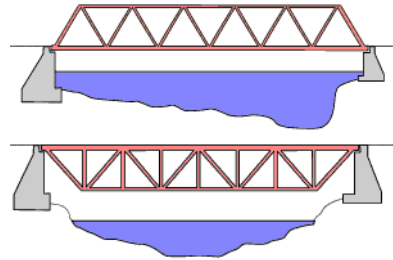
## Brown-Träger-Fachwerk

Das **Brown-Träger-Fachwerk** (siehe nebenstehendes Patent) wurde bei der Konstruktion von gedeckten Brücken verwendet. Dieses Kastenfachwerk („Kasten“ verweist auf die kastenartige Form) war so effizient, dass zum Bau lediglich die diagonalen Querverstrebungen als Stützelemente erforderlich waren.



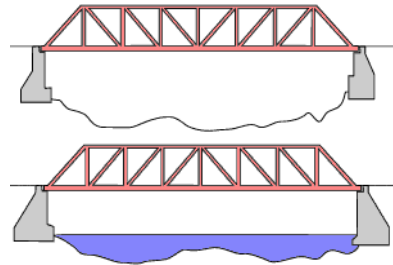
### Warren-Träger-Fachwerk

Das **Warren-Träger-Fachwerk** ist ein weiteres Beispiel für eine einfache und wirtschaftliche Konstruktion. Es lässt sich umkehren und je nach erforderlicher Tragfähigkeit mit oder ohne vertikale Versteifung einsetzen.



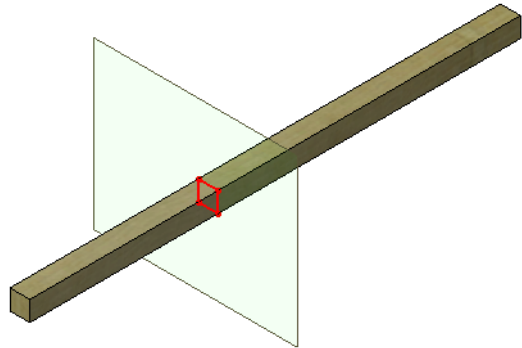
### Pratt- und Howe-Träger-Fachwerke

Das Pratt-Träger-Fachwerk und das Howe-Träger-Fachwerk sind einander sehr ähnlich. Beide weisen wie das oben gezeigte invertierte Warren-Fachwerk vertikale und diagonale Verstreibungen auf. Der Unterschied liegt in der Richtung der diagonalen Streben.



### Balken

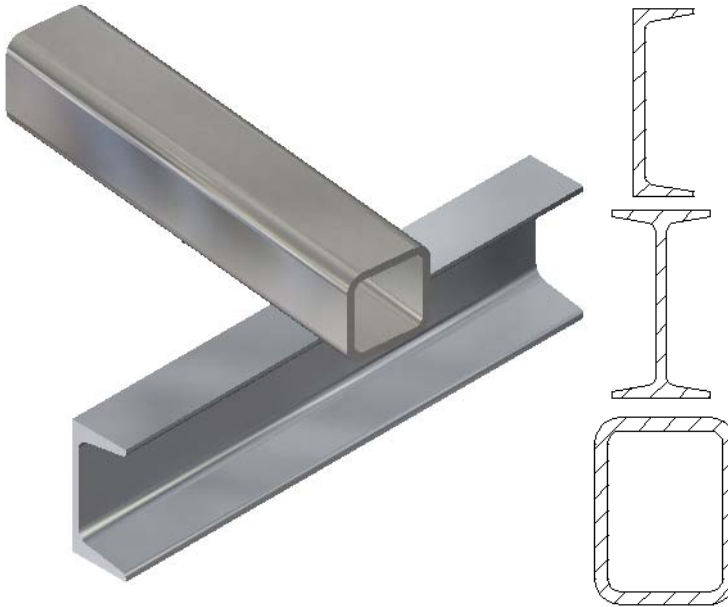
Ein **Balken** ist ein Objekt, das über die gesamte Länge denselben Querschnitt aufweist. Im abgebildeten Fall ist der Querschnitt quadratisch. Tragwerkkonstruktionen, wie zum Beispiel Fachwerke, bestehen aus Balken.





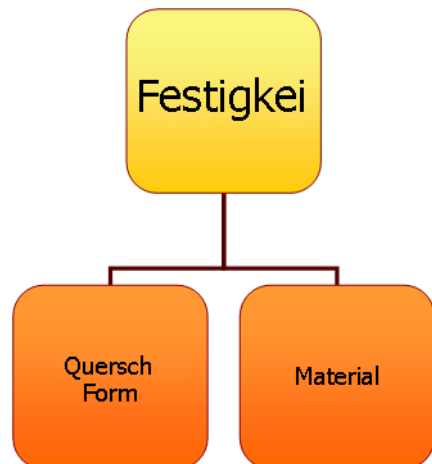
## Stahlträger

Stahlträger sind Balken aus Stahl, die in verschiedenen Standardformen, beispielsweise als U- oder I-Profile oder als Röhren, verwendet werden.



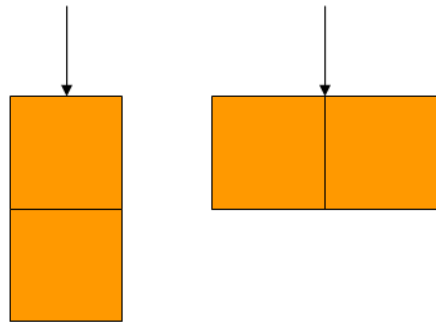
## Festigkeit

Die Festigkeit bzw. Steifigkeit eines Balkens hängt von der **Form des Querschnitts** und dem **Material** ab.



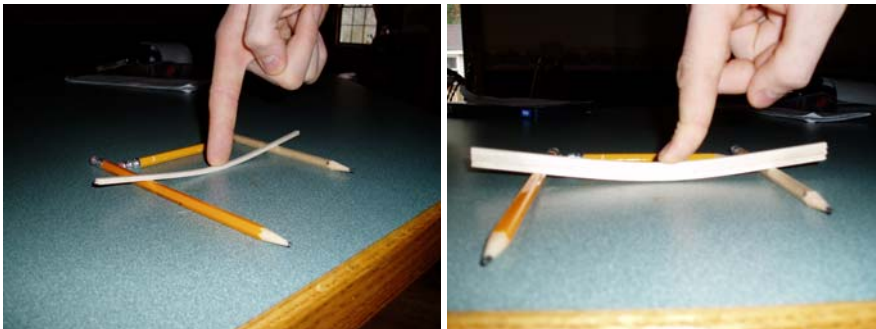
## Querschnittsform

Durch Aufeinanderstapeln zweier Balken mit quadratischem Querschnitt entsteht ein „tieferer“ Querschnitt. Je tiefer der Querschnitt (linke Abbildung), desto steifer der Balken. Breitere Querschnitte (rechte Abbildung) sind nur begrenzt hilfreich.



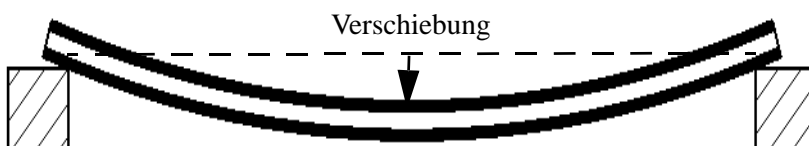
## Probieren Sie es aus!

Beachten Sie den unterschiedlichen Widerstand, den ein einzelner Stab aus Balsaholz und ein Stapel aus 3 Balsaholz-Stäben leisten, wenn Sie versuchen, ihn nach unten zu drücken. Verwenden Sie Bleistifte zur Auflagerung und Festlegung der Spannweite.



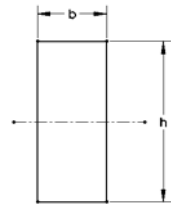
## Verschiebungen

Eine Aufgabe bei der Konstruktionsanalyse wird die Ermittlung der größten **Verschiebung** sein. Die Verschiebung ist die Strecke, die sich der Balken aus seiner Ausgangsposition bewegt, wenn eine *äußere Kraft* auf ihn angewendet wird. Mithilfe der Verschiebung wird die Tragfähigkeit der Konstruktion festgestellt.



## Flächenträgheitsmoment

Der Grund für die größere Steifigkeit von Balken mit tieferem Profil ist das **Flächenträgheitsmoment**. Dieses berechnet sich anhand der Breite (b) und der Höhe (h) des Querschnitts. Dadurch wird ausschließlich ein Maß für die Festigkeit bzw. Steifigkeit des Balkenquerschnitts definiert und nicht des Materials.



Das Flächenträgheitsmoment wird für Berechnungen des Balkenwiderstands in Bezug auf Verbiegungen verwendet. Je höher der Wert, desto größer der Widerstand gegen Verbiegungen.





## Berechnen des Flächenträgheitsmoments

Für Balken mit rechteckigem Querschnitt lässt sich der Wert anhand folgender Formel berechnen.

$$\text{AreaMomentofInertia} = \frac{b \times h^3}{12}$$

## Übungsbeispiele

Versuchen Sie, mithilfe der oben angegebenen Formel und unter Verwendung der in der Tabelle unten aufgeführten Werte einige Beispielrechnungen durchzuführen. Die Werte basieren auf dem quadratischen Querschnitt eines Balsaholz-Stabes (**3,175 mm** (1/8 Zoll)).

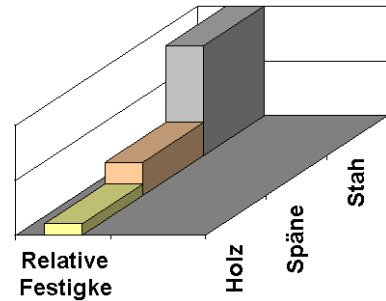
Anzahl der quadratischen Querschnitte	Anordnung der quadratischen Querschnitte	b	h	Flächenträgheitsmoment
1		3,175 mm	3,175 mm	_____
2 (übereinander)		3,175 mm	2 x 3,175 mm	_____
2 (nebeneinander)		2 x 3,175 mm	3,175 mm	_____
3 (übereinander)		3,175 mm	3 x 3,175 mm	_____

## Fragen

1. Für welche Anordnung ergibt sich der höchste Wert? \_\_\_\_\_
2. Hat die Anordnung „2 (nebeneinander)“ dieselbe Steifigkeit wie die Anordnung „2 (übereinander)“? \_\_\_\_\_
3. Welche Anordnung weist die geringste Steifigkeit auf? \_\_\_\_\_?

## Material

Das Material, aus dem ein Balken besteht, ist ein weiterer wichtiger Faktor für die Steifigkeit. Als Beispiele sollen hier drei Werkstoffe betrachtet werden: Holz, Kupfer und Stahl. Die relative Steifigkeit ist jeweils rechts im Diagramm dargestellt. In der Regel ist Stahl fester als Kupfer und Kupfer fester als Holz. Beachten Sie, dass sich jeder Materialtyp durch eine Bandbreite von Werten und verschiedene Arten von *Materialeigenschaften*, beispielsweise *Elastizitätsmoment* und *Poissonzahl*, auszeichnet.



**Hinweis:** Metalle sind gefertigte Produkte und weisen aufgrund der Art und Weise, in der sie produziert werden, dieselbe Steifigkeit in jeder Richtung auf. Materialien dieser Art werden als *isotrope* Materialien bezeichnet.



Suchen Sie unter dem Stichwort **Materialeigenschaften** nach weiteren Informationen.

## Holz als Werkstoff

Holz ist ein Material, dessen Eigenschaften besonders schwer vorherzusagen sind, da es Fasern enthält. Die Fasern bewirken, dass die Steifigkeit je nach Richtung unterschiedlich ausfällt. Holz ist daher nicht wirklich ein isotropes Material. Balsaholz ist aufgrund seiner Porosität sehr anfällig gegen Feuchtigkeit. Dieser Umstand kann zu großen Abweichungen bei den Eigenschaftswerten führen.

Die hier verwendeten Werte sind Schätzungen. Wenn Sie eine Tragkonstruktion entwerfen und testen, werden die Ergebnisse zwar variieren, aber durchaus vergleichbar sein.

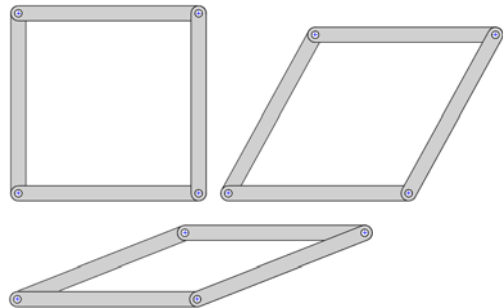
## Fachwerkwände

Die Seitenwände eines Fachwerks sind weit mehr als nur eine Einzäunung, die verhindern soll, dass Gegenstände herunterfallen. Diese Wände umfassen in der Regel Verstrebungen in vertikaler und diagonaler Richtung. Ein Fachwerk mit vertikalen und diagonalen Verstrebungen erweist sich häufig als stabiler.

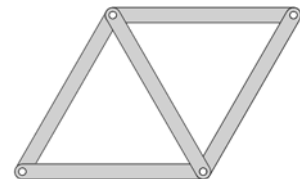
## Dreiecke

Viele Tragkonstruktionen, insbesondere Fachwerke, enthalten dreieckige Anordnungen von Stützelementen. Warum sind Dreiecke so wichtig? Einer der Gründe ist die Stabilität. Stabilität wird durch Verwendung von Querverstrebungen erreicht, die Dreiecke formen. Dreieckige Formen bewirken die Stabilität des Fachwerks.

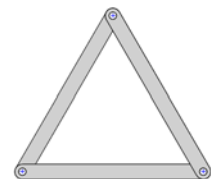
Betrachten Sie beispielsweise eine Reihe von Elementen, die durch Stifte oder Bolzen zu einer quadratischen Form verbunden sind. Fixieren Sie die Unterseite der Form, und drücken Sie auf das obere Element oder eines der seitlichen Elemente. Der Druck kann zur Stabilisierung der quadratischen Form führen, aber ebenso leicht auch eine Deformation zu einem abgeflachten Parallelogramm bewirken.



Die Sache sieht jedoch ganz anders aus, wenn Sie ein fünftes Element in diagonaler Richtung hinzufügen. Die Form ist anschließend in ihrer Position fixiert. Das zusätzliche Element zerlegt das Parallelogramm in zwei Dreiecke.

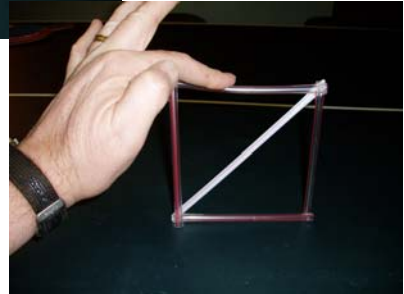
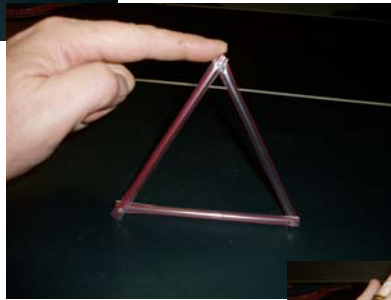
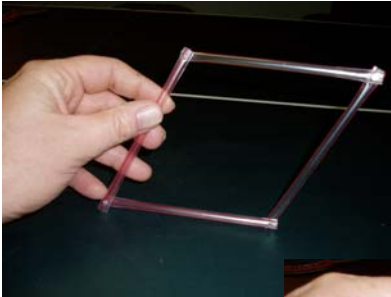


Konstruieren Sie mithilfe derselben Elemente und Befestiger ein Dreieck. Diesmal werden weniger Elemente verwendet, doch die resultierende Form ist stabil.



**Probieren Sie es aus!**

Sie können den Vorgang unter Verwendung von biegsamen Elementen, beispielsweise Strohhalmen, simulieren. Verbinden Sie die Elemente mithilfe von kleinen Nadeln oder Stiften.



## **Lektion 3**

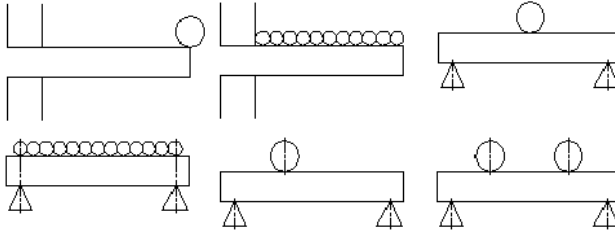
# **Verwenden der Trägerberechnung**

Nach dem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein,

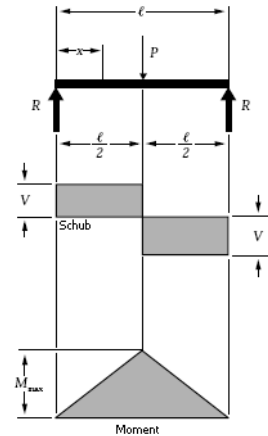
- SolidWorks zu starten,
- die SolidWorks Simulation Software hinzuzufügen,
- ein vorhandenes SolidWorks Teil zu öffnen,
- einen einfach gestützten Träger zu verstehen,
- ein Material zuzuweisen,
- Querschnittseigenschaften zu berechnen,
- das Werkzeug „Messen“ zu verwenden,
- mittels Trägerberechnung eine Verschiebung zu berechnen.

## Anwenden der Trägerberechnung

Bevor eine Analyse durchgeführt wird, ist es hilfreich zu wissen, welche Ergebnisse zu erwarten sind. Obwohl Sie nicht wissen, welches Gewicht die Konstruktion tragen kann, können Sie eine fundierte Schätzung der erwarteten Ergebnisse anstellen. Dazu können einfache Formeln zur Trägerberechnung verwendet werden. Hier sind einige Beispiele.



**Hinweis:** Formeln zur manuellen Trägerberechnung.



## Größenordnung

Wird die Verschiebung (siehe „Verschiebungen“ auf Seite 12) ungefähr 1 mm oder 10 mm sein? Die Werte unterscheiden sich um den Faktor **10** und der Wert steigt um eine **Größenordnung**. Eine erste Berechnung kann Ihnen einen Anhaltspunkt für die Größenordnung der Ergebnisse geben. Dadurch können Sie ermitteln, ob die Analyse korrekt ausgeführt wurde.

## Fragen

1. Was ist der nächste Wert nach 1 mm und 10 mm bei Verwendung einer steigenden Größenordnung? \_\_\_\_\_
2. Welche Werte fehlen in dieser Reihe? 5 mm, \_\_\_\_\_, 500 mm



## Starten von SolidWorks und Öffnen eines Teils

### 1 SolidWorks Anwendung starten.

Klicken Sie im **Start**-Menü auf **Programme, SolidWorks, SolidWorks**.

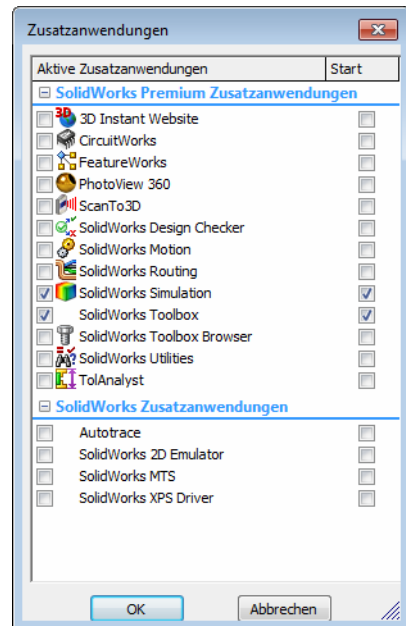
## Hinzufügen von SolidWorks Simulation

Die SolidWorks Simulation Software ist in der **SolidWorks Education Edition** enthalten. Um diese Software zu verwenden, muss sie mittels **Extras, Zusatzanwendungen** aktiviert werden. Markieren Sie **Aktive Zusatzanwendungen** und **Start** für SolidWorks Simulation und SolidWorks Toolbox, und klicken Sie auf .

### 2 Zusatzanwendungen auswählen.


Klicken Sie auf **Extras, Zusatzanwendungen**, und stellen Sie sicher, dass die Kästchen **Aktive Zusatzanwendungen** und **Start** für **SolidWorks Simulation** und **SolidWorks Toolbox** markiert sind.

Klicken Sie auf .



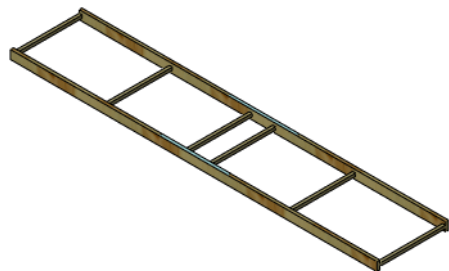
**Hinweis:** Wenn die Software „SolidWorks Simulation“ nicht hinzugefügt wurde, kann das Projekt nicht abgeschlossen werden.

### 3 Bauteildatei öffnen.

Klicken Sie auf **Öffnen** .

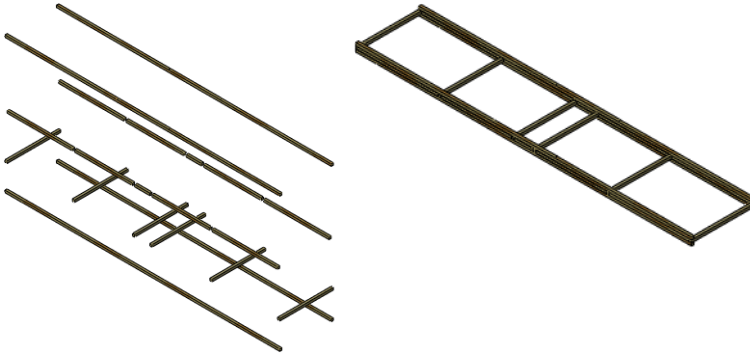
Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner **Bridge Design Project\Student\Lesson 3**.

Wählen Sie die Datei **TRUSS\_1.sldprt** aus, und klicken Sie auf **Öffnen**.



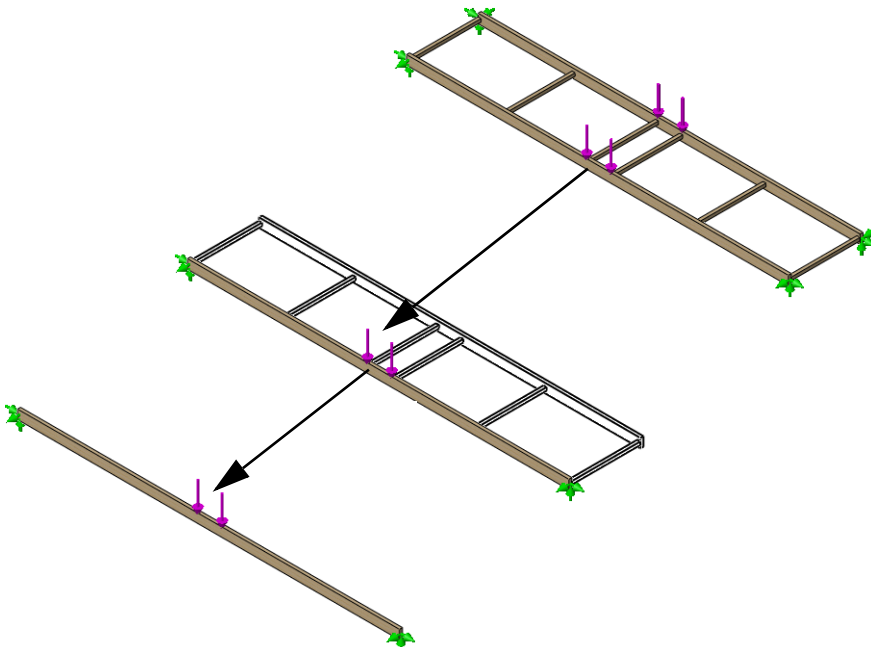
## Die Modellgeometrie

Das vorliegende Modell besteht aus einer Reihe von *Stäben*, die zusammengefügt werden. Die Stäbe bestehen aus Balsaholz. Bei diesem Projekt werden die Stäbe durch Kleben miteinander verbunden. Bei einem echten Tragwerk würden Balken verschweißt oder verschraubt werden.



## Vereinfachen der Analyse

Das Modell besteht aus zwei parallelen Stäben, die an mehreren Stellen durch kleinere Stäbe verbunden werden. Wenn nur die Hälfte des Modells (ein langer Stab) untersucht wird und die halben Lasten angewendet werden, erhalten wir einen Anhaltspunkt über die Werte, die bei der Analyse ermittelt werden.



## Der einfach gestützte Stab

Diese Art der Trägerberechnung wird oft als „einfach gestützter Stab“ bezeichnet, wobei die Kontaktpunkte nicht vollständig fixiert sind und eine Last aufgebracht wird. Es ist wichtig zu wissen, wie die Begriffe „Montagevorrichtungen“ und „externe Lasten“ definiert sind.

### Montagevorrichtungen

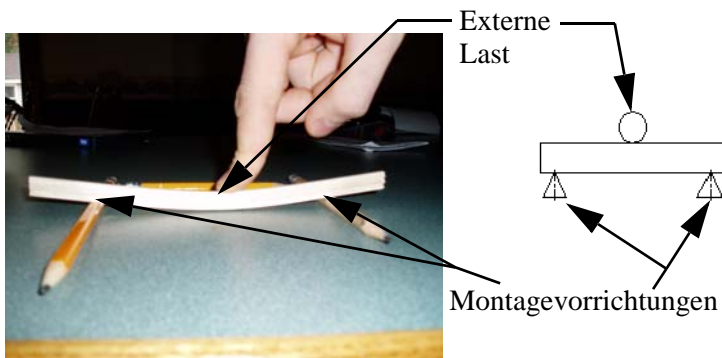
Mithilfe von Montagevorrichtungen wird die Beweglichkeit von bestimmten Punkten im Modell eingeschränkt. Diese Punkte sind in der Regel Kontaktpunkte. Sie werden auch als Zwangsbedingungen oder Randbedingungen bezeichnet.

### Externe Lasten

Mithilfe von externen Lasten oder Kräften werden einer Konstruktion **Kräfte** oder **Schwerkraft** lasten hinzugefügt. Zum Hinzufügen einer Kraft ist eine Position auf der Konstruktion, ein Wert (in Newton) und eine Richtung erforderlich.

### Theoretisches Modell

Rechts ist das theoretische Modell des Stabs aus der vorherigen Lektion, der von Bleistiften getragen wird, abgebildet.

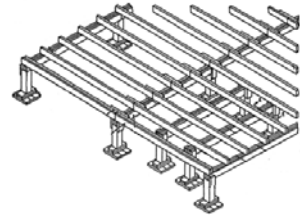


## Warum sind einfach gestützte Träger wichtig?

Obwohl das theoretische Modell sehr einfach zu sein scheint, hat es eine weit reichende Bedeutung. Es gibt viele Fälle von einfach gestützten Trägern.

### Konstruktionen

Holz- und Stahltragwerke für Gebäude werden unter Verwendung einfach gestützter Träger konstruiert.



### Katapult

Der Katapultarm ist drehbar zwischen den Trägern gelagert. Die Welle ist ein einfach gestützter Träger.



### Mountainboard

Wenn Sie in der Mitte eines Mountainboards stehen, sind Sie die externe Last und die Räder sind die Montagevorrichtungen. Die Konstruktion kann näherungsweise als ein einfach gestützter Träger angesehen werden.

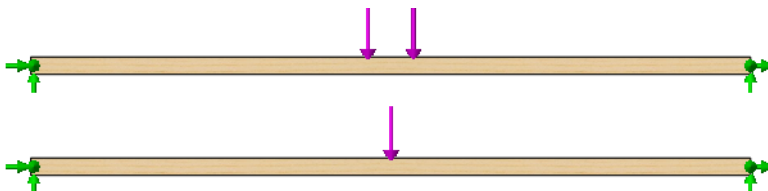


**Hinweis:** Dies ist ein Beispiel für eine „vereinfachte Analyse“, bei der ein dreidimensionales Problem auf ein zweidimensionales Problem vereinfacht wird. Es ist dennoch eine vollständige Simulation erforderlich.

### Vorsichtige Annahmen

Ingenieure arbeiten oft mit vorsichtigen Annahmen, bei denen die Bedingungen für eine Konstruktion schlechter als tatsächlich in der Realität vorherrschend angenommen werden. Hierdurch wird das Maß an Sicherheit erhöht und die Konstruktion stabiler als erforderlich ausgelegt. Folgende Annahmen könnten beispielsweise getroffen werden:

1. Die Verwendung der Enden der Konstruktion ist ungünstiger als die Verwendung der tatsächlichen Kontaktpunkte.
2. Das Aufbringen einer einzelnen externen Last in der Mitte ist ungünstiger als das Aufbringen von zwei externen Lasten nahe der Mitte.



## Erforderliche Daten für die Trägerberechnung

Für die Trägerberechnung werden folgende Daten benötigt:

Daten	Wo sind sie zu finden?	Was bedeuten sie?
Elastizitätsmodul	Materialeigenschaften	Steifheit des Materials
Trägheitsmoment	Querschnitseigenschaften	Biegefestigkeit
Länge	Geometrie	Zu überbrückenden Spannweite
Last	(vorgegeben)	Externe Last

### Verwendete Einheiten

Folgende SI- und IPS- (Inch, Pounds, Seconds) Einheiten werden in diesem Projekt verwendet:

Daten	SI-Einheiten	IPS-Einheiten
Elastizitätsmodul	Pa, MPa,	psi
Trägheitsmoment	mm <sup>4</sup> , cm <sup>4</sup> , m <sup>4</sup>	in <sup>4</sup>
Länge	mm, cm, m	in, ft
Last	N, kN	lb

**Hinweis:** Bei dieser Analyse wird das Einheitensystem **SI** verwendet. Das Einheitensystem SI ist auch unter der Bezeichnung „Internationales Einheitensystem“ bekannt. Es verwendet metrische Einheiten (z. B. Meter, Millimeter und Newton).



Suchen Sie unter dem Stichwort **Internationales Einheitensystem** nach weiteren Informationen.

## Zusammentragen der Daten

Die benötigten Daten werden mithilfe verschiedener Werkzeuge in den folgenden Schritten zusammengetragen. Die in der folgenden Tabelle fehlenden Werte werden Sie berechnen.

**Hinweis:** Als Gesamtgewichtslast, die auf die gesamte Konstruktion wirkt, nehmen wir **40 N** an. Für die Trägerberechnung wird die Hälfte des Betrags,  $40 \text{ N}/2 = \mathbf{20 \text{ N}}$ , verwendet.

Daten	Wert	Einheit
Elastizitätsmodul (Druck)	????	Pa (Pascal)
Trägheitsmoment (Länge <sup>4</sup> )	????	cm <sup>4</sup>
Länge	????	mm
Last (Kraft)	20	N (Newton)

## Zuweisen eines Materials

Im ersten Schritt wird den Trägern des Modells ein **Material** zugewiesen. Die Konstruktion soll aus Balsaholz gefertigt werden.

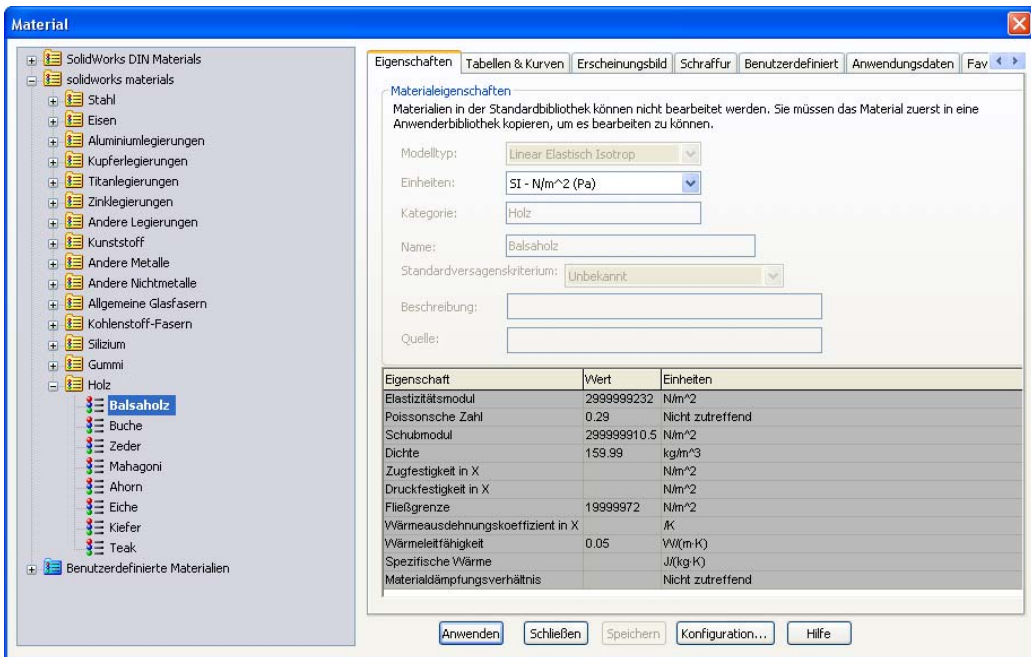
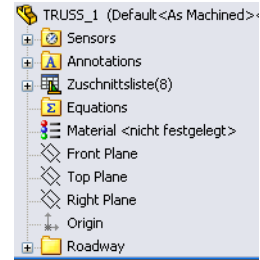
### 4 Material.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Feature **Material**, und wählen Sie **Material bearbeiten**.

Erweitern Sie auf der linken Seite die Ordner SolidWorks **Materialien** und **Holz**, und klicken Sie auf den Eintrag **Balsa**.

Unter **Einheiten** wählen Sie **SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)**.

Klicken Sie auf **Anwenden** und anschließend auf **Schließen**.



**Hinweis:** Das hier verwendete Material (**Balsa**) wurde gewählt, um die Analyse für diejenigen brauchbar zu machen, die das Tragwerk tatsächlich entwerfen, konstruieren und testen. Balsaholz ist ein übliches Material für Konstruktionsprojekte, die von Studenten durchzuführen sind.

Wert für **Elastizitätsmodul (EX)** oder **Elastizitätsmodul** = 2999999232 N/m<sup>2</sup>.

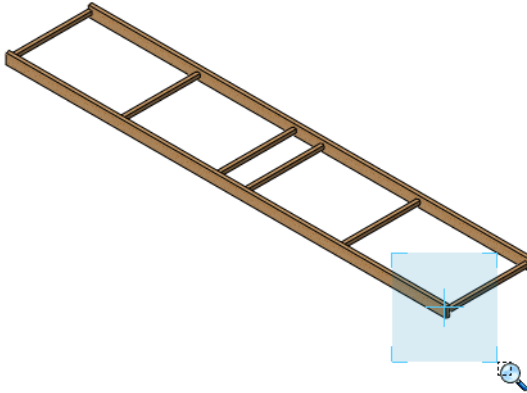
\*In späteren Lektionen werden Sie mehr über Materialien, Modellbau und Test erfahren.

## Querschnittseigenschaften

Die Querschnittseigenschaften basieren auf dem Querschnitt des Trägers.

### 5 Zoomen auf Fläche.

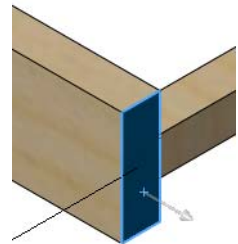
Klicken Sie auf **Ansicht, Modifizieren, Zoomen auf Fläche**, und ziehen Sie ein Auswahlfenster von oben links nach unten rechts um die Ecke der Konstruktion; siehe Abbildung.



**Hinweis:** Drücken Sie die **Esc**-Taste, um das Zoom-Werkzeug zu deaktivieren.

### 6 Fläche auswählen.

Wählen Sie die Fläche aus, wie in der Abbildung gezeigt.



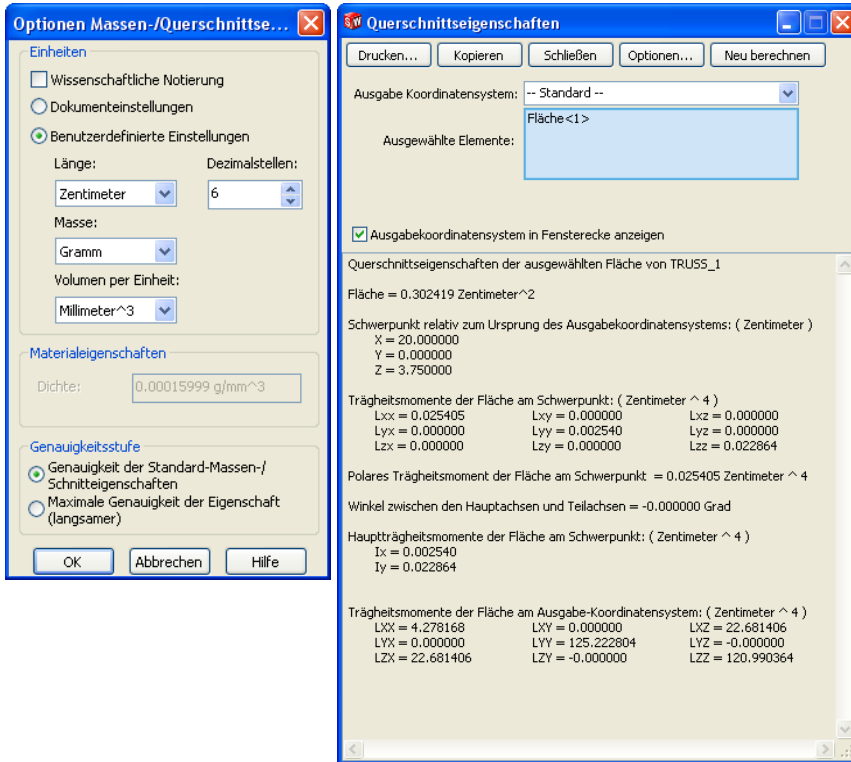


## 7 Querschnittseigenschaften.

Klicken Sie auf **Extras, Querschnittseigenschaften**. Klicken Sie auf **Optionen** und **Benutzerdefinierte Einstellungen**. Wählen Sie **Zentimeter** und **6** Dezimalstellen wie gezeigt.

Klicken Sie auf **OK** und **Neu berechnen**.

Flächenträgheitsmomente am Schwerpunkt: (Zentimeter <sup>4</sup>)  
 $L_{xx} = 0,025405$ . Klicken Sie auf **Schließen**.



## 8 Zoom.

Klicken Sie auf **Ansicht, Modifizieren, In Fenster zoomen**, oder drücken Sie die Taste **f**, um zur Vollbildansicht zurückzukehren.

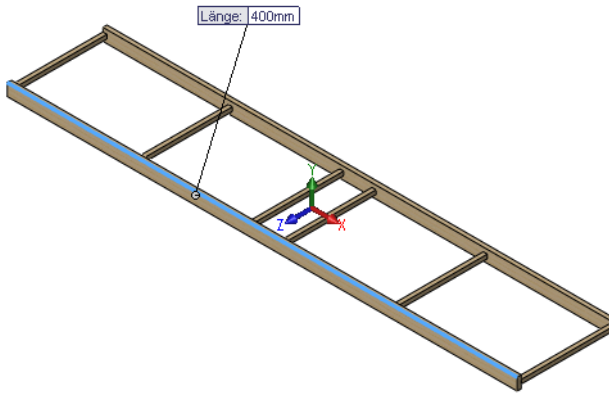
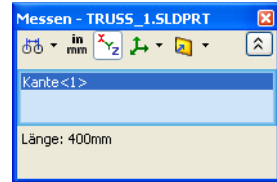
## Verwenden des Befehls „Messen“

Mit diesem Befehl können Abstände oder Winkel unter Verwendung der Modellgeometrie gemessen werden.

### 9 Messen.

Klicken Sie auf **Extras, Messen**. Wählen Sie wie gezeigt eine Kante des Stabs. Die Länge des Stabs wird angezeigt.

Länge: 400 mm.



### 10 Schließen Sie den Assistenten.

Klicken Sie auf das „x“ in der oberen rechten Ecke des Dialogfelds, um es zu schließen.

## Trägerberechnung

Mittels Trägerberechnung wird die größte Verschiebung des Stabs ermittelt. Entnehmen Sie der Tabelle „Zusammentragen der Daten“ auf Seite 24 die benötigten Daten.

**Hinweis:** In diesem Dialogfeld wird *Verformung* verwendet, aber im übrigen Handbuch wird dafür der Begriff *Verschiebung* verwendet.

### 11 Trägerberechnung starten.

Klicken Sie auf **Toolbox, Trägerberechnung** .

### 12 Einstellungen.

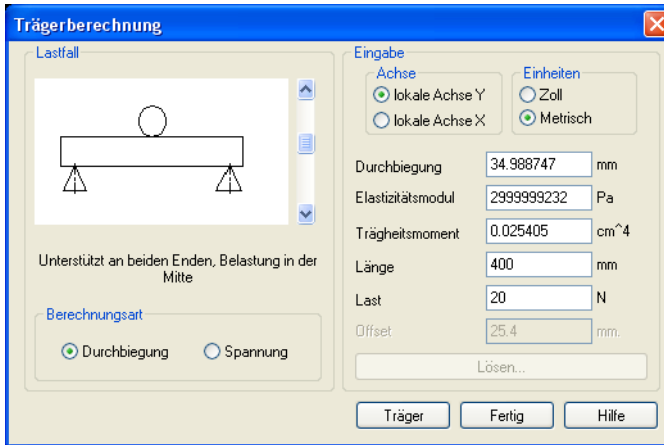
Löschen Sie den Wert im Feld **Verformung**. (Die Schaltfläche **Lösen** wird erst dann aktiviert, wenn das Feld leer ist.) Greifen Sie mithilfe der Bildlaufleiste auf **Unterstützt an beiden Enden, Belastung in der Mitte** zu. Klicken Sie auf **Y lokale Achse, Metrisch** und **Verformung**.

### 13 Werte eingeben.

Tippen Sie die unten aufgelisteten Werte in das Dialogfeld ein (oder fügen Sie sie mittels „Kopieren & Einfügen“ ein):

Daten	Wert	Einheit
Elastizitätsmodul (Druck)	<b>2999999232</b>	Pa (Pascal)
Trägheitsmoment (Länge <sup>4</sup> )	<b>0,025405</b>	cm <sup>4</sup>
Länge	<b>400</b>	mm
Last (Kraft)	<b>20</b>	N (Newton)

Klicken Sie auf **Lösen**. Die Verschiebung beträgt ca. **35 mm** an der Last (Mitte des Stabs). Klicken Sie auf **Fertig**.



**Hinweis:** Die Schaltfläche **Lösen** ist erst dann verfügbar, wenn der Wert aus dem Feld **Verformung** gelöscht wurde.

### Fragen

1. Beträgt die Verschiebung mehr oder weniger als 1 Zoll? \_\_\_\_\_
2. Umrechnung der Verschiebung in Zoll:  $35 \text{ mm} / 25,4 =$  \_\_\_\_\_ Zoll

### 14 Teil schließen.

Klicken Sie auf **Datei, Schließen**, um das Teil zu schließen.

Wenn die Meldung **Änderungen in TRUSS\_1 speichern?** angezeigt wird, klicken Sie auf **Nicht speichern**.

## **Lektion 4**

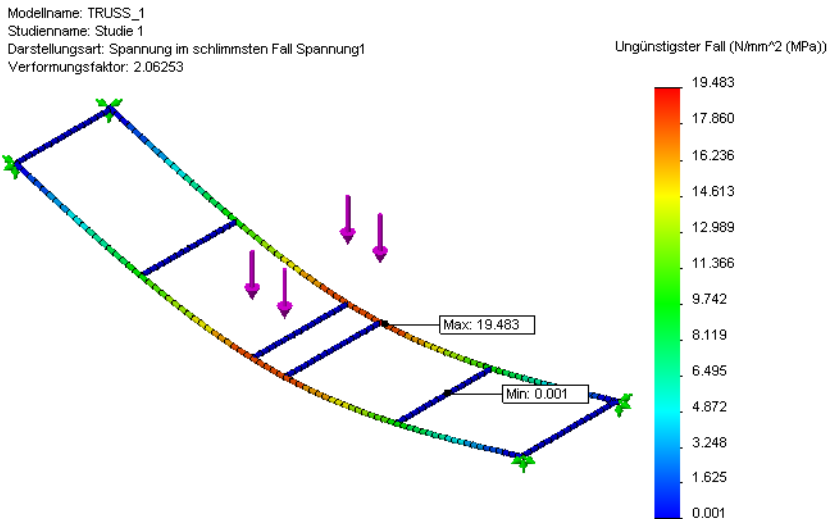
# **Analysieren des Tragwerks**

Nach dem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein,

- die Funktionsweise von SolidWorks Simulation zu verstehen,
- die verschiedenen Stufen einer Konstruktionsanalyse zu beschreiben,
- die Umgebung einer Analyse einschließlich Montagevorrichtungen und Lasten zu identifizieren,
- SolidWorks Simulation zu verwenden,
- die Ergebnisse einer Analyse zu visualisieren.

## Analyse der Konstruktion

Während dieser Lektion verwenden Sie SolidWorks Simulation zur Analyse der Trägerkonstruktion.



## Überblick über SolidWorks Simulation

SolidWorks Simulation ist ein in SolidWorks integriertes Werkzeug zur Konstruktionsanalyse. Mit dieser Software können Sie das Volumenkörpermodell direkt analysieren. Eine Studie ermöglicht es Ihnen außerdem, Einheiten, Materialtyp, Lasten und andere Parameter festzulegen. Sie können Änderungen an dem Volumenkörpermodell vornehmen und anschließend die Ergebnisse der Konstruktionsanalyse entsprechend aktualisieren.

Die Analyse umfasst mehrere Schritte:

1. Erstellen einer Konstruktion in SolidWorks.  
SolidWorks Simulation kann Teile und Baugruppen analysieren.
2. Erstellen einer statischen Studie in SolidWorks Simulation. SolidWorks Simulation Projekte umfassen sämtliche Einstellungen und Ergebnisse für eine Aufgabenstellung sowie alle Projekte, die mit dem Modell assoziiert sind. Dazu gehört das Hinzufügen von Montagevorrichtungen und externen Lasten und das Vernetzen des Modells.
3. Analyse ausführen. Dieser Vorgang wird gelegentlich auch als Lösung bezeichnet.
4. Anzeige der SolidWorks Simulation Ergebnisse in Form von Darstellungen, Berichten und eDrawings.

## Konstruktionsanalyse

Konstruktionsanalyse bezeichnet einen konstruktionstechnischen Prozess, der Kenntnisse der Physik und Mathematik zur Vorhersage des Verhaltens einer Konstruktion unter externen Lastbedingungen, wie Gewichten und Drücken, verwendet. Gebäude, Brücken, Flugzeuge, Schiffe und Automobile sind nur einige der zahlreichen Objekte, die eine Konstruktionsanalyse erfordern.

Anhand einer Konstruktionsanalyse lassen sich *Spannungen*, *Verschiebungen* und der *Sicherheitsfaktor* bestimmen.

*Spannungen*: Die auf eine Konstruktion angewendeten externen Lasten erzeugen innere Kräfte und Spannungen, die zum Versagen oder Zerschlagen der Konstruktion führen können.

*Sicherheitsfaktor*: Der Sicherheitsfaktor (auf Englisch „Factor of Safety“, abgekürzt FOS) bezeichnet das Verhältnis von tatsächlicher Spannung zur maximalen Spannung, die das Material aushalten kann.

$$\frac{\textit{MaximumStressunderLoading}}{\textit{MaximumStressoftheMaterial}} = FOS$$

Für **FOS > 1** ist die Konstruktion sicher. Für **FOS < 1** wird die Konstruktion als unsicher bewertet.

*Verschiebungen*: Wie bereits in einer vorherigen Lektion erwähnt, können die auf eine Konstruktion angewendeten externen Lasten eine Verschiebung der Konstruktion aus ihrer nicht belasteten Position erzwingen. Die Verschiebung definiert die Strecke, um die ein Punkt relativ zur ursprünglichen Lage bewegt wird.

Die Konstruktionsanalyse kommt in vielen Bereichen der Fertigungsindustrie zum Einsatz:

- **Gebäude und Brücken**  
Fußböden, Wände und Fundamente.
- **Flugzeuge**  
Flugzeugrumpf, -flügel und -fahrwerk.
- **Schiffe**  
Rümpfe, Schotten und Aufbauten.
- **Automobile**  
Fahrgestell, Karosserie und Crash-Tests.

## Gründe für eine Konstruktionsanalyse

Nach dem Erstellen eines Modells in SolidWorks sind möglicherweise folgende Fragen zu beantworten:

- Überbrückt das Fachwerk die erforderliche Spannweite?
- Was ist die effizienteste Konstruktion für das Fachwerk?
- Welche Maximallast kann das Fachwerk tragen?

Ohne entsprechende Analysewerkzeuge müssen aufwändige Konstruktionszyklen (Prototyperstellung und -test) durchlaufen werden, um zu gewährleisten, dass die Leistungsdaten des Produkts die Kundenerwartungen erfüllen. Mit der Konstruktionsanalyse wird es stattdessen möglich, Konstruktionszyklen rasch und kostengünstig auf Computern durchzuführen. Selbst wenn die Fertigungskosten eine nachrangige Rolle spielen, bietet die Konstruktionsanalyse wesentliche Vorteile für die Produktqualität, indem sie es den Konstrukteuren ermöglicht, konstruktionsbezogene Probleme in weit kürzerer Zeit zu entdecken, als für die Erstellung eines Prototyps erforderlich ist. Die Konstruktionsanalyse erleichtert außerdem die Untersuchung einer Vielzahl von Entwurfsoptionen und hilft bei der Entwicklung optimierter Konstruktionen. Rasche und kostengünstige Analysen führen häufig zu nicht unmittelbar einsichtigen Lösungen und unterstützen die Konstrukteure, indem sie es ihnen ermöglichen, das Verhalten des Produkts besser zu verstehen.

## Stufen der Konstruktionsanalyse

SolidWorks Simulation führt Sie durch die verschiedenen Stufen der Konstruktionsanalyse. Im Folgenden wird kurz beschrieben, was sich hinter diesen Stufen verbirgt:

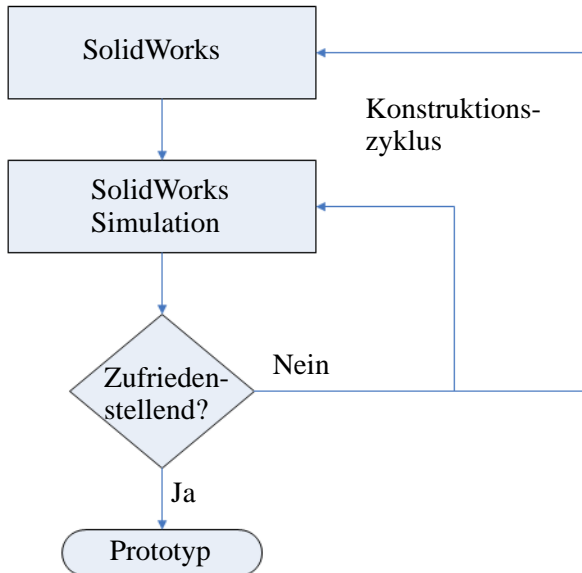
- **Vorverarbeitung** - In diese Stufe stellen Sie die erforderlichen Informationen über die Konstruktion und deren Umgebung bereit. Dazu gehören Materialien, Montagevorrichtungen und externe Lasten, die auf die Konstruktion aufgebracht werden.
- **Analyse** - Das Modell wird unter Verwendung eines als Vernetzung bezeichneten Vorgangs in kleinere Teile zerlegt. In diesem Projekt sind die Elemente **Balkenelemente**. Anhand der so gewonnenen Informationen wird anschließend ein Finite-Elemente-Modell erstellt und die Lösung dafür berechnet. Dazu gehört die Seite **Analysieren** des SolidWorks Simulation Assistenten.
- **Nachbearbeitung** - Die Ergebnisse werden in grafischer Form präsentiert, so dass Sie die Problembereiche einfacher identifizieren können. Die dieser Stufe zugeordneten Seiten des SolidWorks Simulation Assistenten lauten **Optimieren** und **Ergebnisse**.

Nachdem alle Stufen abgeschlossen sind, können Sie die Analysedaten zusammen mit dem Modell speichern. Anhand der gespeicherten Analysedaten lassen sich zukünftige Änderungen schneller durchführen.



## Konstruktionszyklus


Der **Konstruktionszyklus** bezeichnet das Vorgehen beim Ändern des Modells oder der Informationen für die Vorverarbeitung. Modelländerungen beziehen sich auf Größenänderungen, beispielsweise die Änderung der Balkenlänge. Änderungen an den Vorverarbeitungsinformationen betreffen Einstellungen für Material, Montagevorrichtungen oder Lasten. Jede Änderung erzwingt eine erneute Analyse des Modells. Dieser zyklische Vorgang wird so lange wiederholt, bis die beste Lösung erreicht ist.



## Änderungen im Modell

An diesem Punkt ist das SolidWorks Teil noch sehr einfach. Später werden Seiten und Verstrebungen hinzugefügt. Dabei werden Sie feststellen, warum diese Elemente wichtige Merkmale des Tragwerks darstellen. Öffnen Sie jetzt das Modell, und werfen Sie einen Blick darauf.

### 1 Bauteildatei erneut öffnen.

Klicken Sie auf **Öffnen** .

Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner Bridge Design  
Project\Student\Lesson 3.

Wählen Sie die Datei TRUSS\_1.sldprt aus, und klicken Sie auf **Öffnen**.

Dies ist dasselbe Teil, das in der vorherigen Lektion verwendet wurde.



## Studie erstellen

Um eine Konstruktionsanalyse auszuführen, muss eine neue Studie erstellt werden.

Bei SolidWorks Simulation werden mithilfe einer **Studie** alle Daten gespeichert und organisiert, die mit einer Konstruktionsanalyse verbunden sind.

Mit der Studie wird auch der Typ der auszuführenden Analyse festgelegt. Die Analysetypen sind:

- **Statisch**
- **Frequenz**
- **Beul-/Knickverhalten**
- **Thermisch**
- **Fallprüfung**
- **Ermüdung**
- **Nichtlinear**
- **Lineare Dynamik**
- **Druckbehälterkonstruktion**

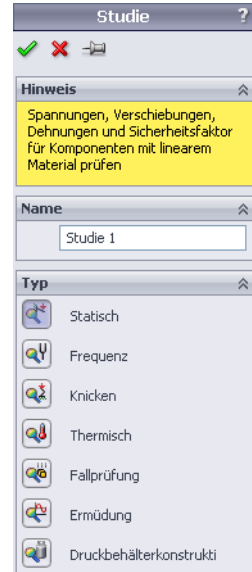
In diesem Projekt wird eine **statische** Analyse ausgeführt. Mit diesem Studientyp wird vorherbestimmt, wo eine Konstruktion aufgrund von Spannungen versagt.

Greifen Sie über das Pulldown-Menü **Simulation** auf die Studie zu.

### 2 Neue Studie erstellen.

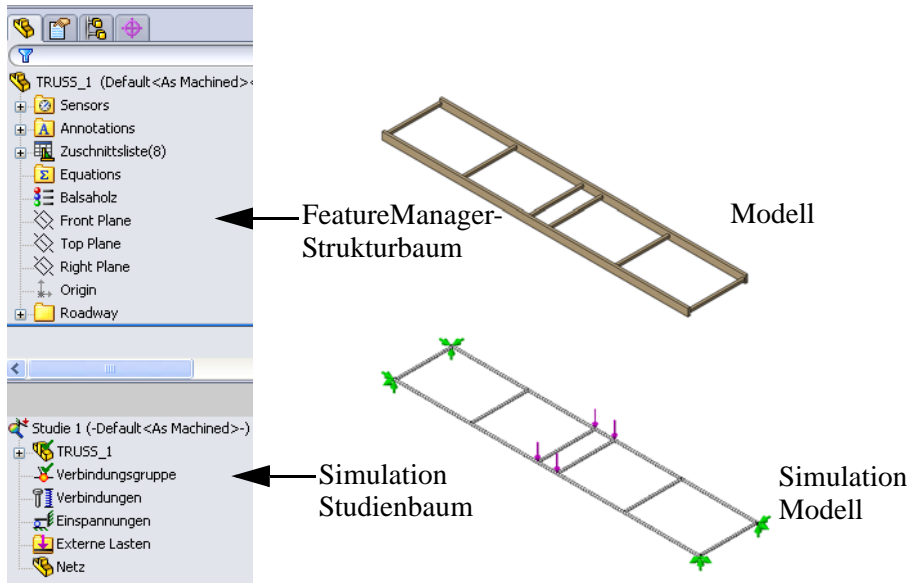
Klicken Sie auf **Simulation, Studie**. Verwenden Sie den Standardnamen Studie 1, und klicken Sie auf **Statisch**.

Klicken Sie auf .



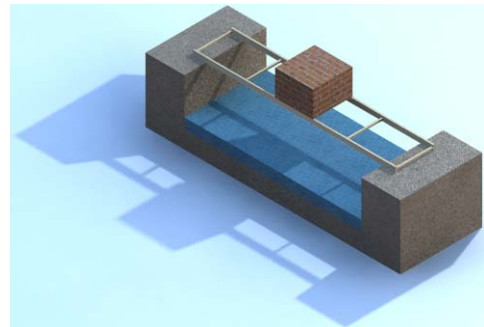
## FeatureManager-Strukturbaum und Simulations-Studienbaum

Der **FeatureManager-Strukturbaum** wird über dem **Simulations-Studienbaum** links am Bildschirm angezeigt. Im oberen Baum werden die Features der Modellgeometrie aufgelistet, und im unteren die Features der Analyse bzw. des Simulationsmodells.



## Die Umgebung

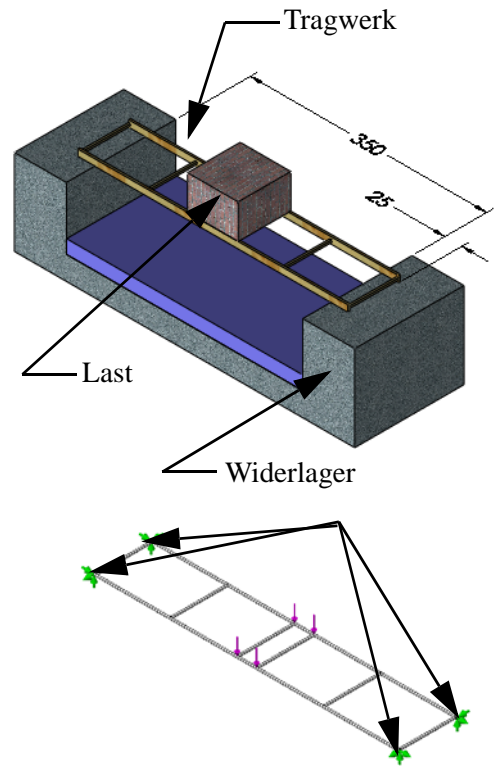
Die Umgebung beschreibt, wie das Tragwerk verwendet wird. Im vorliegenden Fall stellt das Modell ein Tragwerk dar, das einen Fluss überbrückt. Sofern bekannt ist, wie das Tragwerk platziert wird und welche externe Lasten es tragen muss, lassen sich zwei wichtige Parameter bestimmen, die für SolidWorks Simulation erforderlich sind: die **Montagevorrichtungen** und die **Externen Lasten**.



## Montagevorrichtungen

Die **Montagevorrichtungen** definieren die Bereiche des Tragwerks, die fixiert sind oder deren Beweglichkeit eingeschränkt ist. Als Spannweite wird die nicht gelagerte Strecke der Überbrückung bezeichnet. In diesem Fall beträgt sie **350 mm**. An jedem Ende ist eine Überlappung von **25 mm** gegeben, wo die Enden des Tragwerks von einem Widerlager oder dem Ufer gestützt werden. Die Spannweite ist immer kleiner als die volle Länge des Tragwerks.

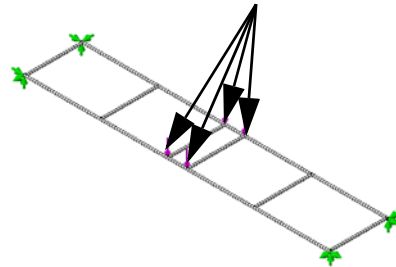
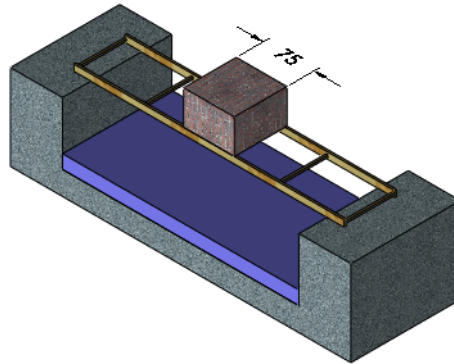
Die Montagevorrichtungen sind an den Enden des Modells an vier Stellen definiert.



## Externe Lasten

Im Modell müssen **Externe Lasten** definiert sein, die Kräfte auf das Tragwerk ausüben. Angenommen, ein rechteckiger Stapel von Ziegeln soll über eine Brücke transportiert werden und befindet sich auf halber Strecke der Spannweite mitten auf dem Tragwerk. Weiter wird angenommen, dass die Ziegel eine Kraft von **40 N** ausüben.

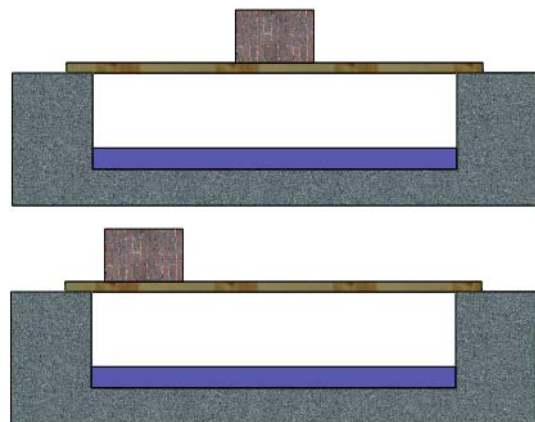
Es sind vier Belastungspunkte vorhanden, an zwar an den Stellen, wo die Balken verbunden sind (nahe der halben Spannweite). Die Last an jedem Punkt beträgt  $40 \text{ N}/4 = 10 \text{ N}$  (entspricht ca. 1,02 kg).



## Warum befindet sich die Last in der Mitte?

Wenn Techniker ein Modell einer Konstruktionsanalyse unterziehen, bevorzugen sie häufig eine „Worst-Case“-Analyse. Diese bezieht sich auf eine Situation, in der das Tragwerk unter den gegebenen Umgebungsbedingungen am wahrscheinlichsten versagt.

Für die vorliegende Stabstruktur ist der ungünstigste Fall gegeben, wenn die Last an dem durch die Mitte der Spannweite definierten Punkt platziert wird.



## Welche Last wird das Tragwerk maximal aushalten?

Das Tragwerk ist an dieser Stelle recht schwach, wird aber im Verlauf des Projekts, das in diesem Handbuch beschrieben ist, verstärkt werden. Welcher Kraft kann es im äußersten Fall widerstehen? Versuchen Sie, den Wert zu schätzen.

Kraft = \_\_\_\_\_N

**Hinweis:** Wenn Sie gewohnt sind, in Pfund (lb) zu denken, sollten Sie jetzt zum metrischen System übergehen. Mit der folgenden Formel können Sie Pfund in Newton (N) umrechnen:

$$1 \text{ lb} = 4,4482 \text{ N}$$

## Maßeinheiten

Die Einheiten können so eingestellt werden, dass die Ergebnisse in der gesamten Analyse einheitlich sind. In diesem Beispiel werden mm und MPa ausgewählt.

### 3 Einheiten festlegen.

Klicken Sie auf **Simulation, Optionen**, und dann auf **OK**. Klicken Sie auf die Registerkarte **Standardoptionen**. Unter **Einheiten** wählen Sie **mm** für **Länge/Verschiebung** und **N/mm<sup>2</sup> (MPa)** für **Druck/Spannung**.



Einheiten	
Länge/Verschiebung:	mm
Temperatur:	Kelvin
Winkelgeschwindigkeit:	rad/s
Druck/Spannung:	N/mm <sup>2</sup> (MPa)

Klicken Sie auf **OK**.

## Vorverarbeitung

Die erste Stufe der Konstruktionsanalyse ist die Vorverarbeitung. Sie dient dem Zweck, alle erforderlichen Informationen zu sammeln und sie auf das Simulationsmodell anzuwenden. Die Informationen, die angegeben oder erstellt werden müssen, sind:

- **Material** - Das Material der Balken.
- **Montagevorrichtungen** - Bereiche, die nicht frei beweglich sind.
- **Externe Lasten** - Kräfte, die auf das Modell angewendet werden.
- **Vernetzen** - Ein Simulationsmodell, das auf dem Modell basiert und die Balken in kleine Teile (bezeichnet als Elemente) aufteilt.

## Material

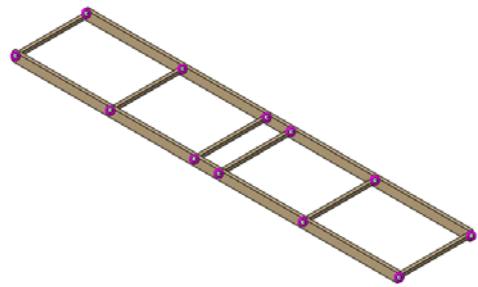
Das Material ist eine erforderliche Größe, die die Materialeigenschaften und das Erscheinungsbild der Modellgeometrie festlegt. In diesem Fall wird allen Balken das Material auf einmal zugewiesen.

### 4 Material festlegen.

Klicken Sie auf **Simulation, Material, Material auf alles anwenden**. Erweitern Sie den Ordner **Holz**, und wählen Sie **Balsa**. Klicken Sie auf **Anwenden** und dann auf **Schließen**.

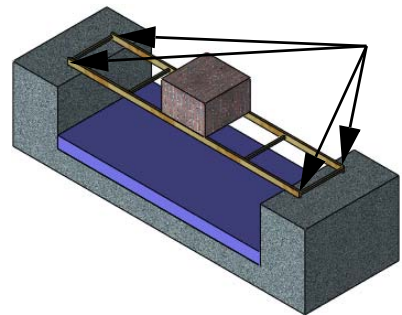
## Was sind Verbindungen?

Im Schnittpunkt der Mittellinien von Balken werden automatisch Verbindungen erzeugt. Mithilfe dieser Verbindungen werden anschließend Montagevorrichtungen und externe Lasten positioniert.



## Montagevorrichtungen


Mithilfe von Montagevorrichtungen wird die Beweglichkeit von bestimmten Punkten im Modell eingeschränkt. Den Punkten, an denen die Tragwerkenden auf dem Widerlager liegen, werden Montagevorrichtungen zugewiesen.

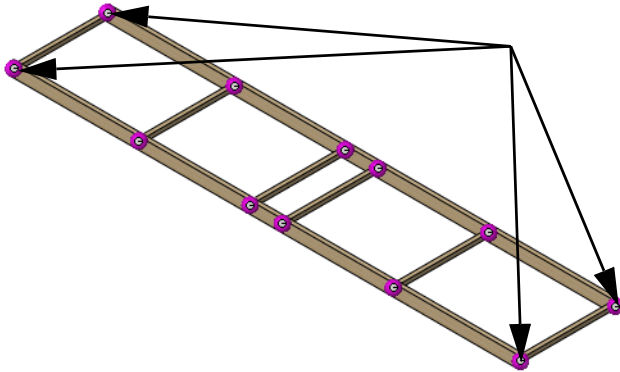


## Welcher Montagevorrichtungstyp wird verwendet?

Bei diesem Projekt wird die Brücke auf dem Widerlager platziert. Die Brücke berührt das Widerlager, sie wird aber nicht an das Lager geklebt oder auf andere Weise daran befestigt.


**5 Montagevorrichtungen hinzufügen.**

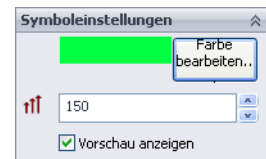
Klicken Sie auf **Simulation, Last/Montagevorrichtung, Montagevorrichtungen**. Klicken Sie auf **Nicht verschiebbar (keine Translation)** , und wählen Sie die Verbindungen wie gezeigt aus.



**Hinweis:** Um derartige Fehler zu korrigieren, klicken Sie mit der rechten Maustaste in das Feld, in dem die ausgewählten Flächen aufgelistet sind, und klicken Sie auf **Auswahl aufheben**. Nachdem der Inhalt des Feldes gelöscht ist, wiederholen Sie den Auswahlvorgang.

**6 Symbolgröße.**

Erweitern Sie den Abschnitt **Symboleinstellungen** und erhöhen Sie die **Symbolgröße** auf **150**. Dadurch werden die Symbole vergrößert und sind besser sichtbar. Klicken Sie auf .



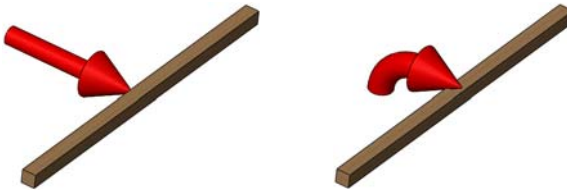


## Externe Kräfte

Die auf das Tragwerk wirkende Gesamtkraft wird gleichmäßig in vier **5-N**-Kräfte aufgeteilt, die nahe der Tragwerksmitte einwirken.

## Kräfte


Kräfte haben eine Richtung und einen Betrag (Wert). Es kann zwischen einer direkten *Kraft*, die beispielsweise durch ein hängendes Gewicht resultiert, und einem *Moment*, das z. B. durch eine Türklinke erzeugt wird, unterschieden werden.

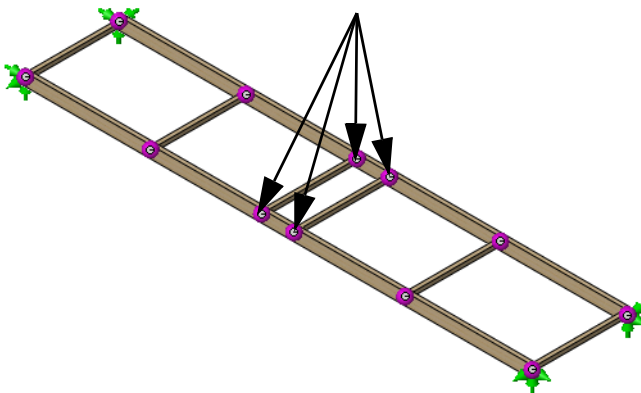


## Schwerkraft

Das Gewicht des Tragwerks stellt aufgrund der Schwerkraft eine Last dar. Bei diesem Projekt ist das Gewicht gering und kann daher vernachlässigt werden.

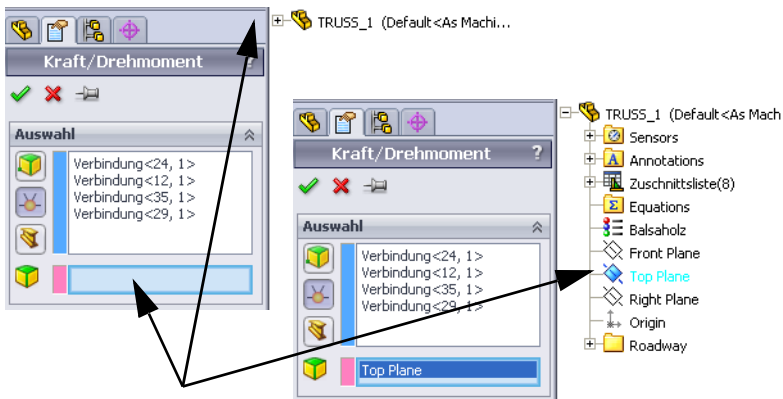
### 7 Kräfte hinzufügen.

Klicken Sie auf **Simulation, Last/Montagevorrichtung, Kraft**. Klicken Sie auf **Verbindungen** , und wählen Sie wie gezeigt die sichtbaren Verbindungen aus.



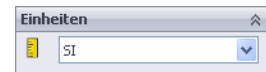
### 8 Richtung festlegen.

Klicken Sie in das Feld **Richtung**, und erweitern Sie den aufschwingenden FeatureManager. Klicken Sie auf das Feature **Ebene** oben.




### 9 Einheiten festlegen.

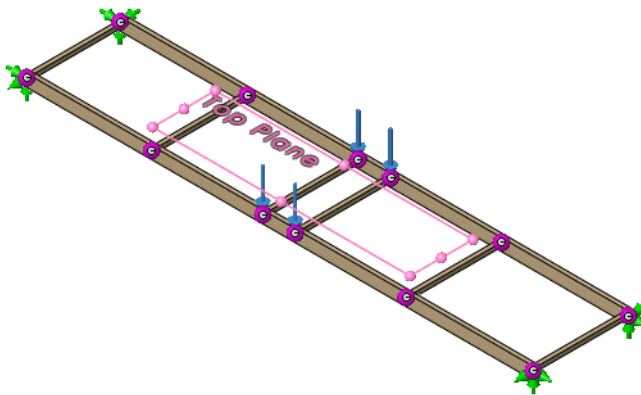
Stellen Sie sicher, dass die **Einheiten** auf **SI** eingestellt sind.



### 10 Kraft zuweisen.


Klicken Sie auf **Normal auf Fläche** , und stellen Sie den Wert wie gezeigt auf **10 N** ein. Klicken Sie auf **Richtung umkehren**, so dass die Pfeile nach unten zeigen.

Klicken Sie auf .



**Tipp:** Mit den **Symboleinstellungen** kann wie bei den Montagevorrichtungen das Symbol vergrößert oder verkleinert werden. Es wurde **150** eingestellt.

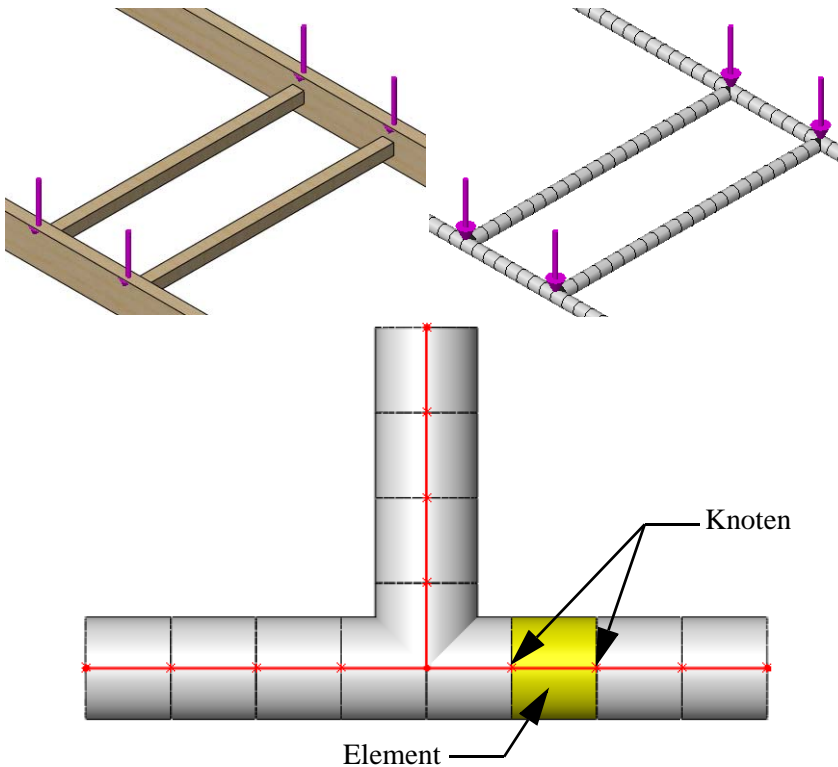
## 11 Speichern.

Klicken Sie auf **Speichern** , um das Modell und die Simulationsdaten zu speichern.

**Tipp:** Eine Speicherung in regelmäßigen Abständen beugt einem Datenverlust vor.

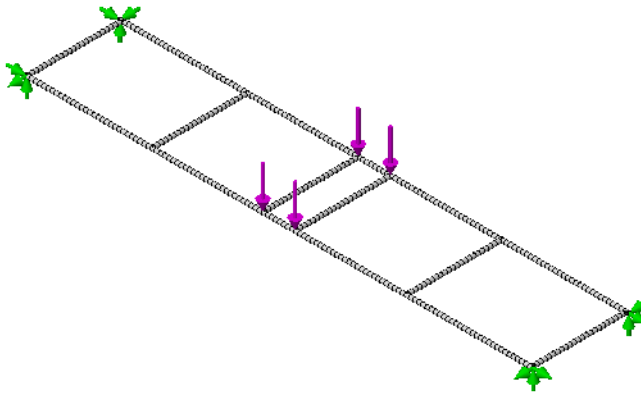
## Vernetzen des Modells

Durch die Vernetzung wird das Modell in Teilstücke unterteilt, die bei der Analyse verwendet werden. Das Analysemodell besteht aus einer Reihe von miteinander verbundenen Knoten und Elementen.



## 12 Vernetzung.

Klicken Sie auf **Simulation, Netz, Erstellen**. Ein Netz wird mithilfe der Modellgeometrie erstellt.



**Hinweis:** Dieser Schritt gehört zu **Simulation, Ausführen** und wird automatisch ausgeführt. Er wird hier nur gezeigt, um das Netz hervorzuheben.

## Analyse

Die eigentliche Analyse ist der einfachste Teil. SolidWorks Simulation übernimmt Ihre Eingaben und erledigt die notwendige Arbeit, um die Ergebnisse zu ermitteln. Um diesen Vorgang zu beschleunigen, verwenden Sie die Standardeinstellungen.

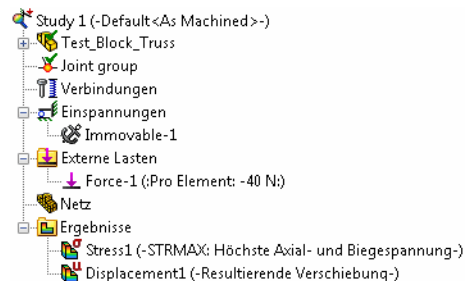
## Prognosen

In der vorherigen Lektion wurde mithilfe der Trägerberechnung die ungefähre Verschiebung basierend auf einer vereinfachten Analyse eines einfach gestützten Stabs ermittelt. Es wurde eine Verschiebung von ca. **35 mm** berechnet. Es ist zu erwarten, dass das Ergebnis der Simulationsanalyse für die Verschiebung die gleiche Größenordnung hat: zwischen **3,5 mm** und **350 mm**, im günstigsten Fall nahe dem Wert **35 mm**.

## 13 Ausführen.

Klicken Sie auf **Simulation, Ausführen**. Nach dem Ausführen werden zwei Features im Ordner **Ergebnisse** des Simulations-Studienbaums angezeigt.

Die Simulation ist bereit für die Nachbearbeitung.



## Einige Begriffe

Während die Analyse läuft, sollen einige Begriffe erläutert werden, die bei der Interpretation der Ergebnisse hilfreich sein können.

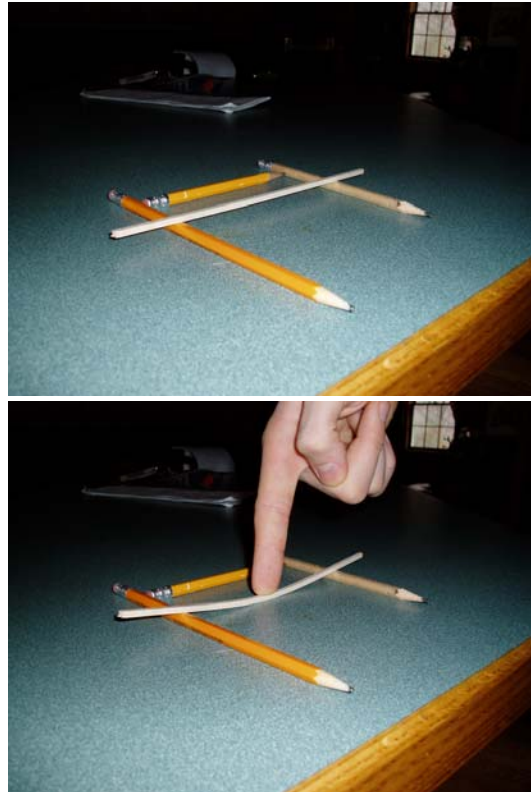
### Biegung und Verschiebung

**Biegung** wird durch eine Last bewirkt, die auf einen Balken ausgeübt wird. Die Last bewirkt, dass sich der Balken biegt und in Richtung der Last bewegt (bzw. verschiebt).

Die **Verschiebung** definiert die Lageveränderung des Balkens relativ zur ursprünglichen Lage. Der „ungünstigste Fall“ einer Verschiebung tritt ein, wenn sich die Last auf der Mitte des Balkens befindet.

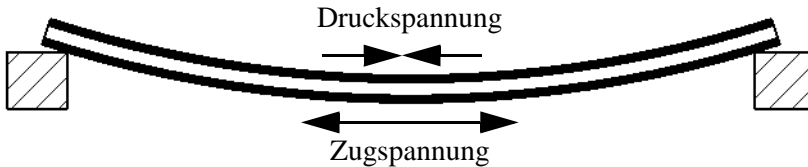
Die Verschiebung ist in der Regel sehr gering und ist daher nicht sichtbar.

Gibt es eine Stelle in Ihrem Haus, an der der Boden knarrt, wenn Sie darüber laufen? Dieses Knarren wird durch die Verschiebung der Deckenbalken verursacht, die sich aufgrund der Belastung durch Ihr Gewicht durchbiegen!



## Zugspannung und Druckspannung

Während sich der Balken biegt, wird die Oberseite des Balkens (die Seite, auf welche die Last ausgeübt wird) einer Druckspannung ausgesetzt. Zugleich erfährt die Unterseite eine gegenläufig wirkende Zugspannung.



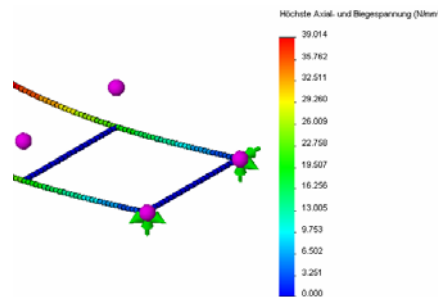
Suchen Sie unter den Stichworten **Zugspannung** und **Druckspannung** nach weiteren Informationen.

## Spannungen

**Spannung** ist eine Größe, die als Kraft pro Flächeneinheit innerhalb einer Konstruktion bestimmt wird. Diese externe Kraft wird durch Lasten außerhalb der Konstruktion bewirkt. Sie können die Spannung nicht sehen, aber sie kann zum Brechen der Konstruktion führen.

Übliche Maßeinheiten sind Newton pro Quadratmeter, Pascal und Pfund pro Quadratzoll (Pounds per Square Inch, psi).

Spannungen können dazu führen, dass der Balken unter einer Last zerbricht. SolidWorks Simulation stellt farbkodierte Darstellungen zur Verfügung, in denen Bereiche mit hohen und geringen Spannungen sichtbar gemacht werden.




## Fließgrenze

Wie viel kann ein Balken tragen, bevor er bricht? Die **Fließgrenze** definiert die Obergrenze für die Biegefestigkeit des Balkens im Hinblick auf die Spannungen, denen der Balken ausgesetzt ist. Sowohl die Eigenschaften des Materials als auch der Balkenquerschnitt beeinflussen die Fließgrenze.

**Hinweis:** Metallische Materialien biegen sich häufig unter Last, kehren jedoch zu ihrer ursprünglichen Form zurück, wenn die Last entfernt wird. Die Fließgrenze bezeichnet den Punkt, an dem sich das Material biegt und diese Biegeverformung erhalten bleibt, nachdem die Last entfernt wird. Dieses Phänomen wird als plastische Verformung bezeichnet.

## Sicherheitsfaktor

Der **Sicherheitsfaktor** (Factor of Safety, FOS) ermöglicht eine schnelle Bewertung der Analyseergebnisse. Er ist definiert als die Relation zwischen der maximalen Spannung und der Fließgrenze des Materials. Bei **FOS > 1** gilt die Konstruktion als . Bei **FOS < 1** gilt die Konstruktion als unbrauchbar.

**Hinweis:** Ingenieure streben in der Regel einen Sicherheitsfaktor von mehr als 2 an. Tragwerke werden üblicherweise mit überdurchschnittlichen Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit konstruiert.



Suchen Sie unter den Stichworten **Spannung (Physik)**, **Fließgrenze** oder **Sicherheitsfaktor** nach weiteren Informationen.

## Nachbearbeitung

Wenn die Analyse abgeschlossen ist, kann die Nachbearbeitung beginnen. Bei der Nachbearbeitung werden zwei Darstellungen im Ordner **Ergebnisse** des Simulations-Studienbaums erzeugt, die angezeigt und geändert werden können. Mithilfe dieser Darstellungen können Sie die Brückenkonstruktion analysieren und ändern.

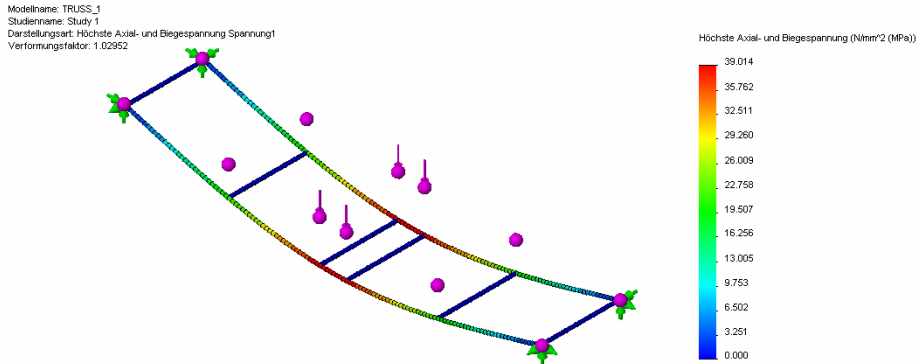
Zu Beginn der Nachbearbeitung werden im Ordner **Ergebnisse** zwei Darstellungen abgelegt:


**Spannung 1 (STRMAX: Höchste Axial- und Biegespannung und Verschiebung1 (-Resultierende Verschiebung-).**

Die Spannungsdarstellung wird automatisch ausgewählt und angezeigt.

## 14 Spannungsverteilung.

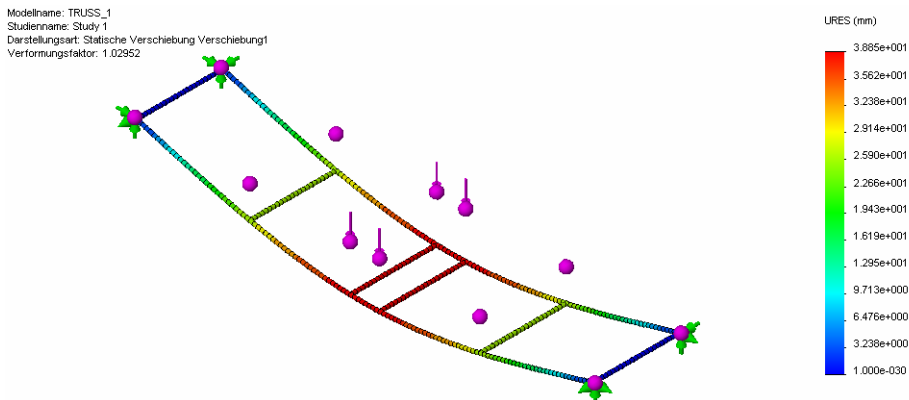
Die grafische Darstellung zeigt das Modell mit Verschiebungen. Die **Spannungsverteilung** wird durch die farbliche Darstellung des verschobenen Modells kenntlich gemacht. Warme Farben im Diagramm verweisen auf höhere Spannungen, kalte Farben auf geringere Spannungen.



**Hinweis:** Die Verbindungen  sind möglicherweise ausgeblendet. Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Verbindungsgruppe**, und wählen Sie im Kontextmenü die Option **Ausblenden** oder **Einblenden** aus.

## 15 Verschiebungen.

Doppelklicken Sie auf die Darstellung **Verschiebung1** (-Resultierende Verschiebung-), um sie anzuzeigen.





## Interpretieren der Ergebnisse

Die Darstellungen der Spannung und Verschiebung sind aussagekräftig, da ihnen die tatsächlichen und Höchstwerte entnommen werden können. Was bedeutet MPa? Nun sollen die Ergebnisse näher untersucht werden. Dies sind die Ergebnisse (*Ihre Werte können evtl. abweichen*):

Spannung	Verschiebung
39,014 MPa (Megapascal)	3,885e + 001 mm

### Zahlenwerte

Die Verschiebung wird in wissenschaftlicher Schreibweise angegeben. (Ihre Ergebnisse können eine andere Formatkombination aufweisen.)

3,880e+001 bedeutet  $3,880 \times 10^1$  oder  $3,880 \times 10^1 = 3,880 \times 10 = \underline{\hspace{2cm}}$  mm

Wie lautet der Wert in Zoll? Dividieren Sie das obige Ergebnis durch 25,4 =          Zoll

### Einheit

Um die Ergebnisse richtig interpretieren zu können, muss die Einheit bekannt sein. Mit einer Längeneinheit wie mm ist man vertraut. Mit der Einheit für die Spannung nicht unbedingt. Die Einheit der Spannung entspricht der des Drucks, Kraft/Fläche. Beim Aufpumpen eines Fahrradschlauchs haben Sie unter Umständen die Einheit psi (Pfund pro Quadratzoll) gesehen. Die übliche Einheit für den Reifendruck ist:


60 psi =  $4,136854 \times 10^5$  Pa = 0,4136854 MPa (1 MPa =  $1 \text{ N/mm}^2 = 1.000.000$  Pa)


### Erstellen einer neuen Darstellung


Es muss bekannt sein, mit welcher Spannung das Tragwerk belastet werden kann. Die beste Lösung ist das Erstellen einer **Sicherheitsfaktor**-Darstellung. Die Prozedur besteht aus drei Schritten.

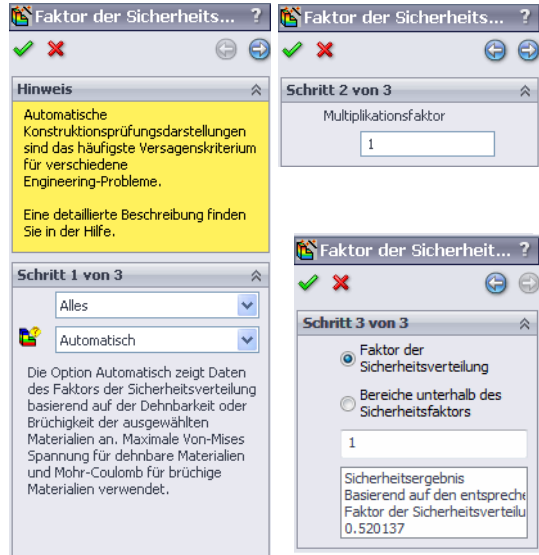
## 16 Faktor des Sicherheitsverlaufs.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse** im Simulations-Studienbaum, und wählen Sie **Darstellung des Sicherheitsfaktors** aus.

Behalten Sie die Standardeinstellungen bei, und klicken Sie auf **Weiter** .

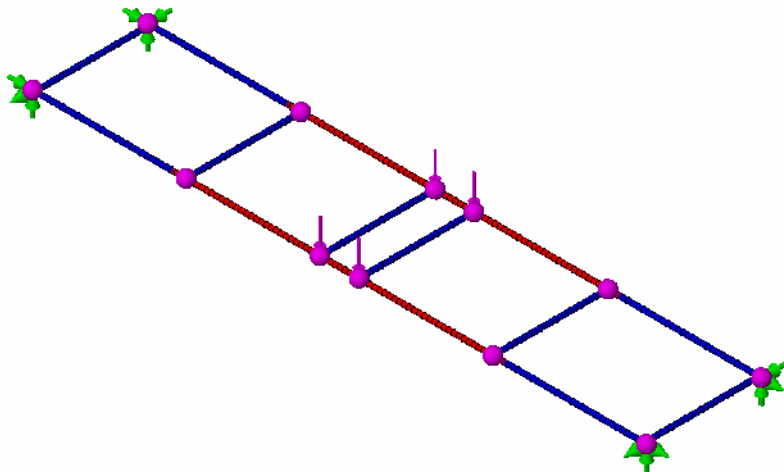
Belassen Sie den **Multiplikationsfaktor** bei 1, und klicken Sie auf **Weiter** .

Klicken Sie auf **Bereiche unterhalb des Sicherheitsfaktors**, und dann auf .



**Hinweis:** Der aktuelle Sicherheitsfaktor wird im Dialogfeld mit 0,512642 angegeben, also ca. 0,5. Somit wird der Mindestwert von 1 unterschritten.

Modellname: TRUSS\_1  
Studienname: Study 1  
Darstellungsart: Faktor der Sicherheitsverteilung Faktor der Sicherheitsverteilung1  
Kriterium: Automatisch  
Rot < Faktor der Sicherheitsverteilung = 1 < Blau



## Welche Erkenntnisse liefert die Darstellung des Faktors der Sicherheitsverteilung?

Die Bereiche unter dem Sicherheitsfaktor werden rot dargestellt. Wenn ein Faktor der Sicherheitsverteilung von **1** der Grenzwert wäre, würde dies bedeuten, dass das Tragwerk die Last nicht tragen könnte.

Die Last muss reduziert werden.

## Iterierende Änderungen

Da das Tragwerk die Last nicht tragen kann, wird im nächsten Schritt ermittelt, welche Last das Tragwerk tragen kann. Zu diesem Zweck soll in sich wiederholenden Schritten die Last geändert und das Tragwerk erneut analysiert werden, bis ein Sicherheitsfaktor von ungefähr 1 erreicht ist. Diese Vorgehensweise wird *Iterieren* genannt.

## Bestimmen der Last

Bevor die Last schrittweise verringert wird, muss entschieden werden, in welchem Maße die Verringerung erfolgen soll. Den bisher verfügbaren Informationen ist zu entnehmen, dass der Sicherheitsfaktor ungefähr den Wert **0,5** für eine Last von vier Mal **10 N = 40 N** annimmt.

Wenn der Sicherheitsfaktor mit der Gesamtlast multipliziert wird, sollte das Ergebnis einen Sicherheitsfaktor von ungefähr 1 erbringen.


Sicherheitsfaktor x Gesamtlast = **0,5 X 40 N = 20 N** bzw. **5 N** pro Fläche

Im Folgenden soll das Modell unter Verwendung des Iterationsverfahrens neu analysiert werden, um die Gültigkeit dieser Formel zu verifizieren.

## Bearbeiten der Simulationsdaten

Simulationsdaten, z. B. eine externe Last, können bearbeitet werden, um den neuen Wert widerzuspiegeln. Die Ergebnisse werden erst beim erneuten Ausführen der Analyse aktualisiert.

### 17 Externe Last bearbeiten.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Feature **Kraft-1** (:Pro Element: -10 N:) und wählen Sie **Definition bearbeiten**. Stellen Sie die Last auf **5 N** ein, und klicken Sie auf .



### 18 Analyse erneut ausführen.

Klicken Sie auf **Simulation, Ausführen**, um die Analyse erneut auszuführen.

**19 Sicherheitsfaktor.**

Doppelklicken Sie auf das Ergebnis **Factor of Safety1 (-Automatic-)** (Sicherheitsfaktor1 (-Automatisch-)). Der Sicherheitsfaktor ist blau, was bedeutet, dass er größer als 1 ist.

**20 Teil schließen.**

Klicken Sie auf **Datei, Schließen** und anschließend auf **Speichern**, um die Änderungen zu speichern.

**Schlussfolgerung**

Aus der Analyse ergibt sich klar, dass das Tragwerk ungeeignet ist, die anfängliche Last zu tragen. Mithilfe von SolidWorks Simulation war es möglich, durch iterative Veränderung von Parametern die höchste Last zu ermitteln, die das Tragwerk zu stützen imstande ist.

# **Lektion 5**

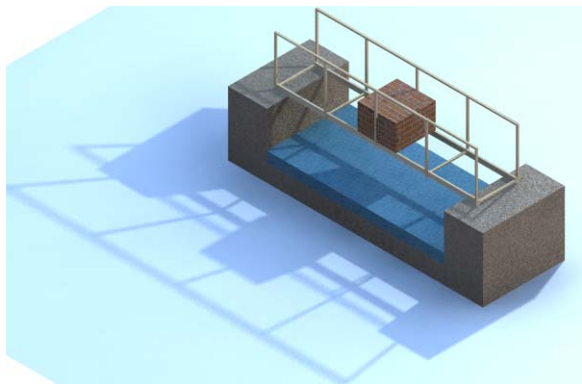
## **Durchführen von Konstruktionsänderungen**

Nach dem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein,

- die Bedeutung von Querverstrebungen zu verstehen,
- die maximale Last zu ermitteln,
- Verschiebungsdarstellungen anzuzeigen,
- Darstellungen und Diagramme zu bearbeiten, um die Anzeige zu verbessern,
- das Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht zu berechnen.


## Erweitern der Konstruktion

Die Analyse des Tragwerks mithilfe von SolidWorks Simulation lässt den Schluss zu, dass das Tragwerk eine höhere Festigkeit benötigt. Die in dieser Lektion behandelte Version verfügt über Seitenwände, welche die Festigkeit der Konstruktion verbessern und es ihr ermöglichen, höhere Lasten zu tragen.



## Öffnen des Modells

### 1 Bauteildatei öffnen.

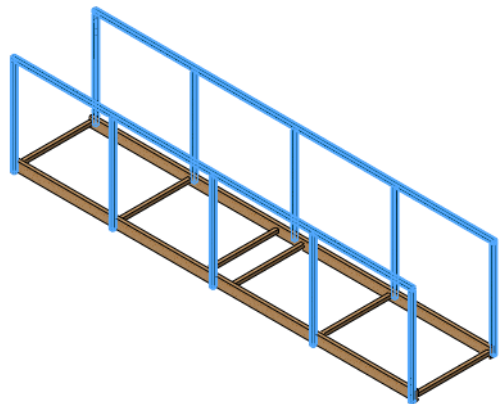
Klicken Sie auf **Öffnen** .

Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner **Lesson 5**.

Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner **Bridge Design Project\Student\Lesson 5**.

Wählen Sie die Datei **TRUSS\_2.sldprt** aus, und klicken Sie auf **Öffnen**.

Diese Version zeigt seitliche Verstärkungen aus horizontalen und vertikalen Elementen.

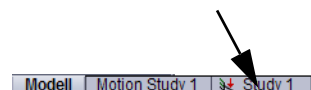


## Vorhandene Studie

Das hier untersuchte Bauteil unterscheidet sich von dem vorherigen nur durch die zusätzlichen Wände. Es umfasst weiterhin die **Studie 1**, die die gleichen Werte wie beim vorherigen Teil enthält.

### 2 Auf eine vorhandene Studie zugreifen.

Klicken Sie unten links im Bildschirm auf die Registerkarte **Studie 1**. Der Simulations-Studienbaum wird angezeigt. Die Analyse weist Montagevorrichtungen, externe Lasten und ein Netz auf.



### 3 Analyse ausführen.

Klicken Sie auf **Simulation, Ausführen**.

Die Simulation ist bereit für die Nachbearbeitung. Die Darstellung des Sicherheitsfaktors wird *nicht* automatisch erstellt.

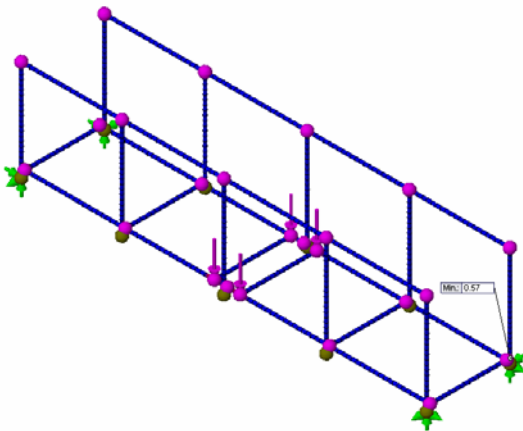
### 4 Darstellung des Sicherheitsfaktors.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner **Ergebnisse** im Simulations-Studienbaum, und wählen Sie **Darstellung des Sicherheitsfaktors definieren** aus. Verwenden Sie das Verfahren „Erstellen einer neuen Darstellung“ auf Seite 51.

### 5 Bezeichnungen.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Ergebnis **Factor of Safety1 (-Automatic-)** (Sicherheitsfaktor1 (-Automatisch-)), und wählen Sie **Diagrammoptionen**. Klicken Sie auf **Minimumbeschriftung anzeigen**, dann auf .

Modellname: TRUSS\_2  
Studienname: Study1  
Darstellungstyp: Faktor der Sicherheitsverteilung Faktor der Sicherheitsverteilung  
Kriterium: Automatisch  
Rot = Faktor der Sicherheitsverteilung = 1 < Blau



Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Sicherheitsfaktor im Vergleich zu der ähnlichen Anfangsbelastung in der vorherigen Lektion verringert hat.

## Ändern der Last

Nun sollen die externen Lasten iterativ erhöht werden, um herauszufinden, welche Maximallast diese Version des Tragwerks aushalten kann. Auch in diesem Fall wird als Ziel ein Sicherheitsfaktor von **1** zugrunde gelegt. In der vorherigen Lektion haben Sie gelernt, dass die Multiplikation der Gesamtlast mit dem Sicherheitsfaktor die maximal zulässige Last ergibt.

$$20 \text{ N} \times 0,57 = 11,4 \text{ N}; \text{ jede Last beträgt } 11,4 \text{ N}/4 = \mathbf{2,85 \text{ N}}$$

**6 Externe Last bearbeiten.**

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Feature **Kraft-1** (:Pro Element: -10 N:) und wählen Sie **Definition bearbeiten**.

Stellen Sie die Last auf **2,85 N** ein, und klicken Sie auf .

**7 Analyse erneut ausführen.**

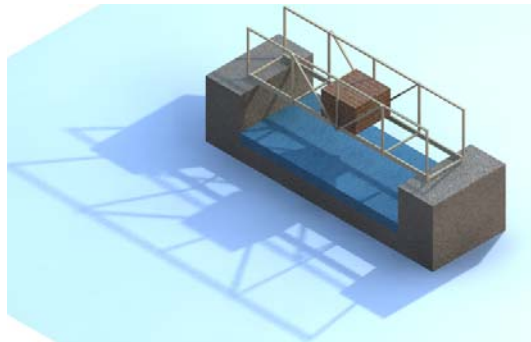
Klicken Sie auf **Simulation, Ausführen**, um die Analyse erneut auszuführen. Der minimale Sicherheitsfaktor muss wieder nah bei **1** liegen.


**8 Teil schließen.**

Klicken Sie auf **Datei, Schließen** und anschließend auf **Speichern**, um die Änderungen zu speichern.

**Querverstrebenungen**

In einer vorhergehenden Lektion wurde der Nutzen von Dreiecksstrukturen und Querverstrebenungen erörtert (siehe „Dreiecke“ auf Seite 15). Im Folgenden soll ein Tragwerk mit einigen Querverstrebenungen betrachtet werden, um herauszufinden, wie sich diese Änderungen auf die Ergebnisse auswirken. Wie zuvor soll die Last unverändert bleiben (**3,45 N**, auf vier Stellen verteilt), und auch die übrigen Merkmale sind (bis auf die hinzugefügten Streben) dieselben.

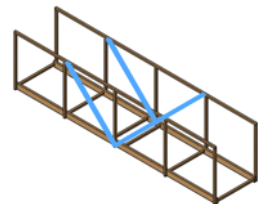
**Öffnen des Modells****1 Bauteildatei öffnen.**

Klicken Sie auf **Öffnen** .

Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner **Lesson 5**.

Wählen Sie die Datei **TRUSS\_3.sldprt** aus, und klicken Sie auf **Öffnen**.

Diese Version ähnelt der vorigen bis auf einige zusätzlich im Mittelabschnitt angebrachte Querverstrebenungen.



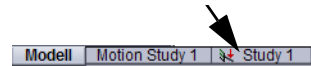


## Vorhandene Studie

Das hier untersuchte Bauteil unterscheidet sich von dem vorherigen nur durch die zusätzlichen Wände. Es umfasst weiterhin die **Studie 1**, die die gleichen Werte wie beim vorherigen Teil enthält.

### 2 Auf eine vorhandene Studie zugreifen.

Klicken Sie unten links im Bildschirm auf die Registerkarte **Studie 1**. Der Simulations-Studienbaum wird angezeigt. Die Analyse weist Montagevorrichtungen, externe Lasten und ein Netz auf.




### 3 Analyse ausführen.

Klicken Sie auf **Simulation, Ausführen**.

Die Simulation ist bereit für die Nachbearbeitung. Sicherheitsfaktor-Darstellung erstellen. Der Wert ist größer als 1 (fügen Sie Etiketten hinzu mit Schritt 5 auf Seite 57).

### 4 Externe Last bearbeiten.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Feature **Kraft-1**, und wählen Sie **Definition bearbeiten**. Stellen Sie die Last auf **4,5 N** ein, und klicken Sie auf .

### 5 Analyse erneut ausführen.

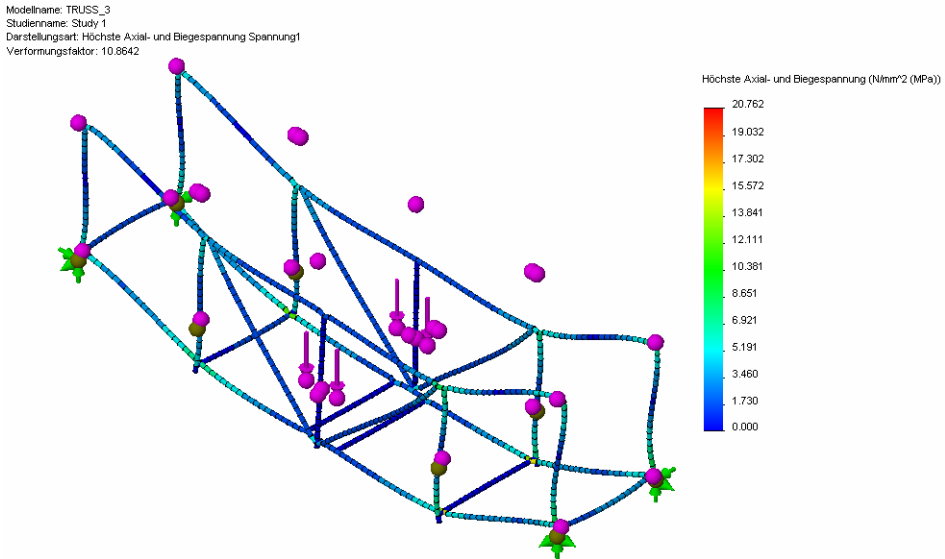
Klicken Sie auf **Simulation, Ausführen**, um die Analyse erneut auszuführen. Der minimale Sicherheitsfaktor muss wieder nah bei **1** liegen.

## Was hat die Querverstrebung bewirkt?

Querverstrebungen führen zu Dreiecksstrukturen, die das Gerüst versteifen und seine Widerstandsfähigkeit gegen Verbiegungen und Verdrehungen erhöhen. Die Ergebnisse sollen Aufschluss geben, wie effektiv diese Konstruktionsänderung ist.

## 6 Spannungsdarstellung.

Doppelklicken Sie auf die Darstellung Spannung1 (-STRMAX: Höchste Axial- und Biegespannung-), um die Spannungsdarstellung anzuzeigen.



## Arbeiten mit Darstellungen

Durch das Einstellen von Optionen kann die Lesbarkeit und Verständlichkeit der Darstellungen verbessert werden. Es sollen nun einige Optionen zur Änderung des Erscheinungsbilds betrachtet werden.

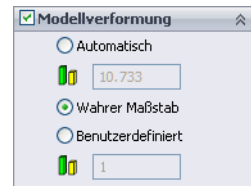
### Verformungsfaktor

Der Verformung in der Spannungsdarstellung kann eine übertriebene, sehr große Verschiebung zugrunde liegen. Um die Verschiebung übertrieben darzustellen, geben Sie den gewünschten Wert (**Automatisch** oder **Benutzerdefiniert**) für die Modellverformung an.



## 7 Verformung ausführen.

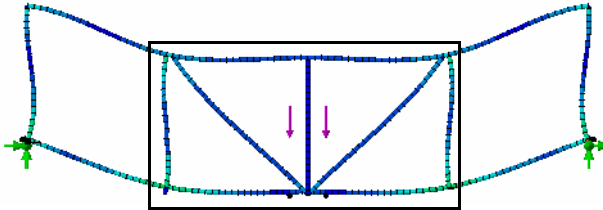
Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die Darstellung Spannung1 (-STRMAX: Höchste Axial- und Biegespannung-), und wählen Sie **Definition bearbeiten**. Stellen Sie sicher, dass die Optionen **Modellverformung** und **Automatisch** aktiviert sind.

Klicken Sie auf .



## 8 Vorderansicht.

Klicken Sie mittels Symbol **Ansichtsausrichtung**  auf **Vorderseite** , und betrachten Sie die Spannungsverteilung des Modells von der Vorderseite her. Der mittlere Abschnitt des Modells, der Querverstrebungen aufweist, bewahrt seine Form besser als die Endabschnitte aufgrund der Verstärkung durch die Verstrebungen.




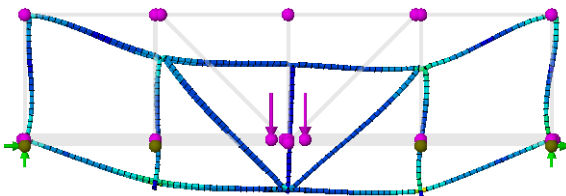
## Modell über verformte Geometrie legen

Die Einstellungsoptionen ermöglichen Ihnen, die nicht verformte Geometrie zu überlagern und die Diagrammdarstellung zu ändern, damit deutliche Farbänderungen angezeigt werden.

## 9 Einstellungen.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die Darstellung **Spannung1 (-STRMAX: Höchste Axial- und Biegespannung-)**, und wählen Sie **Einstellungen**.

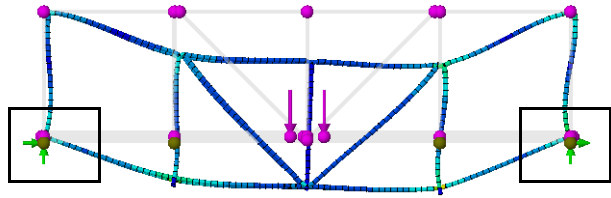
Wählen Sie unter **Kontinuums Optionen** die Option **Getrennt**. Unter **Verformungsdarstellungs-Optionen** klicken Sie auf **Modell über die verformte Geometrie legen** und stellen die **Transparenz** auf **0,7** ein. Klicken Sie auf .



**Hinweis:** Der Titel und die Farbdiagramme können mittels „Ziehen und Ablegen“ verschoben werden.

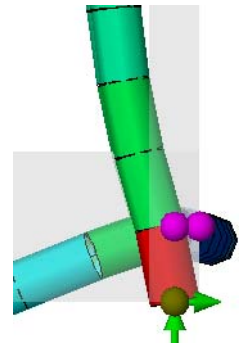
## Das schwächste Glied

Sie kennen sicher die Redensart vom „schwächsten Glied“. Die wörtliche Bedeutung bezieht sich auf den empfindlichsten Teil einer Kette, also das Glied, das am ehesten brechen würde.



Unten links im Bild sehen Sie die Beschriftung oder den höchsten Spannungswert. Diese Stelle ist das schwächste Glied, ein Bereich mit *hoher Spannung*.

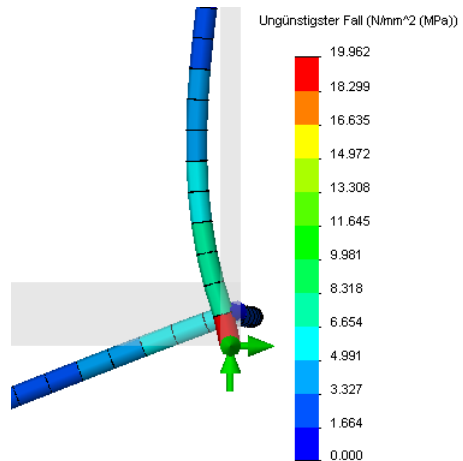
Auf der rechten Seite in der Nähe der Montagevorrichtung muss ein ähnlicher Bereich mit hoher Spannung (rot) liegen. Durch Vergrößerung ist dieser Bereich zu erkennen.



## Farben der Spannungsverteilung

Zur Darstellung der Spannungsverteilung gehört immer auch eine Farbskala, die es Ihnen erlaubt, den Farben die realen Spannungswerte zuzuordnen. Die höchste Spannung wird durch Farbtöne im gelben, roten oder orangefarbenen Bereich gekennzeichnet. Stellen mit geringer Spannung zeichnen sich durch blaue Schattierungen aus.

SolidWorks Simulation wird zur Identifizierung der „schwächsten Glieder“ eines Modells verwendet, um diese „reparieren“ zu können.



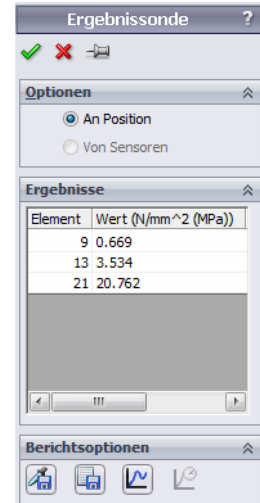
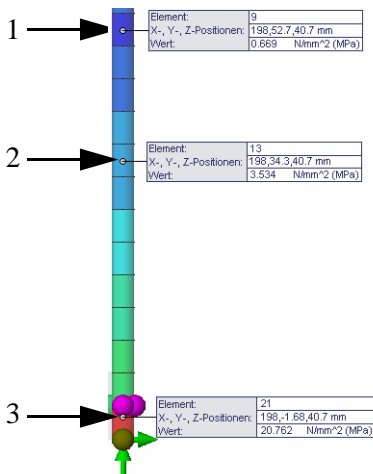
Beachten Sie, dass der Bereich mit der höchsten Spannung nicht unbedingt zum Versagen der Konstruktion führt. Folgen Sie dem Pfeilsymbol vor dem Hinweis **Streckgrenze**, um die wirkliche Schwachstelle des Modells zu ermitteln.

## Sondieren von Elementen

Mit der Funktion „Sondieren“ können detaillierte Informationen aus der Darstellung abgerufen werden, indem Elemente direkt ausgewählt werden. Das Element erhält eine Beschriftung, die den genauen Wert entsprechend des Elementtyps angibt. Aus den Sondierungsdaten können auch Darstellungen erzeugt werden.


### 10 Sondieren.


Klicken Sie auf **Simulation, Ergebniswerkzeuge, Sondieren**. Wählen Sie die Elemente von oben nach unten in der gezeigten Reihenfolge. Der Spannungswert steigt stark vom ersten bis zum letzten ausgewählten Element.

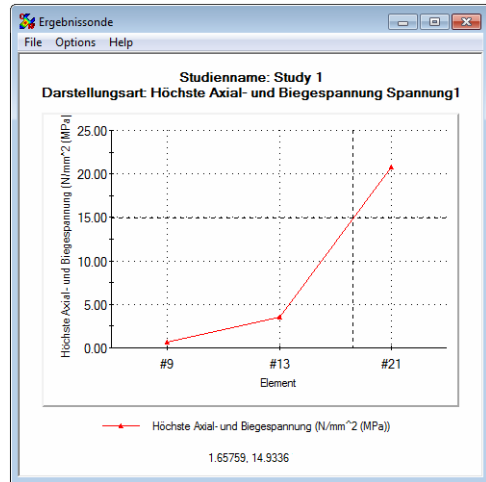


**Hinweis:** Treffen Sie eine Auswahl ähnlich wie in der Abbildung. Die angezeigten Werte können leicht von denen in der Abbildung abweichen.



### 11 Darstellen.

Klicken Sie auf **Darstellen** , um die **Ergebnissonde** zu erstellen. Wie in der Darstellung ersichtlich ist, ändert sich der Spannungswert über die wenigen Elemente sehr stark.


Klicken Sie auf das **x**, um das Dialogfeld **Ergebnissonde** zu schließen, und klicken Sie auf , um den PropertyManager **Ergebnissonde** zu schließen.



### 12 Isometrisch.

Klicken Sie auf **Isometrisch** , und zwar über das Symbol **Ansichtsausrichtung** .

### 13 Modellverformung.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Spannung1 (-STRMAX: Höchste Axial- und Biegespannung-)**, und wählen Sie **Definition bearbeiten**. Klicken Sie auf **Modellverformung** und **Automatisch**. Klicken Sie auf .

### 14 Bewegungssimulation.

Klicken Sie auf **Simulation, Ergebniswerkzeuge, Bewegungssimulation**. Stellen Sie den Schieberegler **Geschwindigkeit** wie gezeigt auf **10** ein.

Klicken Sie auf .



**Tipp:** Mit dem Schieberegler **Frames** kann eine ruckelfreiere Bewegungssimulation erzielt werden, indem die Anzahl der Frames erhöht wird.

## Anpassen des Zahlenformats

Das Zahlenformat der zu den Diagrammen gehörenden Werte hängt von deren Größe ab. Beispiel: Wenn die Werte sehr klein oder groß sind, wird die wissenschaftliche Schreibweise verwendet. Sie können das Zahlenformat ändern, damit die Diagramme besser zu lesen sind. Es folgt ein Beispiel für einen Wert in drei verschiedenen Zahlenformaten.

Wissenschaftlich	Fließkomma	Allgemein
3,727e+000	3,727	3,73

### 15 Verschiebungen.

Doppelklicken Sie auf die Darstellung **Verschiebung1** (-Resultierende Verschiebung-). Verschiebungswerte sind in der Regel klein, und in diesem Diagramm liegen sie zwischen 0 und ca. 4 mm. Sie sind in wissenschaftlicher Schreibweise angegeben, wären aber im Dezimalformat besser lesbar.

### 16 Diagrammoptionen.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die Darstellung **Verschiebung1** (-Resultierende Verschiebung-), und wählen Sie **Diagrammoptionen**. Unter **Position/Format** wählen Sie das Zahlenformat **Fließkomma**.

Die Fließkommazahlen sind nun leichter zu lesen.

Klicken Sie auf .



## Lösung

Nachdem die anfälligen Bereiche identifiziert sind, kann nun eine Korrektur versucht werden. Mit welcher Vorgehensweise lässt sich Ihrer Meinung nach dieses Problem am besten lösen?

1. Erhöhen Sie die Last, um den Sicherheitsfaktor auf einen Wert größer als 1 zu erhöhen.
2. Hinzufügen weiterer Querverstrebungen zu den Abschnitten, die bisher noch keine Streben aufweisen.

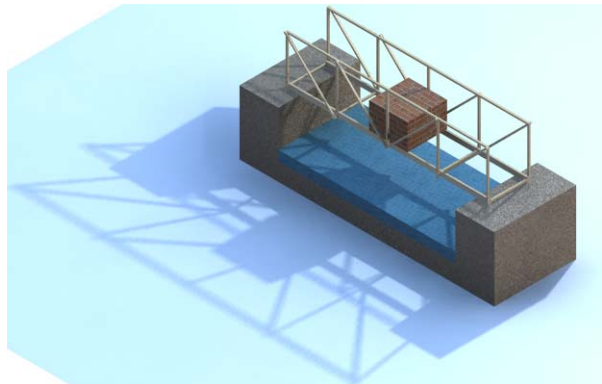
Es wird Element 2 gewählt und dann die Last auf dem Tragwerk maximiert.

### 17 Teil schließen.


Klicken Sie auf **Datei, Schließen** und anschließend auf **Speichern**, um die Änderungen zu speichern.

## Vervollständigen der Querverstrebungen

Zur Vervollständigung der Querverstrebungen wurden entsprechende Elemente in den äußeren Abschnitten der Konstruktion hinzugefügt. Welche Auswirkungen hat dies auf das Tragwerk?



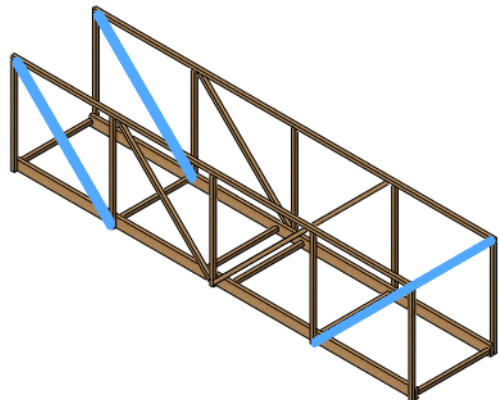
### 1 Bauteildatei öffnen.

Klicken Sie auf **Öffnen** .

Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner **Structure**.

Wählen Sie die Datei **TRUSS\_4.sldprt** aus, und klicken Sie auf **Öffnen**.

Diese Version ähnelt der vorigen, ist aber vollständig mit Querverstrebungen versehen.





**2 Analyse erneut ausführen.**

Öffnen Sie die vorhandene Studie 1, und führen Sie die Analyse erneut aus.

**Vergleichen von Spannungen**

Die hinzugefügten Verstrebenen scheinen sehr wirkungsvoll gewesen zu sein. Wie kann dies festgestellt werden? Die maximale Spannung wurde verringert.

Erwarten Sie die Erhöhung oder Verringerung des Sicherheitsfaktors? \_\_\_\_\_

**3 Faktor des Sicherheitsverlaufs.**

Erstellen Sie eine Darstellung des Sicherheitsfaktors, und überprüfen Sie den Wert des Sicherheitsfaktors.

**4 Externe Last maximieren.**

Es soll erneut die Last für einen Sicherheitsfaktor von 1 maximiert werden.

$$4,90 \times 4,5 \text{ N} = \text{_____ N}$$

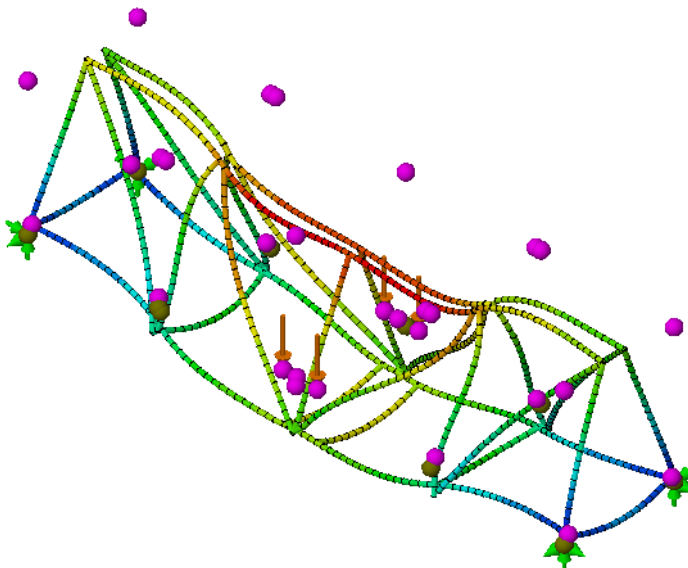
Bearbeiten Sie das Feature für die externe Last Kraft-1 und stellen Sie sie auf 22 N ein.

**5 Analyse erneut ausführen.**

Klicken Sie auf **Simulation, Ausführen**, um die Analyse erneut auszuführen. Der minimale Sicherheitsfaktor muss wieder nah bei 1 liegen.

**6 Verschiebungen.**

Doppelklicken Sie auf die Darstellung Verschiebung1 (-Resultierende Verschiebung-). Führen Sie eine Bewegungssimulation für die Darstellung aus.



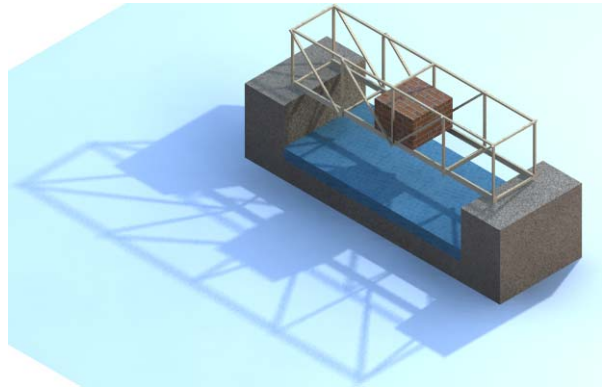
Die Verschiebungen sind kleiner. Sie werden jedoch die seltsame Verformung des Modells bemerken. Die oberen Bereiche der Wände sind nach innen gebogen. Es sind zusätzliche Verstrebungen erforderlich.

### 7 Teil schließen.

Klicken Sie auf **Datei, Schließen** und anschließend auf **Speichern**, um die Änderungen zu speichern.

## Querbalken auf der Oberseite

Das Tragwerk wurde um weitere Elemente ergänzt, welche die Oberkanten der Seitenwände miteinander verbinden. Welche Auswirkungen hat dies auf das Tragwerk?



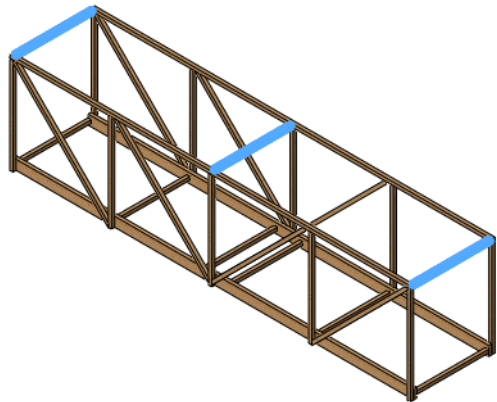
### 1 Bauteildatei öffnen.

Klicken Sie auf **Öffnen** .

Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner **Structure**.

Wählen Sie die Datei **TRUSS\_5.sldprt** aus, und klicken Sie auf **Öffnen**.

Diese Version ähnelt der vorigen, verfügt aber über drei zusätzliche Querstreben auf der Oberseite.



### 2 Last maximieren.

Öffnen Sie die vorhandene Studie 1.


### 3 Analyse und Bearbeitungen.

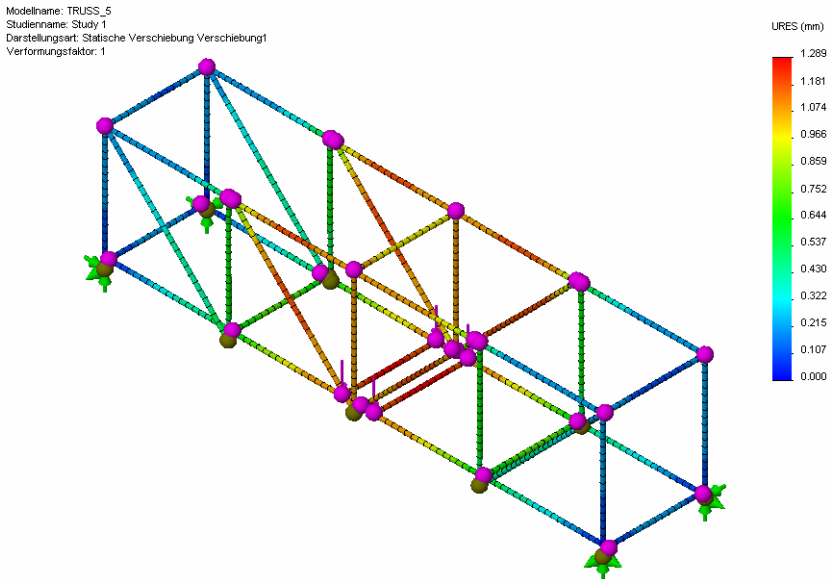
Führen Sie die Analyse aus und erstellen Sie eine Sicherheitsfaktor-Darstellung. Der Sicherheitsfaktor muss geringfügig unter **1** liegen.

Um den Sicherheitsfaktor zu erhöhen, verringern Sie die Last auf **20 N** und führen dann die Analyse erneut aus.

#### 4 Verschiebungen.

Die zusätzliche Verstrebung hat die Maximallast wenig verändert, aber sie hat die maximale Verschiebung reduziert.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Verschiebungsergebnis und wählen Sie im Kontextmenü die Option **Definition bearbeiten** aus. Setzen Sie die **Modellverformung** auf **Wahrer Maßstab** und klicken Sie auf . Klicken Sie dann mit der rechten Maustaste auf **Diagrammoptionen** und wählen Sie **Fließkomma** als das **Zahlenformat**.



### Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht

Das hier behandelte Beispiel betrifft lediglich eine von zahlreichen Konstruktionen, die für das Tragen von Lasten entworfen werden können. Wie lässt sich bei mehreren unterschiedlichen Tragwerken, die jeweils eine andere Last unterstützen, ermitteln, welche Konstruktion die effizienteste ist? Für die Beantwortung dieser Frage kann das **Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht** (Maximallast/Tragwerkgewicht) herangezogen werden.

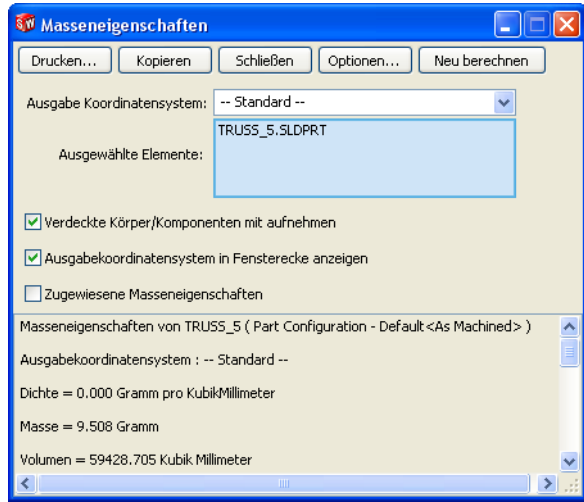
#### Wie viel wiegt das hier untersuchte Tragwerk?

Mit SolidWorks ist das Ermitteln von Masseneigenschaften kein Problem. Sie werden für das Modell automatisch berechnet.

**5 Masseneigenschaften.**

Klicken Sie auf **Extras**, **Masseneigenschaften**, um die Masseneigenschaften des Bauteils aufzulisten. Die wichtigste Information findet sich in der Zeile für **Masse**. Sie gibt das Gesamtgewicht des Tragwerks in Gramm an. Klicken Sie auf **Schließen**.

**Hinweis:** Beziehung zwischen Gramm und Newton:  
1 Gramm entspricht etwa 0,01 Newton.



**Effizienzvergleich**

Verwenden Sie die Informationen in der Tabelle unten, um die **maximale Tragfähigkeit** und die **Effizienz** für jede Iteration des Entwurfs zu berechnen. Welcher Entwurf ist der effizienteste?

Tragwerk	Max. Last	Gewicht des Tragwerks	Effizienz (Max. Last/ Gewicht)
TRUSS_1	20 N	4,566 g = _____N	_____
TRUSS_2	11,4 N	7,418 g = _____N	_____
TRUSS_3	18 N	8,266 g = _____N	_____
TRUSS_4	88 N	9,130 g = _____N	_____
TRUSS_5	80 N	9,508 g = _____N	_____

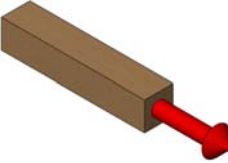
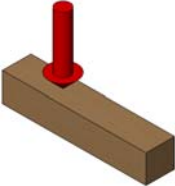
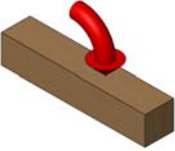

Welche Version des Tragwerks erweist sich als die effizienteste? \_\_\_\_\_

**6 Teil schließen.**

Klicken Sie auf **Datei**, **Schließen** und anschließend auf **Speichern**, um die Änderungen zu speichern.

## Weiterführende Fragen

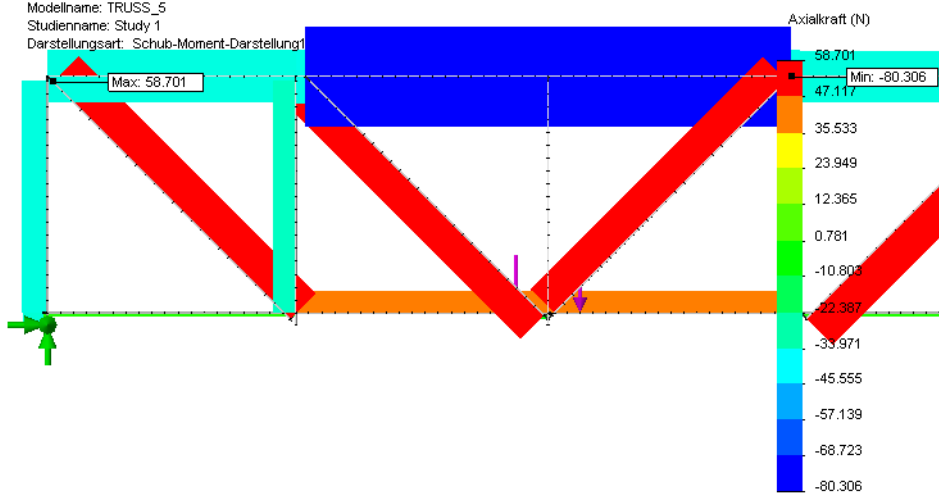
Eine Simulation kann mehrere Darstellungen umfassen, um die Ergebnisse auf verschiedene Arten anzuzeigen. Bei der Balkenanalyse wird jedoch der einzigartige Darstellungstyp **Balkendiagramm** verwendet. Mithilfe dieses Diagramms werden mehrere Größen direkt auf den Balken angezeigt. Die Kräfte und Schubwerte werden in Newton (**N**) angegeben, die Momente und Drehmomente in Newton-Meter (**N-m**).

Balkenkrafttyp	Krafrichtung
Axialkraft	
Schubkraft (gerichtet)	
Moment (gerichtet)	
Drehmoment	

Den Ergebnissen kann ein Balkendiagramm hinzugefügt werden, indem mit der rechten Maustaste auf den Ordner „Ergebnisse“ geklickt und **Balkendiagramme definieren** ausgewählt wird. Es muss auch einer der obigen Typen ausgewählt werden.

## Lesen des Diagramms

Sehen Sie sich z. B. das Diagramm mit **Axialkraft** an. Die Axialkraft in den gewinkelten Strebenelementen ist in Rot angezeigt, was bedeutet, dass der Wert zwischen **47 N** und **53 N** liegt. Die Streben unterliegen einer Spannung, da deren Axialkraftwerte positiv sind.



**Hinweis:** Die Axialkräfte im vertikalen Strebenelement, das den externen Lasten am nächsten liegt, sind sehr klein, da die Streben den Großteil der Last aufnehmen.

## **Lektion 6**

# **Verwenden einer Baugruppe**

Nach dem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein,

- eine Baugruppendatei zu öffnen,
- Komponenten innerhalb einer Baugruppe zu verschieben,
- Interferenzen zwischen Komponenten einer Baugruppe zu erkennen und
- Änderungen an einem Bauteil während der Bearbeitung einer Baugruppe vorzunehmen.


## Erstellen einer Baugruppe

Baugruppen sind SolidWorks-Dateien, die ein Ensemble von Bauteilen definieren. Eine Baugruppe eignet sich, um zu testen, ob ein Testkörper, der ein Fahrzeug darstellen soll, das Tragwerk passieren kann.

### Testen mithilfe eines Testkörpers

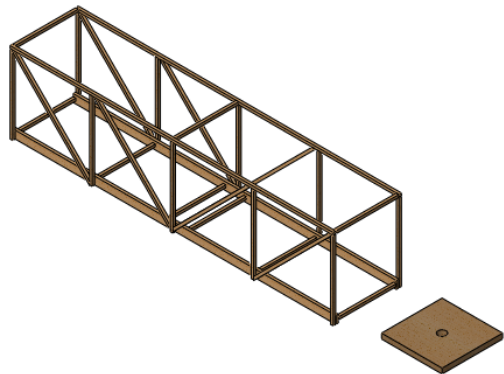
Um das vorliegende Tragwerk zu erstellen und zu testen, muss es bestimmte Kriterien hinsichtlich Länge, Breite und Höhe erfüllen. Eines dieser Kriterien könnte ein Test sein, mit dem überprüft wird, ob ein Körper aus Holz von bestimmter Größe und Länge das Tragwerk passieren kann.

#### 1 Öffnen Sie die Baugruppendatei.

Klicken Sie auf **Öffnen** .

Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner Bridge Design Project\Student\Lesson 6. Wählen Sie die Datei **Test\_Block\_Assembly.sldasm** aus, und klicken Sie auf **Öffnen**.

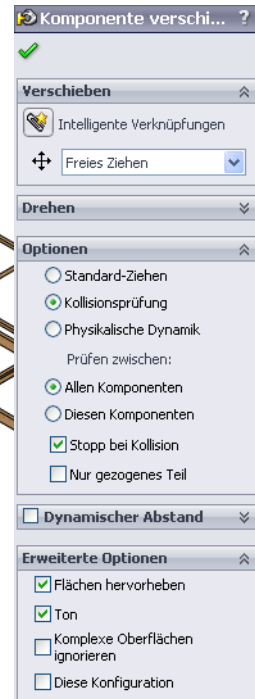
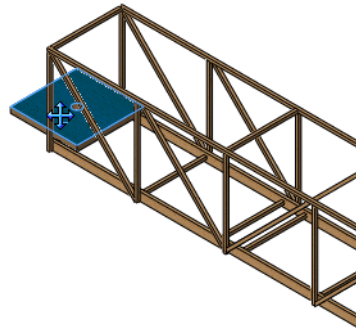
Die Baugruppe umfasst eine Kopie des vorherigen Tragwerks und eine Darstellung eines hölzernen Körpers.





## 2 Verschieben Sie die Komponente.

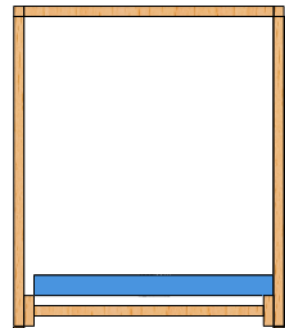
Wählen Sie die Komponente `Load_Plate_75` aus und klicken Sie in der Baugruppen-Symbolleiste auf **Extras, Komponente, Verschieben**. Klicken Sie im Dialogfeld auf **Kollisionsprüfung, Alle Komponenten, Flächen hervorheben** und **Ton**. Markieren Sie die Komponente `Load_Plate_75` und ziehen Sie sie durch das Tragwerk. Die Komponente sollte ruhig und reibungslos durch das Tragwerk hindurch und zurück zur Ausgangsposition außerhalb des Tragwerks bewegt werden.



## 3 Erfolgreicher Test.

Der Testkörper passt durch die Tragkonstruktion. Tatsächlich besteht mehr Spielraum als nötig. Um eine möglichst effiziente Konstruktion zu erhalten, soll die Breite des Tragwerks so beschränkt werden, dass der Testkörper mit einem sehr geringem Spielraum passieren kann.

Klicken Sie auf .



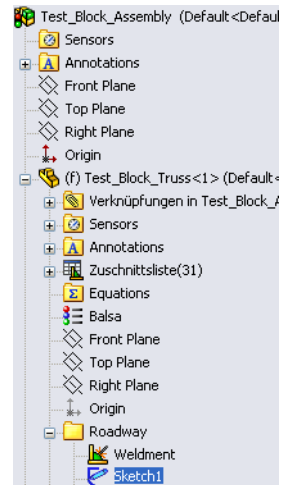
## Ändern des Modells

Änderungen an einem Modell wirken sich auf die Baugruppe und die Analyse aus.



### 4 Erweitern Sie die Darstellung der Features.

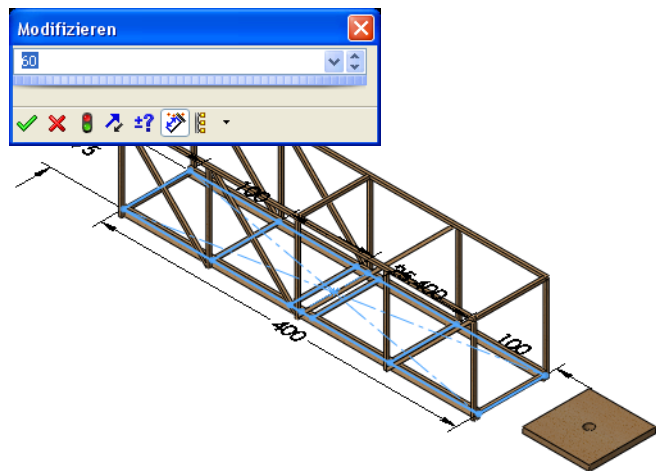
Doppelklicken Sie im FeatureManager auf die Komponente **Test\_Block\_Truss** und anschließend auf den Ordner **Roadway**, um die Darstellung beider Einträge zu erweitern.

Doppelklicken Sie auf das Feature **Sketch1** (Skizze 1).



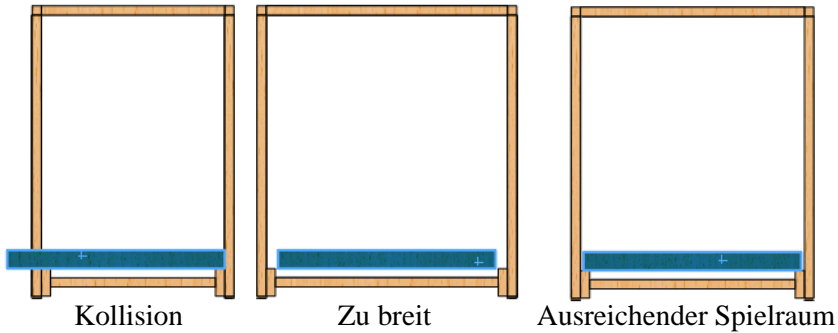
### 5 Ändern Sie die Bemaßung.

Doppelklicken Sie auf die Bemaßung **75** und ändern Sie den Wert auf **60**. Klicken Sie auf **Modellneuaufbau**  und . Die Größe des Bauteils wird entsprechend angepasst.



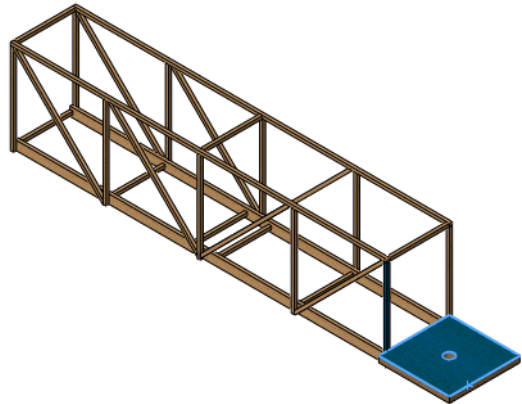
## Kollisionserkennung

Spielräume sind kleine Abstände zwischen Bauteilen, die dafür sorgen sollen, dass alles ordnungsgemäß zusammenpasst. Wenn eines der Teile zu klein oder zu groß ist, fügt sich die Baugruppe nicht passend zusammen.



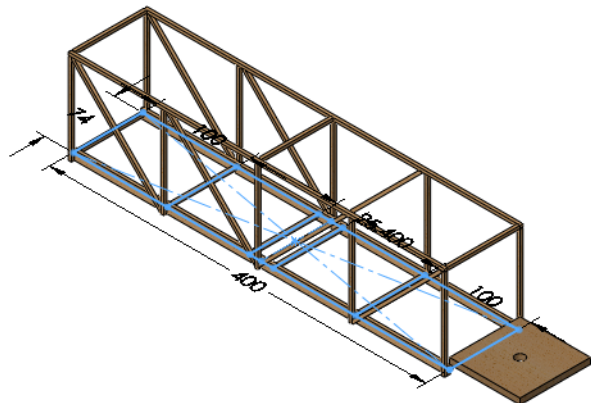
### 6 Verschieben Sie die Komponente.

Verwenden Sie dasselbe Verfahren, wie in Schritt 2 beschrieben, um den Testkörper durch das Tragwerk zu bewegen. Sie werden feststellen, dass es mit dem Tragwerk kollidiert.



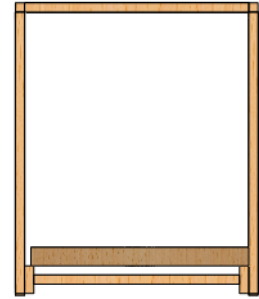
### 7 Vergrößern Sie die Breite.

Verwenden Sie dasselbe Verfahren, wie in Schritt 5 beschrieben, um die Bemaßung zu modifizieren und auf den Wert 74 mm festzulegen.



## 8 Richtige Größe.

Die neue Größe bietet einen kleinen Spielraum und ermöglicht das Passieren des Testkörpers.



## 9 Öffnen Sie die Bauteildatei.

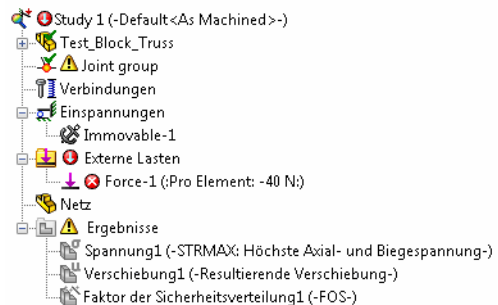
Klicken Sie mit der rechten Maustaste im FeatureManager auf Test\_Block\_Truss und wählen Sie **Teil öffnen** aus dem Kontextmenü. Das Bauteil wird in einem eigenen Fenster geöffnet.

## Aktualisieren der Analyse

Die Modifizierung des Modells hat dazu geführt, dass die Konstruktion tatsächlich schmaler wurde. Die Modelländerung führt zu mehreren Fehlern in den Verbindungen, welche wiederum Fehler in den Montagevorrichtungen, Lasten und dem Netz verursachen.

## 10 Warnungen und Fehler.

Klicken Sie auf Studie 1. Es befinden sich Warnungs- und Fehlermarkierungen auf mehreren Features.



## 11 Verbindungsgruppe.


Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf Verbindungsgruppe und wählen Sie **Bearbeiten** aus dem Kontextmenü.

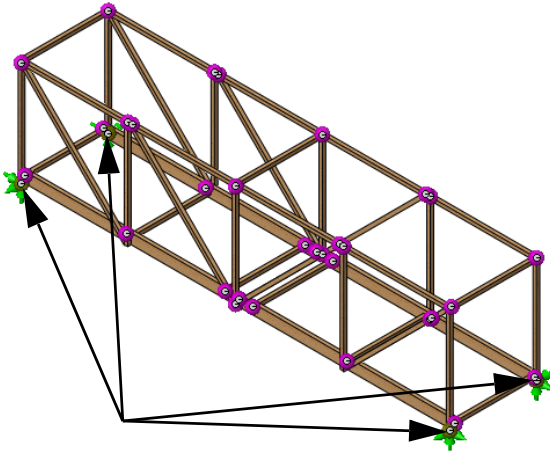
Klicken Sie auf **Berechnen** und .

Folgende Meldung erscheint: Gelenke werden neu berechnet. Die berechneten Gelenke sehen u. U. gleich aus, aber die Reihenfolge ist unterschiedlich. Eine Neudefinition von Montagevorrichtung/Last/Verbindung ist u. U. erforderlich. Klicken Sie auf **OK**.




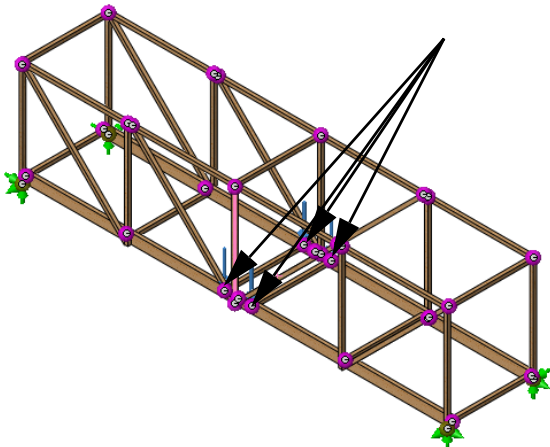
## 12 Montagevorrichtung.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Unbeweglich-1** und wählen Sie **Definition bearbeiten** aus dem Kontextmenü. Stellen Sie sicher, dass dieselben vier (grünen) Verbindungen ausgewählt sind, und klicken Sie auf .



## 13 Last.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die externe Last **Kraft-1** (:Pro Element: -40 N:) und wählen Sie **Definition bearbeiten**. Klicken Sie in das Auswahlfeld und wählen Sie dieselben vier Verbindungen aus (siehe Abbildung), und klicken Sie auf .



## 14 Vernetzen und ausführen.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Feature **Netz** und wählen Sie **Vernetzen und ausführen** aus. Die Änderungen sind erheblich. Klicken Sie auf **Datei, Schließen**, und speichern Sie alle Änderungen.

# **Lektion 7**

## **Erstellen von Zeichnungen der Tragwerkskonstruktion**

Nach dem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein,

- eine Zeichenansicht des Bauteils hinzuzufügen,
- eine Zuschnittlisten-Tabelle zu erstellen und
- Stücklistensymbole zu einer Zeichenansicht hinzuzufügen.

## Zeichnungen

Mit SolidWorks lassen sich auf einfache Weise Zeichnungen von Bauteilen und Baugruppen erstellen. Diese Zeichnungen sind vollständig assoziativ mit den Bauteilen und Baugruppen, auf die sie sich beziehen. Wenn Sie eine Bemaßung in der fertig gestellten Zeichnung ändern, wird diese Änderung auch für das Modell übernommen. Ebenso wird nach Änderungen am Modell automatisch auch die Zeichnung entsprechend aktualisiert.

Zeichnungen vermitteln drei Dinge über das Objekt, das sie darstellen:

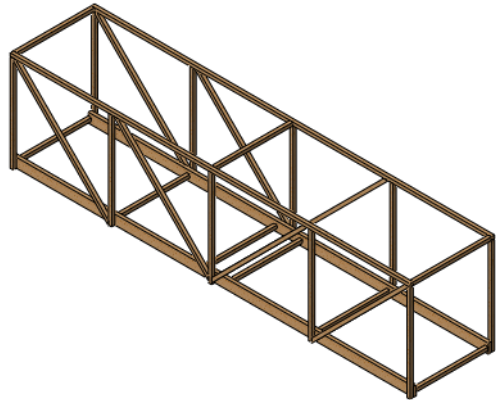
- **Form** – *Ansichten* zeigen die Form eines Objekts.
- **Größe** – *Bemaßungen* informieren über die Größe eines Objekts.
- **Andere Informationen** – *Bezugshinweise* geben nicht-grafische Informationen zum Fertigungsprozess, wie beispielsweise Bohren, Reiben, Farbgebung, Oberflächenbehandlung, Schleifen, Wärmebehandlung, Grate entfernen usw.

## Erstellen von Zeichenansichten

Nachdem die Modellierung abgeschlossen ist, kann eine Zeichnung des Modell erstellt werden. In diesem Beispiel wurde ein leeres Zeichnungsblatt mit dem Bauteil verknüpft.

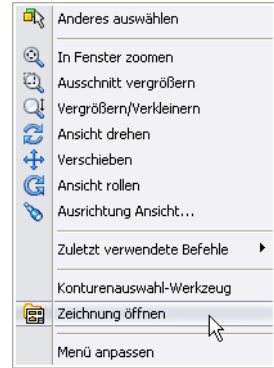
- 1 **Öffnen Sie die Bauteildatei Drawings (Zeichnungen).** Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner Bridge Design Project\Student\Lesson 7.

Das Bauteil ist ein vollständiges Modell des Tragwerks.



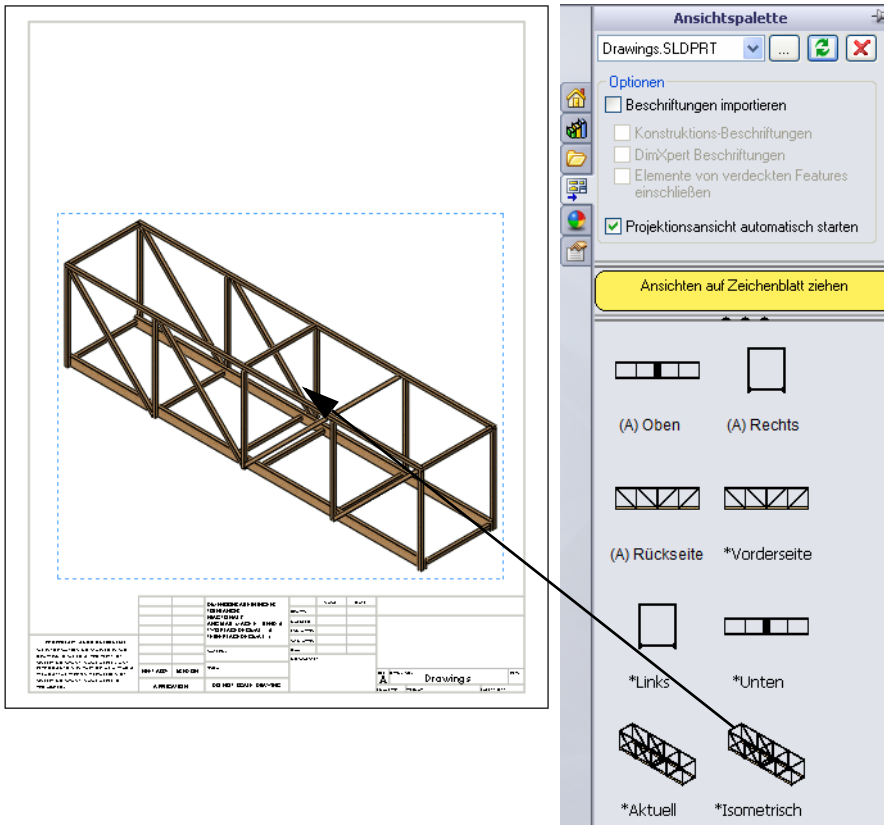
**2 Öffnen Sie die Zeichnungsdatei.**

Das Bauteil ist mit einer Zeichnungsdatei verknüpft. Diese enthält keine Zeichenansichten oder Beschriftungen, jedoch eine Reihe von Einstellungen, die im Folgenden benötigt werden. Um die Zeichnungsdatei zu öffnen, klicken Sie mit der rechten Maustaste in den Grafikbereich und wählen die Option **Zeichnung öffnen**.



**3 Ansichtspalette erweitern.**


Klicken Sie auf die **Ansichtspalette**, um sie aufzuklappen. Die Ansichtspalette enthält Ansichten des aktuellen Bauteils. Klicken Sie auf **Aktualisieren**, und deaktivieren Sie **Beschriftungen importieren**. Ziehen Sie die Ansicht **\*Isometrisch** von der Ansichtspalette auf das Zeichenblatt.

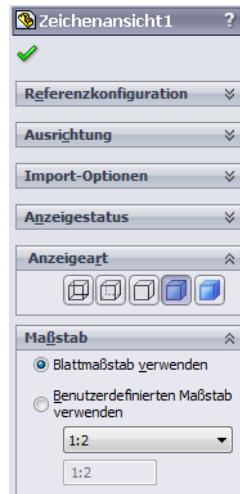




#### 4 Eigenschaften der Zeichenansicht.

Klicken Sie unter **Anzeigeart**  auf **Schattiert mit Kanten**. Klicken Sie auf **Blattmaßstab verwenden**.


Klicken Sie auf , um die Ansicht fertigzustellen.




#### Was ist eine Zuschnittslisten-Tabelle?

Die **Zuschnittslisten-Tabelle** ist eine Auflistung der zum Bauteil gehörigen Elemente oder Balken. Die Elemente sind nach Länge sortiert und gruppiert und umfassen Angaben zu Teile-Nummer, Menge, Beschreibung und Länge. Alle diese Informationen werden aus der Bauteildatei extrahiert.

#### 5 Zuschnittsliste.

Klicken Sie auf **Einfügen, Tabellen, Zuschnittsliste für Schweißkonstruktionen**  und wählen Sie die Zeichenansicht aus.

Wählen Sie die Datei Bridge\_Weldments.sldwldtblt als **Tabellenvorlage**. Die Datei wird im gleichen Ordner wie das Teil gespeichert.

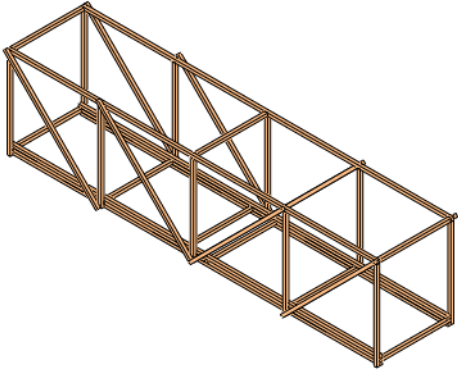
Klicken Sie auf  und positionieren Sie den Cursor über der Zeichnung.



**6 Platzieren Sie die Tabelle.**

Bewegen Sie den Cursor zur oberen linken Ecke der Zeichnung und klicken Sie, um die Tabelle zu platzieren.

POS.-NR.	MENGE	BESCHREIBUNG	LÄNGE
1	6	HAUPTBALEN	400
2	9	QUERBALEN	77
3	4		95
4	4		84
5	2		22
6	10	VERTIKALBALEN	97
7	8	KREUZVERSTREIBUNGSBALEN	141



Structure Design  
Drawings

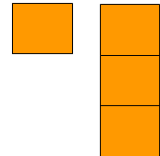
**7 Ändern Sie die Spaltengröße.**

Ziehen Sie die Spalten- und Zeilenränder der Tabelle, um deren Größe zu ändern. Jede Spalte und Zeile lässt sich durch Ziehen der Ränder vergrößern oder verkleinern.

	A	B	C	D
POS.-NR.	MENGE	BESCHREIBUNG	LÄNGE	
1	6	HAUPTBALEN	400	
2	9	QUERBALEN	77	
3	4		95	
4	4		84	
5	2		22	
6	10	VERTIKALBALEN	97	
7	8	KREUZVERSTREIBUNGSBALEN	141	

**Warum sind zwei gleich lange Elemente vorhanden?**

Es wird ein anderer Balken verwendet, um die drei übereinandergelegten Balken zu repräsentieren, die den unteren Teil der Brücke bilden. Obwohl die Elemente 1 und 3 gleich lang sind, werden sie als unterschiedliche Balken betrachtet.





**Tipp:** Im Abschnitt über die physische Modellierung werden die Abmessungen der einzelnen Balken aufgelistet.

## Stücklistensymbole

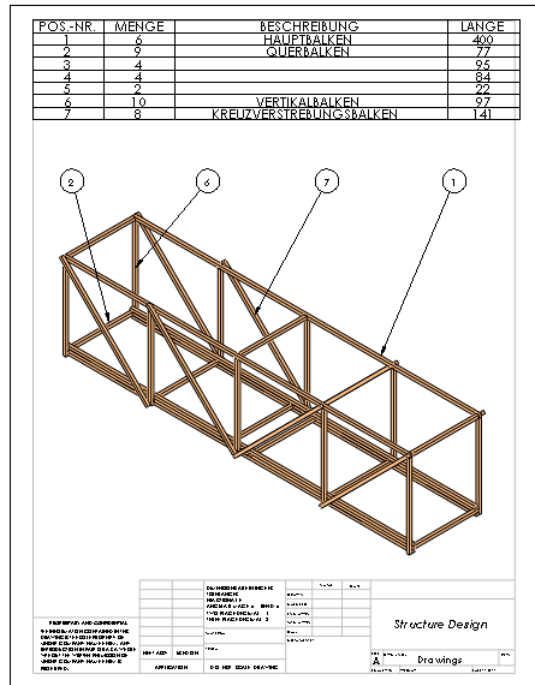
Stücklistensymbole kennzeichnen die Elemente eines Bauteils und stellen die Beziehung zu den Teilenummern in der Zuschnittsliste her.

### 8 Stücklistensymbole.


Klicken Sie in der Beschriftungs-Symboleiste auf

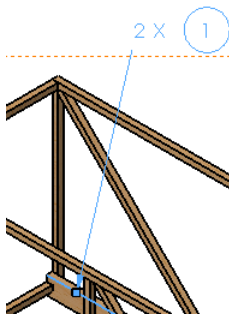
**Stücklistensymbol** . Klicken Sie auf das Element, und anschließend auf eine Stelle, um den Text zu platzieren. Wiederholen Sie den Vorgang, um mehrere Stücklistensymbole hinzuzufügen. Klicken Sie auf .

**Hinweis:** Sie können Stücklistensymbole durch Ziehen des Textes verschieben.



### 9 Anzahl von Elementen in einem Stücklistensymbol.

Die Anzahl von Elementen in einem Stücklistensymbol kann eingestellt werden. Klicken Sie auf ein Stücklistensymbol und dann auf **Menge**. Wählen Sie eine **Platzierung** und klicken Sie auf .



### 10 Schließen Sie die Zeichnungs- und die Bauteildatei.

Klicken Sie auf **Datei**, **Schließen** und speichern Sie alle Dateien.

## **Lektion 8**

# **Berichte und SolidWorks eDrawings®**

Nach dem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein,

- einen HTML-Bericht zu erstellen,
- die Zusatzanwendung „SolidWorks eDrawings“ zu laden,
- eine SolidWorks eDrawings-Datei zu beschreiben,
- aus SolidWorks Simulation-Daten eine SolidWorks eDrawings-Datei zu erzeugen und
- eine SolidWorks eDrawings-Datei als HTML-Datei zu speichern.

## Berichte und SolidWorks eDrawings

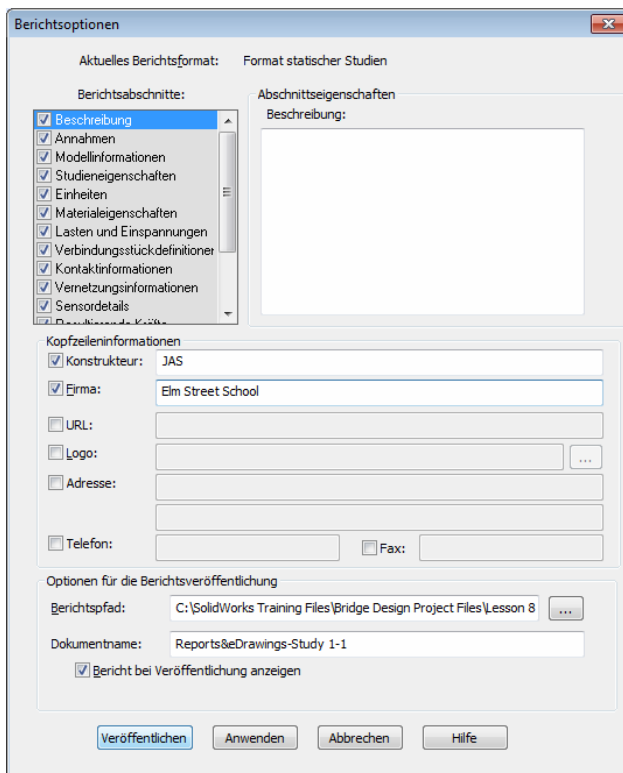
Es gibt zahlreiche Methoden, die Daten einer Konstruktionsanalyse auszuwerten. Ein **Bericht** eignet sich zum Drucken und Anzeigen von Text und statischen Daten. Mithilfe von **SolidWorks eDrawings** lassen sich die grafischen Darstellungen der Analyseergebnisse anzeigen, an andere weitergeben und gemeinsam nutzen und manipulieren, ohne das Bauteil zu öffnen.

- 1 **Öffnen Sie die Bauteildatei Reports&eDrawings.**  
Navigieren Sie im Fenster **Öffnen** zum Ordner `Bridge Design Project\Student\Lesson 8`. Öffnen Sie die Bauteildatei `Reports&eDrawings`. Analyse ausführen.

### Erstellen eines Berichts

Mithilfe von SolidWorks Simulation können Sie einen zum Drucken geeigneten Bericht erstellen, der alle wichtigen Daten erfasst.

- 2 **Bericht.**  
Klicken Sie auf **Simulation, Bericht**.
- 3 **Dialogfeld.**  
Klicken Sie auf **Designer** und **Firma**. Fügen Sie unter **Designer** Ihre Initialen hinzu. Geben Sie in das Feld **Firma** den Namen Ihrer Bildungseinrichtung ein.

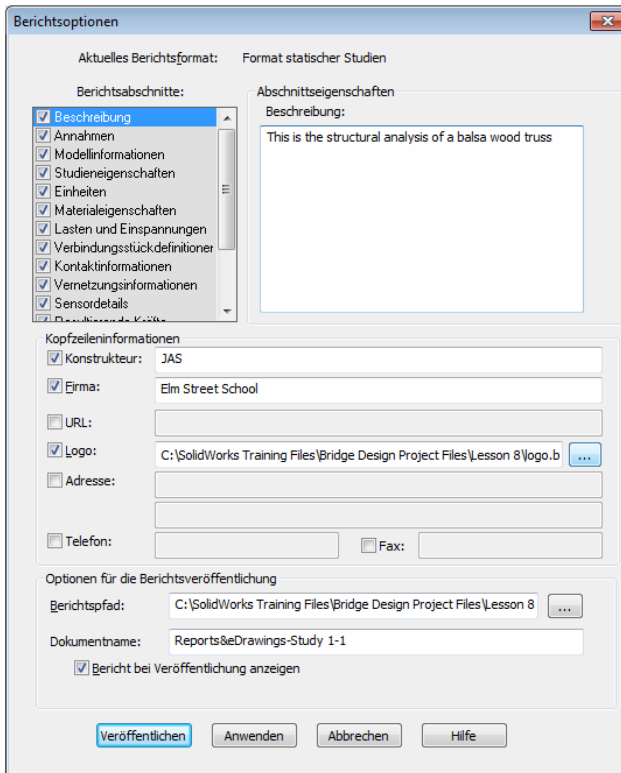


#### 4 Logo.

Klicken Sie auf **Logo**. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Durchsuchen** und wählen Sie im Ordner **Lesson 8** die Datei **logo.bmp** aus.

#### 5 Beschreibung.

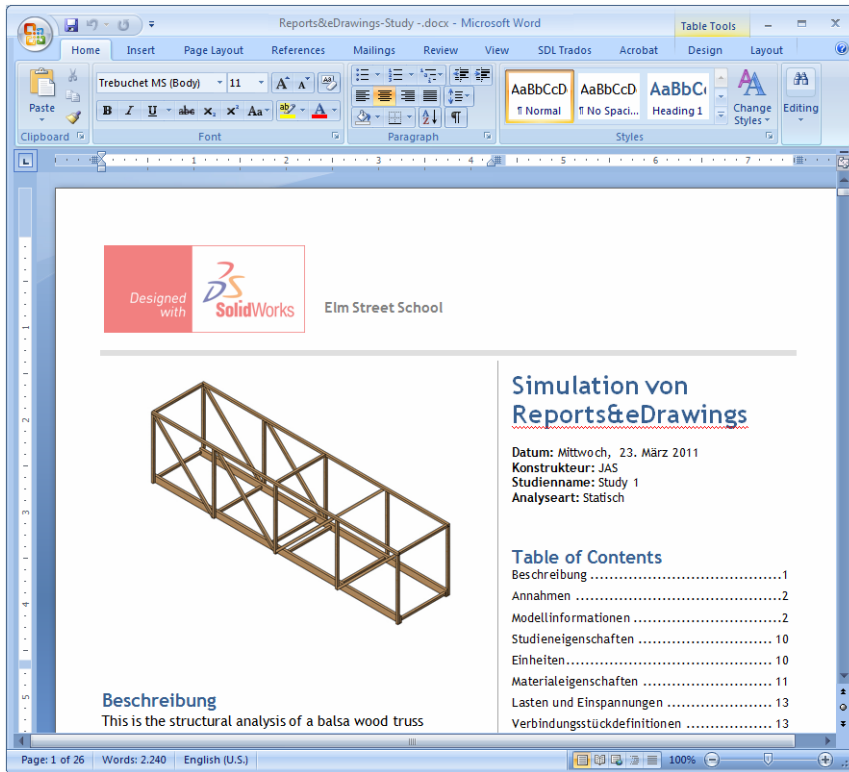
Klicken Sie auf **Beschreibung** und geben Sie **Konstruktionsanalyse eines Tragwerks aus Balsaholzstreben** in den Kommentarbereich ein. Klicken Sie anschließend auf **Veröffentlichen**.



**Tipp:** Der **Berichtspfad** kann so eingestellt werden, dass sowohl der Bericht als auch die zugehörigen Daten aufgenommen werden.

## 6 Bericht.

Der erzeugte Bericht wird zusammen mit Daten und Bildern in einem neuen Fenster angezeigt. Schließend Sie das Fenster oder drucken Sie den Bericht.




Standardmäßig werden die Ergebnisse im gleichen Ordner wie das Teil gespeichert. Sie können unabhängig von SolidWorks oder SolidWorks Simulation gedruckt oder geöffnet werden.

**Hinweis:** Lassen Sie die Bauteildatei geöffnet.

## SolidWorks eDrawings® ermöglicht die Weitergabe und gemeinsame Nutzung von Informationen

eDrawings® ist ein E-Mail-fähiges Kommunikationswerkzeug, mit dem sich der Austausch und die Interpretation von 2D-Zeichnungen mechanischer Konstruktionen wesentlich vereinfachen lässt. Die erzeugten eDrawings-Dateien sind klein genug, um per E-Mail verschickt werden zu können, verfügen optional über Funktionen zur Selbstanzeige und sind erheblich leichter zu verstehen als 2D-Zeichnungen auf Papier.

### Vorteile von eDrawings

- Die Empfänger benötigen zum Anzeigen der Datei keine SolidWorks Anwendung.
- Bauteile, Baugruppen und Zeichnungen lassen sich auch außerhalb von SolidWorks anzeigen.
- Die Dateien sind kompakt genug, um per E-Mail versendet zu werden.
- eDrawings-Dateien lassen sich schnell und einfach erstellen.
- Um aus einer beliebigen SolidWorks Datei eine eDrawings-Datei zu erstellen und zu veröffentlichen, brauchen Sie nur auf  klicken.
- Sie können eDrawings-Dateien auch aus anderen CAD-Systemen heraus erstellen.

### Anzeigen von eDrawings-Dateien

eDrawings-Dateien lassen sich auf sehr dynamische und interaktive Weise anzeigen. Anders als statische 2D-Zeichnungen kann der Inhalt von eDrawings-Dateien animiert und von allen Winkeln her betrachtet werden. Die Fähigkeit zur bequemen interaktiven Handhabung von eDrawings-Inhalten macht diese Zusatzanwendung zu einem sehr effektiven Werkzeug für die kollaborative, teambasierte Konstruktion.

eDrawings Professional bietet Ihnen die Möglichkeit, eDrawings-Inhalte zu kennzeichnen und zu beschriften, um den Revisionsprozess noch weitergehend zu verbessern.

### Bewegungssimulation von eDrawings-Inhalten

Bei der Bewegungssimulation wird automatisch demonstriert, wie die Zeichenansichten untereinander und in Relation zum physischen Modell zusammenhängen. Mit einem einfachen Klicken auf eine Schaltfläche kann eDrawings veranlasst werden, alle Ansichten auf jedem Blatt Ihrer Zeichnung zu „animieren“ und den dynamischen Übergang von einer Ansicht zur anderen zu visualisieren.

Die Bewegungssimulation zeigt den eDrawings-Inhalt in ständiger Wiederholung aus verschiedenen Blickwinkeln. Durch diese dynamische Bewegung erhalten Sie denselben Eindruck, als ob Sie ein Bauteil in Ihrer Hand halten und in verschiedene Richtungen drehen.



## Erstellung einer SolidWorks eDrawing

eDrawings-Dateien bieten ein bequemes Mittel zum Austauschen von Daten, insbesondere von Bilddaten, die durch SolidWorks Simulation erzeugt wurden.

### 7 Darstellen.

Doppelklicken Sie auf die Darstellung **Verschiebung1** (-Resultierende Verschiebung-), um sie zu aktivieren. Diese Darstellung wird in der eDrawing gespeichert.

### 8 Speichern.

Klicken Sie auf **Simulation, Ergebniswerkzeuge, Speichern unter**. Speichern Sie die Daten unter dem Dateityp eDrawings Dateien (\*.analysis eppt). Klicken Sie auf **Speichern**.

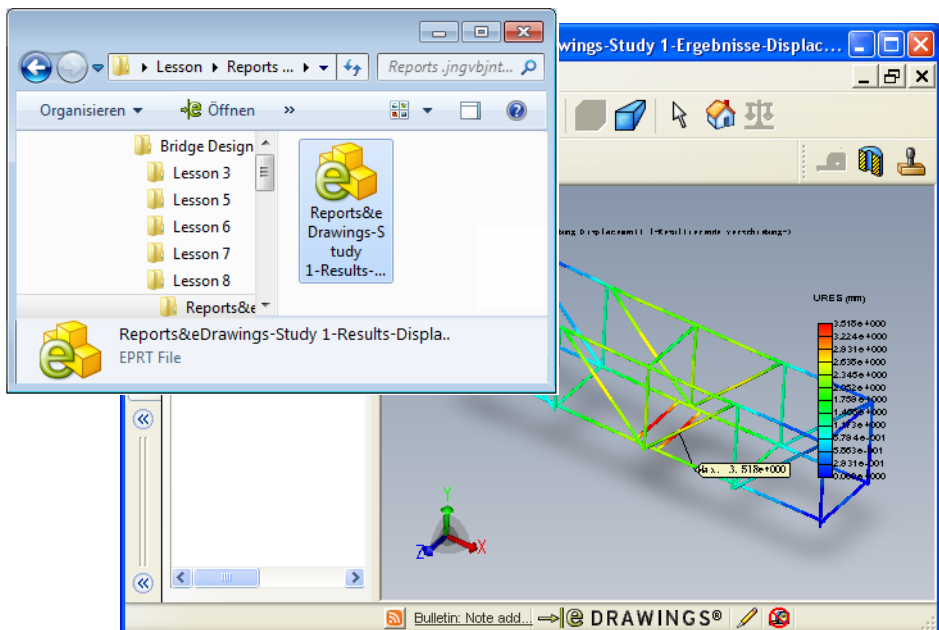
Der Standardname hat folgendes Format:

Teil-Name-Studiename-Ergebnisdarstellungstyp. In diesem Fall lautet der Name daher **Reports&eDrawings-Study 1-Results-Displacement1.analysis**.

Die Datei ist in dem Ordner gespeichert, der mittels Bericht erstellt wurde.



### 9 eDrawing öffnen.

Doppelklicken Sie auf die eDrawings-Datei im Ordner. Klicken Sie auf **Weiter**. Das eDrawings-Fenster erscheint.



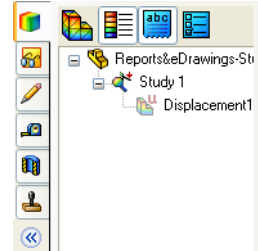
**Hinweis:** Wenn zuvor noch keine eDrawings verwendet wurden, wird möglicherweise nach der Erlaubnis zum Laden gefragt.

## Die Benutzeroberfläche von eDrawings

Sie können wählen, ob Sie große  oder kleine  Symbole für die Symbolleisten von eDrawings verwenden möchten. Die großen Symbole weisen Textbeschriftungen auf. Um zwischen großen und kleinen Symbolen umzuschalten, klicken Sie auf **Ansicht, Symbolleisten, Große Schaltflächen**.

### 10 Einstellungen.


Klicken Sie auf die Registerkarte **Analyse**  und wählen Sie die Optionen **Netz anzeigen** , **Legende anzeigen**  und **Titel anzeigen** .

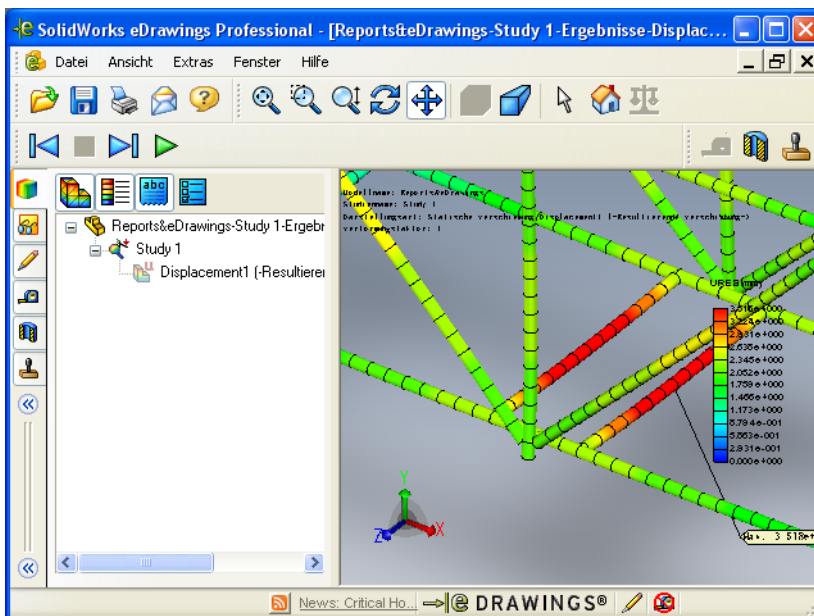


## Funktionen von eDrawings

Sie können die grafische Darstellung mithilfe verschiedener Werkzeuge animieren, zoomen, durchblättern und drehen.


### 11 Verschieben von Komponenten.

Klicken Sie auf **Zoomen auf Fläche**  und ziehen Sie ein Auswahlfenster um den mittleren Abschnitt des Tragwerks.




## Wiedergeben einer eDrawings-Bewegungssimulation


### 12 Starten Sie die Bewegungssimulation.

Klicken Sie auf **Abspielen** . Mit diesem Befehl starten Sie eine Wiederholungsschleife zur ständigen Wiedergabe aller Ansichten. Die Reihenfolge der Bewegungssimulation wird vom System gesteuert und kann vom Benutzer nicht beeinflusst werden.


### 13 Stoppen der Bewegungssimulation.

Klicken Sie auf **Stoppen** , um die Bewegungssimulation zu stoppen.

### 14 Setzen Sie die Ansicht zurück.

Um die Bewegungssimulation auf den Beginn der Bildfolge zurückzusetzen, klicken Sie auf **Zurück zum Start** .

## Speichern von eDrawings-Dateien

Klicken Sie auf **Speichern**  oder auf **Datei, Speichern** bzw. drücken Sie **Strg+S**, um die zurzeit im eDrawings Viewer geöffnete Datei zu speichern. Sie können beim Speichern zwischen folgenden Dateiformaten wählen:

- eDrawings-Dateien (\*.eprt, \*.easm oder \*.edrw)
- eDrawings-ZIP-Dateien  
Eine eDrawings-ZIP-Datei enthält die eDrawings-Datei und den eDrawings Viewer. Sie können den Inhalt der eDrawings-ZIP-Datei entpacken und die ausführbare eDrawings-Datei ausführen, um den eingebetteten eDrawings Viewer zu extrahieren und die eingebettete eDrawings-Datei zu öffnen
- eDrawings-HTML-Dateien
- Ausführbare eDrawings-Dateien  
Sie können Dateien als selbstextrahierende ausführbare eDrawings-Dateien (\*.exe) speichern. Diese Dateien enthalten den eDrawings Viewer und die eDrawings-Datei. Einige E-Mail-Programme, Virenschutzprogramme und Internet-Sicherheitseinstellungen verhindern den Empfang von E-Mail mit ausführbaren Dateien als Anlage
- BMP-, TIFF-, JPEG-, PNG- oder GIF-Bilddateien  
Alle Dateien, die sich im eDrawings Viewer öffnen lassen, können als Grafikdateien in einem der Formate BMP (\*.bmp), TIFF (\*.tif), JPEG (\*.jpg), PNG (\*.png) oder GIF (\*.gif) gespeichert werden


## Speichern der eDrawings-Datei

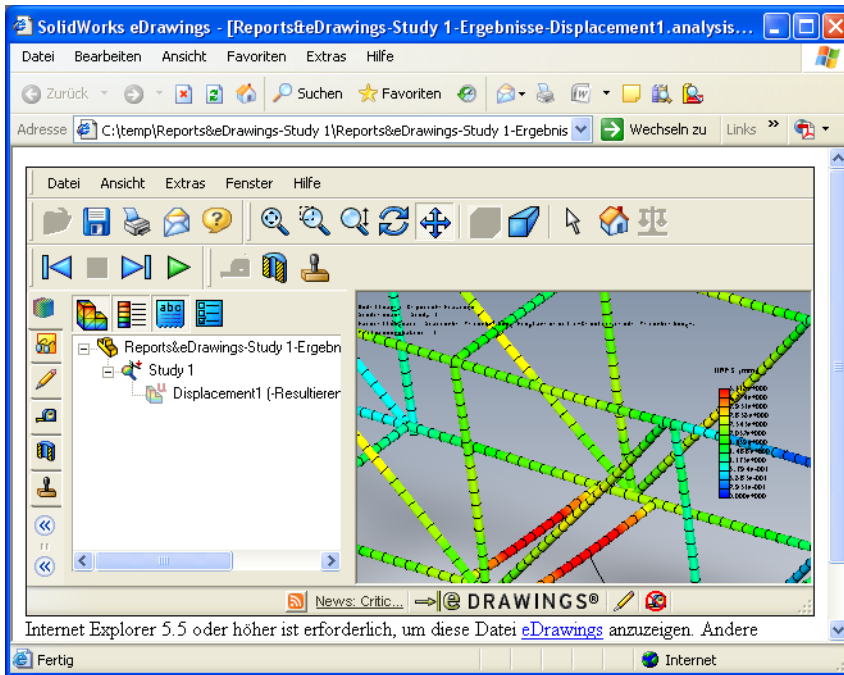
### 15 Speichern Sie die eDrawings-Datei.

Klicken Sie auf **Datei, Speichern unter**. Klicken Sie unter **Dateityp** auf eDrawing HTML-Dateien (\*.htm), um die eDrawings-Datei als HTML-Datei zu speichern. Diese Datei kann anschließend in einem Webbrowser angezeigt werden. Klicken Sie auf **Speichern**.

Speichern Sie die Datei im Ordner Reports&eDrawings-Study 1.

**16 eDrawings per E-Mail an den Kursleiter senden.**

Öffnen Sie die HTML-Datei. Klicken Sie auf **Senden**  und senden Sie die fertig gestellte eDrawings Datei als E-Mail-Anlage an Ihren Kursleiter.

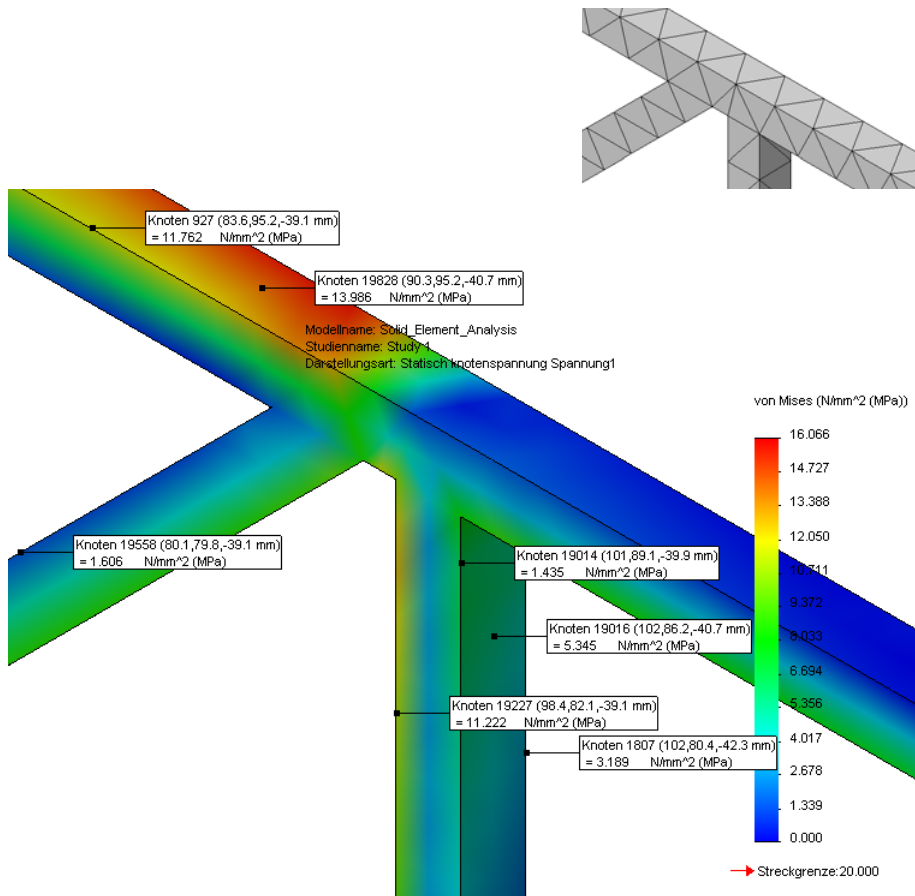


**17 Alle Dateien schließen.**

## Weiterführende Fragen

Mit einem Balkennetz kann ein Balkenmodell schnell und einfach analysiert und der Gesamtzustand des Tragwerks wiedergegeben werden. Mit Balkenelementen können jedoch keine Analyseergebnisse über die Dicke eines Balkens erzielt werden, da die Ergebnisse nur an den Knoten erzeugt werden, die an der Mittellinie des Balkens liegen.

Mithilfe der Volumenkörpervernetzung können dagegen Elemente und Knoten an allen Stellen des Modells generiert werden. Mit anderen Worten, es können auf diese Weise auch Knoten und Ergebnisse über die Dicke erzeugt werden.



Um diese Methode zu erkunden, öffnen Sie die Teiledati Solid\_Element\_Analysis und klicken dann auf **Simulation, Ausführen**. Die Ergebnisdarstellungen sind dann genau wie bei der Balkenanalyse angeordnet.

## **Lektion 9**

# **Erstellen eines physischen Modells und Testen der Tragwerkkonstruktion**

Nach dem Abschluss dieser Lektion werden Sie in der Lage sein,

- PDF-Dateien zu öffnen und zu drucken,
- die Stäbe auf die korrekte Länge zu kürzen,
- die Stäbe zu einem Tragwerk zusammenzubauen und
- das Tragwerk zu testen, indem eine Last aufgebracht wird.

## Physische Modellierung der Konstruktion

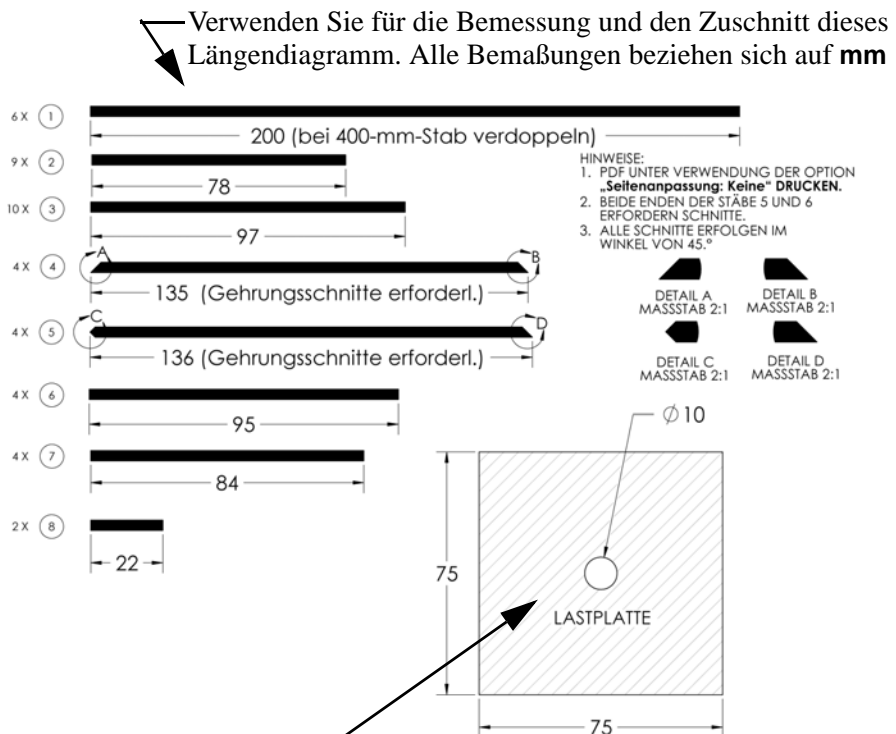
Für das physische Modellieren und Testen des Modells benötigen Sie Balsaholzstäbe mit einer Profilbreite von 1/8 Zoll (ca. 0,32 cm) und einer Länge von mindestens 400 mm. Klebstoff und ein Messer zum Zuschneiden sind ebenfalls erforderlich.

### Zuschneiden auf Länge

Für den Bau des Modells werden **43** Elemente mit **7** verschiedenen Längen benötigt. Es stehen 2 PDF-Dateien zur Verfügung, deren Inhalt für den Modellbau benutzt werden kann. Diese befinden sich in demselben Ordner wie diese Anleitungen.

#### 1 Öffnen und drucken Sie die PDF-Dateien.

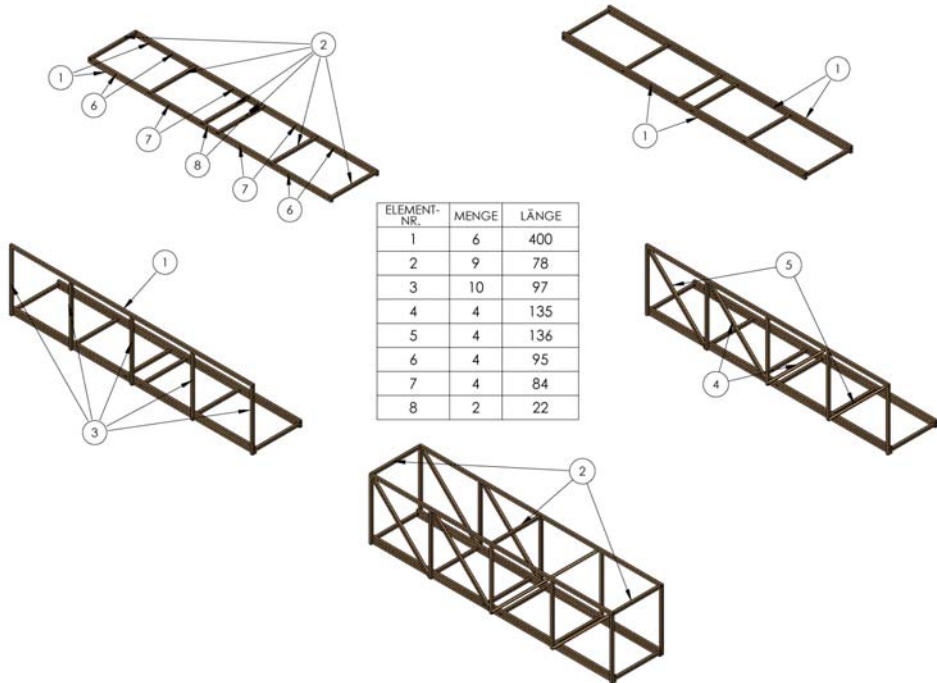
Navigieren Sie zu dem Ordner `_ENG` und öffnen und drucken Sie die Datei `Measuring Chart.PDF`. Beachten Sie dabei die entsprechenden Hinweise in der Datei und unten im Text.



Schneiden Sie diese Lastplatten -Form aus, um die Innenbreite der Konstruktion zu testen

**Hinweis:** Drucken Sie diese PDF-Datei unter Verwendung der Option **Seitenanpassung: Keine**, um genaue Maße zu erhalten!

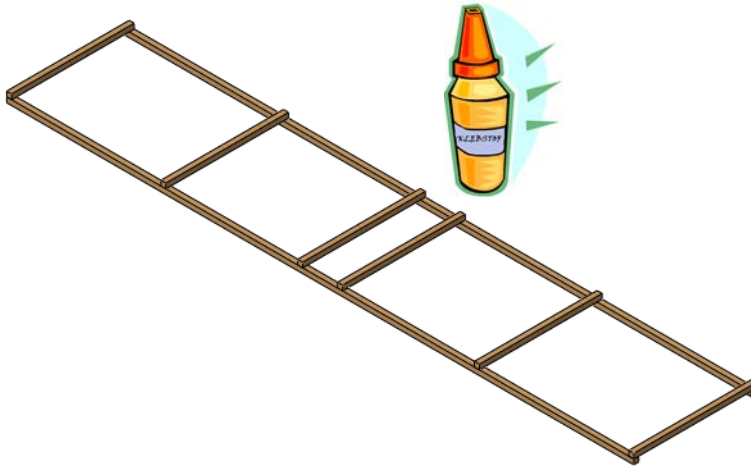
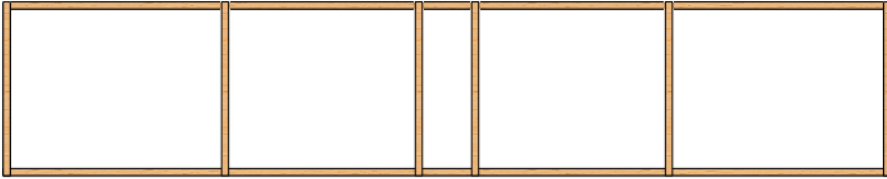
Öffnen und drucken Sie die Datei Construction Guide.PDF.





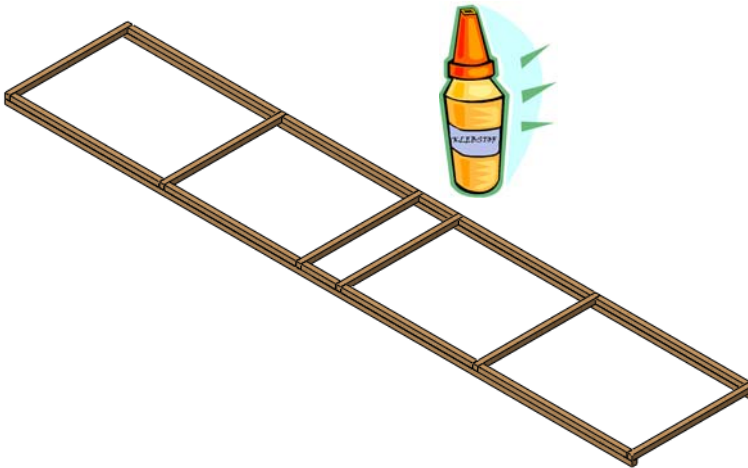
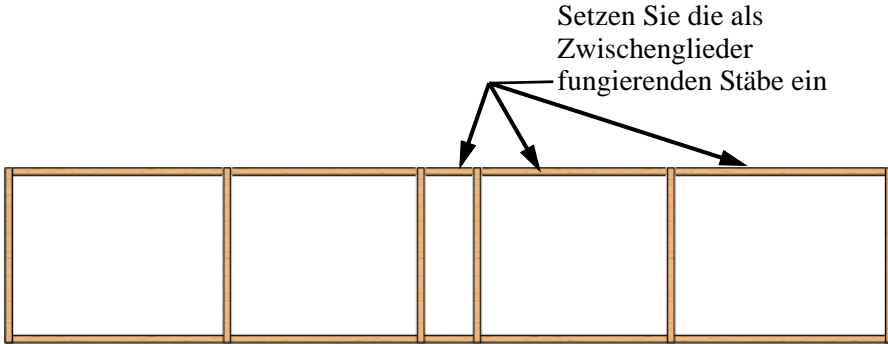
**2 Unteres Gerüst.**

Verkleben Sie die Endstreben mit den langen Stäben. Die inneren Querstreben sollten noch nicht geklebt werden.



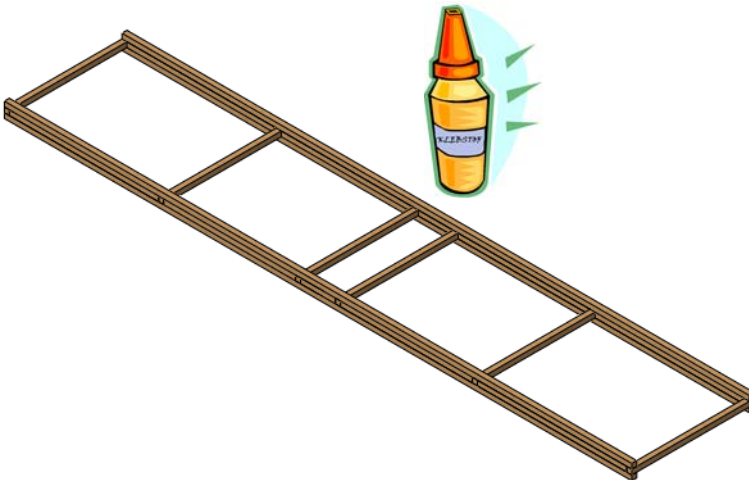
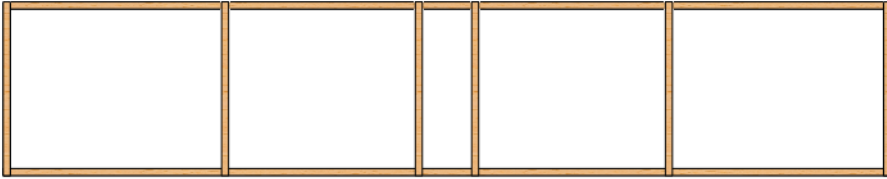
**3 Setzen Sie die Füllungsstäbe ein.**

Setzen Sie die Füllungsstäbe (schraffierter Bereich) ein, indem Sie sie passend zuschneiden und an der vorgesehenen Position platzieren. Verkleben Sie alle Stäbe.



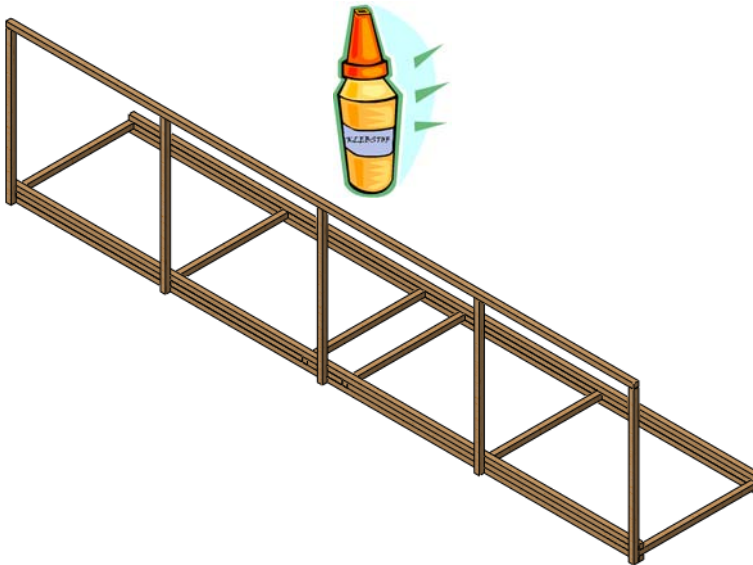
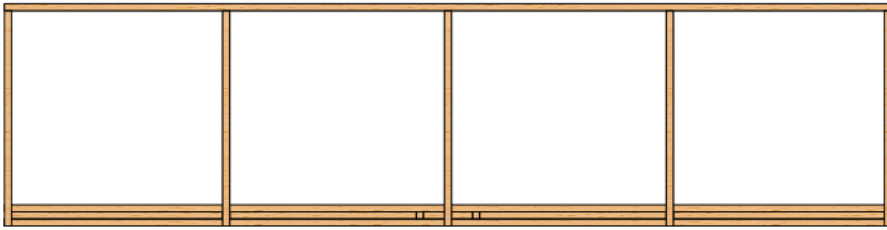
**4 Setzen Sie Außenschienen auf.**

Positionieren Sie die langen Stäbe, wie hier gezeigt, über den Füllungsstäben, Verkleben Sie alle Stäbe.



**5 Seitenwände.**

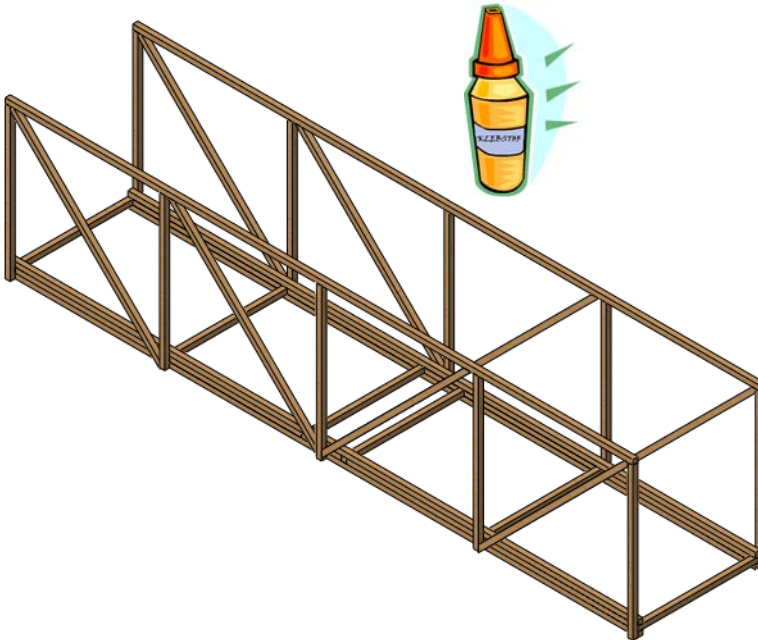
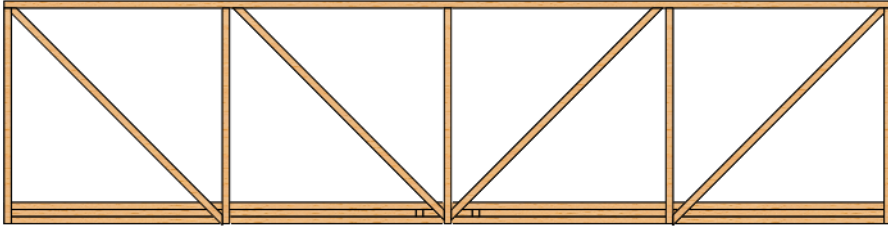
Verkleben Sie alle Stäbe.



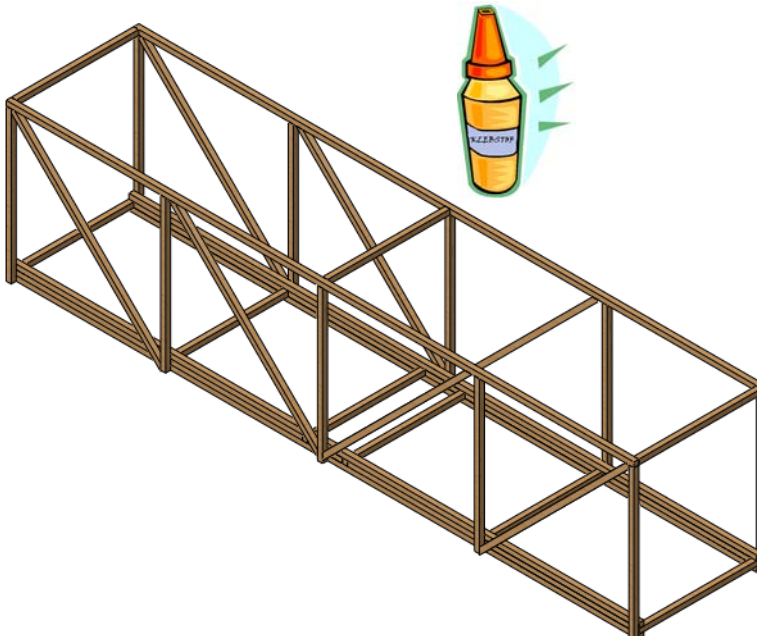
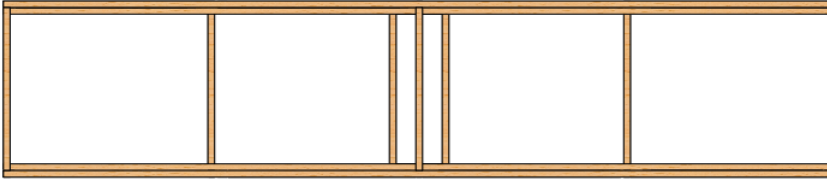
**Tip:** Möglicherweise möchten Sie zuerst eine Seitenwand erstellen und sie mit Querverstrebrungen versehen (siehe Schritt **6** auf Seite 103), bevor Sie mit der Arbeit an der gegenüber liegenden Seite beginnen.

**6 Querverstreibungen.**

Es muss ein Schnitt (45 Grad) an allen Stabelementen ausgeführt werden, damit sie in den Rahmen passen. Verkleben Sie alle Stäbe.



- 7 **Querstützen der Oberseite.**  
Verkleben Sie alle Stäbe.



## Testen der Konstruktion

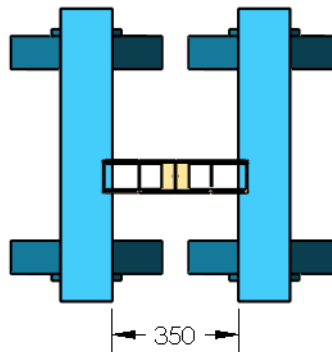
Die Konstruktion kann jetzt getestet werden, indem sie über einem freien Zwischenraum platziert und in der Mitte der Brücke mit einem Gewicht belastet wird. Nähere Informationen entnehmen Sie bitte den folgenden Anleitungen.

## Erzeugen der Spannweite

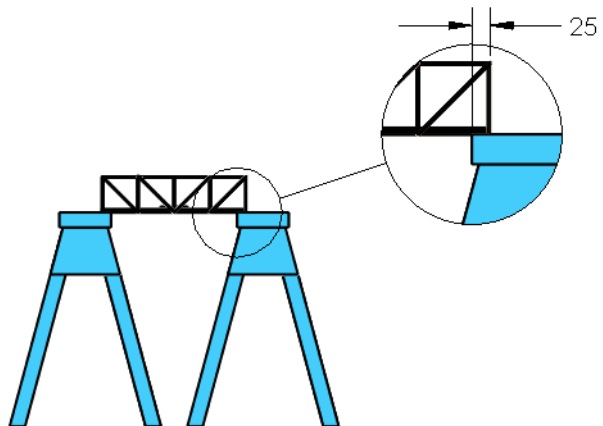
Ein Verfahren zum Erzeugen einer Spannweite besteht darin, zwei Sägeböcke, wie unten gezeigt, in einem bestimmten Abstand nebeneinander aufzustellen. Platzieren Sie das Modell so, dass es jeden Sägebock um eine Strecke überlagert, die derjenigen entspricht, die in der Analyseumgebung festgelegt wurde.

### Details

Verwenden Sie zwei tragfähige und gleich hohe Auflageflächen (gut geeignet sind beispielsweise Sägeböcke oder Tische), um die erforderliche Spannweite von **350 mm** zu erzeugen. Jedes Ende der Konstruktion sollte die Auflagefläche um **25 mm** überlappen.



**Tipp:** Stellen Sie sicher, dass die Tische oder Sägeböcke stark genug sind, um die Last ohne Verbiegen zu tragen.



## Anwenden der Last

Um die Festigkeit einer Tragkonstruktion zu messen, sollte sie in Übereinstimmung mit den modellierten Werten belastet werden.

### Verwenden gebräuchlicher Objekte mit bekanntem Gewicht

Zur Anwendung der Last eignen sich viele Objekte des täglichen Gebrauchs. Ein Beispiel sind Konservendosen verschiedener Größe und verschiedenen Gewichts. Münzen eignen sich ebenfalls, da sich mit ihrer Hilfe Lasten in sehr kleinen Inkrementen anwenden lassen. Als Beispiel soll im Folgenden ein Cent-Stück verwendet werden.

**1 Cent** als Last entspricht ungefähr der Anwendung einer Kraft von **0,0245 N** auf die Konstruktion. Das ist nicht sehr viel und liefert nicht einmal annähernd die Gesamtlast, die hier getestet werden soll. Ist es wirklich zumutbar, Hunderte oder sogar

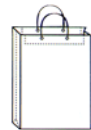


Tausende von Cent-Stücken für jeden Test zu zählen? Münzen lassen sich in großer Zahl zu Rollen formen, um sie bei einer Bank einzuzahlen. Cent-Stücke werden in Rollen zu je 50 Stück kombiniert. Berechnen Sie anhand einiger Beispielstückzahlen die Anzahl der Rollen, die Kosten und die damit erreichbaren Lasten.

Cent-Stücke	Last (N)	Cent-Rollen	Kosten (\$)
50	$50 \times 0,0245 = 1,225$	1	\$ 0,50
100	___ x 0,0245 = ____	____	____
500	___ x 0,0245 = ____	____	____
1000	___ x 0,0245 = ____	____	____
5000	___ x 0,0245 = ____	____	____

### Anbringen der Last

Hängen Sie eine Einkaufstasche oder einen stärkeren Behälter mit einem Tragegurt an der Lastplatte auf, indem Sie den Gurt durch das Loch in der Platte ziehen und mit einem Nagel oder Stift befestigen. Fügen Sie die gewünschte Last hinzu, indem Sie die Tasche langsam mit den Gewichten füllen.





# Glossar

<b>Begriff</b>	<b>Definition</b>
<b>Analyse</b>	Der Prozess, der das Verhalten einer Konstruktion modelliert, um herauszufinden, ob sie die externen Lasten tragen kann, für die sie entworfen wurde. Bei einer Analyse werden verschiedene Größen, wie zum Beispiel Verschiebungen, Spannungen und der Sicherheitsfaktor, berechnet.
<b>Balken</b>	Ein Balken ist ein Konstruktionselement mit einem konstanten Querschnitt. Bei Belastung zeigt ein Balken in der Regel ein Biegeverhalten.
<b>Baugruppe</b>	Eine Baugruppe bezeichnet ein Dokument, in dem Bauteile, Features und andere Baugruppen (Unterbaugruppen) zusammengefügt sind. Die verwendeten Bauteile und Unterbaugruppen sind getrennt von der Baugruppe in eigenen Dokumenten definiert. Die Namenserverweiterung für eine SolidWorks Baugruppendatei lautet *.sldasm.
<b>Baumstruktur des FeatureManagers</b>	Die linksseitig im SolidWorks Fenster angezeigte Baumstruktur des FeatureManagers stellt eine Übersicht über das aktive Objekt (Bauteil, Baugruppe oder Zeichnung) zur Verfügung.
<b>Bauteil</b>	Ein Bauteil ist einzelnes, aus verschiedenen Features zusammengesetztes 3D-Objekt. Ein Bauteil kann als eine Komponente in einer Baugruppe verwendet und in zweidimensionaler Form in einer Zeichnung dargestellt werden. Beispiele für Bauteile sind Bolzen, Stifte, Platten usw. Die Namenserverweiterung für eine SolidWorks Bauteildatei lautet *.sldprt.

<b>Begriff</b>	<b>Definition</b>
<b>Benannte Ansicht</b>	Eine benannte Ansicht ist eine spezielle Ansicht eines Bauteils oder einer Baugruppe (isometrisch, Draufsicht usw.) oder ein benutzerdefinierter Name für eine spezielle Ansicht. In der Ansichtsausrichtungsliste aufgeführte benannte Ansichten können in Zeichnungen eingefügt werden.
<b>Bewegungs-simulation</b>	Dynamische Darstellung eines Modells oder einer eDrawing-Datei. Bewegungssimulation oder Anzeige von verschiedenen Ansichten.
<b>Biegung</b>	Übliche Verformung eines längs zur Achse belasteten Balkens. Wird auch als Krümmung bezeichnet.
<b>Dokument</b>	Ein SolidWorks Dokument ist eine Datei, die ein Bauteil- oder Baugruppenmodell oder eine Zeichnung enthält.
<b>eDrawing</b>	Kompakte Darstellung eines Teils, einer Baugruppe oder Zeichnung. eDrawings sind kompakt genug, um per E-Mail versandt zu werden, und können für verschiedene CAD-Dateitypen, darunter SolidWorks und SolidWorks Daten, erstellt werden.
<b>Element</b>	Ein einfache Form, die ein kleines Stück des Modells repräsentiert. Die Summe aller Elemente bildet das Modell.
<b>Externe Last</b>	Eine von außen auf eine Konstruktion ausgeübte Kraft (bzw. der damit bewirkte Druck). Bei einer Fachwerkbrücke kann diese Kraft beispielsweise das Gewicht eines Zuges sein.
<b>Fachwerk</b>	Eine einfache Brückenkonstruktion, die üblicherweise für Eisenbahnüberführungen verwendet wird.
<b>Feature</b>	Ein Feature ist eine individuelle Form, die in Verbindung mit anderen Features ein Bauteil oder eine Baugruppe beschreibt. Features werden immer in der Baumstruktur des FeatureManagers aufgelistet.
<b>Festigkeit</b>	Die Festigkeit oder Steifigkeit eines Balkens hängt sowohl von der Form des Querschnitts (Flächenträgheitsmoment) als auch vom Material ab.

<b>Begriff</b>	<b>Definition</b>
<b>Fläche</b>	Eine Fläche ist ein auswählbarer Bereich (planarer oder anderer Art) eines Modells oder einer Oberfläche mit Rändern, der sich zur Festlegung der Form des Modells bzw. der Oberfläche eignet. Beispiel: Ein quaderförmiger Volumenkörper besitzt sechs Flächen.
<b>Fließgrenze</b>	Die auf den Spannungen in einem Balken basierende Grenze für die Festigkeit des Balkens.
<b>Grafikbereich</b>	Der Grafikbereich bezeichnet den Bereich im SolidWorks Fenster, in dem die grafische Darstellung eines Bauteils, einer Baugruppe oder einer Zeichnung zu sehen ist.
<b>Knoten</b>	Ein Punkt, mit dem Elemente verbunden und geformt werden.
<b>Komponente</b>	Als Komponente wird ein Bauteil oder eine Unterbaugruppe innerhalb einer Baugruppe bezeichnet.
<b>Linie</b>	Eine Linie ist ein gerades Skizzenelement mit zwei Endpunkten. Eine Linie kann durch Projektion eines äußeren Elements, beispielsweise einer Kante, Ebene, Achse oder Skizzenkurve, auf die Skizze erzeugt werden.
<b>Material</b>	Werkstoff, aus dem die Balken einer Konstruktion gefertigt sind. Ein echtes Tragwerk besteht in der Regel aus Stahl, kann aber auch aus Holz oder Beton gebaut sein. In dem hier behandelten Übungsprojekt wird Holz verwendet.
<b>Modell</b>	Als Modell wird die 3D-Volumenkörper-Geometrie in einem Bauteil- oder Baugruppendokument bezeichnet. Wenn ein Bauteil- oder Baugruppendokument mehrere Konfigurationen enthält, stellt jede Konfiguration ein separates Modell dar.
<b>Montagevorrichtung</b>	Mithilfe von Montagevorrichtungen wird die Beweglichkeit von Punkten im Modell eingeschränkt. Sie werden auch als Zwangsbedingungen oder Randbedingungen bezeichnet.

<b>Begriff</b>	<b>Definition</b>
<b>Newton</b>	Die Maßeinheit des internationalen Einheitensystems SI (m-kg-s) für Kraft. Eine Kraft von 1 Newton beschleunigt eine Masse von 1 Kilogramm um 1 Meter pro Sekunde. In herkömmlicher angelsächsischer (imperial) Terminologie entspricht 1 Newton ungefähr 0,225 Pounds of Force (lbf). Die Maßeinheit Newton ist nach Isaac Newton (1642-1727) benannt. Er war der erste Mensch, der klar die Beziehung zwischen Kraft (F), Masse (m) und Beschleunigung (a) verstand, wie sie in der Formel $F = ma$ zum Ausdruck kommt.
<b>Pascal</b>	Die Maßeinheit des internationalen Einheitensystems SI (m-kg-s) für Druck und Spannung. Pascal ist definiert als 1 Newton pro Quadratmeter. In herkömmlicher angelsächsischer (imperial) Terminologie entspricht 1 Newton ca. $145,04 \times 10^{-6}$ psi (Pounds per Square Inch = Pfund pro Quadratzoll). Da dies ein sehr kleiner Wert ist, werden oft die zugehörigen Einheiten MPa (Mega-Pascal) und kPa (Kilo-Pa) verwendet. Die Einheit wurde nach Blaise Pascal (1623-1662), einem bekannten Mathematiker und Physiker, benannt.
<b>Randbedingung</b>	Randbedingungen beschreiben die Teile eines Modells, die in der Analyse nicht bewegt werden können.
<b>Sicherheitsfaktor</b>	Ein bei der Analyse berechneter Wert, der bestimmt, ob eine Konstruktion fest genug ist, um den externen Lasten zu widerstehen, die auf sie angewendet werden.
<b>Simulations-Studienbaum</b>	Eine Baumstruktur ähnlich der des FeatureManagers, die die Features der Simulation enthält.
<b>Simulationsstudie</b>	Ein Ordner, in dem eine komplette Analyse einschließlich Materialien, Montagevorrichtungen, externen Lasten und Netz gespeichert wird.

<b>Begriff</b>	<b>Definition</b>
<b>Skizze</b>	Eine 2D-Skizze ist ein Ensemble von Linien und anderen 2D-Objekten auf einer Ebene oder Fläche, das als Basis für ein Feature (beispielsweise einen Sockel oder Aufsatz) dient. Eine 3D-Skizze ist nicht-planar und kann zum Beispiel als Führungsinstrument für Sweep- oder Loft-Vorgänge verwendet werden.
<b>SolidWorks Simulation</b>	Die in SolidWorks integrierte Software, mit der eine Konstruktionsanalyse ausgeführt wird.
<b>Spannung</b>	Spannung ist eine Größe, die als Kraft pro Flächeneinheit innerhalb einer Konstruktion bestimmt wird. Diese Kraft wird durch externe Lasten außerhalb der Konstruktion bewirkt. Übliche Maßeinheiten sind Pascal und Pfund pro Quadratzoll (Pounds per Square Inch, psi).
<b>Spannungsverteilung</b>	Eine Bauteildarstellung, bei der die im Bauteil auftretenden Spannungen anhand einer Farbkodierung angezeigt werden. Jede Farbe entspricht einem bestimmten Bereich von Spannungswerten.
<b>Stufen der Strukturanalyse</b>	Die verschiedenen Stufen einer allgemeinen Analyse, bestehend aus Vorverarbeitung (Vorbereitung), Analyse und Nachbearbeitung (Aufbereitung und Darstellung der Ergebnisse). Für die Analyse wird SolidWorks Simulation verwendet.
<b>Tragwerk</b>	Ein Ensemble von Balken, aus dem ein einzelnes Bauteil geformt wird. In SolidWorks wird dieser Typ von Bauteil als Schweißkonstruktion bezeichnet. Mehrere Stücke werden zu einem Teil verschweißt.
<b>Umgebung</b>	Die äußeren Faktoren, die das Verhalten einer Konstruktion beeinflussen. Zu diesen Faktoren zählen angewendete externe Lasten und Bedingungen, welche die Bewegung beschränken.
<b>Vernetzung</b>	Das Verfahren der Unterteilung des Modells in kleine Teile, die als Elemente bezeichnet werden.
<b>Verschiebung</b>	Die Lageveränderung eines Balkens relativ zur Ursprungsposition nach der Anwendung einer Last.

<b>Begriff</b>	<b>Definition</b>
<b>Zeichnung</b>	Eine Zeichnung ist eine zweidimensionale Darstellung eines dreidimensionalen Bauteil- oder Baugruppenmodells. Die Namenserweiterung für eine SolidWorks Zeichnungsdatei lautet *.slddrw.
<b>Zeichnungsblatt</b>	Ein Zeichnungsblatt ist eine Seite in einem Zeichnungsdokument.
<b>Zugspannung und Druckspannung</b>	Im Innern eines Balkens auftretende Kräfte, die durch Biegung verursacht werden.