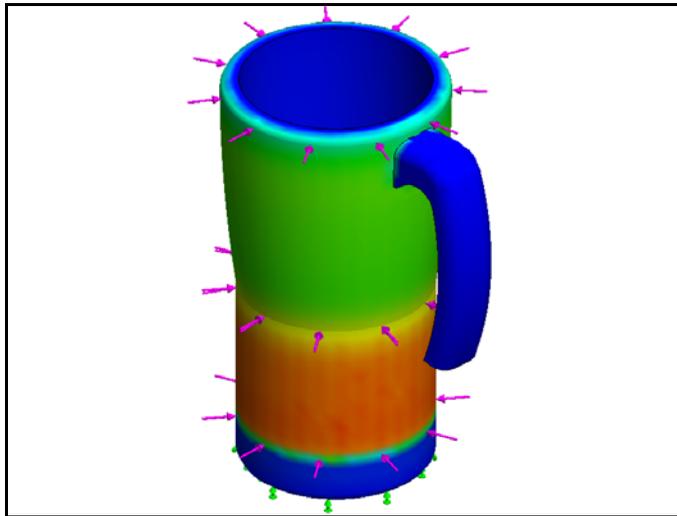


# **SolidWorks® Sustainability – Einführung in die Materialauswahl und nachhaltige Neukonstruktion**



Dassault Systèmes SolidWorks Corporation  
300 Baker Avenue  
Concord, Massachusetts 01742, USA  
Telefon: +1-800-693-9000

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

© 1995-2009, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, ein Unternehmen der Dassault Systèmes S.A.-Gruppe, 300 Baker Avenue, Concord, MA 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 mechanisch, 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 SolidWorks Corporation Lizenz- und Subskriptionsdienst-Vertrag festgelegt, und nichts, was in diesem Dokument aufgeführt oder durch dieses Dokument impliziert ist, darf als Modifizierung oder Änderung dieser Gewährleistungen betrachtet werden.

#### **Patenthinweise für SolidWorks Standard, Premium und Professional Produkte**

US-amerikanische Patente 5.815.154; 6.219.049; 6.219.055; 6.603.486; 6.611.725; 6.844.877; 6.898.560; 6.906.712; 7.079.990; 7.184.044; 7.477.262; 7.502.027; 7.558.705; 7.571.079, sowie Patente anderer Länder, (z. B. EP 1.116.190 und JP 3.517.643).

Weitere US-amerikanische Patente und Patente anderer Länder angemeldet.

#### **Warenzeichen und andere Vermerke für alle SolidWorks Produkte**

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, DWGeditor, PDMWorks, eDrawings und das eDrawings Logo sind eingetragene Marken und FeatureManager ist eine eingetragene Gemeinschaftsmarke von DS SolidWorks. SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation und SolidWorks 2010 sind Produktnamen von Dassault Systèmes SolidWorks. CircuitWorks, DWGgateway, DWGseries, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst und XchangeWorks sind Marken von DS SolidWorks. FeatureWorks ist eine eingetragene Marke von Geometric Ltd.

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 SolidWorks Standard, Premium und Professional Produkte**

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt von Siemens Product Lifecycle Management Software III (GB) Ltd., © 1990-2009.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt von Geometric Ltd., © 1998-2009.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt von mental images GmbH & Co. KG, © 1986-2009.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt von der Microsoft Corporation, © 1996-2009. Alle Rechte vorbehalten.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Tech Soft 3D, © 2000-2009.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch 3Dconnexion, © 1998-2009.

Die Software basiert zum Teil auf der Arbeit der Independent JPEG Group. Alle Rechte vorbehalten.

Teile dieser Software beinhalten PhysX™ von NVIDIA 2006 – 2009.

Teile dieser Software sind Eigentum der UGS Corp. und urheberrechtlich geschützt. © 2009.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt von Luxology, Inc., © 2001-2009. Alle Rechte vorbehalten, Patente angemeldet.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch DriveWorks Ltd., © 2007-2009

Urheberrechtlich geschützt von Adobe Systems Inc. und Lizenzgebern. © 1984-2009. 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 anderen Ländern.

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

Andere Teile von SolidWorks 2010 sind von DS SolidWorks Lizenzgebern lizenziert.

#### **Copyright-Vermerke für SolidWorks Simulation**

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

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

Teile dieses Produkts werden unter der Lizenz von DC Micro Development vertrieben. Copyright © 1994-2005 DC Micro Development, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

<b>1: Einführung und Materialauswahl .....</b>	<b>1</b>
Verwendung dieses Handbuchs .....	2
Was ist SolidWorks Software? .....	2
Voraussetzungen.....	2
In diesem Handbuch verwendete Konventionen .....	3
Sustainability-Optionen .....	4
Materialien .....	4
Fertigung (Teile) .....	5
Verarbeitung.....	5
Verwendung .....	5
Herstellung und Transport (Baugruppen).....	6
Herstellung (Baugruppen).....	6
Transport und Verwendung (Baugruppen) .....	6
Umweltverträglichkeit.....	6
Kohlenstoff-Fußabdruck.....	6
Energieverbrauch.....	7
Luftansäuerung .....	7
Überdüngung von Gewässern.....	7
Bericht .....	7
Bezug.....	8
Farbcodierung .....	8
Materialauswahl bei nachhaltiger Konstruktion.....	9
Lebensdauer eines Bechers .....	9
Umweltverträglichkeit.....	10
Umweltverträglichkeit verglichen mit Lebensdauer .....	11
<b>2: Sustainability und Simulation .....</b>	<b>13</b>
Verwendung von Simulation .....	14
Aktivierung der Simulation nebst Sustainability-Programm.....	15
Aktivierung von Simulation und Sustainability .....	15
Baugruppenverknüpfung .....	17
Neuverknüpfung der Metall-Außenseite.....	17
Isolierungsanalyse .....	19
Woraus besteht ein guter Wärmeschutz? .....	19
Kunststoff.....	20
Metall .....	20
Kunststoff und Metall .....	20
Statische Simulation .....	21
Statische Studie 1 .....	21
Statische Studie 2.....	25
Thermische Studie .....	30
Neuerstellung von Wand und Basis.....	34

## **SolidWorks**

### *Maschinenbaukonstruktions- und Technologie-Serie*

Neukonstruktion der Basis.....	35
Simulation und Neukonstruktion.....	36
Sustainability – Überblick .....	38
Schlussfolgerung.....	39

# **Lektion 1**

## **Einführung und Materialauswahl**

Nach Abschluss dieser Lektion können Sie:

- die Beziehung zwischen Sustainability und SolidWorks beschreiben
- die Hauptkomponenten der Zusatzanwendung „Sustainability“ identifizieren
- die Wichtigkeit von Materialauswahl und Umweltverträglichkeit erklären

## Verwendung dieses Handbuchs

Das Handbuch SolidWorks Sustainability – Einführung in die nachhaltige Konstruktion hilft Ihnen, die Grundlagen der Verwendung von Sustainability (Nachhaltigkeit) als integralen Bestandteil eines kreativen und iterativen Konstruktionsprozesses zu verstehen.

Bei diesem Projekt lernen Sie auf experimentelle Weise, während Sie eine strukturelle Analyse ausführen.

## Was ist SolidWorks Software?

SolidWorks ist eine Software für die Konstruktionsautomatisierung. In SolidWorks können Sie Ideen skizzieren und mit verschiedenen Konstruktionsentwürfen experimentieren, um 3D-Modelle zu erstellen, und zwar unter Verwendung der leicht zu erlernenden grafischen Windows®-Benutzeroberfläche.

SolidWorks wird von Studenten, Konstrukteuren, Ingenieuren und anderen Fachleuten dazu verwendet, einzelne sowie auch komplexe Teile, Baugruppen und Zeichnungen zu erstellen.

## Voraussetzungen

Bevor Sie mit SolidWorks Sustainability – Einführung in die nachhaltige Konstruktion beginnen, sollten Sie folgende Online-Lehrbücher durcharbeiten, die in die SolidWorks-Software integriert sind:

- Lektion 1 – Teilesatz 1
- Lektion 2 – Baugruppensatz 1
- Nachhaltige Konstruktion – Satz 2
- Simulation – Statische Analyse
- Simulation – Thermische Analyse

Auf die Online-Lehrbücher kann durch Klicken auf **Hilfe, SolidWorks-Lehrbücher, Alle SolidWorks-Lehrbücher (Satz 1)** und auf die Simulations-Lehrbücher durch Klicken auf **Hilfe, SolidWorks-Simulation, Lehrbücher** zugegriffen werden. Das Online-Lehrbuch verkleinert das SolidWorks-Fenster, so dass das Buch gleich daneben durchgearbeitet werden kann.

Alternativ können Sie aber auch die folgende Lektionen aus dem Lehrbuch *An Introduction to Engineering Design With SolidWorks (Einführung in die Konstruktion mit SolidWorks)* durcharbeiten:

- Lektion 1: Verwendung der Benutzeroberfläche
- Lektion 2: Grundlegende Funktionen
- Lektion 3: 40-Minuten-Schnellstart
- Lektion 4: Grundlagen von Baugruppen
- Lektion 6: Grundlagen des Zeichnens

## In diesem Handbuch verwendete Konventionen

In diesem Handbuch werden folgende typografischen Konventionen verwendet:

Konvention	Bedeutung
<b>Fett Sans Serif</b>	SolidWorks-Befehle und -Optionen werden in dieser Schrift dargestellt. <b>Einfügen, Aufsatz</b> bedeutet beispielsweise, dass im Menü <b>Einfügen</b> die Option <b>Aufsatz</b> auszuwählen ist.
Maschinenschrift	Feature-Namen und Dateinamen werden in dieser Schriftart dargestellt. Beispiel: Skizze1.
<b>(17) Diesen Schritt ausführen</b>	In diesen Lektionen sind die verschiedenen Schritte in Fett Sans Serif nummeriert.

## Sustainability-Optionen

Hier wird die Sustainability-Benutzeroberfläche behandelt und die verschiedenen Menüs. Auch werden die unterschiedlichen Begriffe definiert, die in der SolidWorks-Zusatzanwendung „Sustainability“ Verwendung finden. Bei den vier Menüs handelt es sich um **Material, Fertigung, Transport und Verwendung** und **Umweltverträglichkeit**.

Sie beginnen mit SustainabilityXpress.

### 1 Sustainability starten.

Klicken Sie auf **Extras, Zusatzanwendungen, Sustainability aktivieren**.

**Anmerkung:** Um die Zusatzanwendung „Sustainability“ anzeigen zu können, muss ein Teil oder eine Baugruppe geöffnet sein. Beim ersten Öffnen der Zusatzanwendung sollten nur die Regionen zu sehen sein.

## Materialien

Durch diese Option können verschiedene Materialien für ein bestimmtes Teil über die Dropdown-Menüs ausgewählt werden. Auch kann über die Option **Ähnliches suchen** nach alternativen Materialien gesucht werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, dem Teil ein von Ihnen gewünschtes Material zuzuweisen.



## Fertigung (Teile)

Der Abschnitt **Fertigung** enthält die Optionen **Verarbeitung** und **Verwendung**, um die verschiedenen Standorte in der Welt zu definieren.

### Verarbeitung

Bei Auswahl dieser Option ist das Dropdown-Menü **Verarbeitung** vorhanden, in dem der Anwender die verschiedenen Verarbeitungsmethoden zur Fertigung des Teils auswählen kann. Auch ist eine Weltkarte zu sehen. Auf dieser Karte kann der Anwender angeben, wo das Teil hergestellt wird. Es kann Nordamerika, Europa, Asien oder Japan ausgewählt werden.



### Verwendung

In diesem Menü wird die zweite Weltkarte verwendet. Auf dieser Karte kann ausgewählt werden, wohin das Produkt nach der Fertigung transportiert werden soll. Je weiter der Hersteller vom Anwender entfernt ist, desto weniger umweltfreundlich ist das Verfahren.



**Anmerkung:** Alle Herstellungs- und Verwendungsregionen sind hier die gleichen.

## Herstellung und Transport (Baugruppen)

Bei Baugruppen sieht die Benutzeroberfläche in Sustainability etwas anders aus.

### Herstellung (Baugruppen)

Der einzige Unterschied im Vergleich zum Herstellungsmenü eines Teils ist, dass kein Dropdown-Menü für „Verarbeitung“ vorhanden ist. Der Anwender kann bei Baugruppen nur die Herstellungsregion auswählen.



### Transport und Verwendung (Baugruppen)

In diesem Menü kann der Anwender die Primäre Transportart (Bahn, Lkw, Schiff oder Flugzeug) auswählen. Auch ist der Anwender in der Lage, die Energieart zu wählen, die während der Lebensdauer des Produkts verwendet werden soll. Genau wie im Menü „Verwendung“ für Teile ist dem Anwender auch hier möglich, die Region zu wählen, in der das Produkt Verwendung finden soll.



## Umweltverträglichkeit

In diesem Bereich geht es um vier Quantitäten: **Kohlendioxid-Fußabdruck**, **Gesamtenergie**, **Luftansäuerung** und **Überdüngung von Gewässern**. Jedes Diagramm gibt dem Anwender eine grafische Aufschlüsselung von **Materialauswirkung**, **Transport und Verwendung**, **Herstellung** und **Ende der Lebensdauer**.

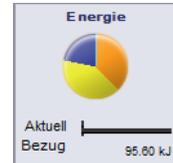
### Kohlenstoff-Fußabdruck

Ein Messwert für Kohlendioxid- und andere Treibhausgas-Emissionen wie Methan (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenteinheiten, CO<sub>2</sub>e), die zu sauren Emissionen in die Luft beitragen, besonders durch Verbrennung fossiler Brennstoffe. Das Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) wird ebenfalls oft als Kohlenstoff-Fußabdruck bezeichnet.



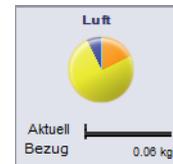
## Energieverbrauch

Ein Messwert für nicht erneuerbare Energiequellen, die mit dem Lebenszyklus des Teils in Megajoule-Einheiten (MJ) assoziiert sind. Dieser Umwelteinfluss umfasst nicht nur die Elektrizität oder Brennstoffe, die während des Lebenszyklus des Produkts aufgewendet werden, sondern auch die Upstream-Energie, die für die Gewinnung und die Verarbeitung dieser Brennstoffe erforderlich ist, sowie die inkorporierte Energie von Materialien, die beim Verbrennen freigesetzt würde. Der Gesamtenergieverbrauch wird als Nettobrennwert oder Energiebedarf von nicht erneuerbaren Ressourcen (z. B. Erdöl, Erdgas usw.) ausgedrückt. Wirkungsgrade bei der Energieumwandlung (z. B. Strom, Wärme, Dampf etc.) werden ebenfalls berücksichtigt.



## Luftansäuerung

Schwefeldioxid, Stickoxide und andere saure Emissionen in die Luft erhöhen den Säuregehalt des Regenwassers, was zu einer Versauerung von Seen und des Bodens führt. Diese Säuren können den Boden und das Wasser für Pflanzen und Lebensformen im Wasser toxisch machen. Saurer Regen kann auch vom Menschen erzeugte Baumaterialien wie Beton langsam auflösen. Diese Umweltbeeinflussung wird normalerweise in Einheiten von kg der Schwefeldioxid-Äquivalenz (SO<sub>2</sub>e) oder der mol H<sup>+</sup>-Äquivalenz gemessen.



## Überdüngung von Gewässern

Wenn zu viele Nährstoffe in ein Wasserökosystem gelangen, kommt es zu Überdüngung. Stickstoff und Phosphor von Abwässern und landwirtschaftlichen Düngern führen zu verstärktem Algenwachstum, der dem Wasser Sauerstoff entzieht, was wiederum zum Absterben der Flora und Fauna führt. Diese Umweltbeeinflussung wird normalerweise in Einheiten von kg des Phosphat-Äquivalents (PO<sub>4</sub>e) oder in kg des Stickstoff (N)-Äquivalents gemessen.



## Bericht

Ganz unten in SustainabilityXpress werden die Schaltflächen **Bericht erstellen**  und **E-Mail-Bericht** angezeigt. Durch Klicken auf „Bericht erstellen“ wird durch SolidWorks automatisch ein Word-Dokument über die aktuelle Analyse erstellt. Dabei kann es sich um eine Analyse eines bestimmten Materialtyps und seine Umweltverträglichkeit oder einen Vergleich von zwei verschiedenen Materialtypen handeln. Durch den E-Mail-Bericht wird Microsoft Outlook für den Anwender geöffnet, damit das Word-Dokument an eine E-Mail-Adresse geschickt werden kann.

## Bezug

Rechts von den Berichtsschaltflächen befinden sich die Schaltflächen **Bezug festlegen**  und **Bezug importieren**. Durch Klicken auf „Bezug festlegen“ legt SustainabilityXpress automatisch den neuesten Materialtyp als den Typ fest, mit dem jedes andere Material verglichen werden soll. Andernfalls werden durch SustainabilityXpress beim Klicken auf andere Materialien diese automatisch miteinander verglichen und die Umweltverträglichkeit dann dynamisch neu berechnet. Falls kein Unterschied zwischen der aktuellen und den vorherigen Einstellungen und Materialien besteht, wird die Umweltverträglichkeit für alle automatisch in Grün angezeigt. Der Anwender kann dann durch Klicken auf „Bezug importieren“ einen gespeicherten SustainabilityXpress-Bezug aus einem anderen Teil importieren.

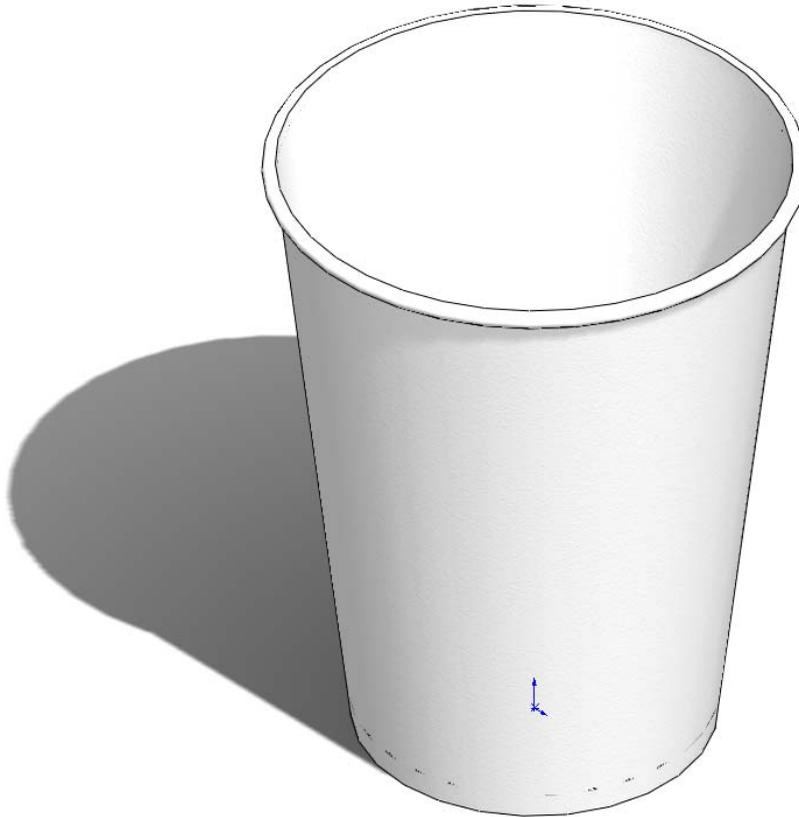
## Farbcodierung

Bei Klicken auf „Bezug“ werden die Umweltverträglichkeiten farbig angezeigt, um jeweils den entsprechenden Materialstatus anzuzeigen.

- *Schwarz* stellt das Bezugsmaterial dar.
- *Grün* weist darauf hin, dass das aktuelle Material umweltfreundlicher als das Bezugsmaterial ist.
- *Rot* zeigt an, dass das aktuelle Material weniger umweltfreundlich als das Bezugsmaterial ist.

## Materialauswahl bei nachhaltiger Konstruktion

Hier wird entschieden, welches Material das richtige ist, und zwar auf Basis seiner lebenslangen Umweltverträglichkeit. In diesem Beispiel geht es um die Analyse eines Bechers.



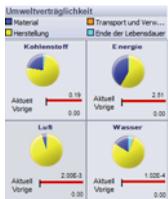
### Lebensdauer eines Bechers

Die Lebensdauer eines Produkts wird erheblich durch das verwendete Material beeinflusst. Ein Becher könnte beispielsweise aus Papier, Kunststoff oder Metall hergestellt sein. Das Material bestimmt, wie oft der Becher benutzt werden kann. Wenn dieser Becher beispielsweise aus Papier hergestellt wäre (wir verwenden jedoch Kiefer, da in SolidWorks Sustainability kein Papiermaterial ausgewählt werden kann), könnte er nur einmal benutzt werden. Ein Becher aus Kunststoff kann dagegen zehnmal und ein Becher aus Metall sogar tausendmal verwendet werden.

## Umweltverträglichkeit

Für das einfache SolidWorks-Bechermodell haben wir drei verschiedene Konfigurationen erstellt, d. h. je eine Konfiguration für die verschiedenen Materialtypen. Wir haben bereits das Sustainability-Programm aktiviert und haben für „Herstellung und Transport“ sowie „Verwendung“ für alle drei Konfigurationen dieselben Kontinente angegeben.

Daraus ergeben sich folgende Umweltverträglichkeiten für die verschiedenen Materialien:

<p><b>Papier (Kiefer)</b></p>	
<p><b>Kunststoff (ABS)</b></p>	
<p><b>Metall (rostfreier Chromstahl)</b></p>	

Wir verwenden „Gesamtenergie“ als Bezug, um herauszufinden, welches Material während seiner Lebensdauer das nachhaltigste ist. Daraus ergeben sich folgende Resultate:

**Papier:** 8,30E-3 MJ

**Kunststoff:** 2,51 MJ

**Metall:** 2,98 MJ

## 2 Sustainability-Rechner.

Es muss jetzt festgestellt werden, welches Material auf Basis seiner Lebensdauer am umweltfreundlichsten ist. Durch den **Sustainability-Rechner** werden die festgestellten Umweltverträglichkeitswerte (CO<sub>2</sub>, MJ, SO<sub>2</sub>, and PO<sub>4</sub>) neu berechnet, so dass sie einfacher zu verstehen sind (Beispiel: Automeilen oder Fernsehstunden).

Zuerst müssen Sie den Sustainability-Rechner öffnen.

## 3 Gehen Sie zu.

[www.solidworks.com/sustainability/products/calculator/index.htm](http://www.solidworks.com/sustainability/products/calculator/index.htm).



## 4 Klicken Sie auf „Energy Consumption“ (Energieverbrauch).



## 5 Klicken Sie auf „Hours of watching TV“ (Fernsehstunden).



## Umweltverträglichkeit verglichen mit Lebensdauer

Hier wird erörtert, ob die Lebensdauer des Materials wichtiger als seine Umweltverträglichkeit ist.

Mithilfe des Sustainability-Rechners verwenden wir die aus SolidWorks Sustainability erhaltenen Energiewerte und berechnen, welches Material auf Basis seiner Lebensdauer am umweltfreundlichsten ist.

Zu diesem Zweck müssen wir die bereits weiter oben erörterten Lebensdauerwerte verwenden. Uns interessiert hierbei nicht, wie oft jeder Becher benutzt werden kann, sondern wie viele Becher hergestellt werden müssen, um der Verwendungsfähigkeit eines Metallbechers zu entsprechen. Daraus ergibt sich, dass 1.000 Papierbecher und 10 Kunststoffbecher hergestellt werden müssen, um einem Metallbecher zu entsprechen.

**1 Sustainability-Rechner.**

Gehen Sie zurück zum Sustainability-Rechner und suchen Sie nach dem Feld „Aktuelle Konstruktion“.

**2 Werte eingeben.**

Geben Sie die Zahlen für „Werte“ und „Mengen“ ein und klicken Sie dann auf „Berechnen“.

**Anmerkung:** Sie können nur jeweils einen Wertsatz eingeben. Es wäre daher einfacher, drei separate Fenster zu öffnen und die Ergebnisse zu vergleichen.

Name: **Papier**

Wert: 8,30E-3

Menge: 1.000

CURRENT DESIGN	
NAME:	Paper
VALUE:	8.3E-3 MJ
QUANTITY:	1000

Name: **Kunststoff**

Wert: 2,51

Menge: 10

CURRENT DESIGN	
NAME:	Plastic
VALUE:	2.51 MJ
QUANTITY:	10

Name: **Metall**

Wert: 2,98

Menge: 1

CURRENT DESIGN	
NAME:	Metal
VALUE:	2.98 MJ
QUANTITY:	1

Der Sustainability-Rechner berechnet dann, wie viele Stunden vor dem Fernschirmschirm mit der Herstellung dieser Becher gleichzusetzen ist. Sie sollten folgendes Ergebnis erhalten:

**Papier:** 2 Stunden

**Kunststoff:** 6 Stunden

**Metall:** 1 Stunde

**3 Entscheidung über das Material**

Es sollte möglichst das aus dem Vergleich hervorgehende umweltfreundlichste Material gewählt werden. In diesem Fall wäre das der Metallbecher. Dieser Becher kann am häufigsten verwendet werden. Auch ist er im Vergleich zum Papier- und Kunststoffbecher der umweltfreundlichste in Bezug auf Energieverbrauch.

## **Lektion 2**

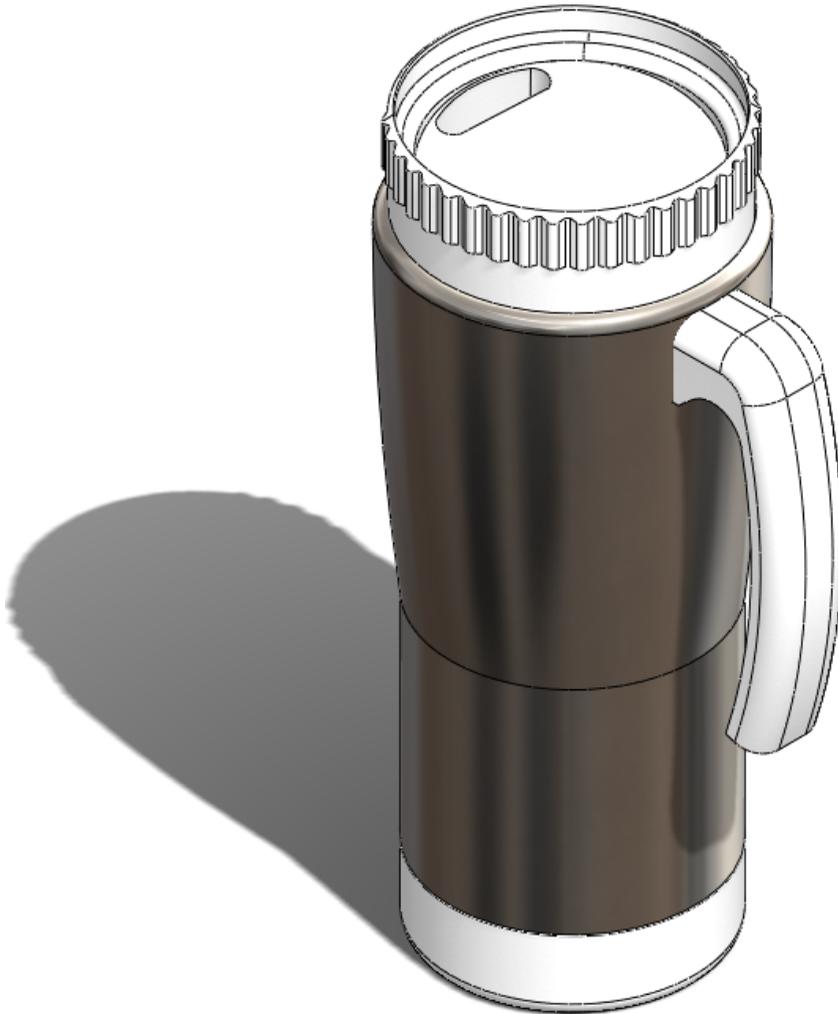
# **Sustainability und Simulation**

Nach Abschluss dieser Lektion können Sie:

- die Zusatzanwendung „Simulation“ verwenden
- das Programm „Sustainability“ aktivieren
- verschiedene Teile in einer Baugruppe verknüpfen
- statische Studien erstellen
- eine thermische Studie erstellen
- einzelne Teile bearbeiten
- die Sustainability (Nachhaltigkeit) während der gesamten Neukonstruktion evaluieren

## Verwendung von Simulation

Durch SolidWorks Simulation können Produkte vor der Konstruktion bereits auf Defekte überprüft werden, wodurch Fehler zu Beginn des Konstruktionsprozesses vermieden werden. Die Simulation ist leistungsstark genug für FEA-Analysen und auch einfach genug für Produktkonstrukteure. Durch SolidWorks Simulation können Ihre Konstruktionen äußerst leistungsstark gemacht und sehr kostensparend hergestellt werden.



## Aktivierung der Simulation nebst Sustainability-Programm

In diesem Abschnitt wird gezeigt, wie SolidWorks Simulation und SolidWorks Sustainability aktiviert werden können.

### Aktivierung von Simulation und Sustainability

#### 1 Baugruppe öffnen.

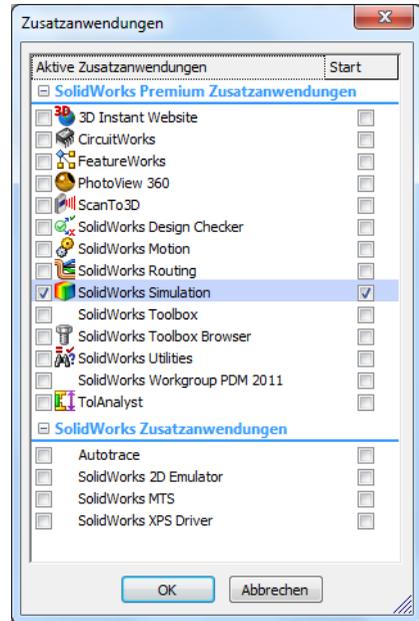
Öffnen Sie die Baugruppe Becher.

#### 2 Zusatzanwendung aktivieren.

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

Aktivieren Sie beide Kontrollkästchen für  
**SolidWorks Simulation** (wie gezeigt).

**Anmerkung:** Durch Aktivierung des  
Kontrollkästchens rechts von  
SolidWorks Simulation wird dieses  
Programm bei jedem Öffnen von  
SolidWorks automatisch aktiviert.



#### 3 Sustainability öffnen.

Klicken Sie oben links im Bildschirm  
auf die Registerkarte **Evaluieren**.

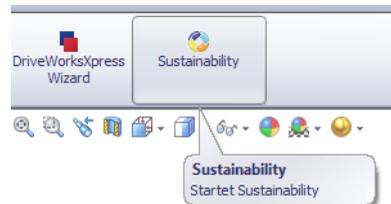
Wählen Sie das Symbol **Sustainability**.

Es wird daraufhin ein  
**Lebenszyklusbewertungs (LCA)**-Fenster  
angezeigt. Klicken Sie auf **Fortsetzen**.

#### 4 Sustainability andocken.

Klicken Sie in der oberen rechten Ecke auf die Nadel, so dass diese wie  aussieht.

Dadurch wird das Sustainability-Task-Fenster angedockt, das dann stets auf dem  
Bildschirm zu sehen ist.



## 5 Nachhaltigkeit der ursprüngliche Konstruktion.

Sobald das Sustainability-Programm geöffnet ist, wird automatisch die Umweltverträglichkeit der Baugruppe berechnet.

**Anmerkung:** Falls Teile der Baugruppe keine zugewiesenen Materialien haben, wird der Anwender durch Sustainability aufgefordert, ein Material für das Teil auszuwählen oder das Teil beim Berechnen der Umweltverträglichkeiten auszuschließen.

Wählen Sie im Sustainability-Menü unter Transport und Verwendung die Option

**Schiff**  als Primäre Transportart.

Lassen Sie die Energieart auf „Keine“ eingestellt.

**Anmerkung:** Nach jeder im Sustainability-Menü vorgenommenen Änderung werden die Umweltverträglichkeiten automatisch aktualisiert.

## 6 Bezug.

Klicken Sie auf **Bezug festlegen** .

Durch Festlegen des Bezugs werden bei jeder Änderung der Baugruppe und/oder des Sustainability-Menüs die Umweltverträglichkeiten automatisch entsprechend aktualisiert und die neuen Verträglichkeiten mit dem festgelegten Bezug verglichen.

## Baugruppenverknüpfung

Hier werden Boden und Metall-Außenseite mit den anderen Becherkomponenten verknüpft.

### Neuverknüpfung der Metall-Außenseite

#### 1 Gehäuse unterdrücken.

Bevor Sie mit der Neuverknüpfung beginnen, müssen Sie das Gehäuse unterdrücken. Bei dieser Neukonstruktion ist kein Gehäuse zu ändern.



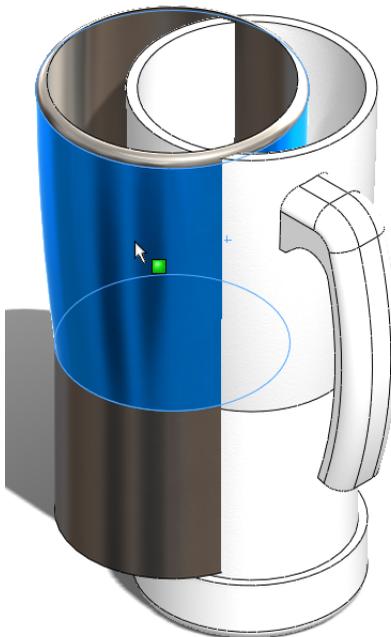
Klicken Sie im FeatureManager mit der rechten Maustaste auf **Gehäuse**.

Wählen Sie **Unterdrücken**.

**Anmerkung:** Durch Unterdrückung des Teils wird dieses vollkommen aus der Baugruppe entfernt. Wird in solchem Fall eine Simulation ausgeführt, wird das Gehäuse nicht in die Vernetzung mit einbezogen und bei Ausführung von Sustainability wird das Gehäuse auch nicht bei der Umweltverträglichkeit mit berücksichtigt.

#### 2 Metall-Außenseite verschieben.

Klicken Sie auf **Metall-Außenseite** und ziehen Sie diese wie gezeigt etwas nach links.



**Anmerkung:** Durch das Ziehen nach links ist es einfacher, die auszuwählenden Verknüpfungen zu erkennen.

### 3 Metall-Außenseite und Kunststoff-Innenseite verknüpfen.

Wählen Sie oben links im Bildschirm die Registerkarte **Baugruppe**.  
**Baugruppe.**

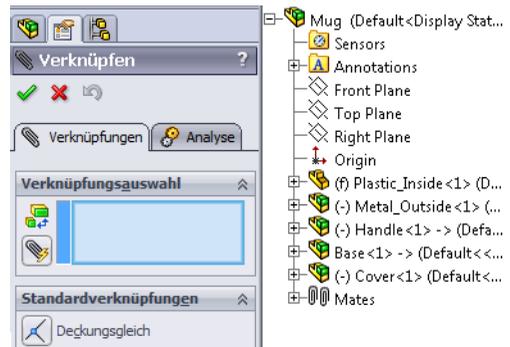
Baugruppe Layout Skizze

Klicken Sie auf **Verknüpfung**.

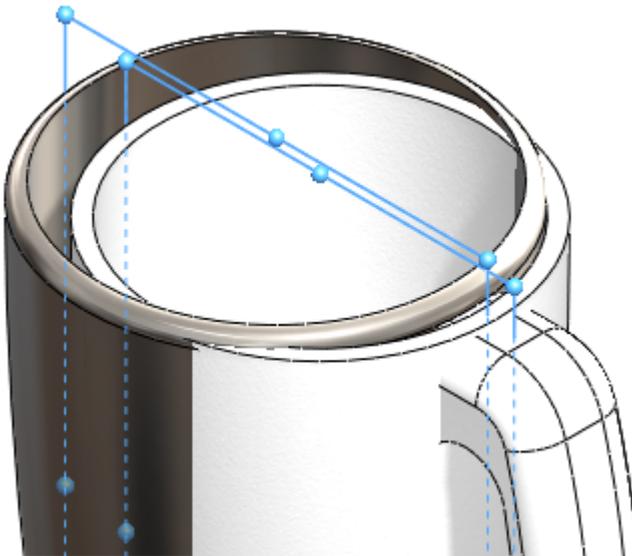
Klappen Sie den **FeatureManager** auf.

Klappen Sie dann die **Kunststoff-Innenseite** und die **Metall-Außenseite** auf.

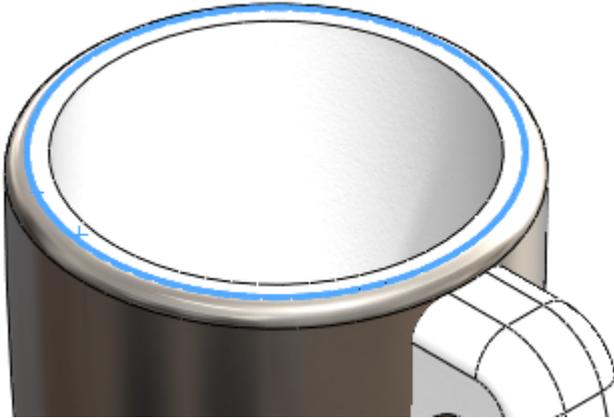
Klicken Sie auf **Ebene vorne**, und zwar sowohl bei der **Kunststoff-Innenseite** als auch bei der **Metall-Außenseite**.



Klicken Sie in der daraufhin erscheinenden Symbolleiste auf .



Wählen Sie den **äußeren Kreis** der Kunststoff-Innenseite und den **inneren Kreis** der Metall-Außenseite.



Klicken Sie in der daraufhin zu sehenden Symbolleiste auf .

Sie haben jetzt die **Metall-Außenseite** erfolgreich mit der **Kunststoff-Innenseite** verknüpft.

Klicken Sie auf **Speichern**.

## Isolierungsanalyse

Hier wird erklärt, warum wir eine Kunststoff-Innenseite und eine Metall-Außenseite verwenden.

### Woraus besteht ein guter Wärmeschutz?

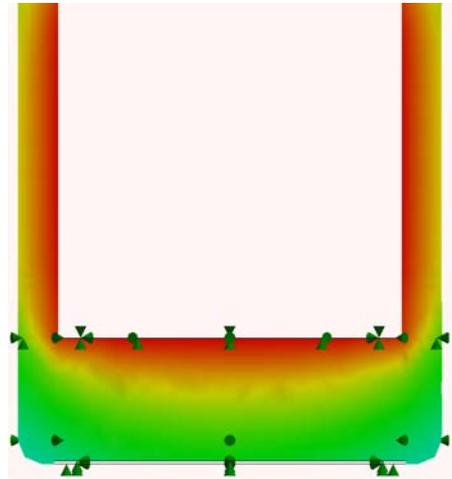
Der Ausdruck „Wärmeschutz“ kann sich auf Materialien beziehen, die die Wärmeübertragung hemmen, oder auch auf Methoden und Vorgänge, die eine ähnliche Wirkung haben. Wärmeenergie kann durch Wärmeleitung, Konvektion, Strahlung oder Bewegung von Material von einer Stelle zur anderen übertragen werden. Wärmeschutz ist eine Methode, um die Wärme daran zu hindern, aus einem Behälter zu entweichen oder in einen Behälter einzudringen. Es wird Isoliermaterial verwendet, um die Übertragung von Wärmeenergie so gering wie möglich zu halten. Beim Wärmeschutz für Wohnhäuser wird durch den R-Wert angegeben, wie gut dieses Isoliermaterial die Wärme dämmt. Der Wärmefluss kann durch verschiedene Mechanismen reduziert werden, und die Wirksamkeit hängt jeweils von den physikalischen Eigenschaften des dazu verwendeten Materials ab.

## Kunststoff

Kunststoff ist ein guter Wärmedämmer. Wie gezeigt, wird durch Kunststoff die Wärmeübertragung erheblich reduziert.

Auch ist Kunststoff erheblich umweltfreundlicher als Metall.

**Anmerkung:** In diesem Lehrbuch wird nicht davon ausgegangen, dass dieses Teil wieder verwertet wird. Unsere Neukonstruktion basiert auf den in SolidWorks berechneten Umweltverträglichkeiten.



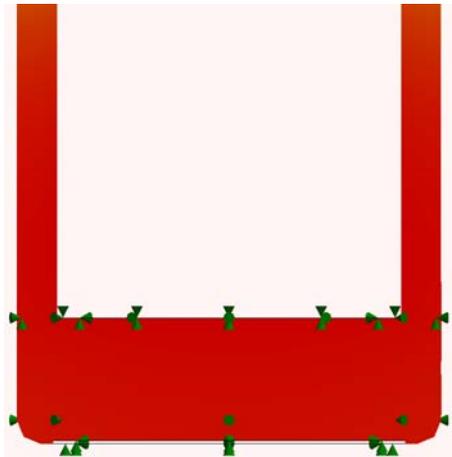
## Metall

Metall hat einige dem Kunststoff entgegengesetzte Eigenschaften, Wärme wird beispielsweise (wie gezeigt) durch Metall fast ungehindert übertragen.

Auch ist Metall gemäß der in SolidWorks berechneten Umweltverträglichkeit nicht besonders umweltfreundlich.

Da Metall jedoch ein guter Wärmeleiter ist, kann Wärme dadurch fast ungehindert übertragen werden.

Ferner ist Metall kostengünstiger als stabiler Kunststoff (wie z. B. ABS) und hat auch eine attraktivere Oberflächenbeschaffenheit.



## Kunststoff und Metall

Der Becher besteht aus einer äußeren und einer inneren Schicht. Da Kunststoff solch ein guter Wärmedämmer ist, wird daraus die innere Schicht des Bechers und auch der Henkel gefertigt. Durch den Kunststoff wird die Wärme im Becher gehalten und die geringe Wärme, die den Kunststoff durchdringt, wird schnell im ganzen Metall verteilt, da Metall ein guter Wärmeleiter ist.

## Statische Simulation

Dies ist der Beginn der Neukonstruktion. Sie müssen zwei separate statische Simulationen ausführen. Eine für die Außenwände der **Metall-Außen**seite und die andere für den **Henkel**.

### Statische Studie 1

#### 1 Studie erstellen.

Klicken Sie auf die Registerkarte **Simulation**.

Wählen Sie den Nach-unten-Pfeil unter **Studien-Berater**.

Wählen Sie **Neue Studie**.

Geben Sie der Analyse den Namen **Kraft 1**.

Wählen Sie unter „Typ“ die Option „Statisch“ und klicken Sie dann auf .

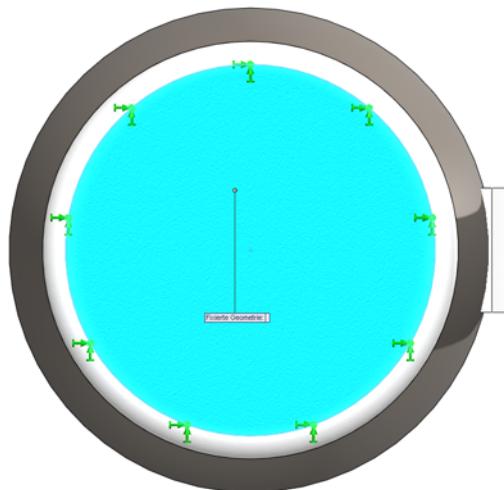
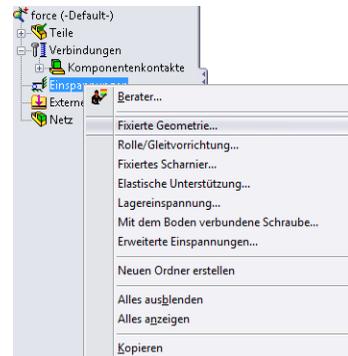
#### 2 Einspannungen.

Klicken Sie in der statischen Studien-Baumstruktur mit der rechten Maustaste auf das Symbol **Einspannungen** und wählen Sie im Kontextmenü die Option **Fixierte Geometrie** aus.

Ändern Sie die Ansicht auf „Unten“, indem Sie auf die **Leertaste** drücken.

Doppelklicken Sie im daraufhin erscheinenden Dialogfeld auf **\*Unten**.

Wählen Sie (wie gezeigt) die große innere Fläche aus.



Klicken Sie auf .

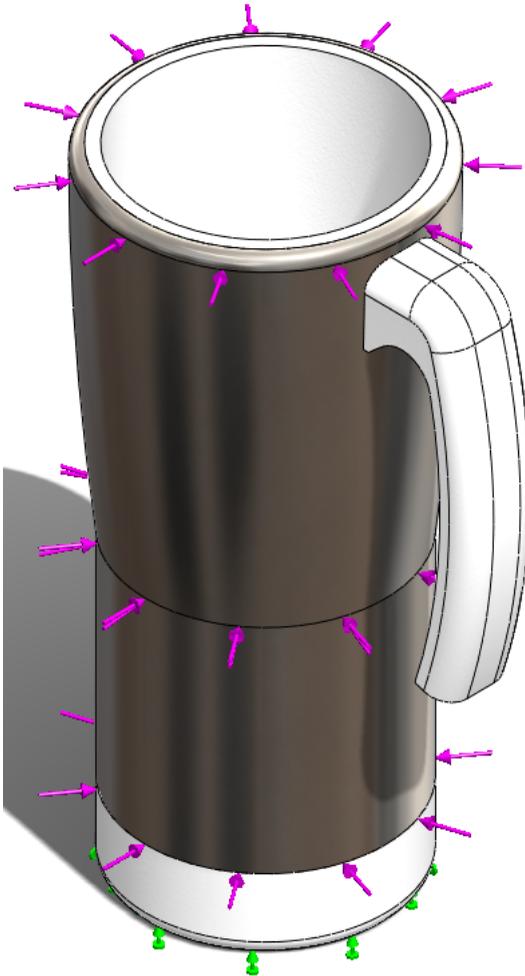
### 3 Externe Lasten.

Drücken Sie die **Leertaste** und doppelklicken Sie anschließend auf **Isometrisch**.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste in der statischen Studien-Baumstruktur auf **Externe Lasten**.

Wählen Sie (wie gezeigt) die Option **Kraft** aus.

Wählen Sie die beiden runden Flächen der **Metall-Außenseite**.



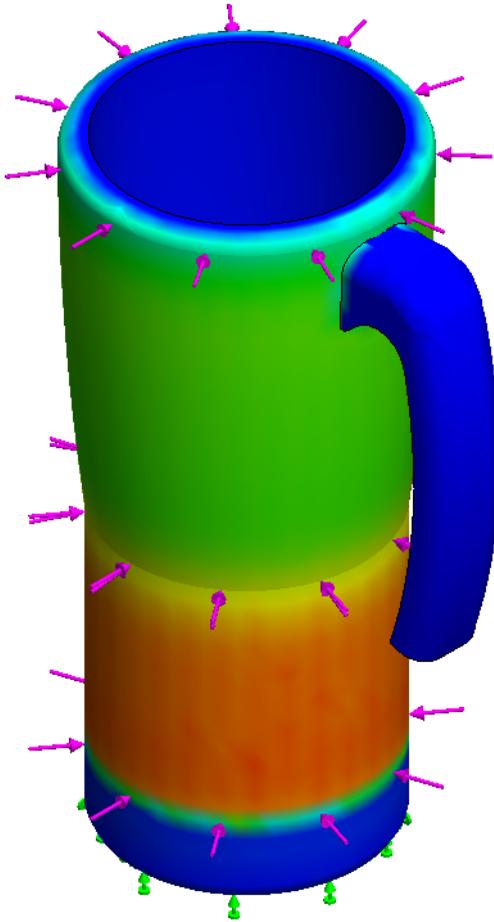
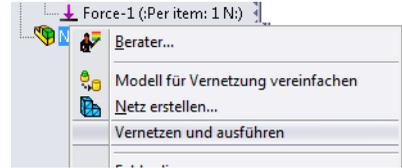
Ändern Sie den Kraftwert auf **400 N**.

Klicken Sie auf  .

#### 4 Simulation ausführen.

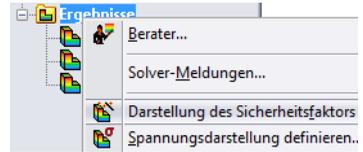
Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Vernetzen** und wählen Sie **Vernetzen und ausführen**.

Es sind dann zwei Dialogfelder zu sehen. In dem einen wird die Baugruppe vernetzt und in dem anderen die statische Studie ausgeführt.



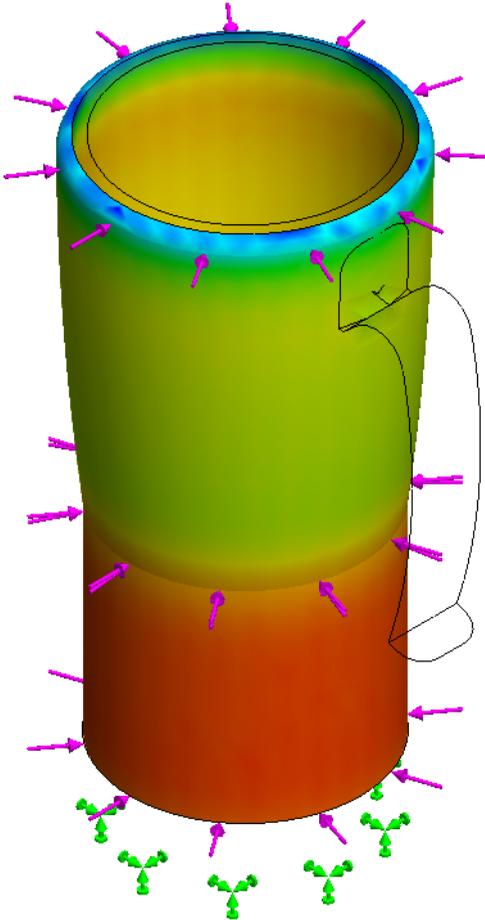
## 5 Sicherheitsfaktor.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Ergebnisse**. Wählen Sie die Option **Darstellung des Sicherheitsfaktors definieren**. Lassen Sie alle Einstellungen unverändert und klicken Sie auf



. Wenn das Simulationsfeld erscheint, klicken Sie auf **OK**.

Modellname: Mug  
Studivname: Force 1  
Darstellungsart: Factor of Safety Factor of Safety1  
Kriterium: Automatic  
Faktor des Sicherheitsverlaufs: Min FOS = 4.4e+002



In der oberen linken Bildschirmcke wird ein **Sicherheitsfaktor** von  $4,4e + 002$  oder 440 angezeigt.

Klicken Sie auf **Speichern**.

## Statische Studie 2

Führen Sie jetzt eine ähnliche statische Studie mit demselben Kraftwert für den Henkel aus, um zu sehen, um den **Sicherheitsfaktor** anzuzeigen.

### 1 Studie erstellen.

Klicken Sie auf die Registerkarte **Simulation**, falls diese nicht bereits angezeigt wird.

Wählen Sie den Nach-unten-Pfeil unter **Studien-Berater**.

Wählen Sie **Neue Studie**.

Geben Sie der Analyse den Namen **Kraft 2**.

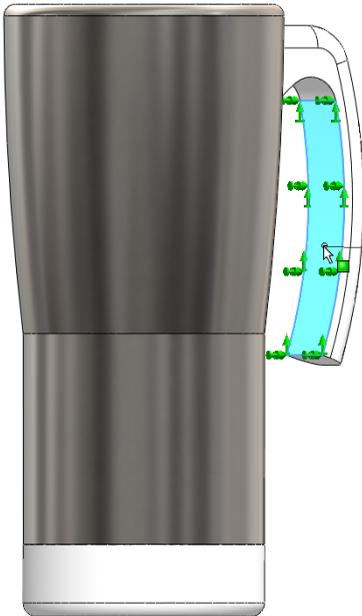
Wählen Sie unter „Typ“ die Option „Statisch“ und klicken Sie dann auf .

### 2 Einspannungen.

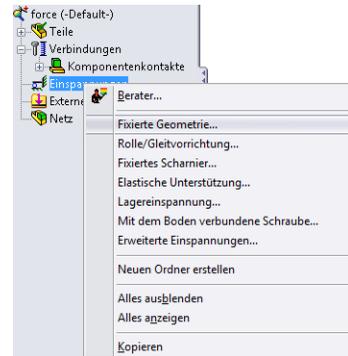
Klicken Sie in der statischen Studien-Baumstruktur mit der rechten Maustaste auf das Symbol **Einspannungen** und wählen Sie im Kontextmenü die Option **Fixierte Geometrie** aus.

Drücken Sie die **Leertaste**. Doppelklicken Sie auf **Handle Fixture** (Henkeleinspannung).

Wählen Sie die Innenfläche des Henkels aus.



Klicken Sie auf .



### 3 Externe Lasten.

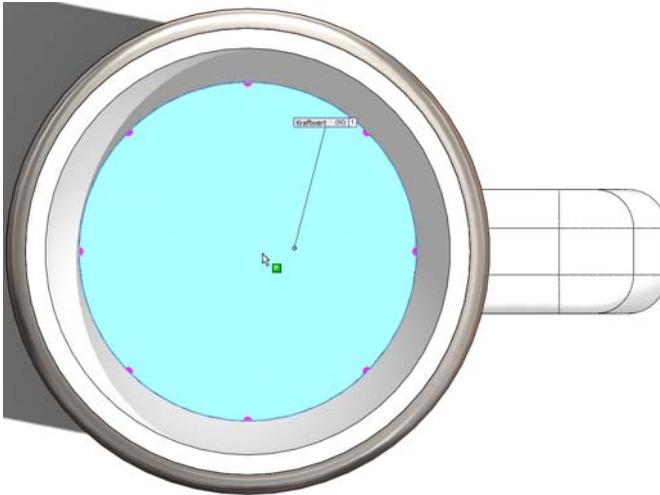
Klicken Sie mit der rechten Maustaste in der statischen Studien-Baumstruktur auf **Externe Lasten**.



Wählen Sie die Option **Kraft** aus. Drücken Sie die **Leertaste**.

Doppelklicken Sie auf **Oben**.

Wählen Sie die innere Bodenfläche der Kunststoff-Innenseite.



Ändern Sie den **Kraftwert** auf **400 N**.

Klicken Sie auf .

**4 Simulation ausführen.**

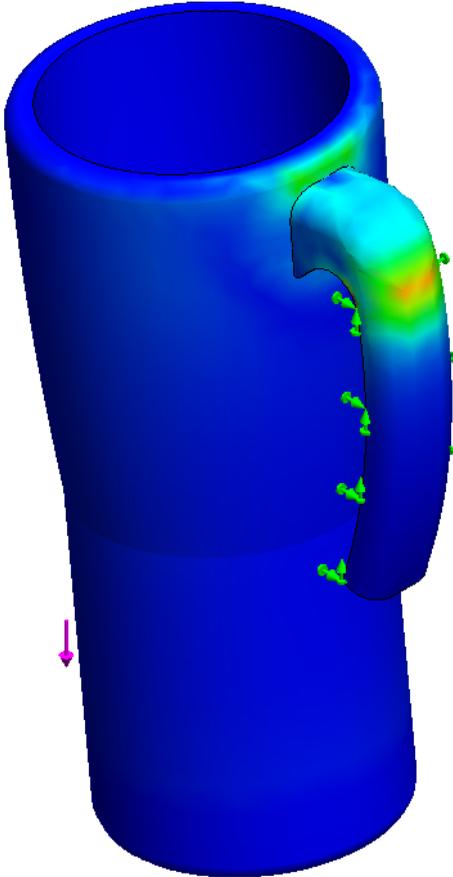
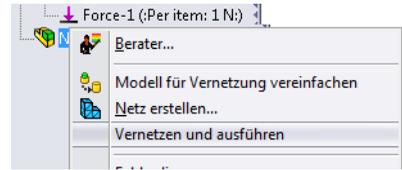
Drücken Sie die **Leertaste**.

Doppelklicken Sie auf **Isometrisch**. Klicken

mit der rechten Maustaste auf **Vernetzen**.

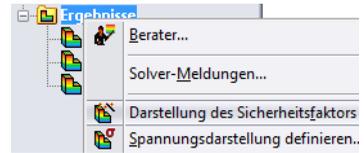
Wählen Sie **Vernetzen und ausführen**.

Klicken Sie bei Erscheinen des Dialogfelds „Linear statisch“ auf **Ja**.

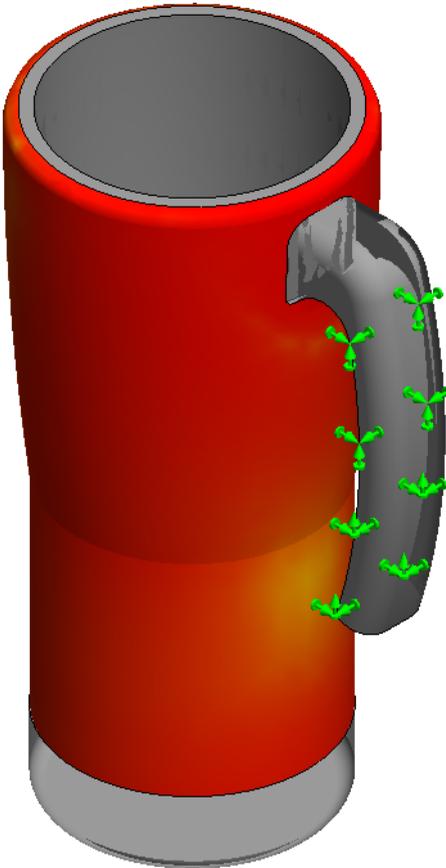


### 5 Sicherheitsfaktor.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Ergebnisse**. Wählen Sie die Option **Darstellung des Sicherheitsfaktors definieren**. Lassen Sie alle Einstellungen unverändert und klicken Sie auf



. Wenn das Simulationsfeld erscheint, klicken Sie auf **OK**.



In der oberen linken Bildschirmecke ist zu sehen, dass der **Sicherheitsfaktor** gleich **4** ist.

Klicken Sie auf **Speichern**.

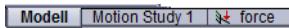
## 6 Konstruktionsevaluierung.

Nach Abschluss beider statischen Studien (**Kraft 1** zur Darstellung des Becher-Haltekonzepts und **Kraft 2** zum Simulieren des Henkelhaltens, während sich eine flüssige Substanz im Becher befindet) ist es offensichtlich, dass der Henkel viel schwächer konstruiert ist. Die Studie für **Kraft 1** zeigt einen **Sicherheitsfaktor** von 430 und die Studie für **Kraft 2** ergibt nur einen **Sicherheitsfaktor** von 4. Was das Neukonstruktionskonzept angeht, werden wir den Henkel daher einfach aus der Baugruppe entfernen. Dadurch wird die Umweltverträglichkeit verbessert, da weniger Material vorhanden ist.

## 7 Henkel entfernen.

Da der Henkel ein separates Teil ist, brauchen wir ihn nur in der Baugruppe löschen.

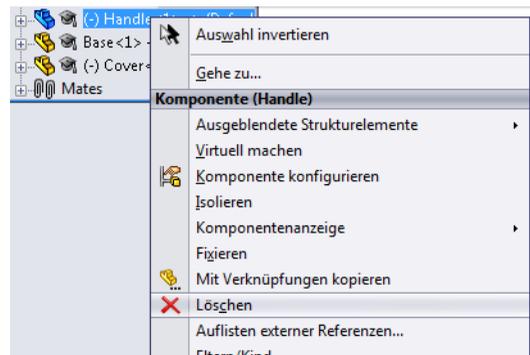
Wählen Sie in der unteren linken Bildschirmcke die Registerkarte **Modell**.



Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf (-)Handle<1> (Henkel1).

Wählen Sie **Löschen**.

Nach dem Löschen des **Henkels** werden durch das Programm „Sustainability“ sofort die Umweltverträglichkeitswerte aktualisiert. Alle vier Verträglichkeitswerte sind in Form von grünen Balken angezeigt, und alle Werte liegen auch unterhalb des festgelegten Bezugswerts.



## Thermische Studie

Jetzt muss die thermische Analyse erstellt werden, aus der hervorgeht, ob wir noch mehr Material entfernen können, ohne den Becher zu sehr zu schwächen.

### 1 Eine thermische Studie erstellen.

Wählen Sie erneut die Registerkarte **Simulation** und erstellen Sie eine **Neue Studie**.

Geben Sie dieser Studie den Namen **Konvektion** und wählen Sie **Thermisch**.

Klicken Sie auf  .

Hierdurch wird Konvektion zwischen den verschiedenen Flächen erzeugt, um so die Temperatur an der Außenseite des Bechers zu zeigen.

Es wird dabei davon ausgegangen, dass sich Wasser (bzw. Tee) mit einer Temperatur von 80 Grad C im Becher befindet. Auch wird angenommen, dass die den Becher umgebende Lufttemperatur 25 Grad C beträgt.

Zusätzlich zur Temperatur ist ein Konvektions-Koeffizient erforderlich, um die Wärmemitführung der Materialien des Bechers berechnen zu können. Für die Luft wird ein Konvektions-Koeffizient von  $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$  und für das Wasser ein Koeffizient von  $500 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$  verwendet. W = Watt, m = Meter und K = Kelvin.

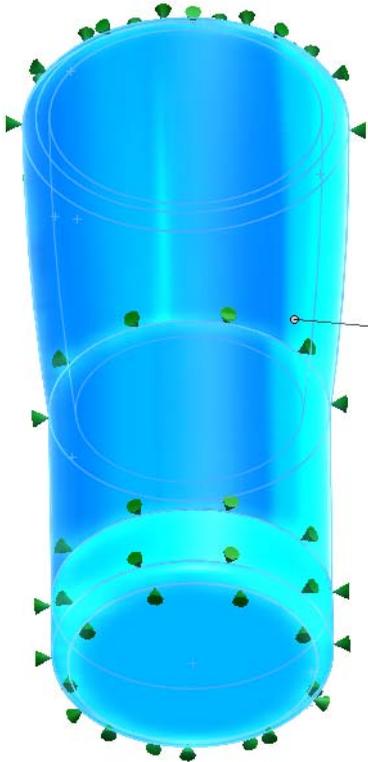
## 2 Wärmelasten 1.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Wärmelasten**. Wählen Sie **Konvektion**.

Zuerst wird die Luftkonvektion am Becher erstellt. Diese Konvektion tritt an den meisten Becherflächen auf.

Wählen Sie alle Außenflächen, aber nicht die untere Innenfläche und auch nicht die innere Bodenfläche.

Drücken Sie die **Leertaste**. Doppelklicken Sie auf **Basisflächen**, um die „Basisfläche“ und die „Basisverrundung“ auszuwählen.

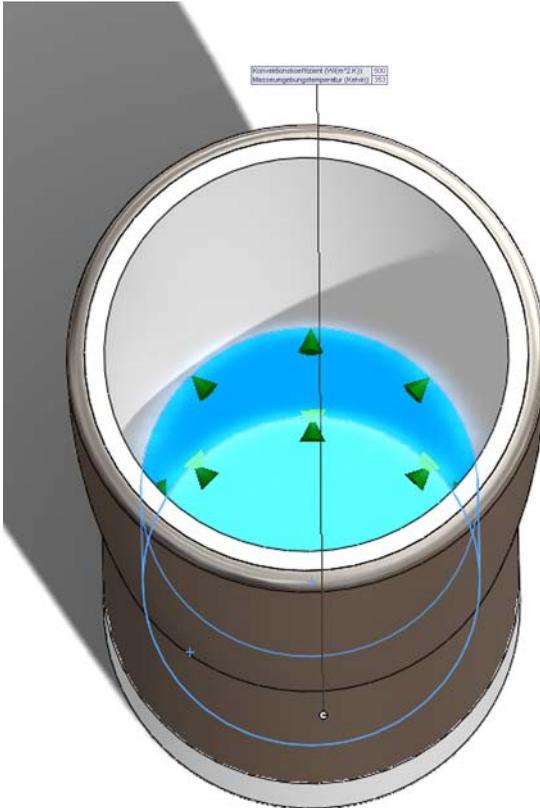


Geben Sie als Nächstes **10 W/(m<sup>2</sup>xK)** als Konvektions-Koeffizienten und **298 (25 + 273) Kelvin** als Umgebungstemperatur ein.

Klicken Sie auf .

### 3 Wärmelasten 2.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Wärmelasten**. Wählen Sie **Konvektion**. Drücken Sie die **Leertaste**. Doppelklicken Sie auf **Innenflächen**. Wählen Sie diesmal nur die untere Innenfläche und die innere Bodenfläche aus.



Stellen Sie dann den Konvektions-Koeffizienten auf **500 W/(m<sup>2</sup>xK)** und die Umgebungstemperatur auf **353 (80 + 273) Kelvin** ein.

Klicken Sie auf .

### 4 Simulation ausführen.

Klicken Sie erneut mit der rechten Maustaste auf **Vernetzen** (genau wie bei der Kraftanalyse).

Wählen Sie **Vernetzen und ausführen**.

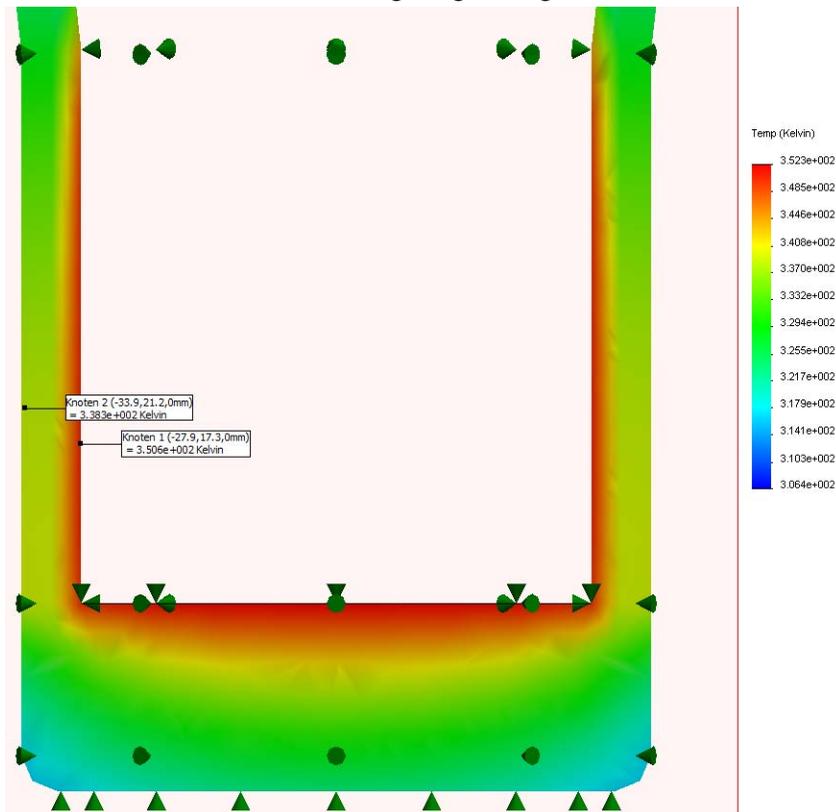
Es sind dann wieder zwei Dialogfelder zu sehen.

## 5 Ergebnisse.

Nach Ausführung der Analyse ist der Temperaturunterschied zwischen Innenseite und Außenseite des Bechers nicht so leicht zu erkennen. Wir nehmen deshalb ein Profil-Clipping des Bechers, um den Temperaturunterschied besser sehen zu können. Klicken Sie unter „Ergebnisse“ mit der rechten Maustaste auf **Thermisch1**. Wählen Sie **Profil-Clipping**. Klicken Sie auf . Jetzt ist der durch die Becherwände laufende Temperaturgradient klar zu sehen. Durch Sondieren der inneren und äußeren Becherfläche sind die Temperaturwerte klar zu sehen.

## 6 Sondieren.

Drücken Sie die **Leertaste**. Doppelklicken Sie auf **Vorne**. Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Thermisch1**. Wählen Sie **Sondieren**. Klicken Sie auf zwei Stellen, die ziemlich dicht an den gezeigt liegen.



## 7 Konstruktionsevaluierung.

Es ist zu sehen, dass der Temperaturgradient sich von Wandmitte bis zur Außenseite kaum verändert. Daraus ist zu erkennen, dass die Wanddicke reduziert werden kann, ohne dadurch die Außentemperatur viel zu beeinflussen.

## Neuerstellung von Wand und Basis

Jetzt ist unsere Aufgabe, die Innenwände des Bechern neu zu konstruieren. Zu diesem Zweck müssen die einzelnen Teile geöffnet und die Features geändert werden. Anschließend sind die Teile dann neu zu verknüpfen.

### 1 Außenwand bearbeiten.

Wählen Sie in der unteren linken Bildschirmecke die Registerkarte **Modell**.

Klicken Sie im FeatureManager mit der rechten Maustaste auf **Metall-Außenseite<1>**.

Wählen Sie **Teil öffnen**.

SolidWorks öffnet daraufhin ein neues Fenster für dieses Teil.



### 2 Rotations-Feature bearbeiten.

Da das Teil **Metall-Außenseite** durch ein Rotations-Feature erstellt wurde, muss jetzt die Dicke dieses Features reduziert werden.

Klicken Sie im FeatureManager mit der rechten Maustaste auf **Rotation-Dünn1**.

Wählen Sie **Feature bearbeiten**.



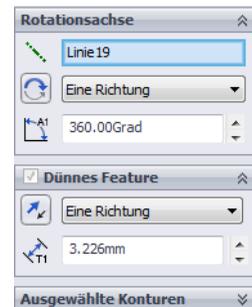
Fügen Sie unter „Dünnes Feature“ hinter **3,226 mm** den Wert **„/2“** ein. Klicken Sie auf .

Durch Hinzufügen von „/2“ wird die Dicke halbiert.

**Speichern** und **schließen** Sie das Teil.

Es ist anschließend ein Dialogfeld zu sehen, in dem gefragt wird, ob Sie die Baugruppe neu konstruieren möchten.

Klicken Sie auf **Ja**.



## Neukonstruktion der Basis

Als Nächstes muss die Basis des Bechers neu konstruiert werden. Nach Neukonstruktion der **Metall-Außenseite** ist jetzt die Kunststoffbasis an der Reihe. Da die **Metall-Außenseite** dünner gemacht wurde, muss die Basis ebenfalls verkleinert werden.

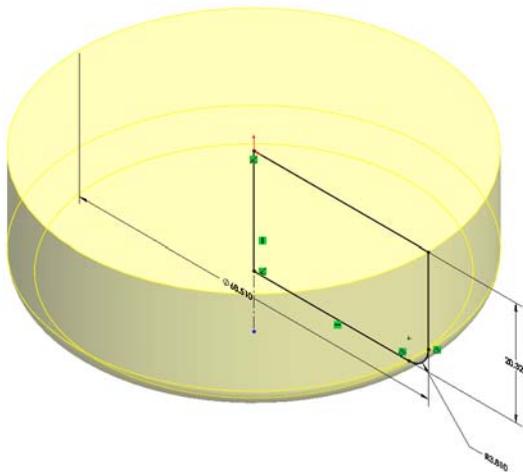
### 1 Neue Bemaßungen.

Klicken Sie im FeatureManager mit der rechten Maustaste auf **Basis<1>**.

Wählen Sie **Teil öffnen**.

Klappen Sie **Rotieren1** auf.

Doppelklicken Sie auf **Skizze1**.



Doppelklicken Sie auf die Bemaßung **68,510 mm**. Ändern Sie den Durchmesser auf **65,28 mm**. Klicken Sie auf .

### 2 Skizze beenden.

Beenden Sie die Skizze durch Klicken auf . Speichern und schließen Sie das Teil. Es ist anschließend ein Dialogfeld zu sehen, in dem gefragt wird, ob Sie die Baugruppe neu konstruieren möchten. Klicken Sie auf **Ja**.

## Simulation und Neukonstruktion

Beide vorher erstellten Simulationen müssen jetzt erneut ausgeführt werden, um festzustellen, ob die Konstruktion noch akzeptabel ist.

### 1 Statische Studie erneut ausführen.

Wählen Sie **Kraft 1**.

Drücken Sie die **Leertaste**.

Doppelklicken Sie auf **Isometrisch**.

Dadurch werden die Einspannungen und externen Lasten der Neukonstruktion entsprechend aktualisiert.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Vernetzen** und wählen Sie **Vernetzen und ausführen**.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Ergebnisse**.

Wählen Sie die Option **Darstellung des Sicherheitsfaktors definieren...**

Klicken Sie auf  .

Die **Darstellung des Sicherheitsfaktors** zeigt, dass die Baugruppe weiterhin sehr stabil ist, und zwar mit einem **Sicherheitsfaktor** von  $2,1e + 002$  oder 210.

### 2 Thermische Studie erneut ausführen.

Obwohl die statische Studie gute Ergebnisse zeigte, muss trotzdem die thermische Studie ausgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Außenfläche nicht zu heiß wird.

Klicken Sie unten im Bildschirm auf die Registerkarte **Konvektion**.

Daraufhin wird die Simulation für die Neukonstruktion erneut aktualisiert.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **Vernetzen** und wählen Sie **Vernetzen und ausführen**.

Drücken Sie die **Leertaste**.

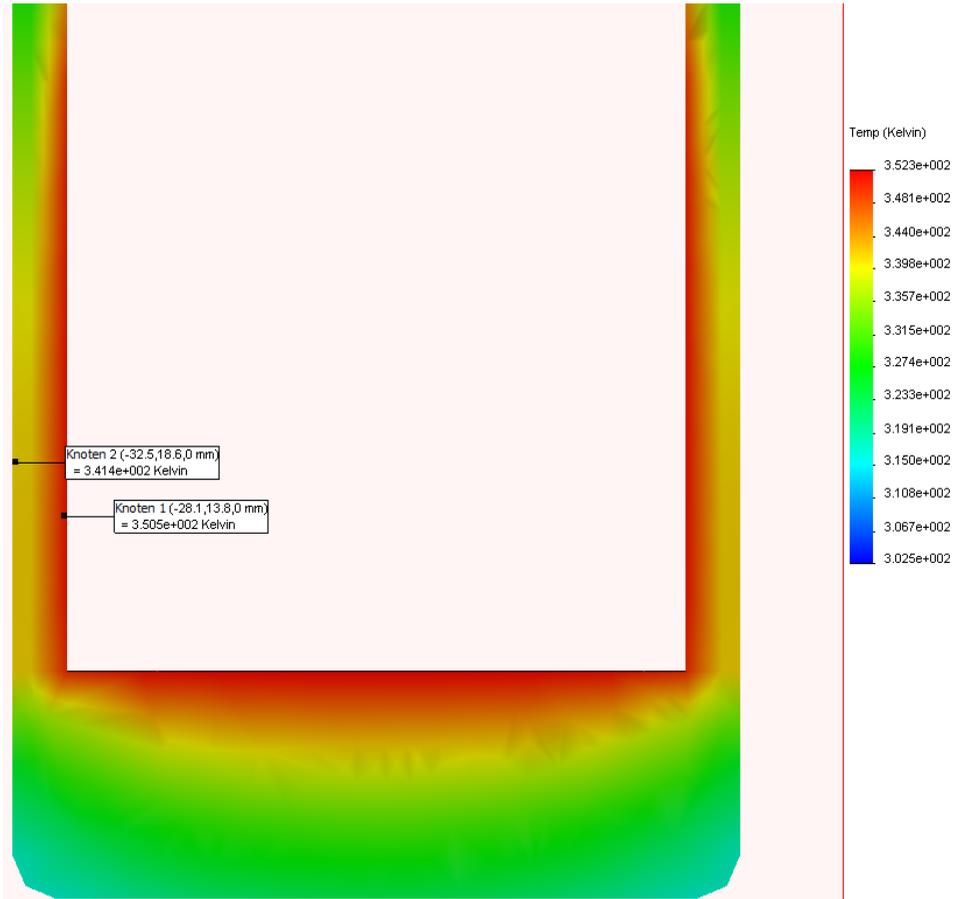
Doppelklicken Sie auf **Vorne**.

### 3 Sondieren.

Klicken Sie unter „Ergebnisse“ mit der rechten Maustaste auf Thermisch 1.

Wählen Sie **Sondieren**.

Wählen Sie die beiden Punkte aus (wie in der Abbildung zu sehen).



Vorher war die Außentemperatur ca. 338 Kelvin oder 65 Grad C. Jetzt ist die Außentemperatur ungefähr 341 Kelvin oder 68 Grad C.

Mit anderen Worten, die Temperatur erhöhte sich nur um ca. drei Grad C, obwohl die Dicke der **Metall-Außenseite** halbiert wurde.

Dies ist eine sehr geringe Temperaturerhöhung im Vergleich zum eingesparten Material. Sie können diese Neukonstruktion somit als Endkonstruktion betrachten.

## Sustainability – Überblick

Es folgt ein Vergleich der Nachhaltigkeit von Original- und Endkonstruktion. Zwei Alternativkonstruktionen sind ebenfalls mit einbezogen.

Im Laufe des Lehrbuchs hat sich die Umweltverträglichkeit dabei ständig verbessert.

<b>Ursprüngliche Umweltverträglichkeit</b>	<b>Umweltverträglichkeit nach Neukonstruktion</b>
Kohlenstoff: 7,11 g CO <sub>2</sub>	Kohlenstoff: 3,78 g CO <sub>2</sub>
Energie: 87,03 MJ	Energie: 47,72 MJ
Luft: 0,04 g SO <sub>2</sub>	Luft: 0,02 g SO <sub>2</sub>
Wasser: 0,02 g PO <sub>4</sub>	Wasser: 0,00962 g PO <sub>4</sub>

Insgesamt wurde die Umweltbeeinflussung somit um ca. 50 % reduziert.

## Schlussfolgerung

Zu Beginn der Konstruktion hatten Sie einen unhandlichen Becher, der nicht sehr umweltfreundlich war. Durch SolidWorks waren Sie in der Lage, die Kraft- und Wärme-Simulation auszuführen, wodurch überschüssige Features entfernt und die Materialverwendung reduziert werden konnte, obwohl die Wärmedämmung ungefähr gleichgeblieben ist.

