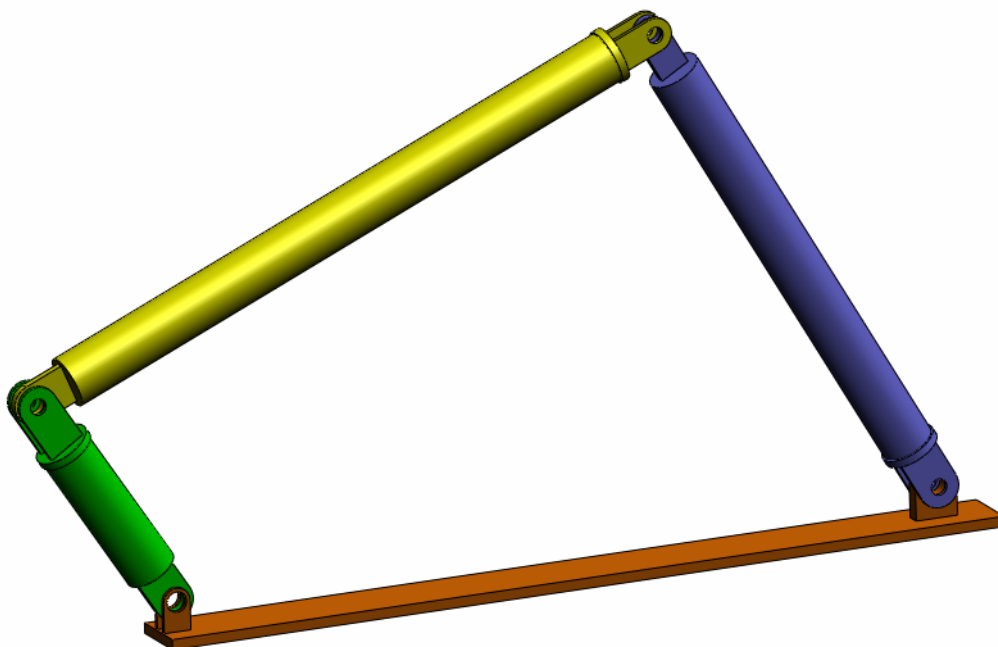


# Einführung in Anwendungen der Bewegungsanalyse mit SolidWorks Motion, Kursleiterhandbuch



**Unternehmenssitz**

Dassault Systèmes SolidWorks Corp.  
175 Wyman Street  
Waltham, MA 02451 USA  
Telefon: +1-781-810-5011  
E-Mail: [info@solidworks.com](mailto:info@solidworks.com)

**Hauptsitz Europa**

SolidWorks Europe SARL  
53 Avenue de l'Europe  
13090 Aix-en-Provence  
France  
Telefon: +33-(0)4-13-10-80-20  
E-Mail: [infoeurope@solidworks.com](mailto:infoeurope@solidworks.com)

**Dassault Systemes Deutschland GmbH**

Messe-Campus Riem  
Joseph-Wild-Straße 20  
81929 München  
Telefon: +49 (0)89 960 948 - 400  
E-Mail: [info@solidworks.de](mailto:info@solidworks.de)

© 1995-2013, urheberrechtlich geschützt durch Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, ein Unternehmen der Dassault Systèmes S.A.-Gruppe, 175 Wyman Street, Waltham, Mass. 02451 USA. Alle Rechte vorbehalten.

Die Informationen in diesem Dokument sowie die behandelte Software können ohne Ankündigung geändert werden und stellen keine Verpflichtung 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 mechanische 3D CAD-Software von SolidWorks® ist durch die US-amerikanischen Patente 5.815.154, 6.219.049, 6.219.055, 6.611.725, 6.844.877, 6.898.560, 6.906.712, 7.079.990, 7.477.262, 7.558.705, 7.571.079, 7.590.497, 7.643.027, 7.672.822, 7.688.318, 7.694.238, 7.853.940 und 8.305.376 sowie durch Patente anderer Länder (z. B. EP 1.116.190 B1 und JP 3.517.643) geschützt.

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

Weitere US-amerikanische Patente und Patente anderer Länder sind angemeldet.

### Warenzeichen und Produktnamen für SolidWorks Produkte und Services

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

CircuitWorks, FloXpress, PhotoView 360 und TolAnalyst sind Marken von DS SolidWorks.

FeatureWorks ist eine eingetragene Marke von Geometric Ltd. SolidWorks 2015, SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Workgroup PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation, eDrawings, eDrawings Professional, SolidWorks Sustainability, SolidWorks Plastics, SolidWorks Electrical und SolidWorks Composer sind Produktnamen von DS SolidWorks. Andere Marken- oder Produktbezeichnungen sind Marken oder eingetragene Marken der jeweiligen Eigentümer.

### COMMERCIAL COMPUTER SOFTWARE - EIGENTUMSRECHTE

Die Software ist ein kommerzieller Artikel („commercial item“) entsprechend der Definition in 48 C.F.R. 2.101 (OKT 1995), bestehend aus kommerzieller Computersoftware und kommerzieller Softwaredokumentation („commercial computer software“ und „commercial software documentation“) gemäß Begriffsverwendung in 48 C.F.R. 12.212 (SEPT 1995), und sie wird der US-Regierung (a) für den Erwerb durch bzw. im Namen von zivilen Behörden entsprechend den Richtlinien in 48 C.F.R. 12.212 oder (b) für den Erwerb durch oder im Namen von Abteilungen des Verteidigungsministeriums entsprechend den Richtlinien in 48 C.F.R. 227.7202-1 (JUN 1995) und 227.7202-4 (JUN 1995) zur Verfügung gestellt.

Falls eine Anfrage einer Behörde der US-Regierung über die Bereitstellung von Software eingeht, deren Umfang über die oben genannten Rechte hinausgeht, muss DS SolidWorks über den Umfang dieser Anfrage informiert werden.

DS SolidWorks entscheidet dann innerhalb von fünf (5) Arbeitstagen nach eigenem Ermessen über die Annahme oder die Ablehnung dieser Anfrage. Lieferant/Hersteller: Dassault

Systèmes SolidWorks Corporation, 175 Wyman Street, Waltham, Massachusetts 02451 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 – 2013. Alle Rechte vorbehalten.

In diesem Werk ist die folgende Software von Siemens Industry Software Limited enthalten:

D-Cubed™ 2D DCM © 2013. Siemens Industry Software Limited. Alle Rechte vorbehalten.

D-Cubed™ 3D DCM © 2013. Siemens Industry Software Limited. Alle Rechte vorbehalten.

D-Cubed™ PGM © 2013. Siemens Industry Software Limited. Alle Rechte vorbehalten.

D-Cubed™ CDM © 2013. Siemens Industry Software Limited. Alle Rechte vorbehalten.

D-Cubed™ AEM © 2013. Siemens Industry Software Limited. Alle Rechte vorbehalten.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Geometric Ltd., © 1998 – 2013.

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

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Luxology, LLC., © 2001 – 2013. Alle Rechte vorbehalten, Patente angemeldet.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch DriveWorks Ltd., © 2007 – 2013.

Urheberrechtlich geschützt durch Adobe Systems Inc. und seine Lizenzgeber, 1984 – 2010. Alle Rechte vorbehalten.

Geschützt durch die US-amerikanischen Patente 5.929.866, 5.943.063, 6.289.364, 6.563.502, 6.639.593 und 6.754.382. Patente sind 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 in anderen Ländern.

Weitere Copyright-Informationen zu DS SolidWorks finden Sie unter „Hilfe“ > „SolidWorks Info“.

### Copyright-Vermerke für SolidWorks Simulation Produkte

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

PCGLSS © 1992 – 2013, Computational Applications and System Integration, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

### Hinweise zu den Urheberrechten für SolidWorks Enterprise PDM

Outside In® Viewer Technology, © 1992-2012 Oracle © 2011, Microsoft Corporation. Alle Rechte vorbehalten.

### Copyright-Vermerke für eDrawings Produkte

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Tech Soft 3D, © 2000 – 2013.

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 – 2013. Alle Rechte vorbehalten.

Teile dieser Software sind urheberrechtlich geschützt durch Spatial Corporation, © 1995 – 2012.

Die eDrawings® für Windows®-Software basiert zum Teil auf der Arbeit der Independent JPEG Group.

Teile von eDrawings® für iPad® sind urheberrechtlich geschützt von Silicon Graphics Systems, Inc., © 1996-1999

Teile von eDrawings® für iPad® sind urheberrechtlich geschützt von Apple Computer Inc., © 2003-2005

Dokumentnummer: PME0322-DEU



# Inhalt

---

|   |                   |
|---|-------------------|
| <b>Einführung</b>   | <b>v</b>          |
| Hinweise für den Kursleiter   | v                 |
| Studienplan und Lektionen für die Lehr-Edition  | v                 |
| SolidWorks Simulation Produktreihe  | vii               |
| <br><b>Grundlegende Funktionen von SolidWorks Motion</b>  | <br><b>1</b>      |
| Ziele dieser Lektion  | 1                 |
| Gliederung  | 2                 |
| Unterrichtsdiskussion   | 3                 |
| Aktive Lernübung – Bewegungsanalyse eines 4-gliedrigen Mechanismus  | 4                 |
| Öffnen des Dokuments 4Bar.SLDASM  | 4                 |
| Überprüfen der SolidWorks Motion Zusatzanwendung  | 4                 |
| Modellbeschreibung  | 5                 |
| Wechseln zum SolidWorks MotionManager   | 6                 |
| Fixierte und bewegliche Komponenten   | 6                 |
| Automatische Erstellung von internen Gelenken aus SolidWorks  |                   |
| Baugruppenverknüpfungen   | 7                 |
| Festlegen des Antriebs  | 7                 |
| Arten der Bewegungsanalyse  | 9                 |
| Simulationsdauer  | 9                 |
| Ausführen der Simulation  | 9                 |
| Visualisieren der Ergebnisse  | 10                |
| Speichern und Bearbeiten der Ergebnisdarstellungen  | 11                |
| Weitere Informationen zu den Ergebnissen  | 11                |
| Erstellen einer Spurkurve   | 13                |
| 5-minütiger Test – Lösungsschlüssel   | 15                |
| 5-minütiger Test  | REPRODUZIERBAR 16 |
| Unterrichtsdiskussion – Berechnen des für den Antrieb des 4-gliedrigen Beispielmechanismus erforderlichen Drehmoments | 17                |

## Inhalt

|  |                   |
|--|-------------------|
| Weiterführende Fragen – Modifizieren der Geometrie ..... | 18                |
| Übungen und Projekte – Schubkurbelmechanismus .....      | 19                |
| Aufgaben .....   | 19                |
| Arbeitsblatt „Begriffe“ – Lösungsschlüssel .....         | 21                |
| Lektion 1 – Arbeitsblatt „Begriffe“ .....                | REPRODUZIERBAR 22 |
| Quiz – Lösungsschlüssel .....                            | 23                |
| Lektion 1 – Quiz .....                                   | REPRODUZIERBAR 24 |
| Zusammenfassung .....                                    | 25                |

## Hinweise für den Kursleiter

Mit dem vorliegenden Handbuch soll SolidWorks Anwendern das Softwarepaket SolidWorks Motion zur kinematischen und dynamischen Analyse von Starrkörpern vorgestellt werden. Diese Lektion hat folgende Zielsetzung:

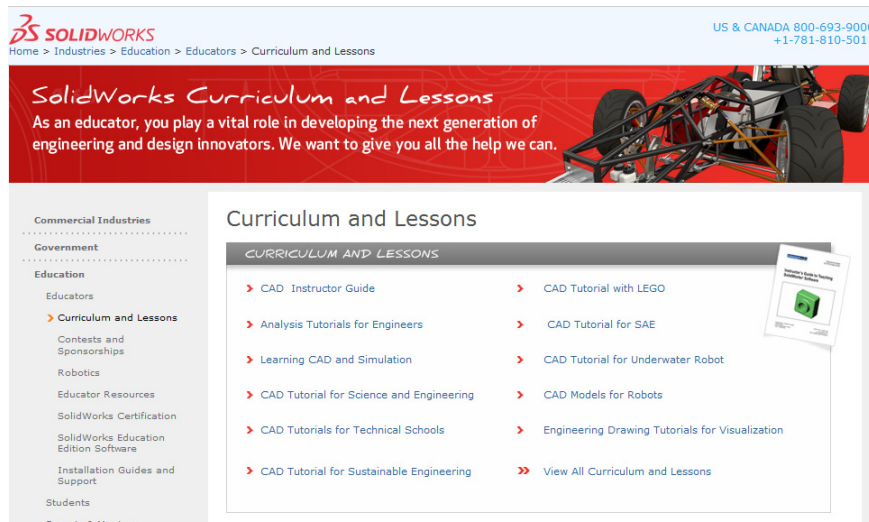
- 1 Vorstellung der grundlegenden Konzepte der kinematischen und dynamischen Analyse von Starrkörpern und deren Vorteile.
- 2 Veranschaulichung der Benutzerfreundlichkeit und prägnante Beschreibung der Verfahrensstufen zur Durchführung dieser Analysen.
- 3 Vorstellung der Grundregeln der kinematischen und dynamischen Analyse von Starrkörpern.

Dieses Dokument ist ähnlich wie das CAD-Kursleiterhandbuch in Lektionen unterteilt. Das *SolidWorks Motion Handbuch für Kursteilnehmer* enthält zugehörige Seiten zu dieser Lektion.

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

## Studienplan und Lektionen für die Lehr-Edition

Für Kursleiter steht weiteres Kursmaterial auf der SolidWorks Website zum Download bereit: [www.solidworks.com/curriculum](http://www.solidworks.com/curriculum). Melden Sie sich in Ihrem Konto im SolidWorks Kundenportal an, um alle Inhalte zu sehen, oder klicken Sie im Task-Fensterbereich auf die Registerkarte „SolidWorks Ressourcen“, und wählen Sie dann Studienplan für Referenten aus. Sie werden aufgefordert, sich im Kundenportal anzumelden. Anschließend können Sie die unten angezeigte Seite mit dem SolidWorks Studienplan und den Lektionen aufrufen. Die Materialien für diesen Kurs befinden sich unter den Analyse-Lernprogrammen für Ingenieure.

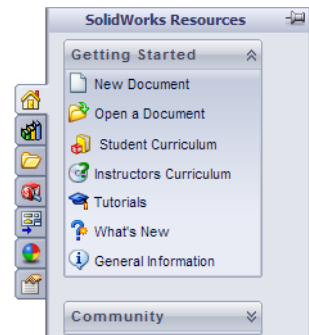


## Einführung

Es ist eine *DVD mit dem Studienplan und den Lektionen für die Lehr-Edition* erhältlich. Schreiben Sie zum Anfordern der DVD eine E-Mail an [solidworks.education@3ds.com](mailto:solidworks.education@3ds.com).

Bei der Installation dieser DVD wird ein Ordner namens `SolidWorks Curriculum_and_Lessons_20XX` erstellt, der unter anderem Verzeichnisse für diesen Kurs enthält.

Weiteres Kursmaterial für die Kursteilnehmer kann innerhalb von SolidWorks heruntergeladen werden. Klicken Sie dazu im Task-Fensterbereich auf die Registerkarte „SolidWorks Ressourcen“, und wählen Sie anschließend „Studienplan für Studierende“ aus. Wählen Sie den neuesten Studienplanordner aus, und klicken Sie dann auf „Simulation-Kursunterlagen“. Klicken Sie bei gedrückter Strg-Taste auf die Datei mit diesen Kursunterlagen, um die ZIP-Datei herunterzuladen. Entpacken Sie die Datei an einem gut erreichbaren Speicherort.



Der Ordner `EDU_Motion_Initial_Model_Files` enthält die für die Lektionen erforderlichen Teile. Die PDF-Datei des Handbuchs für Kursteilnehmer befindet sich ebenfalls in der ZIP-Datei. In diesem Leitfaden bezieht sich der Ordner Anfängliche Modelldateien auf den oben genannten Ordner.

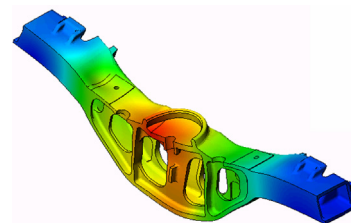
Vollständige Anweisungen zum Zugriff auf den SolidWorks Studienplan und die Lektionen erhalten Sie unter [http://files.solidworks.com/pdf/EDU\\_Curriculum\\_Location\\_Instructions\\_ENG.pdf](http://files.solidworks.com/pdf/EDU_Curriculum_Location_Instructions_ENG.pdf).



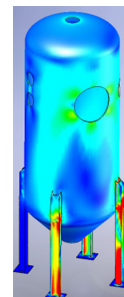
## SolidWorks Simulation Produktreihe

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

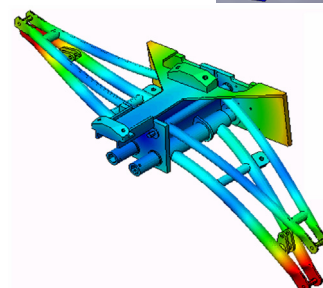
Mit **statischen** Studien können lineare Spannungsanalysen von Teilen und Baugruppen ausgeführt werden, die statischen Lasten ausgesetzt sind. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:  
Hält das Teil den normalen Betriebslasten stand?  
Ist das Modell überdimensioniert?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



Mit **Knickstudien** kann die Leistung von dünnen Teilen unter Stauchung analysiert werden. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:  
Die Standfüße des Kessels halten den Fließkräften stand. Sind sie jedoch auch stark genug ausgelegt, um bei einem Stabilitätsverlust nicht zu versagen?  
Kann mit Änderungen an der Konstruktion die Stabilität der dünnen Komponenten in der Baugruppe sichergestellt werden?



Mit **Frequenzstudien** können die Eigenschwingungen und -frequenzen analysiert werden. Dies ist bei der Konstruktion vieler Komponenten wichtig, die sowohl statisch als auch dynamisch belastet werden. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:  
Schwingt das Teil unter den normalen Betriebslasten?  
Eignen sich die Komponenten aufgrund ihrer Schwingungseigenschaften für die vorgesehene Anwendung?  
Können die Schwingungseigenschaften durch Konstruktionsänderungen verbessert werden?



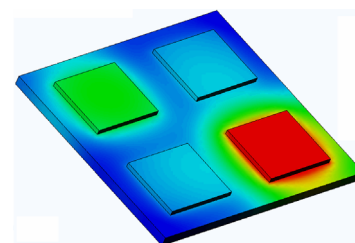
Mit **thermischen** Studien kann die Wärmeübertragung aufgrund von Leitung, Konvektion und Strahlung analysiert werden. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

Wirken sich die Temperaturänderungen auf das Modell aus?  
Wie verhält sich das Modell in einer Betriebsumgebung mit Temperaturschwankungen?

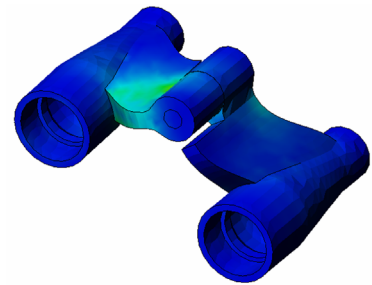
Wie lange dauert es, bis das Modell abkühlt oder überhitzt?

Führen Temperaturänderungen zur einer Ausdehnung des Modells?

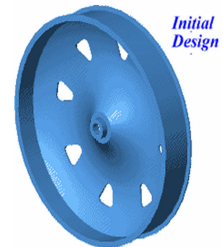
Führen die durch die Temperaturänderung verursachten Spannungen zum Versagen des Produkts? (Zur Beantwortung dieser Frage wird in der Regel eine Kombination aus statischen und thermischen Studien durchgeführt.)



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

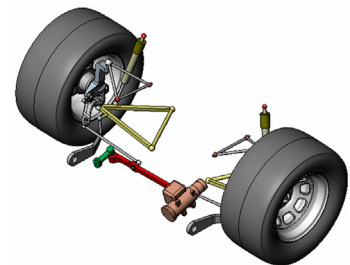


**Optimierungsstudien** werden verwendet, um die Ausgangskonstruktion auf der Grundlage ausgewählter Kriterien, wie z. B. maximale Spannung, Gewicht, optimale Frequenz usw., zu verbessern (optimieren). Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:



Kann die Form des Modells unter Beibehaltung des Entwurfsplans geändert werden?  
Kann die Konstruktion leichter, kleiner oder kostengünstiger gemacht werden, ohne dass sich dies auf die Leistungsfähigkeit auswirkt?

Mit **Ermüdungsstudien** kann die Beständigkeit von Teilen und Baugruppen analysiert werden, die über längere Zeiträume wiederholt belastet werden. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:  
Kann die Lebensdauer des Produkts genau bestimmt werden?  
Lässt sich die Lebensdauer des Produkts durch Änderungen an der aktuellen Konstruktion verlängern?  
Hält das Modell Kraft- oder Temperaturschwankungen über längere Zeiträume stand?  
Können Konstruktionsänderungen zu einer Minimierung der durch Kraft- oder Temperaturschwankungen verursachten Schäden beitragen?

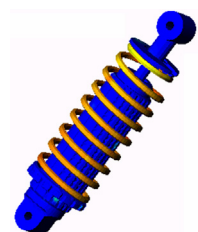


In Studien zur **Druckbehälterkonstruktion** werden die Ergebnisse statischer Studien mit den gewünschten Faktoren kombiniert. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

Ist meine Druckbehälterkonstruktion sicher?  
Wie lässt sich die Wandstärke der Druckbehälterkonstruktion optimieren?

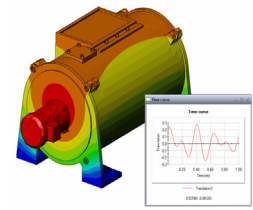
Mit **nichtlinearen** Studien kann die Spannung in Teilen oder Baugruppen analysiert werden, die extremen Belastungen und/oder großen Verformungen unterliegen. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

Funktionieren Teile aus Gummi (wie z. B. O-Ringe) wie erwartet unter der gegebenen Belastung?  
Kommt es unter den normalen Betriebsbedingungen zu einer übermäßigen Durchbiegung des Modells?



Mit **dynamischen** Studien werden Gegenstände analysiert, die zeitabhängigen Lasten unterliegen. Typische Beispiele dafür sind Fahrzeugkomponenten, die Stoßbeanspruchungen unterliegen, Turbinen, die Schwingungskräften unterliegen, Flugzeugkomponenten, die zufällig einwirkenden Kräften unterliegen, usw. Sowohl lineare (kleine strukturelle Verformungen, Grundmaterialmodelle) als auch nichtlineare Analysen (große strukturelle Verformungen, extreme Belastungen und erweiterte Modelle) stehen hier zur Verfügung. Dieser Studientyp liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

Halten die Aufhängungen der Stoßbeanspruchung stand, wenn das Fahrzeug durch ein großes Schlagloch in der Straße fährt? Wie groß ist die Verformung unter diesen Umständen?



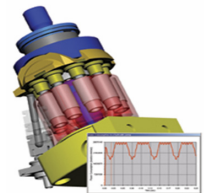
Mit **Motion Simulation** kann das kinematische und dynamische Verhalten von Mechanismen analysiert werden. Die Verbindungs- und Trägheitskräfte können anschließend in SolidWorks Simulation Studien übertragen werden, um die Spannungsanalyse durchzuführen. Dieses Modul liefert z. B. Antworten auf folgende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

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

Ist die Konstruktion der Verknüpfungen, Zahnräder oder Riegelmechanismen optimal?

Welche Verschiebungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen weisen die Mechanismuskomponenten auf?

Ist der Mechanismus effizient? Kann er verbessert werden?



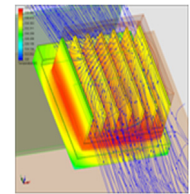
Mit **Flow Simulation** können das Verhalten und die Auswirkungen von Fluiden analysiert werden, die um oder in Teilen und Baugruppen strömen. Darüber hinaus wird auch die Wärmeübertragung in Fluids und Feststoffen berücksichtigt. Die Druck- und Temperatureergebnisse können anschließend in SolidWorks Simulation Studien übertragen werden, um die Spannungsanalyse durchzuführen. Dieses Modul liefert z. B. Antworten auf folgende typische Fragen:

Ist die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids zu hoch und führt dies zu Problemen in der Konstruktion?

Ist das Fluid zu warm oder zu kalt?

Ist die Wärmeübertragung im Produkt effizient? Kann sie verbessert werden?

Ist die Konstruktion hinsichtlich der durch das System strömenden Fluide optimal ausgelegt?



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

Versagt das Verbundstoffmodell unter der gegebenen Belastung?

Kann die Struktur mithilfe von Verbundstoffmaterialien leichter gemacht werden, ohne dass dadurch die Festigkeit und Sicherheit beeinträchtigt werden?

Lösen sich die Schichten des Schichtverbunds auf?



Zusätzlich zu den oben genannten Paketen gibt es noch andere Pakete, mit denen sich andere Arten von Simulationen durchführen lassen. Dazu gehören:

- SolidWorks Flow Simulation
- SolidWorks Plastics
- SolidWorks Sustainability

Es gibt Lehrbücher für Kursleiter und Kursteilnehmer über SolidWorks Simulation und SolidWorks Flow Simulation. Projekte zu verschiedenen Themen wie den oben genannten befinden sich in den Studienplänen für Kursleiter und Kursteilnehmer.

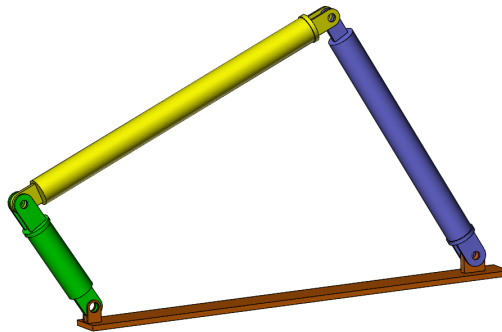
# Grundlegende Funktionen von SolidWorks Motion

---

## Ziele dieser Lektion

---

Einführung der kinematischen und dynamischen Bewegungsanalyse als ergänzendes Werkzeug für die 3D-Modellierung mit SolidWorks. Nach erfolgreichem Abschluss sollen die Kursteilnehmer in der Lage sein, die grundlegenden Konzepte des Verhaltens von Mechanismen zu verstehen und nachzuvollziehen, wie SolidWorks Motion sie bei der Bestimmung von wichtigen Konstruktionsparametern (wie zum Beispiel Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Kräften und Momenten) unterstützen kann. Die Kursteilnehmer sollen erkennen, welche Möglichkeiten aus der Kombination von 3D-Modellierung und Mechanismenanalyse im Konstruktionsprozess erwachsen.



Einführung der Mechanismenanalyse anhand einer aktiven Lernübung. Mit dieser Lernübung sollen die Kursteilnehmer den Einstieg finden und einige Schritte zur Durchführung einer Analyse vollziehen. Unter Beachtung dieses Aspekts werden die Schritte mit möglichst knapper Beschreibung durchgeführt.

Es gilt, den Kursteilnehmern zu vermitteln, wie sie ihre Mechanismen unter Verwendung von SolidWorks Motion korrekt simulieren können.

## Gliederung

---

- Unterrichtsdiskussion
- Aktive Lernübung – Bewegungsanalyse eines 4-gliedrigen Mechanismus
  - Öffnen des Dokuments 4Bar . SLDASM
  - Überprüfen des SolidWorks Motion Menüs
  - Modellbeschreibung
  - Wechseln zum SolidWorks MotionManager
  - Fixierte und bewegliche Komponenten
  - Steuernde SolidWorks Baugruppenverknüpfungen
  - Festlegen des Antriebs
  - Ausführen der Simulation
  - Visualisieren der Ergebnisse
  - Erstellen einer Spurkurve
- 5-minütiger Test
- Unterrichtsdiskussion – Berechnen des zur Erzeugung der Bewegung erforderlichen Drehmoments
- Weiterführende Fragen – Modifizieren der Geometrie
- Übungen und Projekte – Schubkurbelmechanismus
- Lektion 1 – Arbeitsblatt „Begriffe“
- Lektion 1 – Quiz
- Zusammenfassung

## Unterrichtsdiskussion

---

Bitten Sie die Kursteilnehmer, Mechanismen aus ihrem Umfeld zu identifizieren und deren Verhalten zu beschreiben. Lassen Sie sich erklären, wie ein Konstrukteur Software zur Bewegungssimulation nutzbringend einsetzen kann. Bei der Erklärung können sich die Kursteilnehmer auf das Beispiel des 4-gliedrigen Getriebes beziehen.

### Antwort:

Software zur Bewegungssimulation kann zum Studium der Bewegung von Komponenten anhand von Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung verwendet werden. So kann der Kursteilnehmer beispielsweise durch Simulation der Baugruppe 4Bar linkage (4-gliedriger Mechanismus) diese Parameter für jedes Glied untersuchen.

Außerdem liefert die Software zur Bewegungssimulation die Reaktionskräfte und Momente, die in jeder Verknüpfung wirken. Anhand dieser Daten kann ein Konstrukteur eine Vorstellung davon gewinnen, welches Drehmoment für den Antrieb des 4-gliedrigen Mechanismus erforderlich ist.

Die in jeder Komponente wirkenden Reaktions- und Körperkräfte können in eine SolidWorks Simulation Spannungsanalyse exportiert werden, um die Wirkung dieser Kräfte (Verformung und Spannung) auf die Komponente zu analysieren.

Software zur Bewegungssimulation kann sich als hilfreich bei der Konstruktion von für das Funktionieren eines Mechanismus erforderlichen Federn, Dämpfern und Kurvengliedern erweisen. Desgleichen kann sie zur Dimensionierung von Motoren und Stellgliedern für Mechanismen verwendet werden.

### Weiterführende Fragen

Fragen Sie die Kursteilnehmer, wie im Zusammenhang mit der strukturellen Analyse die Kräfte ermittelt werden, die auf ein bestimmtes Objekt (dessen Spannung in SolidWorks Simulation analysiert wird) wirken. Sind diese Kräfte immer bekannt oder lassen sie sich mit bekannten Formeln schätzen?

### Antwort:

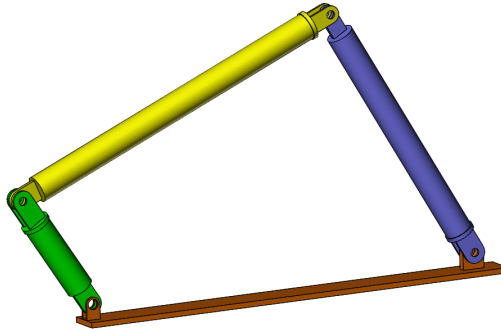
Bei einigen Problemen im Zusammenhang mit Mechanismen sind die Lasten entweder bekannt oder zu vernachlässigen. Beispiel: Wird ein 4-gliedriger Mechanismus nur mit kleiner Rotationsgeschwindigkeit betrieben, sind die in den Gliedern wirkenden Reaktionskräfte gering und können vernachlässigt werden. Wenn der Mechanismus jedoch mit hoher Geschwindigkeit angetrieben wird (wie zum Beispiel Zylinder und Kolben eines Motors), können große Kräfte auftreten, die nicht ignoriert werden dürfen. Diese Kräfte können mit einer SolidWorks Motion Simulation bestimmt und anschließend in eine SolidWorks Simulation Spannungsanalyse exportiert werden, um die strukturelle Integrität der Komponenten zu untersuchen.

## Aktive Lernübung – Bewegungsanalyse eines 4-gliedrigen Mechanismus

---

Verwenden Sie SolidWorks Motion Simulation zur Durchführung einer Bewegungsanalyse der unten abgebildeten Baugruppe 4Bar . SLDASM. Das grüne Glied wird mit einem Drehwinkel von  $45^\circ$  pro Sekunde im Uhrzeigersinn bewegt. Anhand dieses Wertes lassen sich Winkelgeschwindigkeit und -beschleunigung der anderen Glieder als Funktion der Zeit berechnen. Darüber hinaus wird das Drehmoment zur Einleitung dieser Bewegung berechnet (Thema für die Unterrichtsdiskussion).

Die schrittweise Anleitung ist nachfolgend beschrieben.



### Öffnen des Dokuments 4Bar.SLDASM

- 1 Klicken Sie auf **Datei, Öffnen**. Navigieren Sie im Dialogfeld Öffnen zur Baugruppe 4Bar . SLDASM, die sich im entsprechenden Unterordner des Ordners Anfängliche Modelldateien befindet, und klicken Sie auf **Öffnen** (oder doppelklicken Sie auf die Datei).

### Überprüfen der SolidWorks Motion Zusatzanwendung

Stellen Sie sicher, dass die SolidWorks Motion Zusatzanwendung aktiviert ist.

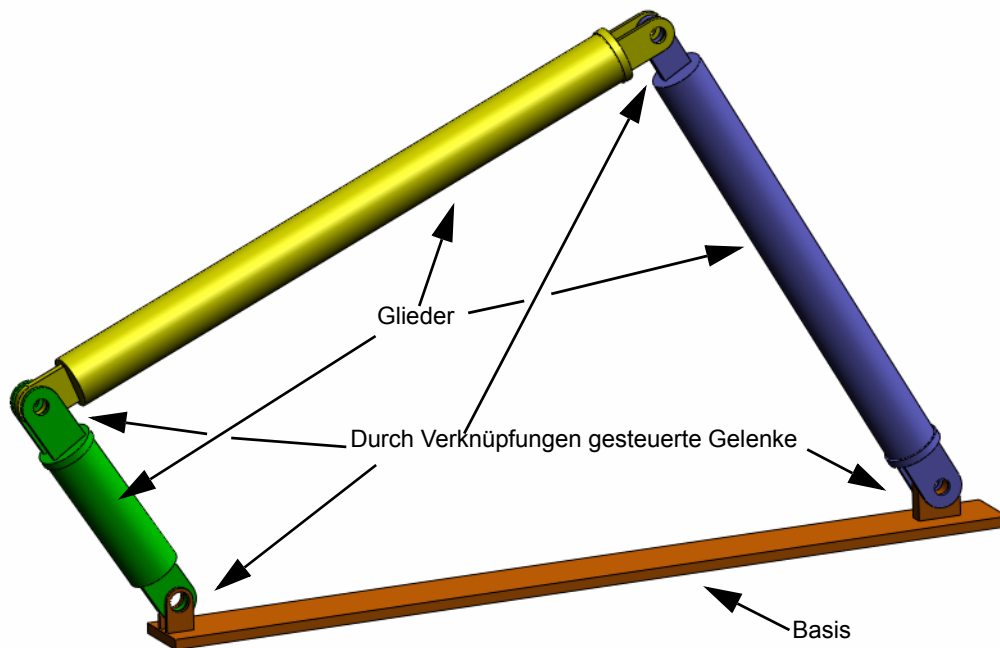
Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- 1 Klicken Sie auf **Extras, Zusatzanwendungen**. Das Dialogfeld **Zusatzanwendungen** wird angezeigt.
- 2 Stellen Sie sicher, dass das Kontrollkästchen neben SolidWorks Motion aktiviert ist.
- 3 Klicken Sie auf **OK**.



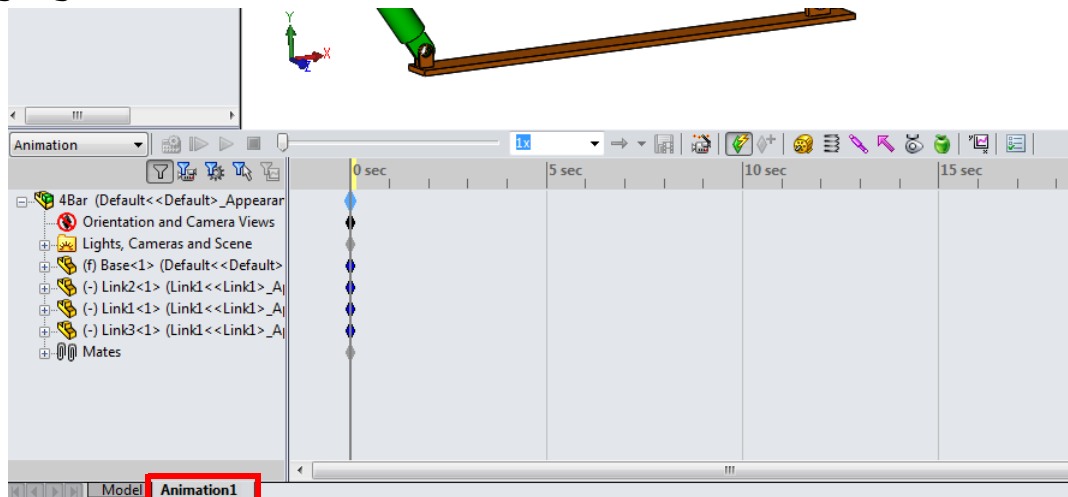
## Modellbeschreibung

Das hier untersuchte Modell repräsentiert einen typischen 4-gliedrigen Mechanismus (eine kinematische Kette aus 4 Gliedern und 4 Gelenken). Das Basisteil ist fixiert und kann nicht bewegt werden. Es verharrt in horizontaler Lage und ist in der Praxis an der Unterlage (einem Gestell) befestigt. Die drei anderen Glieder sind miteinander und mit dem Basisteil durch Stifte verbunden. Die Glieder können sich innerhalb ein und derselben Ebene um die Stifte drehen. Bewegungen außerhalb der Ebene werden verhindert. Bei der Modellierung des Mechanismus in SolidWorks werden Verknüpfungen erzeugt, die dazu dienen, die Bauteile zu positionieren. SolidWorks Motion wandelt diese Verknüpfungen automatisch in interne Gelenke um. Jede Verknüpfung zeichnet sich durch mehrere Freiheitsgrade aus. Eine konzentrische Verknüpfung beispielsweise hat nur zwei Freiheitsgrade (Translation und Drehung um die eigene Achse). Weitere Informationen zu Verknüpfungen und ihren Freiheitsgraden finden Sie in der Online-Hilfe zu SolidWorks Motion.



## Wechseln zum SolidWorks MotionManager

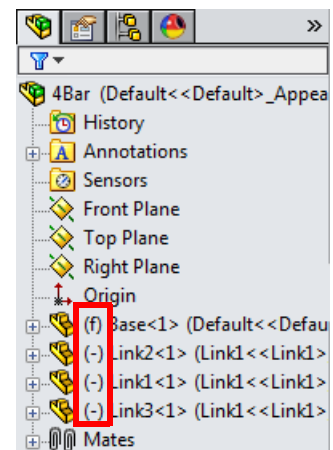
Wechseln Sie zu SolidWorks Motion, indem Sie unten links auf die Registerkarte Bewegungssimulation1 klicken.



SolidWorks Motion basiert auf SolidWorks Animator, so dass der SolidWorks MotionManager in Funktionsweise und Aussehen sehr SolidWorks Animator ähnelt.

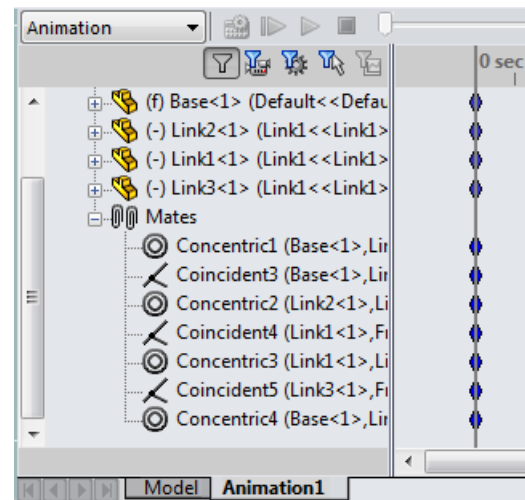
## Fixierte und bewegliche Komponenten

Fixierte und bewegliche Komponenten in SolidWorks Motion werden anhand ihres Status im SolidWorks Modell (**Fixieren/ Fixierung aufheben**) definiert. In diesem Fall ist die Komponente Base (Basis) fixiert, während die anderen drei Glieder frei beweglich sind.



## Automatische Erstellung von internen Gelenken aus SolidWorks Baugruppenverknüpfungen

Die Bewegung des Mechanismus wird vollständig durch die SolidWorks Verknüpfungen definiert.



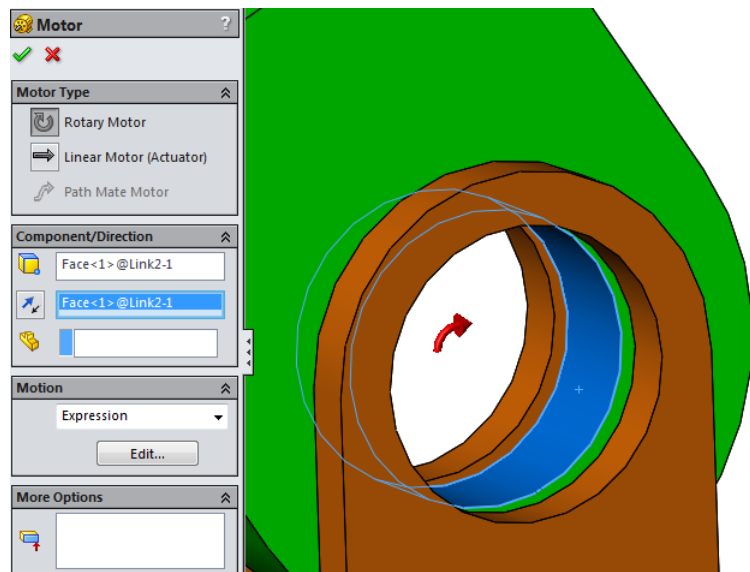
## Festlegen des Antriebs

Im nächsten Schritt wird für eines der Glieder eine Bewegung definiert. In diesem Beispiel soll die Komponente **Link2** (Glieder2) um  $45^\circ$  im Uhrzeigersinn um die Komponente **Base** (Basis) gedreht werden. Dazu wird auf **Link2** (Glieder2) im Bereich der konzentrischen Verknüpfung, die die Stiftverbindung mit der Komponente **Base** (Basis) simuliert, eine Drehbewegung angewendet. Um sicherzustellen, dass **Link2** innerhalb einer Sekunde gleichmäßig um  $45^\circ$  gedreht wird, wird eine Schrittfunktion verwendet.

Klicken Sie auf das Symbol **Motor** , um das Dialogfeld **Motor** zu öffnen.

Klicken Sie unter **Motortyp** auf **Rotationsmotor**.

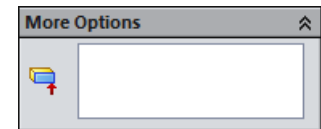
Wählen Sie unter **Komponente/Richtung** die zylindrische Fläche der Komponente **Link2**, die über eine Stiftverbindung mit der Komponente **Base** verknüpft ist (siehe Abbildung), für die Felder **Motorrichtung** und **Motorposition** aus. Der Motor wird im Mittelpunkt der ausgewählten zylindrischen Fläche positioniert.



Klicken Sie unter **Bewegung** auf **Ausdruck**, um das Fenster **Funktionserstellung** zu öffnen.

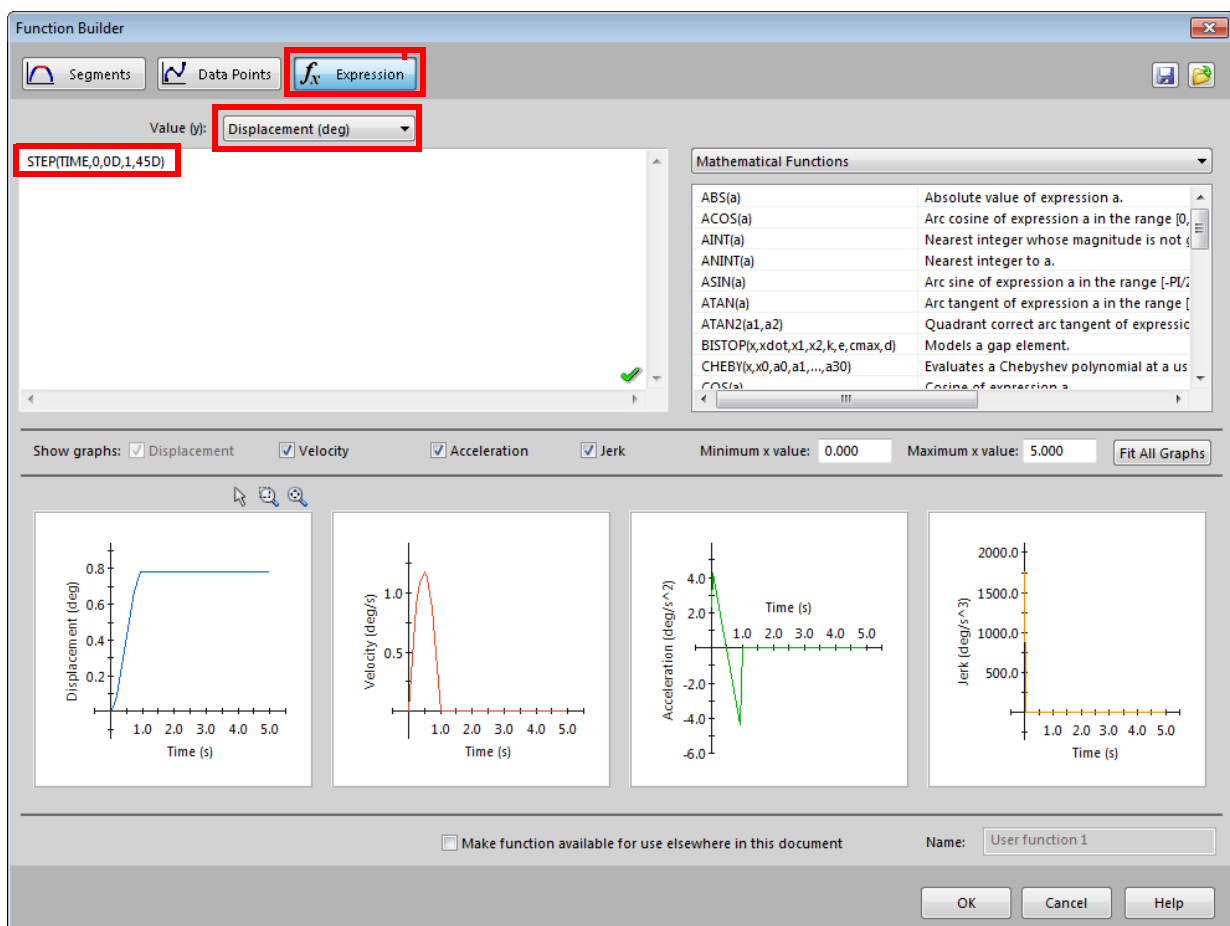
**Hinweis:** Das letzte Feld unter dem Eigenschaftsdialogfeld **Komponente/Richtung**, das die Bezeichnung **Komponente verschieben relativ zu** trägt, wird zum Angeben der Referenzkomponente für die Eingabe der relativen Bewegung verwendet. Da die Komponente **Link2** in Bezug auf die fixierte Komponente **Base** verschoben werden soll, wird dieses Feld leer gelassen.

Mit dem letzten Eigenschaftsdialogfeld, **Weitere Optionen**, können die lasttragenden Flächen/Kanten für die Übertragung der Bewegungslasten in die Spannungsanalyse-Software SolidWorks Simulation angegeben werden.



Wählen Sie im Fenster **Funktionserstellung** die Option **Verschiebung (°)** für **Wert (y)**, und geben Sie **STEP(TIME,0,0D,1,45D)** in das Feld **Ausdrucksdefinition** ein.

**Hinweis:** Sie können auch rechts im Fenster **Funktionserstellung** in der Liste der verfügbaren Funktionen auf **STEP(x,h0,x1,h1)** doppelklicken.



Die Diagramme unten im Fenster **Funktionserstellung** zeigen die Variationen bei Verschiebungen, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Reflex an.

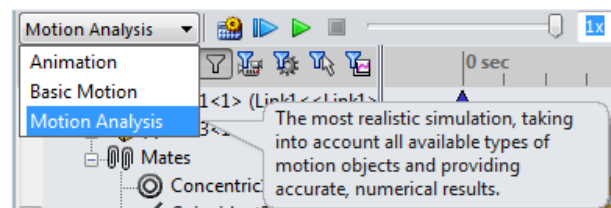
Klicken Sie zweimal auf **OK**, um das Fenster **Funktionserstellung** und den PropertyManager **Motor** zu schließen.

## Arten der Bewegungsanalyse

SolidWorks bietet drei Arten der Baugruppenbewegungssimulation:

- 1 Bei der **Bewegungssimulation** handelt es sich um eine einfache Bewegungssimulation, bei der die Trägheitseigenschaften, Kontaktbedingungen, Kräfte usw. der Komponenten nicht berücksichtigt werden. Durch diese Art von Simulation kann überprüft werden, ob die richtigen Verknüpfungen vorhanden sind oder die ordnungsgemäßen grundlegenden Bewegungssimulationen verwendet werden.
- 2 Die Option **Basisbewegung** ist realitätsnaher, da z. B. die Trägheitseigenschaften der Komponenten berücksichtigt werden. Extern aufgebrachte Kräfte werden jedoch nicht erkannt.
- 3 **Bewegungsanalyse** ist das fortschrittlichste und umfangreichste Werkzeug zur Bewegungsanalyse und berücksichtigt alle erforderlichen Analyse-Features, wie z. B. Trägheitseigenschaften, externe Kräfte, Kontaktbedingungen, Verknüpfungsreibung usw.

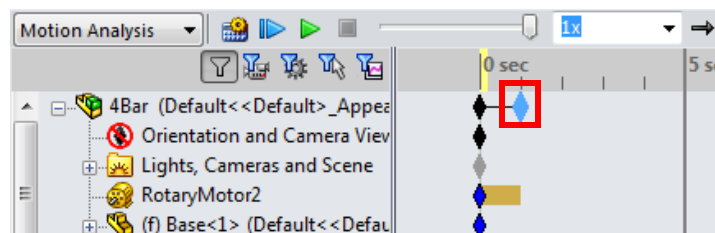
Klicken Sie links im SolidWorks MotionManager unter **Studientyp** auf **Bewegungsanalyse**.



## Simulationsdauer

Die Dauer der Bewegungssimulation wird durch den obersten Zeitrahmen im SolidWorks MotionManager gesteuert. Da SolidWorks Motion die Standardanalysedauer auf fünf Sekunden festlegt, muss dieser Wert geändert werden.

Verschieben Sie im obersten Zeitrahmen die Markierung für die Endzeit von fünf Sekunden auf eine Sekunde.



**Hinweis:** Mit den Zoom-Tasten können Sie den Zeitrahmen verkleinern bzw. vergrößern.

Durch Klicken mit der rechten Maustaste auf den Zeitrahmen können Sie die gewünschte Simulationsdauer manuell eingeben.

## Ausführen der Simulation


Klicken Sie im SolidWorks MotionManager auf das Symbol **Berechnen** .

Die Bewegungssimulation wird während der Berechnung angezeigt.

## Visualisieren der Ergebnisse

### Absolute Ergebnisse im globalen Koordinatensystem

Erstellen Sie zunächst eine Darstellung der Winkelgeschwindigkeit und -beschleunigung für Link1 (Glied1).

Klicken Sie auf das Symbol **Ergebnisse und Darstellungen** , um das Dialogfeld **Ergebnisse** zu öffnen.

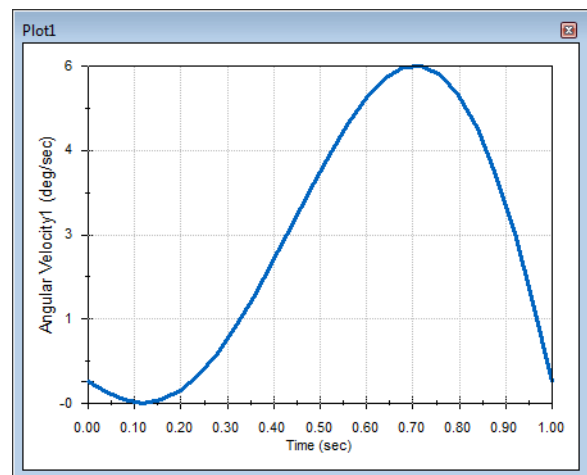
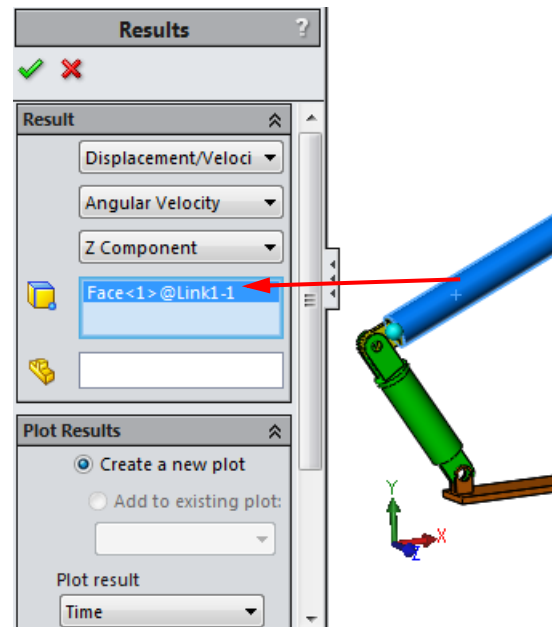
Wählen Sie unter **Ergebnis** die Optionen **Verschiebung/Geschwindigkeit/Beschleunigung, Winkelgeschwindigkeit** und **Z-Komponente** aus.

Wählen Sie außerdem unter **Ergebnisse** die Komponente Link1 (Glied1) aus.

Mit dem Feld **Komponente zur Definition der XYZ-Richtungen (optional)** können die Darstellungsergebnisse auf ein lokales Koordinatensystem einer anderen beweglichen Komponente bezogen werden. Um die Ergebnisse in dem in der Abbildung gezeigten Standardkoordinatensystem darzustellen, lassen Sie dieses Feld leer.

Klicken Sie auf **OK**, um die Darstellung anzuzeigen.

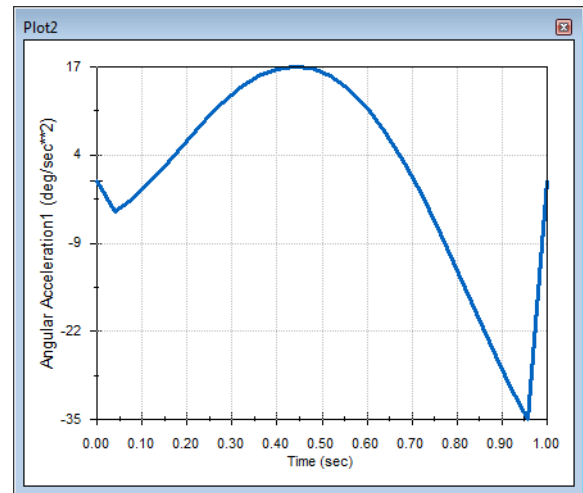
Die Darstellung zeigt die Winkelgeschwindigkeit am Massenmittelpunkt von Link1 in Abhängigkeit von der Zeit.



Wiederholen Sie das vorherige Verfahren, um eine Darstellung der **Z-Komponente** der **Winkelbeschleunigung** am Massenmittelpunkt von Link1 zu erstellen.

Im globalen Koordinatensystem betragen die maximale Winkelgeschwindigkeit und die maximale Winkelbeschleunigung 6 Grad/Sek. bzw. 35 Grad/Sek.<sup>2</sup>.

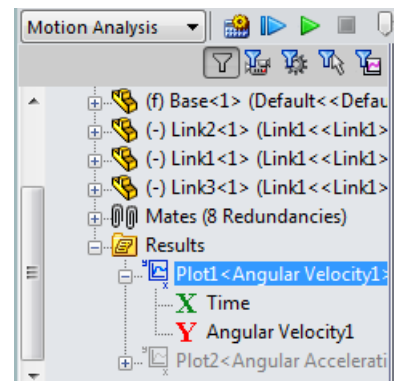
Erstellen Sie gleichermaßen die Darstellungen der **Z-Komponente** der Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung am Massenmittelpunkt für Link2 und Link3.



### Speichern und Bearbeiten der Ergebnisdarstellungen

Die erstellten Ergebnisdarstellungs-Features werden im neu erstellten Ordner Ergebnisse unten im SolidWorks MotionManager gespeichert.

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf ein Darstellungs-Feature, um die Darstellung ein- oder auszublenden oder die Einstellungen zu bearbeiten.



### Weitere Informationen zu den Ergebnissen

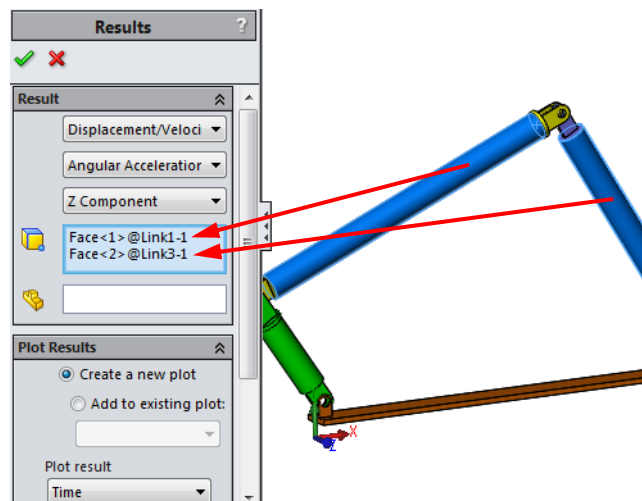
#### Relative Ergebnisse im globalen Koordinatensystem

Stellen Sie die **Z-Komponente** der relativen Winkelbeschleunigung von Link1 in Bezug auf Link3 dar.

Klappen Sie den Ordner Results (Ergebnisse) auf. Stellen Sie sicher, dass Plot2 (Darstellung 2) angezeigt wird. Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf Plot2 und wählen Sie **Feature bearbeiten**.

Wählen Sie im Feld **Wählen Sie eine oder zwei Teilflächen oder ein Verknüpfungs-/ Simulationselement zur Erstellung des Ergebnisses** aus den Link3 als zweite Komponente aus.

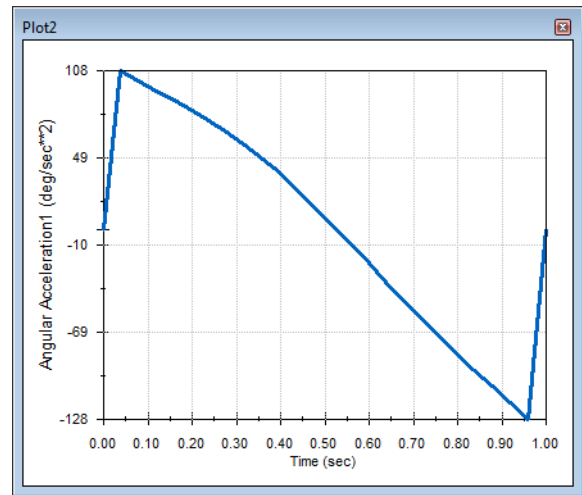
Klicken Sie auf **OK**, um die Darstellung anzuzeigen.





In der Darstellung wird die Beschleunigung von Link1 (Massenmittelpunkt) in Bezug auf Link3 (Koordinatensystem des Teils) angezeigt. Die maximale relative Beschleunigung beträgt  $128 \text{ Grad/Sek.}^2$  in der negativen Z-Drehrichtung.

Beachten Sie außerdem, dass sich die Variation der Beschleunigung verglichen mit dem obigen Ergebnis der absoluten Beschleunigung für Link1 allein erheblich geändert hat.



**Hinweis:** Die positive Drehrichtung kann mit der Rechte-Hand-Regel bestimmt werden. Wenn der Daumen der rechten Hand in die Richtung der Achse (in diesem Fall die Z-Achse) zeigt, zeigen die Finger die positive Richtung für die Z-Komponente der Drehung an.

### Relative Ergebnisse im lokalen Koordinatensystem

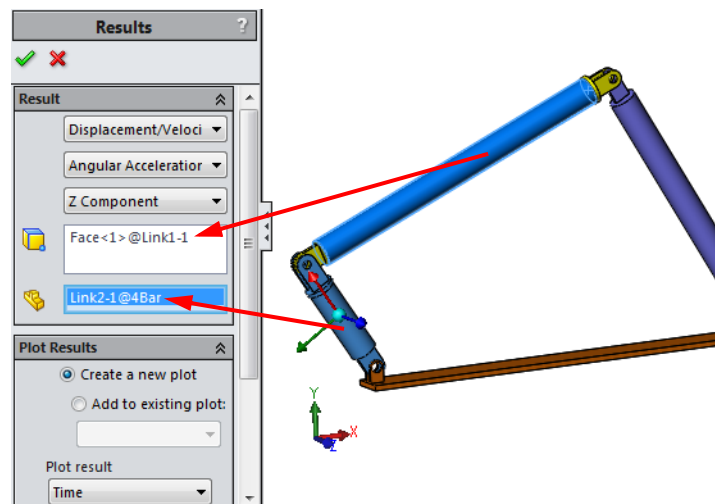
Transformieren Sie die Z-Komponente der absoluten Beschleunigung von Link1 in das lokale Koordinatensystem von Link2.

Bearbeiten Sie die obige Darstellung, Plot2, und löschen Sie Link3 im Feld

**Wählen Sie eine oder zwei Teilflächen oder ein Verknüpfungs-/Simulationselement zur Erstellung des Ergebnisses aus.**

Wählen Sie dann Link2 im Feld **Komponente zur Definition der XYZ-Richtungen** aus.

Klicken Sie auf **OK**, um die Darstellung anzuzeigen.

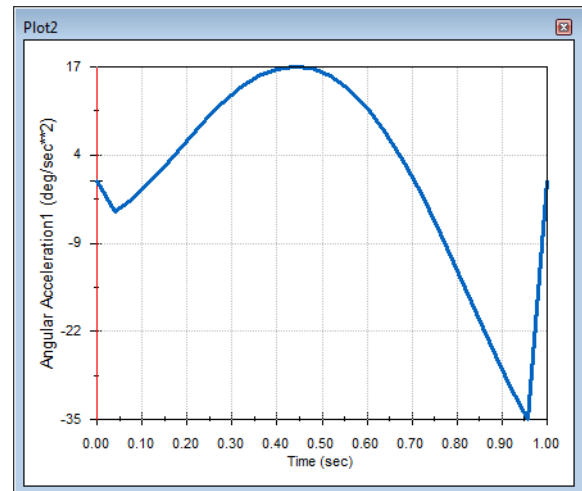


**Hinweis:** Die Triade auf der Komponente Link2 zeigt das lokale Ausgabekoordinatensystem an. Im Unterschied zum globalen Koordinatensystem, das fixiert ist, können lokale Koordinatensysteme sich drehen. Im vorliegenden Fall dreht sich das ausgewählte lokale Koordinatensystem, weil die Komponente Link2 sich dreht, während der Mechanismus sich bewegt.



Die maximale Z-Komponente der absoluten Beschleunigung von Link1 im lokalen Koordinatensystem von Link2 beträgt 35 Grad/sec<sup>2</sup> in der negativen Z-Drehrichtung.

Wenn man dieses absolute Ergebnis im lokalen Koordinatensystem mit der absoluten Beschleunigung im globalen Koordinatensystem vergleicht, sieht man, dass sie identisch sind. Der Grund dafür ist, dass die Z-Achsen in beiden Systemen gleichmäßig ausgerichtet sind.



Wiederholen Sie die obigen Schritte für verschiedene Komponenten und lokale Koordinatensysteme.

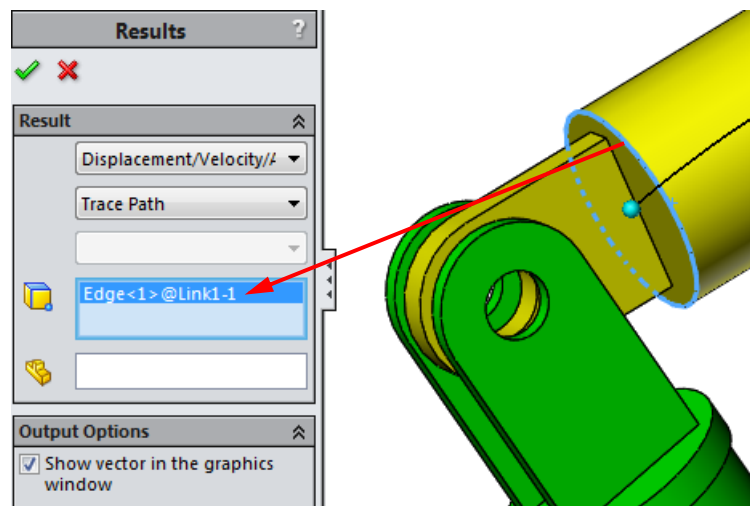
### Erstellen einer Spurkurve

Mit SolidWorks Motion ist es möglich, die Bahn eines beliebigen Körperpunktes eines beliebigen beweglichen Teiles nachzuverfolgen und grafisch darzustellen. Sie können eine Spurkurve in Bezug auf ein fixiertes Teil oder in Bezug auf eine bewegliche Komponente in der Baugruppe erstellen. Im Folgenden soll eine Spurkurve für einen Punkt auf der Komponente Link1 erstellt werden.

Klicken Sie zum Erstellen einer Spurkurve auf das Symbol **Ergebnisse und Darstellungen**.

Wählen Sie im Dialogfeld **Ergebnisse** die Optionen **Verschiebung/ Geschwindigkeit/ Beschleunigung** und **Bahn verfolgen** aus.

Wählen Sie im ersten Auswahlfeld die runde Kante von Link1 aus, um den Mittelpunkt des Kreises zu definieren. Die Kugel zeigt den Mittelpunkt des Kreises an.



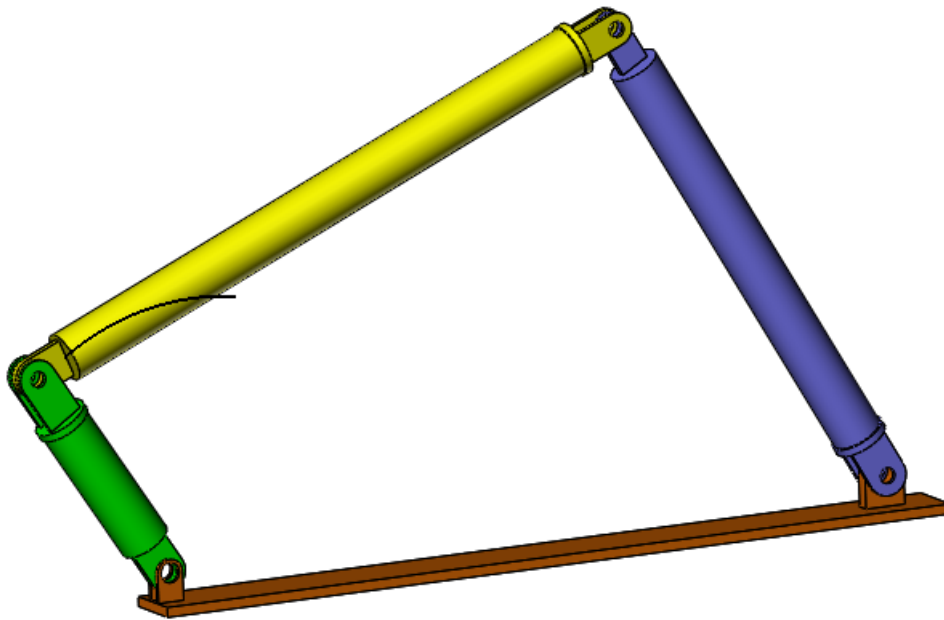
Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Vektor im Grafikfenster anzeigen**. Der Pfad wird dann auf dem Bildschirm als schwarze Kurve angezeigt.

---

**Hinweis:** Die resultierende Spurkurve wird standardmäßig mit Bezug auf den fixierten Boden angezeigt. Um die Spurkurve in Bezug auf eine andere bewegliche Komponente darzustellen, muss diese Referenzkomponente im gleichen Auswahlfeld als zweite Komponente ausgewählt werden.

---

Klicken Sie auf **OK**, um das Dialogfeld **Ergebnisse** zu schließen. Verkleinern Sie die Abbildung, um das ganze Modell zu sehen, und geben Sie (**Wiedergabe**) die Simulation wieder.



Damit ist die erste SolidWorks Motion Simulation fertig gestellt.

## 5-minütiger Test – Lösungsschlüssel

---

Name: \_\_\_\_\_ Kurs: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

*Anweisung: Beantworten Sie jede Frage, indem Sie die richtige(n) Antwort(en) in den freien Platz im Anschluss an die Frage eintragen. Bei vorgegebenen Antworten ist die korrekte Antwort einzukreisen.*

1. Wie starten Sie eine SolidWorks Motion Sitzung?

**Antwort:** Klicken Sie in der Windows-Taskleiste auf **Start, Programme, SolidWorks, SolidWorks**. Die Anwendung SolidWorks wird gestartet. Klicken Sie unten im SolidWorks Dokumentfenster auf die Registerkarte für den SolidWorks Motion Manager (diese heißt standardmäßig Bewegungssimulation1).

2. Wie wird die SolidWorks Motion Zusatzanwendung aktiviert?

**Antwort:** Klicken Sie auf **Extras, Zusatzanwendungen**, aktivieren Sie das Kontrollkästchen neben **SolidWorks Motion**, und klicken Sie auf **OK**.

3. Welche Arten der Bewegungssimulation sind in SolidWorks verfügbar?

**Antwort:** SolidWorks bietet drei Arten der Bewegungssimulation: Bewegungssimulation, Basisbewegung und Bewegungsanalyse.

4. Was ist in diesem Zusammenhang unter Analyse zu verstehen?

**Antwort:** Eine Analyse ist ein Vorgang, bei dem das Verhalten einer Konstruktion unter praxisähnlichen Bedingungen simuliert wird.

5. Warum ist diese Analyse wichtig?

**Antwort:** Eine Konstruktionsanalyse kann dazu beitragen, bessere, sicherere und billigere Produkte zu entwerfen. Sie spart Zeit und Geld, indem sie den Bedarf an herkömmlichen teuren Entwurfszyklen verringert.

6. Was wird bei einer SolidWorks Motion Analyse berechnet?

**Antwort:** Eine Bewegungsanalyse berechnet Verschiebungen, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Reaktionskräfte für ein gegebenes Modell in Bewegung.

7. Setzt SolidWorks Motion starre oder elastische Teile voraus?

**Antwort:** SolidWorks Motion dient lediglich zur kinematischen Analyse und setzt daher voraus, dass sämtliche Teile ideale Starrkörper sind.

8. Warum ist die Bewegungsanalyse wichtig?

**Antwort:** Anhand einer Bewegungsanalyse können Sie feststellen, wie sicher und wirtschaftlich Ihre Konstruktion unter den Betriebsbedingungen ist.

9. Welche wesentlichen Schritte zeichnen eine Bewegungsanalyse aus?

**Antwort:** Die Hauptschritte einer Bewegungsanalyse sind: Erstellen des Mechanismus in SolidWorks (Erstellen der Verknüpfungen), Anwenden einer Bewegung auf das Antriebsteil, Ausführen der Simulation und Visualisieren der Ergebnisse.

10. Was ist unter einer Spurkurve zu verstehen?

**Antwort:** Eine Spurkurve ist eine Bahn oder Bahnkurve, die jeder Körperpunkt eines sich bewegenden Teils nachvollzieht.

11. Werden SolidWorks Verknüpfungen im SolidWorks Motion Modell verwendet?

**Antwort:** Ja. Mit SolidWorks Verknüpfungen werden automatisch interne Gelenke in SolidWorks Motion erstellt. Verknüpfungen definieren daher die Bewegung des simulierten Mechanismus.

## 5-minütiger Test

## REPRODUZIERBAR

Name: \_\_\_\_\_ Kurs: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

*Anweisung: Beantworten Sie jede Frage, indem Sie die richtige(n) Antwort(en) in den freien Platz im Anschluss an die Frage eintragen. Bei vorgegebenen Antworten ist die korrekte Antwort einzukreisen.*

1. Wie starten Sie eine SolidWorks Motion Sitzung?

---

---

2. Wie wird die SolidWorks Motion Zusatzanwendung aktiviert?

---

3. Welche Arten der Bewegungssimulation sind in SolidWorks verfügbar?

---

4. Was ist in diesem Zusammenhang unter Analyse zu verstehen?

---

5. Warum ist diese Analyse wichtig?

---

---

6. Was wird bei einer SolidWorks Motion Analyse berechnet?

---

---

7. Setzt SolidWorks Motion starre oder elastische Teile voraus?

---

---

8. Warum ist die Bewegungsanalyse wichtig?

---

---

9. Welche wesentlichen Schritte zeichnen eine Bewegungsanalyse aus?

---

---

10. Was ist unter einer Spurkurve zu verstehen?

---

---

11. Werden SolidWorks Verknüpfungen im SolidWorks Motion Modell verwendet?

---

---

## Unterrichtsdiskussion – Berechnen des für den Antrieb des 4-gliedrigen Beispielmechanismus erforderlichen Drehmoments

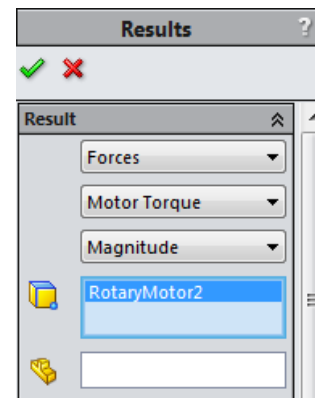
Bitten Sie die Kursteilnehmer zu erläutern, wie die Drehbewegung über das Antriebsglied des 4-gliedrigen Mechanismus eingeleitet wird. Derartige Mechanismen werden häufig von Motoren gesteuert. Ein wichtiger Parameter bei der Dimensionierung des Motors ist das von ihm erzeugte Drehmoment, das eine der standardmäßigen Ausgabegrößen in SolidWorks Motion darstellt. Das Ermitteln dieses Drehmoments ist hilfreich bei der Auswahl des passenden Antriebs für die Anwendung.

Wie wird das Drehmoment von SolidWorks Motion berechnet?

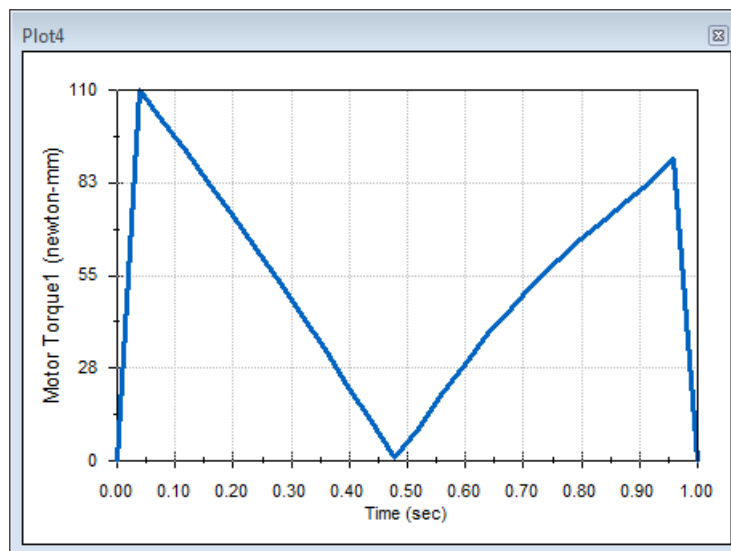
**Antwort:**

Klicken Sie auf das Symbol **Ergebnisse und Darstellungen**, um das Dialogfeld **Ergebnisse** zu öffnen.

Wählen Sie die Optionen **Kräfte**, **Motor-Drehmoment** und **Magnitude** aus und dann das Feature **Rotationsmotor1**, das den Mechanismus steuert (in diesem Beispiel wurde auf **Link2** eine Winkelgeschwindigkeit von 45 Grad pro Sekunde angewendet).



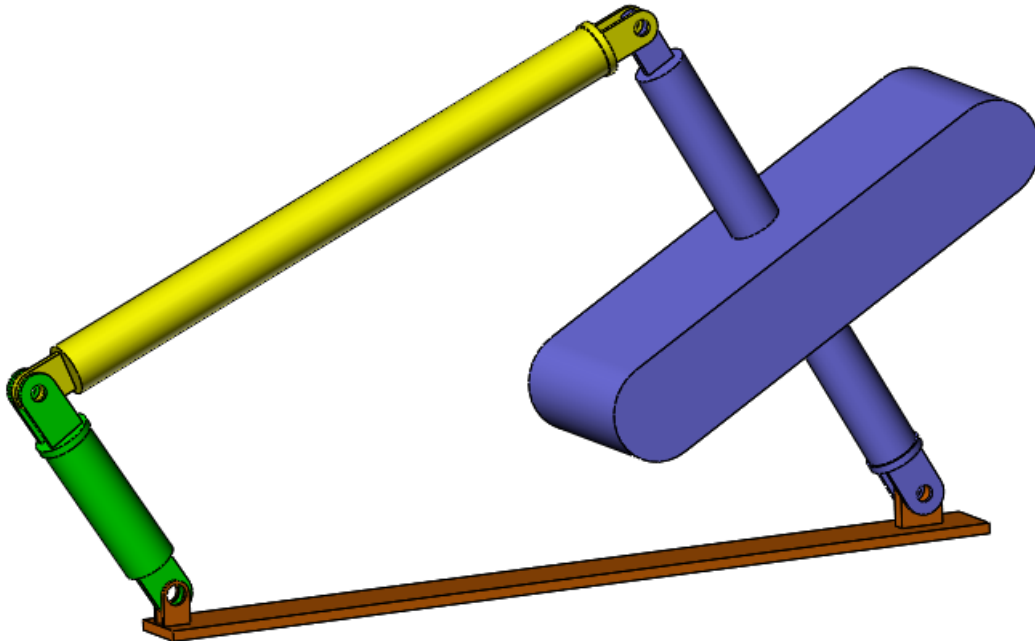
Klicken Sie auf **OK**, um die Darstellung zu erstellen.



Das erforderliche Drehmoment beträgt ungefähr 110 N-mm.

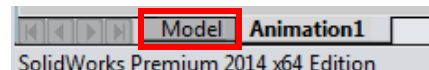
## Weiterführende Fragen – Modifizieren der Geometrie

Bitten Sie die Kursteilnehmer, die Geometrie von Link3 so zu modifizieren, dass der 4-gliedrige Mechanismus (4Bar) wie in der folgenden Abbildung aussieht. Lassen Sie die Kursteilnehmer anschließend mithilfe von SolidWorks Motion das für den Antrieb des modifizierten Mechanismus erforderliche Drehmoment berechnen. Verwendet werden soll auch hier wieder eine gleichmäßige Winkelgeschwindigkeit von  $45^\circ$  pro Sekunde. Ist das neue Drehmoment größer oder kleiner? Die Antwort ist zu begründen.



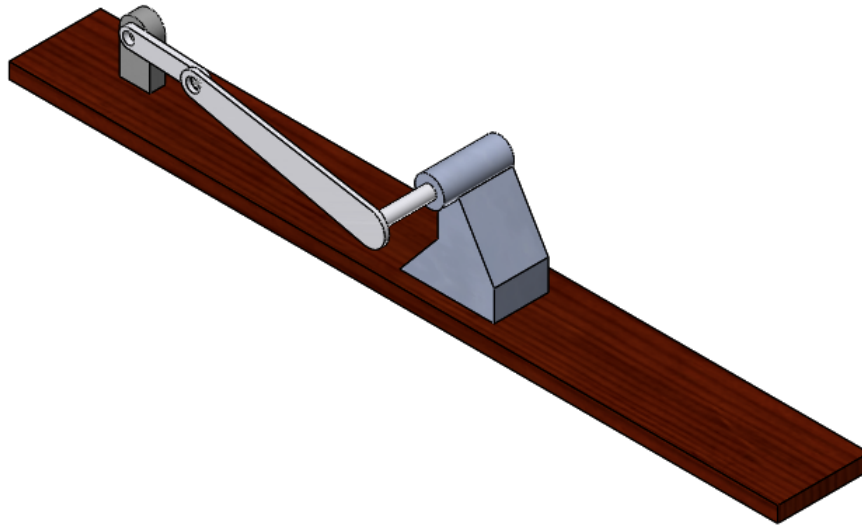
### Antwort:

- 1 Klicken Sie unten im SolidWorks Dokumentfenster auf die Registerkarte **Modell**.
- 2 Öffnen Sie das Teil Link3.
- 3 Heben Sie die Unterdrückung für das Feature Extrude5 im SolidWorks FeatureManager auf.
- 4 Speichern und schließen Sie das Teil Link3.
- 5 Beim Wechsel zur Baugruppe 4Bar wird die aktualisierte Baugruppe angezeigt. (Stellen Sie sicher, dass Sie auf „Ja“ klicken, wenn Sie zur Aktualisierung der Baugruppe aufgefordert werden.)
- 6 Wechseln Sie nun zu SolidWorks Motion (klicken Sie unten im SolidWorks Dokumentfenster auf die Registerkarte Bewegungssimulation1). Beachten Sie, dass alle Verknüpfungen beibehalten wurden. Stellen Sie außerdem sicher, dass die Winkelbewegung für Link2 gleich geblieben ist.
- 7 Klicken Sie auf das Symbol **Berechnen**.
- 8 Stellen Sie das Drehmoment grafisch dar, und bestimmen Sie die neue erforderliche Größe. Das für den Antrieb erforderliche Drehmoment ist jetzt größer, da die Komponente Link3 ein größeres Gewicht aufweist und für den Antrieb des Mechanismus ein größeres Drehmoment benötigt wird.



## Übungen und Projekte – Schubkurbelmechanismus

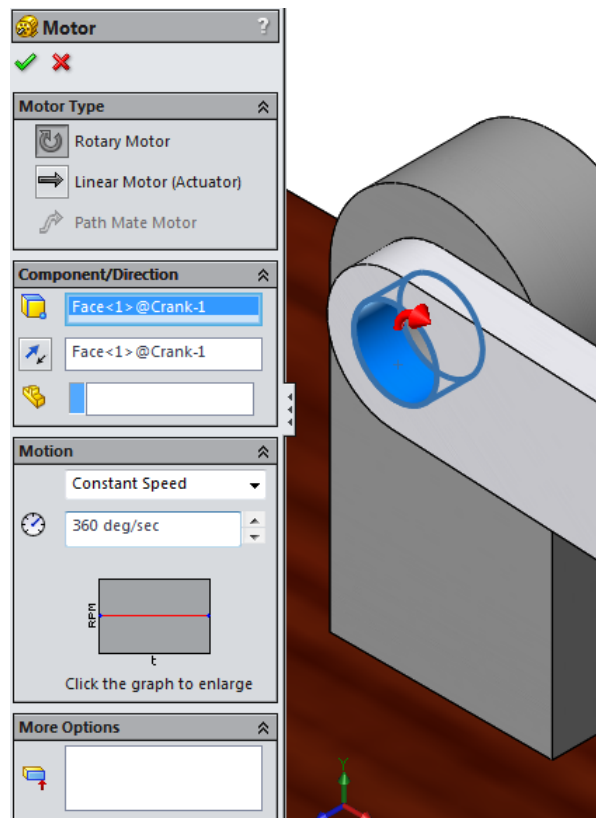
Im Folgenden wird gezeigt, wie mit SolidWorks Motion eine Schubkurbel simuliert wird. Das Ziel besteht darin, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung für den Massenmittelpunkt des schwingenden Teils zu berechnen.



### Aufgaben

- 1 Öffnen Sie die Baugruppe „SliderCrank.sldasm“, die sich im entsprechenden Unterordner des Ordners Anfängliche Modelldateien befindet, und klicken Sie auf **Öffnen** (oder doppelklicken Sie auf die Datei).  
Das darin enthaltene Modell stellt eine Schubkurbel dar, bei der eine Drehbewegung der Kurbel in eine lineare Schwingbewegung des Schiebers umgesetzt wird. Die Kurbel dreht sich mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 360° pro Sekunde.
- 2 Überprüfen Sie die fixierten und beweglichen Teile in der Baugruppe.  
**Antwort:** In SolidWorks fixierte Teile werden auch in SolidWorks Motion wie fixierte Komponenten behandelt. In diesem Fall sind die Komponenten Ground und BasePart fixiert und die übrigen Komponenten beweglich.
- 3 Wenden Sie auf die Komponente Crank eine gleichmäßige Drehbewegung von **360** Grad/Sek. an. Stellen Sie sicher, dass die Bewegung an der Stiftposition zwischen BasePart und Crank angegeben wird. (Sie können den Wert **360** Grad/Sek. direkt im Feld **Motorgeschwindigkeit** eingeben. SolidWorks Motion wandelt dann den Wert in Umdrehungen pro Minute um.)  
**Antwort:** Gehen Sie wie folgt vor:
  - Klicken Sie auf das Symbol **Motor**, um das Dialogfeld **Motor** zu öffnen.

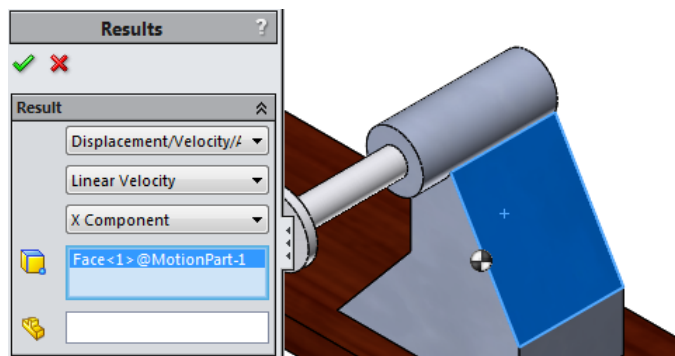
- Klicken Sie unter **Motortyp** auf **Rotationsmotor**.
- Wählen Sie unter **Komponente/ Richtung** die zylindrische Fläche für die Felder **Motorposition** und **Motorrichtung** aus, wie in der Abbildung gezeigt.
- Wählen Sie unter **Bewegung** die Option **Konstante Geschwindigkeit** aus, und geben Sie **360 Grad/Sek.** ein.
- Klicken Sie auf **OK**.



- 4 Führen Sie die SolidWorks Motion Simulation fünf Sekunden lang aus.  
**Antwort:** Klicken Sie im SolidWorks Motion Manager auf das Symbol **Berechnen**. Stellen Sie sicher, dass **Studenttyp** auf **Bewegungsanalyse** eingestellt ist.
- 5 Ermitteln Sie die Geschwindigkeit und Beschleunigung für die Komponente MovingPart.

**Antwort:** Gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie auf das Symbol **Ergebnisse und Darstellungen**, um das Dialogfeld **Ergebnisse** zu öffnen.
- Wählen Sie die Optionen **Verschiebung/ Geschwindigkeit/ Beschleunigung, Lineare Geschwindigkeit** und **X-Komponente** aus.
- Wählen Sie eine Fläche der Komponente MovingPart aus.



- Klicken Sie auf **OK**, um die Darstellung zu erstellen.
- Erstellen Sie gleichermaßen eine Darstellung für die **X-Komponente** der Beschleunigung.



## Arbeitsblatt „Begriffe“ – Lösungsschlüssel

---

Name: \_\_\_\_\_ Kurs: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

*Anleitung: Tragen Sie an den entsprechenden Leerstellen die richtigen Antworten ein.*

1. Bezeichnung für die Reihenfolge, die sich aus dem Erstellen eines Modells in SolidWorks, dem Fertigen eines Prototyps und dem Testen des Prototyps ergibt:

**Herkömmlicher Konstruktionszyklus**

2. Das von SolidWorks Motion zur Bewegungsanalyse verwendete Verfahren: **Kinematik und Dynamik von Starrkörpern**

3. Element, das zwei Bauteile verbindet und die Relativbewegung zwischen den beiden Teilen bestimmt: **Verknüpfungen**

4. Wie viele Freiheitsgrade besitzt ein ungebundener Körper? : **Ein ungebundener Körper besitzt 6 Freiheitsgrade (3 Translationen, 3 Rotationen)**

5. Wie viele Freiheitsgrade besitzt eine konzentrische Verknüpfung? : **Eine konzentrische Verknüpfung hat zwei Freiheitsgrade (Drehung um die eigene Achse und Translation entlang der Achse).**

6. Wie viele Freiheitsgrade besitzt ein fixiertes Teil? : **Keine. Ein fixiertes Teil kann in keine Richtung verschoben oder gedreht werden.**

7. Eine Bahn oder Bahnkurve, die jeder Körperpunkt eines sich bewegenden Teils nachvollzieht: **Spurkurve**

8. Welche Form hat die Spurkurve eines schwingenden Zylinders mit dem Bezugssystem Ground? : **Gerade Linie**

9. Auf eine konzentrische Verknüpfung anwendbare Bewegungstypen: **Winkelverschiebung, translatorische Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung**

10. In SolidWorks Motion kann die Bewegung von Zahnrädern simuliert werden durch: **Zahnradverknüpfungen**

11. Mechanismus, der zur Umwandlung einer Drehbewegung in eine lineare Schwingbewegung verwendet wird: **Zahnstange-Ritzel-Verknüpfung**

12. Verhältnis zwischen dem vom Abtriebsglied ausgeübten Drehmoment und dem zum Antrieb benötigten Drehmoment: **Übersetzung**

## Lektion 1 – Arbeitsblatt „Begriffe“

## REPRODUZIERBAR

Name: \_\_\_\_\_ Kurs: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

*Anweisung: Tragen Sie an den entsprechenden Leerstellen die richtigen Antworten ein.*

1. Bezeichnung für die Reihenfolge, die sich aus dem Erstellen eines Modells in SolidWorks, dem Fertigen eines Prototyps und dem Testen des Prototyps ergibt:

\_\_\_\_\_

2. Das von SolidWorks Motion zur Bewegungsanalyse verwendete Verfahren:

\_\_\_\_\_

3. Element, das zwei Bauteile verbindet und die Relativbewegung zwischen den beiden Teilen bestimmt:

\_\_\_\_\_

4. Wie viele Freiheitsgrade besitzt ein ungebundener Körper?:

\_\_\_\_\_

5. Wie viele Freiheitsgrade besitzt eine konzentrische Verknüpfung?:

\_\_\_\_\_

6. Wie viele Freiheitsgrade besitzt ein fixiertes Teil?:

\_\_\_\_\_

7. Eine Bahn oder Bahnkurve, die jeder Körperpunkt eines sich bewegenden Teils beschreibt:

\_\_\_\_\_

8. Welche Form hat die Spurkurve eines schwingenden Zylinders in Bezug auf den Boden:

\_\_\_\_\_

9. Auf eine konzentrische Verknüpfung anwendbare Bewegungstypen:

\_\_\_\_\_

10. In SolidWorks Motion kann die Bewegung von Zahnrädern simuliert werden durch:

\_\_\_\_\_

11. Einen Mechanismus, der zur Umwandlung einer Drehbewegung in eine lineare Schwingbewegung verwendet wird:

\_\_\_\_\_

12. Das Verhältnis zwischen dem vom Abtriebsglied ausgeübten Drehmoment und dem zum Antrieb benötigten Drehmoment:

\_\_\_\_\_

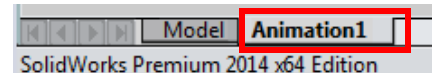
## Quiz – Lösungsschlüssel

Name: \_\_\_\_\_ Kurs: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

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

1. Wie wechseln Sie zwischen dem SolidWorks MotionManager und dem FeatureManager von SolidWorks?

**Antwort:** Klicken Sie unten links im SolidWorks Dokumentfenster auf die Registerkarte Modell oder Bewegungssimulation1.



2. Welche Arten der Bewegungsanalyse lassen sich mit SolidWorks Motion durchführen?

**Antwort:** Kinematische und dynamische Analysen von Starrkörpern

3. Wie werden in SolidWorks Motion automatisch interne Gelenke erstellt?

**Antwort:** Interne Gelenke werden in SolidWorks Motion automatisch aus SolidWorks Verknüpfungen erstellt.

4. Wie wenden Sie auf ein Teil Bewegung an?

**Antwort:** Klicken Sie auf das Symbol **Motor**, um das Dialogfeld **Motor** zu öffnen. In diesem Dialogfeld können Sie die gewünschten Angaben zur Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung für das ausgewählte Teil festlegen.

5. Wie sollte einem Teil eine gleichmäßige Drehbewegung innerhalb eines gegebenen Zeitintervalls zugewiesen werden?

**Antwort:** Der Antrieb wird als Schrittfunktion für das gegebene Intervall zugewiesen.

6. Wie viele Freiheitsgrade besitzt eine deckungsgleiche Punkt-zu-Punkt-Verknüpfung?

**Antwort:** Eine deckungsgleiche Punkt-zu-Punkt-Verknüpfung hat drei Freiheitsgrade (Drehung um X-, Y- und Z-Achse).

7. Was ist unter einer Spurkurve zu verstehen?

**Antwort:** Eine Bahn oder Bahnkurve, die jeder Körperpunkt eines sich bewegenden Teils nachvollzieht.

8. Nennen Sie eine Anwendung für eine Spurkurve.

**Antwort:** Spurkurven können zur Erzeugung eines CAM-Profiles verwendet werden.

## Lektion 1 – Quiz

## REPRODUZIERBAR

Name: \_\_\_\_\_ Kurs: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

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

1. Wie wechseln Sie zwischen dem SolidWorks MotionManager und dem FeatureManager von SolidWorks?

---

---

2. Welche Arten der Bewegungsanalyse lassen sich mit SolidWorks Motion durchführen?

---

---

3. Wie werden in SolidWorks Motion automatisch interne Gelenke erstellt?

---

---

4. Wie weisen Sie einer Teileverknüpfung eine Bewegung zu?

---

---

5. Wie sollte einem Teil eine gleichmäßige Drehbewegung innerhalb eines gegebenen Zeitintervalls zugewiesen werden?

---

---

6. Wie viele Freiheitsgrade besitzt eine deckungsgleiche Punkt-zu-Punkt-Verknüpfung?

---

---

7. Was ist unter einer Spurkurve zu verstehen?

---

---

8. Nennen Sie eine Anwendung für eine Spurkurve.

---

---

## Zusammenfassung

---

- ❑ SolidWorks Motion ist eine vollständig in SolidWorks integrierte Software zur kinematischen und dynamischen Konstruktionsanalyse.
- ❑ Eine Konstruktionsanalyse kann dazu beitragen, bessere, sicherere und billigere Produkte zu entwerfen.
- ❑ SolidWorks Motion setzt voraus, dass alle Komponenten als starre Körper zu behandeln sind.
- ❑ SolidWorks Motion erzeugt interne Gelenke automatisch aus SolidWorks Verknüpfungen.
- ❑ SolidWorks Motion kann für jeden Punkt eines sich bewegenden Körpers eine Spurkurve in Bezug auf einen beliebigen anderen Körper der Baugruppe erzeugen.
- ❑ Die wesentlichen Schritte bei der Durchführung einer Analyse in SolidWorks Motion lauten:
  - Erstellen der SolidWorks Baugruppe
  - Fixieren des referenzierten Teils in der SolidWorks Baugruppe
  - Automatische Erstellung von Gelenken aus Verknüpfungen
  - Anwenden von Bewegung auf das Teil
  - Ausführen der Simulation
  - Analysieren der Ergebnisse

