
ANALYSE-LEITFADEN FÜR MASCHINENBAUINGENIEURE

Übersicht

In diesem Leitfaden werden die wichtigsten Problembereiche beschrieben, mit denen sich Maschinenbauingenieure und Maschinenhersteller bei der Leistungsbewertung ihrer Konstruktionen konfrontiert sehen. Erläutert werden außerdem die Vorteile, die die Analyse-Software SolidWorks® für den Produktentwicklungszyklus bietet. Die SolidWorks Software kann in nahezu allen Bereichen des Maschinenbaus - von Automatisierungswerkzeugen bis hin zu Einwickelmaschinen - verwendet werden, um eine breite Palette von Problemstellungen zu analysieren. Mit den leistungsstarken Analysearten (statische Analyse, Bewegungsanalyse, thermische Analyse, Schwingungsanalyse und nichtlineare Analyse) wird sichergestellt, dass das Produkt den Konstruktionsanforderungen entspricht und beim späteren Einsatz nicht versagt.



Einführung

Bei der Entwicklung von komplexen Maschinen sind Analyse- und Simulationstools unverzichtbar. Mit diesen Werkzeugen können Ingenieure ihre Konstruktionen bereits in einem frühen Stadium des Konstruktionszyklus testen, Ursachen für ein vorzeitiges Versagen beim späteren Einsatz bestimmen, schnell Konstruktionsänderungen zur Kostensenkung und Gewichtsreduzierung überprüfen und den Sicherheitsfaktor der Produkte ermitteln. Aufgrund der Größe und Komplexität der entwickelten Systeme sind Analysewerkzeuge für Maschinenbauingenieure von besonderem Wert, da sich mit ihnen Konstruktionsprobleme identifizieren lassen, die aufgrund der Dynamik der vielen beweglichen Maschinenteile bei der Konstruktionsprüfung sonst möglicherweise nicht erkannt werden.

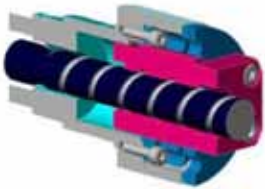


Abbildung 1: Von Fanuc Robotics konstruierter roboterarm.

Maschinenhersteller, die trotz des ständigen Drucks der Kunden und des Markts nach günstigeren, zuverlässigeren und produktiveren Systemen weiterhin Erfolg haben wollen, müssen alle verfügbaren Mittel nutzen. Mit Analysewerkzeugen lassen sich zu einem späten Zeitpunkt vorgenommene Konstruktionsänderungen auf ein Minimum reduzieren, was zu niedrigeren Entwicklungskosten führt. Gleichzeitig ist gewährleistet, dass die Produkte rechtzeitig auf den Markt kommen und so ein möglichst großer Marktanteil gesichert werden kann. Außerdem können die Ingenieure mit unterschiedlichen Materialien und Konstruktionen experimentieren, um Produkte mit einem möglichst geringen Gewicht so preiswert wie möglich zu entwickeln. Mit einer Analyse-Software können Ingenieure das Leistungsverhalten ihrer Konstruktionen simulieren und potenzielle Probleme vor dem Prototypenbau und dem Produktionsbeginn identifizieren und beheben.

Analyse an der Spitze der Produktentwicklung im Maschinenbau

Ungeachtet des Anwendungsbereichs sind Maschinenbauingenieure gezwungen, den Forderungen der Kunden gerecht zu werden, Zuverlässigkeit und Haltbarkeit der Produkte zu verbessern sowie neue und bessere Produkte schneller auf den Markt zu bringen, Gewicht und Kosten der Produkte zu reduzieren und die Produktivität zu erhöhen. In diesem Umfeld bleibt ihnen nur wenig Zeit, mehrere Prototypen zu bauen und anhand von Versuchen ein besseres Verständnis des physikalischen Verhaltens ihrer Konstruktionen zu erlangen. Diese Informationen spielen jedoch bei der Herstellung innovativer und qualitativ hochwertiger Produkte eine äußerst wichtige Rolle.

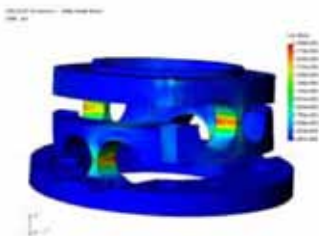


Abbildung 2: Fanuc Robotics nutzt das gesamte Leistungsspektrum der Volumenmodellierung in SolidWorks Simulation.

.....
Mit Analysewerkzeugen lassen sich Konstruktionsprobleme identifizieren, die aufgrund der Dynamik der vielen beweglichen Maschinenteile bei der Konstruktionsprüfung sonst möglicherweise nicht erkannt werden.

Analysewerkzeuge tragen dazu bei, das physikalische Verhalten von Konstruktionen rasch zu verstehen, ohne auf kostspielige Prototypen und physikalische Tests zurückgreifen zu müssen, die den Produktkonstruktionszyklus verlängern. Die Anzahl der Konstruktionsänderungen, Terminverschiebungen aufgrund von spät im Konstruktionszyklus erforderlichen Neukonstruktionen und die Zahl kostspieliger Konstruktionsänderungen während der Fertigung können mit Analysewerkzeugen erheblich reduziert werden. All dies schlägt sich in einer erheblichen Reduzierung der Entwicklungskosten und Verkürzung der Markteinführungszeiten nieder. Außerdem vereinfachen diese Werkzeuge dank der leicht verständlichen grafischen Ergebnisse die Kommunikation zwischen Konstruktion, Vertrieb, Marketing, Fertigung und Kunde.

Anwendungsbereiche

- Fertigungsmaschinen: Hallmark Cards, Nahrungsmittelproduktion
- Industrieroboter und Robotersysteme: Konstruktionsoptimierung, Versagensanalyse
- Maschinen für die Nahrungsmittelindustrie
- Verpackungsmaschinen
- Elektromechanische Systeme: Heizsysteme
- Leiterplatten: Halbleiter, Kühlkörper, mikro-elektromechanische Systeme (MEMS)
- Kühlsysteme: Lüfter, Motoren, Luftströme
- Elektroniksysteme: Antennen, Sender, Schalter
- Automatisierungswerkzeuge
- Kohlensäureanreicherungsmaschinen für die Getränkeindustrie
- Maschinen zum Öffnen, Befüllen und Verschließen von Beuteln und Säcken
- Flaschenfüllmaschinen: Reinigen, Sterilisieren, Füllen, Verschließen und Etikettieren
- Brotverpackungsmaschinen
- Kartoniermaschinen
- Industrielle Etikettbefeuchtungsmaschinen
- Industrielle Etikettiermaschinen
- Einwickelmaschinen

Analysewerkzeuge tragen ohne Verwendung von kostspieligen Prototypen und physikalischen Tests, die den Produktkonstruktionszyklus verlängern, zu einem raschen Verständnis des physikalischen Verhaltens von Konstruktionen bei.

Analyseumfang

- Überprüfung/Validierung von Konstruktionen: Funktioniert diese Konstruktion? Entspricht das Verhalten den Erwartungen?
- Relativer Vorzug: Welche Konstruktionsalternative ist die beste? Wie können schlecht funktionierende Konstruktionen ausgesondert und vermieden werden?
- Proof-of-Concept-Studien: Testen völlig neuer Konzepte ohne Prototypen.
- Haltbarkeit und Zuverlässigkeit: Ermüdungs-/Versagensanalyse, Fallprüfungen, Erschütterungssimulationen.

Enge Integration in 3D-CAD-Systeme

Das SolidWorks 3D-CAD-System, der Standard in 3D-CAD, ist eng in alle gängigen CAD-Systeme integriert. Das bedeutet, dass Ingenieure die SolidWorks Analyse-Software direkt für das CAD-Modell verwenden können und die Konstruktionen nicht neu modellieren müssen, um die Analysetechnik zu nutzen.



Abbildung 3: Hallmark Cards konstruiert mit SolidWorks Simulation Maschinen für die Herstellung von Karten.

Der Einsatz einer computerbasierten Modellier- und Analyse-Software zur Durchführung von Vergleichsauswertungen spart Zeit und Geld und kann zu einem besseren Leistungsverhalten der Konstruktion führen.

Vergleichsstudien

„Virtuelle“ Tests anhand von Computersimulationen haben im Vergleich zu physikalischen Tests neben der Kosten- und Zeitersparnis den großen Vorteil, dass in kürzester Zeit mehrere Konstruktionen mit unterschiedlichen Materialien, Teilgeometrien, Baugruppenkonfigurationen und Subsystemen miteinander verglichen werden können. Außerdem lassen sich Vergleichsstudien durchführen (was wäre, wenn ...). Damit können Ingenieure das beste Material und die beste mechanische Konstruktion für eine bestimmte Funktion bestimmen. Der Einsatz einer computerbasierten Modellier- und Analyse-Software zur Durchführung von Vergleichsauswertungen spart Zeit und Geld und kann zu einem besseren Leistungsverhalten der Konstruktion führen. Durch die Verknüpfung der Analysestudien mit der SolidWorks Konfigurationsverwaltung kann sich der Konstrukteur über viele Freiheitsgrade rasch der bestmöglichen Konstruktionslösung nähern.

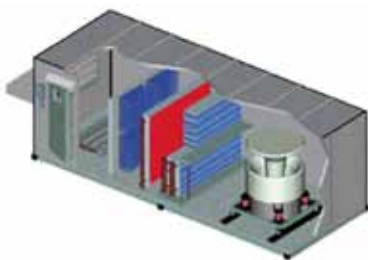


Abbildung 4: Modulare und massgeschneiderte Lüftungselemente sind ideale Produkte für Analysen, da sie Luft erhitzen, kühlen, befeuchten und entfeuchten sowie Partikel filtern müssen.

Leistungsstarke Analysearten: statische Analyse, Bewegungsanalyse, thermische Analyse, Schwingungsanalyse, Fließverhaltensanalyse, nichtlineare Analyse

Maschinenbauingenieure müssen mit äußerst komplexen und variablen Systemen arbeiten. Die Kinematik und Dynamik aller beweglichen Systemteile und deren Interferenzpotenzial erfordern einen hohen Konstruktionsaufwand. Die thermischen Auswirkungen von wärmeerzeugenden Komponenten auf das übrige System sind unter Umständen nur schwer vorhersagbar und bei der Konstruktion zu berücksichtigen. Schwingungen und sonstige strukturmechanische Probleme können zum Versagen von Teilen, zu einer schlechten Leistung und anderen Betriebsproblemen führen. Unternehmen, die sich diesen Problemen schon im Konstruktionsstadium anhand von Analysen widmen, haben einen klaren Vorteil gegenüber ihren Mitbewerbern. Mit der SolidWorks Analyse-Software wird sichergestellt, dass diese Punkte bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Produktentwicklungszyklus berücksichtigt werden. Dadurch sind Hersteller in der Lage, gleichzeitig die Zeit bis zur Marktreife zu verkürzen, die Entwicklungskosten zu senken und Produkte mit höherer Qualität und geringerem Garantieraufwand zu produzieren. Mit SolidWorks und den diversen Analysetechnologien kann gewährleistet werden, dass sich das Produktverhalten innerhalb der Konstruktionsgrenzwerte bewegt, das Produkt zuverlässig ist und keine Risiken hinsichtlich thermischer, elektromagnetischer oder spannungsbedingter Fehler birgt.

Unternehmen, die sich diesen Problemen schon im Konstruktionsstadium anhand von Analysen widmen, haben einen klaren Vorteil gegenüber ihren Mitbewerbern.



Abbildung 5: Casa Herrera benötigt für die Berechnung der kritischen Kräfte einer Walze auf einen Schneidkopf nur wenige Minuten.

- **Statische Analysen** sind ein Werkzeug, mit dem Maschinenbauingenieure schwerwiegende direkte oder langfristige Fehler vermeiden und die Notwendigkeit einer Neukonstruktion von Kernelementen bestimmen können. Sie können Spannungen oder Biegungen im Gerät untersuchen, diese mit den zulässigen Toleranzen vergleichen und Störfälle vorhersehen. SolidWorks Simulation kann mit Hilfe von SolidWorks Oberflächen und durch Extrahieren von Mittelflächen von dünnwandigen Strukturen auch Wandungen analysieren, was besonders bei Blechkonstruktionen praktisch ist. Statische Analysen erlauben eine Optimierung der Geometrie, Minimierung von Gewicht und Materialverbrauch und Ermittlung des Sicherheitsfaktors der einzelnen Maschinen.
- **Bewegungsanalysen** sind auch bei der Entwicklung von Maschinen sehr wertvoll, da es sich dabei um äußerst komplexe dynamische Baugruppen handelt. Mit Bewegungsanalysen kann der Konstrukteur vor dem Bau physikalischer Prototypen „virtuelle Tests“ durchführen und somit während des iterativen Konstruktionszyklus Zeit und Geld sparen. Änderungen vor dem Prototypenbau können weitaus kostengünstiger und schneller realisiert werden. Durch die Ausführung von Bewegungsanalysen erhält der Konstrukteur weitere Informationen zur Maschine in der Entwurfsphase und kann vor dem Bau von Modellen dynamische Interferenzprüfungen durchführen.

- **Thermische Analysen** sind im Maschinenbau besonders wichtig. Die Steuerung der Temperatur kann sowohl bei Leiterplatten und mechanischen Geräten als auch bei Fluidiksystemen eine besondere Herausforderung für den Konstrukteur darstellen. Mit der Analyse-Software SolidWorks Simulation können stationäre oder instationäre thermische Analysen an Bauteilen oder Baugruppen durchgeführt werden. Nach der Vernetzung der Konstruktion stellt der Konstrukteur alle relevanten Maßvorgaben ein und legt anschließend Strom- oder Wärmeflussbedingungen fest, die mit einem geometrischen Merkmal des Modells verbunden sind. Da die Wärmeleitfähigkeit, der Wärmeausdehnungskoeffizient und die Wärmekapazität zu den Materialeigenschaften der Komponente gehören, erhält der Konstrukteur eine realistische Prognose der Temperaturverteilung unter den vorgegebenen Lasten und Betriebsbedingungen.

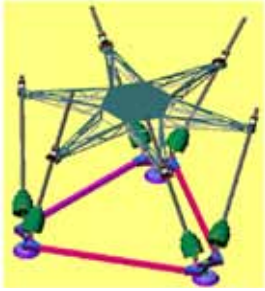


Abbildung 6: Von PushCorp, Inc. Konstruiertes Automatisierungswerkzeug.

- **Schwingungsanalysen** sind bei einer Vielzahl von Maschinen von hohem Wert. Viele Maschinen enthalten Motoren, Pumpen und andere schwingungserzeugende Komponenten, die die Leistung der elektronischen und mechanischen Geräte in der Umgebung beeinträchtigen können. Um bei minimaler Beeinträchtigung dieser Komponenten eine optimale Leistung sicherzustellen, müssen die Eigenfrequenzen einer Komponente oder Baugruppe und die Auswirkungen möglicher Spannungen oder Biegungen bekannt sein. Mit der Analyse-Software SolidWorks Simulation können Ingenieure die Eigenfrequenzen eines Bauteils oder einer Baugruppe simulieren und anhand dieser Informationen Konstruktionen oder verwendete Materialien ändern, um Resonanz und Biegung in bestimmten Bereichen zu vermeiden oder die Leistung zu verbessern. Mithilfe einer Schwingungsanalyse nach dem Zufallsprinzip können Ingenieure außerdem elektrische Systeme, die in erdbebengefährdeten Gebieten eingesetzt werden sollen, robuster gestalten. Diese Analyse ist im Vergleich zu physikalischen Erschütterungstests wesentlich kostengünstiger. Mit Analysen werden Frequenzen und Schwingungen minimiert, um die Beeinträchtigung der Systemleistung so gering wie möglich zu halten.



Abbildung 7: Neumag verbessert mit SolidWorks Flow Simulation die Konstruktion von Düsen.

Mit der Analyse-Software SolidWorks Simulation können Ingenieure die Eigenfrequenzen eines Teils oder einer Baugruppe simulieren.

- **Fließverhaltensanalysen** kommen in vielen Anwendungsbereichen des Maschinenbaus zum Einsatz. Bei der Wärmeübertragungsanalyse spielen die Eigenschaften von Flüssigkeitsströmen eine wichtige Rolle. Große Maschinen verfügen in der Regel über große Wärmequellen, wie Netzgeräte und Motoren, die eine aktive Kühlung erfordern. Konvektive und konjugierte Wärmeübertragung hängt von den Eigenschaften der Flüssigkeitsströme ab. Auch Fluidiksysteme, wie Hydraulikanlagen, können modelliert und analysiert werden. Nicht zuletzt können diese Analysen auch bei der Konstruktion von Fluidikkomponenten, wie Düsen, Ventilen, Pump- und Schmiersystemen, eingesetzt werden. Welche Anforderungen auch immer ein Hersteller an die Analyse stellt: SolidWorks Flow Simulation bietet eine leistungsstarke CFD-Analyse (Computational Flow Dynamics) zum besseren Verständnis der Auswirkungen von Flüssigkeitsströmen auf die Temperatur in elektrischen Systemen.
- **Nichtlineare Analysen** ermöglichen die Bewertung des Produktleistungsverhaltens in einer komplexen 3D-Simulationsumgebung, wobei die Feststellung der verschiedenen Faktoren, die eine Gerätestörung hervorrufen können, weitaus genauer erfolgt. Mit den Werkzeugen für nichtlineare Analysen können statische und dynamische Nichtlinearitäts-, Hyperelastizitäts-, Kriech-, Thermoplastizitäts- und Viskoelastizitätsprobleme in Bezug auf Geometrie und Material effektiv analysiert werden. Die nichtlineare Analyse-Software SolidWorks Simulation Premium dient außerdem zur Analyse von nichtlinearen Kontaktproblemen, die zu reibungsbehafteten oder reibungslosen Interaktionen zwischen Modelloberflächen führen.

Große Maschinen verfügen in der Regel über große Wärmequellen, wie Netzgeräte und Motoren, die eine aktive Kühlung erfordern.

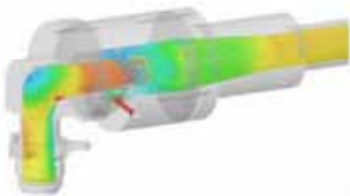


Abbildung 8: Fliehkraftabscheider von David Rachels und seinem Konstruktionsteam.

Baugruppenanalyse

Für Maschinenbauingenieure ist die Analyse großer Baugruppen äußerst wichtig. Industriemaschinen enthalten von Natur aus viele komplexe Unterbaugruppen mit zahlreichen Teilen. Daher ist für die Analyse von Maschinenkonstruktionen eine breite Palette von Anschluss-, Verbindungs- und Kapselungsmethoden erforderlich. Analysen müssen auf Teil- und Unterbaugruppenebene sowie für die komplette Baugruppe ausgeführt werden können. Wärme, Druck, Schwingungen, Stöße und elektromagnetische Felder können auf allen Konstruktionsebenen diese Baugruppen beeinträchtigen.

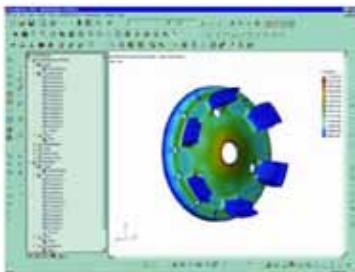


Abbildung 9: Von Speedgrip Chuck Inc. Konstruiertes Spannfutter.

Mit der Analyse-Software SolidWorks Simulation können Ingenieure all diese Einflüsse und das resultierende Verhalten simulieren, da die Analyse von kleinen und großen CAD-Baugruppen unterstützt wird. Die Software ermöglicht, einzelnen Teilen der Baugruppe unterschiedliche Materialien zuzuweisen und die Interaktion zwischen den Komponenten festzulegen. Mit SolidWorks Simulation Spalten-/Abstandsanalysen können eine Vielzahl realistischer Bedingungen für Großmaschinen simuliert werden.

Ein Großteil der Tests, die in der Vergangenheit für Großmaschinen anhand physikalischer Prototypen durchgeführt wurden, können nun durch Computersimulationen ersetzt werden. Zur Sicherstellung, dass die Maschinen beim Transport nicht beschädigt werden, können bei der Konstruktion Fallprüfungen durchgeführt werden. Außerdem lassen sich vor dem Bau physikalischer Prototypen und vor Beginn der Fertigung leichter Änderungen vornehmen, die weniger kostspielig sind. Mit thermischen Analysen wird sichergestellt, dass keine Komponenten innerhalb des Systems überhitzt werden. Darüber hinaus sind sie hilfreich bei der Konstruktion geeigneter Heiz- und Kühlsysteme. Innerhalb eines Systems können schwingungserzeugende Komponenten modelliert und deren Auswirkungen auf umgebende Komponenten untersucht werden. Damit kann die Entwicklung von effektiven Isoliersystemen bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Konstruktionszyklus beginnen.

3D-Visualisierung

Die SolidWorks Simulation Analysewerkzeuge ermöglichen die Analyse von Maschinen und industriellen Großprodukten auf Komponenten-, Baugruppen- und Systemebene.

- Mit der 3D-Visualisierung führt der Konstrukteur während der Entwicklung des Projekts eine erste Prüfung des Entwurfsplans, der ordnungsgemäßen Funktion und der Ästhetik durch.
- Mit 3D-CAD kann der Konstrukteur eine Produktkonstruktion aus allen Blickwinkeln betrachten und die Innenteile des Produkts während des Konstruktionsprozesses begutachten. Dadurch erhält er bereits zu Beginn des Konstruktionszyklus eine deutliche und genaue Übersicht über Teile und Baugruppen.
- Die 3D-Visualisierung reduziert Kommunikations- und Produktionsfehler und trägt durch einen effizienteren Austausch von Konstruktionsdaten zu einer kürzeren Entwicklungszeit bei, da Probleme bereits sehr früh im Konstruktionszyklus aufgespürt werden.
- Der Konstrukteur kann das Produkt von allen Seiten betrachten und hineinblicken, indem er die äußere Hülle anderer Teile ausblendet.
- Mit 3D-Bewegungssimulationen wird das reale Verhalten von Maschinen visualisiert.
- Mit Schnittdarstellungen lassen sich die Simulationsergebnisse nicht nur auf der Oberfläche sondern auch im Innern des Bauteils anzeigen.

Mit SolidWorks Simulation Spalten-/Abstandsanalysen können eine Vielzahl realistischer Bedingungen für Großmaschinen simuliert werden.



Abbildung 10: Die Johnson Corporation konstruiert Systeme für die verarbeitende Industrie.

Werkzeuge zur konstruktiven Zusammenarbeit und Kommunikation

- Die Zusammenarbeit während der Konstruktion sowie der problemlose und ortsunabhängige Austausch von Konstruktionsdaten werden in der Produktentwicklung immer wichtiger.
- Werkzeuge für den Austausch von Konstruktionsdaten eröffnen neue Chancen für eine effizientere Zusammenarbeit von Produktentwicklern und anderen Mitgliedern des Entwicklungsteams. Die Möglichkeit, Konstruktionsressourcen per Internet auszutauschen, ist für alle Produktkonstruktoren von Vorteil, sowohl für den unabhängigen Berater als auch für den Ingenieur im multinationalen Konzern.
- Mit den SolidWorks Simulation Analysewerkzeugen können Konstrukteure Analyseergebnisse in folgenden Formaten austauschen:
 - HTML-Berichte der Analyseergebnisse
 - VRML-Dateien
 - AVI-Dateien
 - SolidWorks Simulation ermöglicht mit SolidWorks eDrawings® die Veröffentlichung von Analyseergebnissen.

Werkzeuge für den Austausch von Konstruktionsdaten eröffnen neue Chancen für eine effizientere Zusammenarbeit von Produktentwicklern und anderen Mitgliedern des Entwicklungsteams.

Fazit

Maschinenhersteller, die trotz des ständigen Drucks der Kunden und des Markts nach günstigeren, zuverlässigeren und produktiveren Systemen weiterhin Erfolg haben wollen, müssen alle verfügbaren Mittel nutzen. Mit Analyse- und Simulationwerkzeugen können Ingenieure ihre Konstruktionen bereits in einem frühen Stadium des Konstruktionszyklus testen, Ursachen für ein vorzeitiges Versagen beim späteren Einsatz bestimmen, schnell Konstruktionsänderungen zur Kostensenkung und Gewichtsreduzierung überprüfen und den Sicherheitsfaktor der Produkte ermitteln. Aufgrund der Größe und Komplexität der entwickelten Systeme sind Analysewerkzeuge für Maschinenbauingenieure von besonderem Wert. Die SolidWorks Simulations- und Analysewerkzeuge ermöglichen eine Reduzierung der Entwicklungskosten und gewährleisten, dass die Produkte rechtzeitig auf den Markt kommen. Außerdem können die Ingenieure mit unterschiedlichen Materialien und Konstruktionen experimentieren, um Produkte mit einem möglichst geringen Gewicht so preiswert wie möglich zu entwickeln.

Unternehmenssitz
Dassault Systèmes
SolidWorks Corp.
300 Baker Avenue
Concord, MA 01742 USA
Telefon: +1-978-371-5011
E-Mail: info@solidworks.com

Hauptsitz Europa
Telefon: +33-(0)4-13-10-80-20
E-Mail: infoeurope@solidworks.com

Niederlassung Deutschland
Telefon: +49-(0)89-612-956-0
E-Mail: info@solidworks.com

