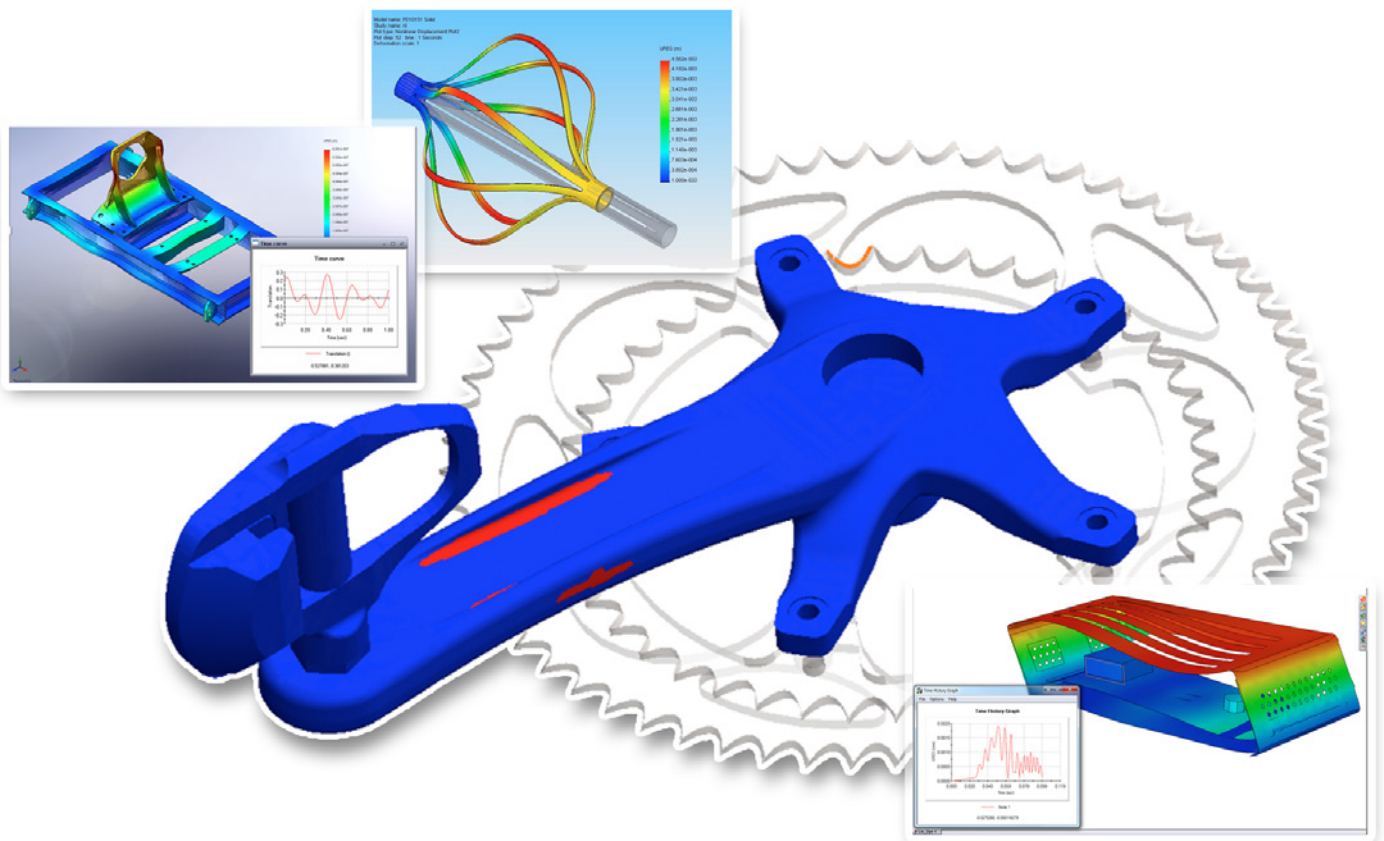


AUSSAGEKRÄFTIGE SIMULATIONEN VERBESSERN DIE PRODUKTENTWICKLUNG

Ratgeber



ÜBERSICHT

Für die Erstellung von innovativen Produkten sind Erkenntnisse über das Verhalten der Konstruktion unabdingbar. Außerdem können Konstrukteure, die in der Lage sind, das Verhalten der Konstruktion vorherzusagen, effizienter, innovativer und erfolgreicher arbeiten. Mit den in 3D-CAD integrierten Analysen von SOLIDWORKS Simulation können Sie intuitiv, genau und kostengünstig simulieren, wie sich ein Produkt verhalten wird. Dadurch werden Sie in die Lage versetzt, Ihre Konstruktionen exakt auszulegen und zu verbessern. Gleichzeitig verringert sich der Aufwand für die Fertigung von Prototypen und für zeitraubende Versuche. Mithilfe von SOLIDWORKS Simulation können Sie komplexe Analysen ausführen, dadurch Zeit und Kosten sparen und für die bestmögliche Qualität sorgen.

DIE VORTEILE EINER AUSSAGEKRÄFTIGEN SIMULATION IN DER PRODUKTENTWICKLUNG

Beim Entwickeln von erfolgreichen Produkten sind Innovation, Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit gefragt. Als Konstrukteur müssen Sie nicht nur Anforderungen bezüglich Form, Passgenauigkeit und Funktion erfüllen, Sie müssen gleichzeitig auch verlässliche und problemlos zu fertigende Produktentwürfe liefern, und zwar in immer kürzerer Zeit und zu immer niedrigeren Kosten. Damit Sie dieses Ziel erreichen können, benötigen Sie so viele Informationen wie möglich, insbesondere so früh wie möglich darüber, wie sich Ihre Konstruktion unter realen Betriebsbedingungen verhalten wird. Diese Informationen möchten Sie erhalten, ohne auf die teure und zeitraubende Fertigung und Prüfung mehrerer Prototypen oder die Fremdvergabe von Simulationen zurückgreifen zu müssen.

Mit den integrierten Lösungen von SOLIDWORKS Simulation können Sie zuverlässige FEM-Simulationen direkt in SOLIDWORKS CAD ausführen. Dadurch können Sie in kürzester Zeit und zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess auf die Ergebnisse von Strukturanalysen zugreifen. Sie erhalten Daten über Spannungszustände, Verformungen, Produktlebensdauer usw. Anhand dieser unabdingbaren Informationen können Sie wichtige Entwurfsentscheidungen treffen und die folgenden Vorteile nutzen:

- Schaffung von Produktinnovationen
- Weniger Prototypen
- Kürzere Markteinführungszeiten
- Optimierter Materialeinsatz
- Kaum Unsicherheiten in der Konstruktion
- Weniger Probleme beim Betriebsverhalten unter realen Bedingungen
- Weniger Gewährleistungsansprüche und Retouren
- Höhere Wirtschaftlichkeit

Aufgrund der intuitiven Benutzeroberfläche, der leistungsstarken Solver und der umfangreichen Analysefunktionen haben Sie mit SOLIDWORKS Simulation eine integrierte Lösung für die Analyse Ihrer Konstruktionen an der Hand, die nicht nur schneller und anwenderfreundlich ist, sondern auch dieselbe Genauigkeit bietet wie alle anderen Simulationspakete. In diesem Dokument wird die Genauigkeit der Analysen behandelt und es wird erläutert, wie Ihnen diese bedeutende Kombination aus Präzision, Anwenderfreundlichkeit und Leistungsfähigkeit von SOLIDWORKS Simulation bei der Produktentwicklung helfen kann.

„Ich kann ein nichtlineares Simulationsproblem in wenigen Stunden lösen, für das wir früher eine Woche benötigten. Mit dieser Geschwindigkeit kann ich in kürzester Zeit Verbesserungen vornehmen und einen Entwurf vorlegen, der wirklich funktioniert.“

David R. Caldwell
Project Engineer
Smithsonian Astrophysical
Observatory



ZUVERLÄSSIGE SIMULATION DER AUSWIRKUNGEN VON SONNENWINDEN

Das Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO), zugehörig zum Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CFA), entwickelt in Zusammenarbeit mit führenden Astrophysikern und Wissenschaftlern anderer Fachgebiete wegweisende Instrumente und Systeme für die Forschung. Für die Bewältigung einiger der anspruchsvollsten technischen Herausforderungen, wie beispielsweise die erste Reise der Menschheit zu einem Stern, bedient sich das SAO der Software SOLIDWORKS Simulation Premium.

Die NASA (National Aeronautics and Space Administration) wird ihre Raumsonde Solar Probe Plus (SPP) im Jahr 2018 ins All schicken. Diese Raumsonde hat die Größe eines PKW und wird direkt in die Atmosphäre der Sonne eintauchen. Das SAO hat die Aufgabe, die zur Nutzlast gehörende SEWAP-Suite (Solar Wind Electrons Alphas and Protons) zu entwickeln. Bestandteil dieser Suite ist ein Faraday-Sensor zur Messung der Eigenschaften von Elektronen, Protonen und Helium-Ionen im Sonnenwind. Die größte Herausforderung bei diesem Projekt besteht darin, dass sich der Sensor an der Außenseite der Raumsonde befindet und dort hoher Hitze und extremer Strahlung ausgesetzt sein wird.

„Der Sensor wird seine Aufgaben in einer Umgebung mit extremen Bedingungen ausführen müssen. Daher müssen wir auf ganzheitliche Analysewerkzeuge zurückgreifen“, so David R. Caldwell, Project Engineer. „Vor kurzem haben wir an der Solar Wind Facility am Marshall Space Flight Center Tests mit dem Prototyp durchgeführt. Der Sensor hat sich dabei genauso verhalten, wie in unseren Simulationen mit SOLIDWORKS vorausberechnet.“

„Bei Raumflugkörpern ist das Gewicht von außerordentlicher Bedeutung“, fügt Caldwell hinzu. „SOLIDWORKS Simulation Premium liefert uns die Informationen, die wir für das Verändern von Materialstärken bzw. Materialien und somit für eine wirkliche Optimierung unserer Konstruktionen benötigen.“

WIE ZUVERLÄSSIG SIMULIERT EINE FEM DIE REALITÄT?

Grundsätzlich nutzen FEM-Systeme die Finite-Elemente-Methode, ein diskretes numerisches Verfahren für Näherungslösungen für die in der Physik und Technik üblichen Randwertprobleme bei Differenzialgleichungen. Das Modell stellt eine Diskretisierung der Geometrie dar – eine Vernetzung der Geometrie anhand von Elementen. Da FEM-Berechnungen unabhängig vom Namen des Pakets auf der Finite-Elemente-Methode basieren, stellen die Lösungen immer eine Näherung dar – genau genug, um wichtige Entwurfsentscheidungen zu treffen, jedoch niemals zu 100 % übereinstimmend mit der Realität – immer mit einem gewissen Diskretisierungsfehler behaftet.

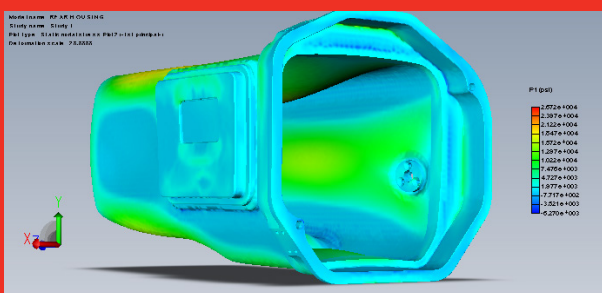
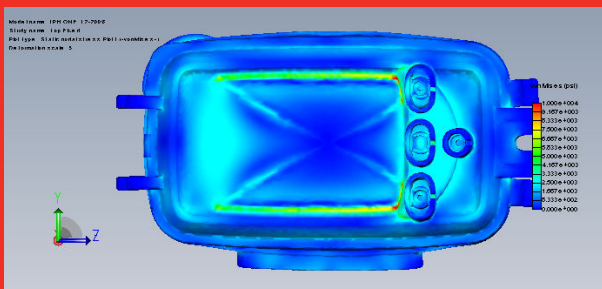
FEM-Solver erzeugen anhand von Berechnungsalgorithmen für jede einzelne Komponente Differentialgleichungen, von der Entwurfsgeometrie, den Randbedingungen, den Materialeigenschaften bis zu den aufgetragenen Lasten. Anschließend werden diese Differentialgleichungen in ein lineares Gleichungssystem für jedes einzelne Element transformiert, aus denen ein umfassendes Gleichungssystem in Matrixform für das Gesamtmodell gebildet wird. Dieses Gleichungssystem wird im Allgemeinen anhand von direkten Solvern, die das Gaußsche Eliminationsverfahren verwenden, oder anhand von iterativen Solvern gelöst, die die DDM (domain-decomposition method) verwenden.

Damit eine FEM-Berechnung möglichst realitätsgetreue Ergebnisse liefern kann, erfordern die mathematischen Grundlagen eine exakte Formulierung der Lasten und Randbedingungen durch die Ingenieure. Da eine FEM-Berechnung eine recht genaue Näherung des Verhaltens der Konstruktion darstellt, ist es für eine möglichst genaue Simulation der Realität erforderlich, dass das zu analysierende Problem korrekt formuliert wird.

Die eigentliche Frage, mit welcher Genauigkeit eine FEM-Simulation die Realität wiedergeben kann, lautet: Wie genau muss sie sein? In den meisten Fällen reicht eine Genauigkeit von $\pm 5\%$ aus, um die für fundierte Entscheidungen benötigten Erkenntnisse zu erhalten.

„Mithilfe von SOLIDWORKS Simulation sind wir in der Lage, die Einflüsse der Kräfte und Drücke unter Wasser schon im Entwicklungsprozess zu untersuchen – und das spart Zeit und Geld.“

Stephanie Griffin Peña
Project Engineer
Watershot, Inc.



ZUVERLÄSSIGE SIMULATIONEN ERLEICHTERN DIE ENTWICKLUNG VON UNTERWASSERGEHÄUSEN

Die Watershot, Inc. entwickelt und fertigt Unterwassergehäuse für Kameras für professionelle Unterwasserfotografen und Unterwasserfilmer sowie für die Smartphones der Enthusiasten im Bereich Gerätetauchen, Schnorcheltauchen und Freitauchen. Um sicherzustellen, dass die vom Unternehmen angebotenen Unterwassergehäuse den in den verschiedensten Wassertiefen auftretenden Kräften und Drücken auch wirklich standhalten, verlässt sich das Unternehmen auf die Analysesoftware SOLIDWORKS Simulation.

Die Ingenieure des Unternehmens haben die intuitive Integration der Software SOLIDWORKS CAD und FEM zu schätzen gelernt, da sich der Entwicklungsprozess durch diese Integration deutlich beschleunigen lässt. Mithilfe der integrierten Konstruktions- und Analysewerkzeuge von SOLIDWORKS kann Watershot in kürzester Zeit Konstruktionskonzepte aufstellen und das Verhalten dieser Entwürfe bei verschiedensten Wassertiefen simulieren. Indem die Ingenieure von Watershot das Verhalten ihrer Produkte zuverlässig simulieren können, sind sie in der Lage, ihre Entwürfe weiter zu verbessern, ohne dass teure Prototypen gebaut werden müssen.

So konnte beispielsweise bei der Entwicklung des Unterwassergehäuses für das iPhone 4 anhand von Erstmusterprüfungen festgestellt werden, dass in einer bestimmten Wassertiefe das Gehäuse gegen den Touchscreen des Smartphones drückt und das Gerät dadurch nicht mehr funktionstüchtig ist. Durch die Software SOLIDWORKS Simulation war Watershot in der Lage, dieses klassische Durchbiegungsproblem zu lösen und den Entwurf zu verbessern – und das ohne wesentliche Abänderungen am Werkzeug.

„Wir haben uns regelmäßig nach anderen Entwicklungswerkzeugen umgeschaut, aber SOLIDWORKS hat immer am besten abgeschnitten“, betont Stephanie Griffin Peña, Project Engineer. „Die Software bietet alles, was wir brauchen. Die Art und Weise, in der das Modul Simulation mit dem CAD-Paket zusammenarbeitet, hat die Abläufe erheblich verbessert.“

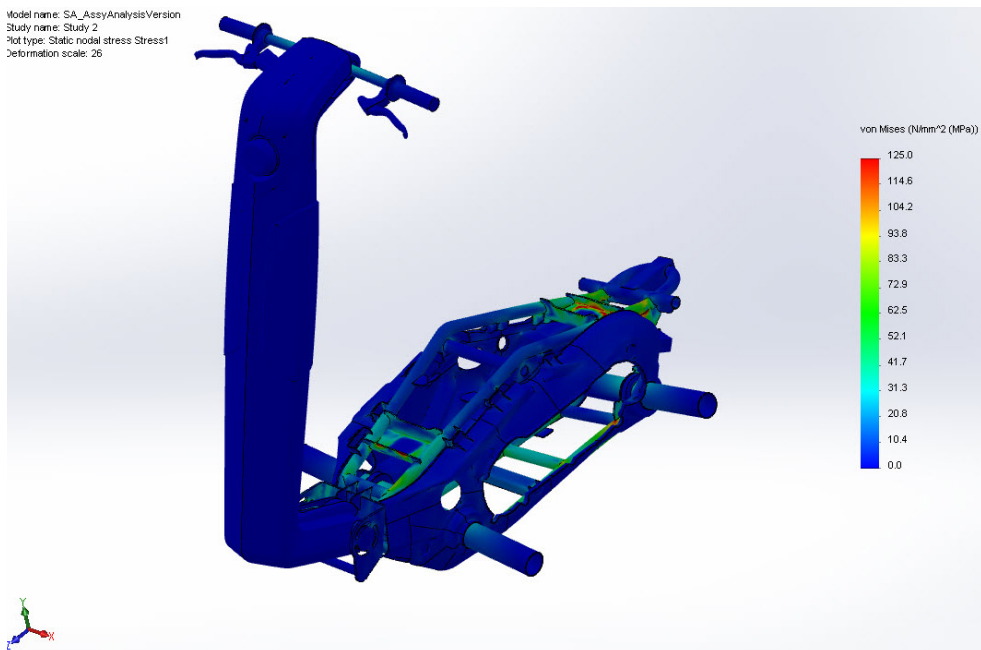
WAS KÖNNEN SIE SIMULIEREN?

Mithilfe der Simulationsverfahren Finite-Elemente-Methode (FEM) und Numerische Strömungsmechanik (Computational Fluid Dynamics, CFD) können Sie anhand von computerbasierten mathematischen Modellierungen komplexe physikalische Phänomene simulieren, einschließlich des Verhaltens der Struktur, der Wärmeübertragung, der Fluidströmungen und des dynamischen Verhaltens.

Strukturanalyse

Mithilfe von FEM-Software können Sie die verschiedensten Verhaltensweisen im Zusammenhang mit der Festkörpermechanik simulieren. Führen die unter Betriebslasten in der Struktur – sei es ein Maschinenelement oder ein Brückenträger – auftretenden mechanischen Spannungen zu Brüchen, Knicken/Beulen, Materialfließen oder Verformungen? Wie lauten die Eigenfrequenzen der Struktur und welchen Einfluss haben sie auf das Verhalten der Konstruktion? Wie sieht es mit Verschiebungen, Schwingungen und der Lebensdauer aus? Beim Konstruieren von Produkten, bei denen zwei oder mehrere Komponenten in Kontakt kommen, können Sie ermitteln, wie sich dieser Kontakt auf das Verhalten der Konstruktion auswirkt. Außerdem können Sie kinematische Untersuchungen vornehmen und aus den Ergebnissen wichtige Erkenntnisse für das Ausführen anschließender Strukturanalysen gewinnen.

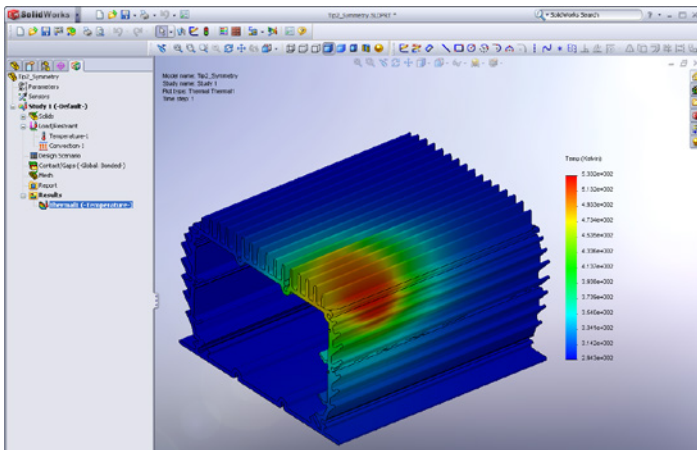
Model name: SA_AssyAnalysisVersion
Study name: Study 2
Plot type: Static nodal stress Stress1
Deformation scale: 26



Die Strukturanalyse zeigt die Verteilung von mechanischen Spannungen auf und lässt so gefährdete Bereiche erkennen

Thermische Analyse

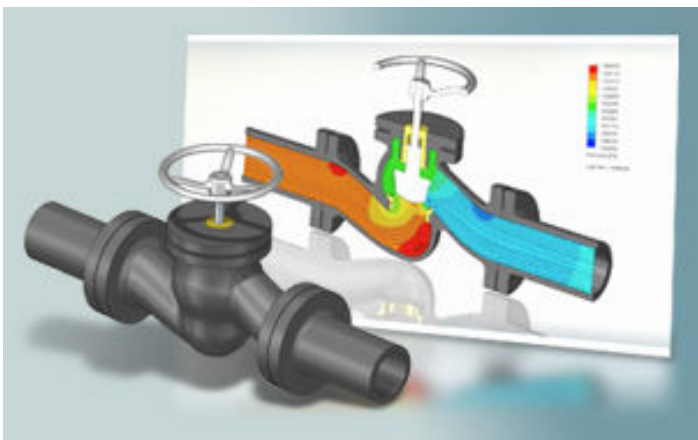
Bei immer mehr Produkten ist es aus Gründen der Sicherheit und des Betriebsverhaltens unerlässlich, den Einfluss von Wärmeübertragungen auf das Betriebsverhalten der Konstruktion zu ermitteln. Die Eigenschaften vieler Materialien sind temperaturabhängig. Mithilfe einer Simulationssoftware können Sie die verschiedensten Arten von Wärmeübertragungen simulieren – Leitung, Konvektion und Strahlung – und die Wärmeübertragung innerhalb und zwischen Komponenten der Konstruktion und ihres Umfelds berechnen. Sie können transiente und stationäre Zustände simulieren. Thermische Probleme können entweder mithilfe von Struktur- oder Strömungssimulationen gelöst werden. Bei einer thermischen Strukturanalyse werden die Auswirkungen strömender Luft oder strömender Flüssigkeiten als Lasten oder Randbedingungen vorgegeben. Mithilfe einer Strömungsanalyse können Sie die thermischen Auswirkungen strömender Fluide simulieren, und zwar unabhängig davon, ob es sich um Gase oder Flüssigkeiten handelt.



Mithilfe einer thermischen Analyse können Konstrukteure Überhitzungsprobleme schon früh im Konstruktionsprozess vorhersehen

CFD-Analyse

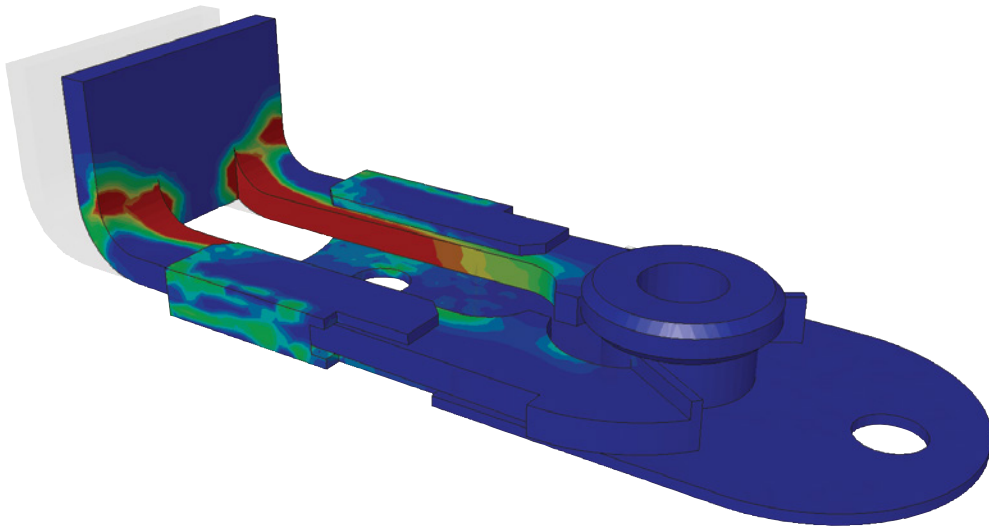
Mithilfe einer CFD-Analysesoftware (Computational Fluid Dynamics, numerische Strömungsanalyse) können Sie den stetig steigenden Bedarf zur Berechnung des Verhaltens und der Dynamik von strömenden Medien und deren Einflüssen auf das Verhalten der Konstruktion bewältigen – unabhängig davon, ob es sich um Flüssigkeiten oder Gase handelt. Die CFD-Analysetechnik von SOLIDWORKS Flow Simulation war anfänglich und hauptsächlich dazu gedacht, als Alternative zu teuren Windkanalversuchen zur Verbesserung der Aerodynamik von Flugzeugen und Fahrzeugen zu dienen. Diese Technik kommt jedoch mittlerweile immer häufiger bei der Bewertung anderer strömungsbedingter Probleme zum Einsatz. Beispiele sind die Berechnung einer ausreichenden Kühlung für elektronische Baugruppen, das Verbessern des Betriebsverhaltens von Klimatechnik (HLK) sowie die Verbesserung von Fertigungsprozessen mit strömungsmechanischen Komponenten.



Mithilfe einer thermischen Analyse können Konstrukteure Überhitzungsprobleme schon früh im Konstruktionsprozess vorhersehen

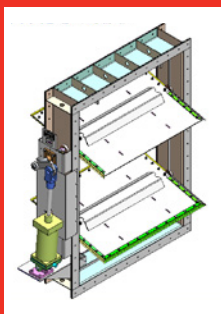
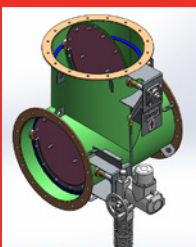
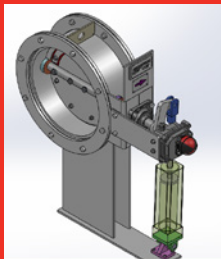
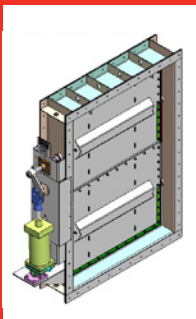
Lineare oder nichtlineare FEM

Mit Werkzeugen für eine lineare FEM-Berechnung kann zwar das Verhalten einer Vielzahl von Konstruktionen simuliert werden, einige physikalische Phänomene sind jedoch nichtlinearer Natur. Anders gesagt, der Zusammenhang zwischen physikalischer Reaktion und aufgetragenen Lasten sowie Randbedingungen ist nicht linear. Wenn Sie es mit nichtlinearen Materialien wie Gummi und Kunststoffen, mit geometrisch nichtlinearen Effekten, mit nichtlinearen Wechselwirkungen zwischen Bauteilen oder mit nichtlinearen Lasten und Randbedingungen zu tun haben, müssen Sie eine nichtlineare FEM-Berechnung ausführen, um eine hinreichend genaue Näherung der Lösung zu erhalten.



„Mit den zuverlässigen Simulationen von SOLIDWORKS besteht wirklich keine Notwendigkeit mehr, Prototypen zu fertigen und zu testen.“

Subhash Bidwai
General Manager
DEMECH Esscano Power India
Pvt. Ltd.



ZUVERLÄSSIGE SIMULATION ERLEICHTERT DEN MARKEINSTIEG FÜR INDUSTRIELLE ABSPERRVORRICHTUNGEN

In vielen Fabriken und Produktionsanlagen – wie beispielsweise in Kraftwerken, Stahlhütten, Zementwerken, petrochemischen Anlagen und sonstigen prozessorientierten Produktionsabläufen – besteht die Notwendigkeit, den Strömungsfluss von Gasen und Flüssigkeiten zu beeinflussen. Dadurch werden industrielle Absperrvorrichtungen zum Muss. DEMECH Esscano Power India Pvt. Ltd. (DEP), ein Joint-Venture von Esscano Power A/S Denmark und Deccan Mechanical & Chemical Industries Pvt. Ltd, wurde zur Erfüllung der anspruchsvollen Anforderungen in der Dämpfertechnologie gegründet.

DEP entwickelt und fertigt eine Vielzahl industrieller Absperrvorrichtungen wie Lüfterjalousien, Drosselklappen, Absperrschieber und weitere Varianten. Das Unternehmen hat durch die Einführung neuer Konzepte, die ein besseres Betriebsverhalten erreichen und kostengünstiger sind, in kurzer Zeit eine bedeutende Rolle auf dem Markt industrieller Absperrvorrichtungen erobert.

Durch den Einsatz der Software SOLIDWORKS Simulation Premium und SOLIDWORKS Flow Simulation konnte DEP die Notwendigkeit der Fertigung und des Testens von Prototypen für seine Systeme eliminieren. Beim Erreichen seines Ziels, Absperrerelemente mit einem Wirkungsgrad von 99,95 bis 100 Prozent zu fertigen, baut das Unternehmen auf Simulationswerkzeuge von SOLIDWORKS.

„Zu Anfang haben wir mithilfe von SOLIDWORKS Simulation die thermische Ausdehnung von Klappen unter extrem hohen Temperaturen berechnet“, so Subhash Bidwai, General Manager. „Wir müssen ausreichende Abstände wegen der thermischen Ausdehnung einhalten und gleichzeitig dafür sorgen, dass die Wirksamkeit des Absperrerelements nicht durch Undichtigkeiten beeinträchtigt wird. Mit den zuverlässigen Simulationen von SOLIDWORKS besteht wirklich keine Notwendigkeit mehr, Prototypen zu fertigen und zu testen.“

INTERVIEW MIT DEM FEM-SPEZIALISTEN DR. PAWEL M. KUROWSKI

Dr. Pawel M. Kurowski, ein Assistant Professor an der Faculty of Engineering der University of Western Ontario, ist ein führender Spezialist auf den Gebieten Produktentwicklung, Entwurfsanalyse und Festkörpermechanik. Vor seiner Tätigkeit als Professor war Dr. Kurowski mehr als 20 Jahre lang als Forschungs- und Entwicklungsingenieur in den Branchen Fahrzeugbau, Verteidigungstechnik und Schwermaschinenbau tätig.

Warum haben Sie sich für die Lösungen von SOLIDWORKS Simulation als bevorzugtes Werkzeug für Ihre Lehrtätigkeit entschieden?

Ich bin ein großer Anhänger von Entwicklungsingenieuren, die FEM-Werkzeuge nutzen, denn diese Ingenieure verfügen über die umfassendsten Einsichten in die Entwurfsabsichten und die Einsatzumgebung eines Produkts. Daher sind diese Ingenieure am besten in der Lage, mit Hilfe von FEM ihre Entwürfe schon frühzeitig im Entwicklungsprozess zu optimieren. Wir haben uns auf die Software SOLIDWORKS Simulation geeinigt, weil diese Software vollständig in die Umgebung SOLIDWORKS 3D integriert ist und eine gemeinsame Oberfläche mit SOLIDWORKS 3D besitzt. Dadurch kann dieses System leichter erlernt und genutzt werden.

Wie setzen Sie die Software SOLIDWORKS Simulation in Ihrem Lehrplan für die Ingenieurausbildung ein?

Wir nutzen SOLIDWORKS Simulation in unseren FEM-Lehrveranstaltungen im Rahmen des Grundstudiums und des weiterführenden Studiums. In einer dieser Lehrveranstaltungen – Computer-Aided Engineering für Fortgeschrittene (CAE, Rechnergestützte Entwicklung) – werden durch den kombinierten Einsatz von SOLIDWORKS Simulation, SOLIDWORKS Flow Simulation und SOLIDWORKS Motion Simulation die verschiedensten Arten von physikalischen Phänomenen erforscht, die sich auf das Verhalten des Entwurfs auswirken können. Durch den enormen Funktionsumfang der Software können die Studenten das Verhalten des Entwurfs aus allen Blickwinkeln erforschen, egal ob es sich nun um Fragen zu Struktur, Fluidströmungen, thermischem Verhalten, Bewegungsverhalten, Schwingungsverhalten, fertigungsgerechtem Gestalten oder Nachhaltigkeit handelt. SOLIDWORKS Simulation und SOLIDWORKS Flow Simulation bieten den breitesten Funktionsumfang bezüglich FEM und CFD innerhalb einer einheitlichen Benutzeroberfläche für Konstruktion und Analyse. Durch die Nutzung von SOLIDWORKS Simulation vermitteln wir unseren Studierenden ein solides Fundament auf dem Gebiet der numerischen Analyse von Konstruktionen.

Führen die Integration von CAD und die einfache Bedienung von SOLIDWORKS Simulation zu einem Verlust an Funktionalität im Vergleich zu anderen FEM-Paketen?

Nein. Tatsächlich ist das Gegenteil der Fall. SOLIDWORKS Simulation ist leistungstärker als andere FEM-Pakete, da SOLIDWORKS leichter erlernbar ist und schneller bedient werden kann. Alle FEM-Programme basieren auf der Finite-Elemente-Methode und die zugrundeliegende Mathematik ist nahezu identisch. SOLIDWORKS Simulation zeichnet sich durch die Integration in die CAD-Modellierung, die intuitive Benutzeroberfläche, die ausgeklügelten Solver, die Möglichkeiten zur Steuerung der Vernetzung und die Bandbreite an Analyseverfahren aus.

Wurden bei der anwenderfreundlichen Gestaltung von SOLIDWORKS Simulation Kompromisse in Bezug auf die Genauigkeit eingegangen?

Nein. Nur weil die Software anwenderfreundlich ist, bedeutet das nicht, dass es sich um ein billiges Massenprodukt handelt oder dass das System weniger genaue Ergebnisse liefert. Die Genauigkeit bei FEM ist von der sachgemäßen Definition des Problems, des Wissens um die Art der auszuführenden Analysen und der Aufrechterhaltung der Integrität des mathematischen Modells abhängig. Kein FEM-Programm liefert zu 100 % genaue Ergebnisse, da all diese Programme die gleichen numerischen Diskretisierungsverfahren nutzen. Hinsichtlich der Genauigkeit ist SOLIDWORKS Simulation genauso leistungsfähig wie alle anderen Systeme auch. Ich würde jedoch behaupten, dass sich das Vorbereiten des Analysevorgangs aufgrund der Anwenderfreundlichkeit von SOLIDWORKS Simulation einfacher gestaltet, was wiederum zu einer höheren Genauigkeit führt.



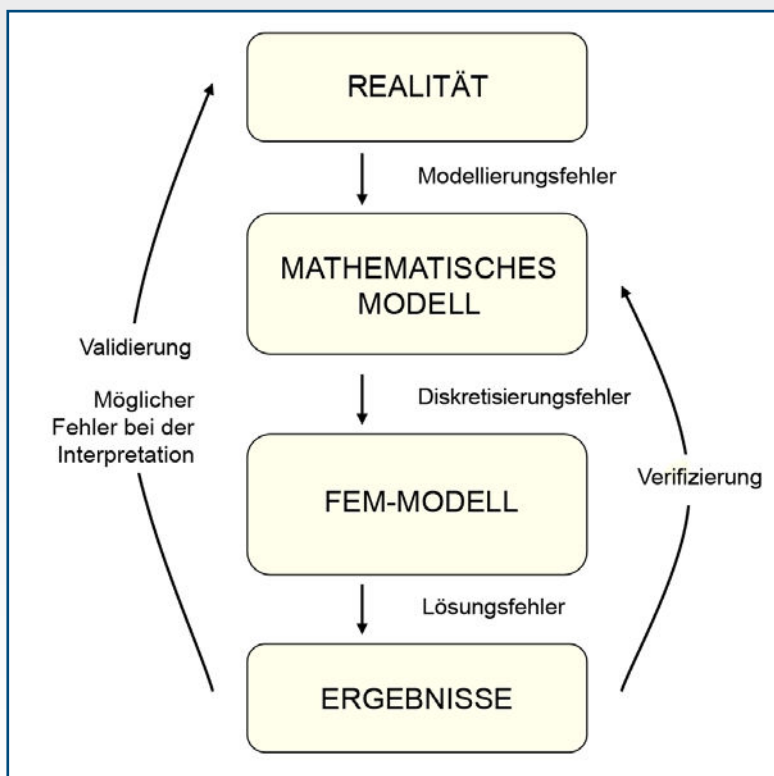
Welche Möglichkeiten haben die Anwender, die Genauigkeit von FEM-Ergebnissen zu erhöhen?

Es gibt da zwei Aspekte, die Auswirkungen auf die Genauigkeit von FEM-Paketen haben können. Ein Aspekt ist das sachgemäße Vorbereiten des Problems durch die Auswahl der korrekten Analyseart, durch Eingeben korrekter Daten für Materialeigenschaften, Lasten und Randbedingungen und durch Auswahl der für die durchzuführende Analyse am besten geeigneten Elemente. Der andere Aspekt besteht im Steuern der Größe des Diskretisierungsfehlers anhand von adaptiven Verfahren und Vorgaben für die Vernetzung. Es gibt keine FEM ohne Diskretisierungsfehler. Sie können diesen Fehler manuell durch Vorgaben für die Vernetzung beeinflussen. Auch eine automatische Regelung durch h-adaptive oder p-adaptive Vernetzungen ist möglich. In SOLIDWORKS Simulation können Sie mithilfe dieser Methoden das automatisch generierte Netz an kritischen Stellen verfeinern. Beim h-adaptiven Ansatz wird an kritischen Stellen die Anzahl der Elemente erhöht, um eine höhere Genauigkeit zu erreichen. Beim p-adaptiven Verfahren hingegen wird an Stellen mit einer als hoch eingeschätzten Fehlerwahrscheinlichkeit die Ordnung der Polynome erhöht, mit denen das Verschiebungsfeld der Elemente angenähert wird, um eine höhere Genauigkeit zu erreichen.

Wie genau müssen FEM-Ergebnisse sein?

Diese Frage sollten sich die Entwicklungsingenieure selbst stellen, bevor Sie eine Analyse ausführen. Die Genauigkeit ist von folgenden Punkten abhängig:

1. Wurde das Problem z. B. in Bezug auf die Art der Analyse, Materialeigenschaften und Randbedingung sachgemäß formuliert? Wir nennen das „Modellierungsfehler“. Das Formulieren des Problems und die damit verbundene Modellbildung haben mit der eigentlichen FEM nichts zu tun. Der Umgang mit Modellierungsfehlern ist Sache einer korrekten Problemdefinition.
2. Wurde das Problem sachgemäß diskretisiert? Hier geht es um den sogenannten Diskretisierungsfehler. In den meisten Fällen reicht eine Genauigkeit von ein paar Prozent aus, SOLIDWORKS Simulation gibt Ihnen jedoch Werkzeuge an die Hand, mit denen Sie die Genauigkeit nach Belieben steuern können – von einer einfachen manuellen Verfeinerung der Vernetzung bis hin zu ausgeklügelten, automatischen h-adaptiven Lösungen.
3. Wurde das Problem ordnungsgemäß gelöst? Hier handelt es sich um den numerischen Rundungsfehler, der sich im Solver aufaddiert. In SOLIDWORKS Simulation wird dieser Fehler von den schnellen und durchdachten Solvern so gering wie möglich gehalten.



Beeinflusst der Typ der Elemente die Genauigkeit?

Natürlich tut er das. So modelliert eine dünne Schale beispielsweise eine lineare Verteilung der mechanischen Spannungen in der Ebene über die gesamte Dicke der Schale. Verwenden Sie diese Elemente für die Modellierung einer Schale, an der sich die Spannungen über die Dicke der Schale hinweg nicht linear verhalten, kommt es zu falschen Ergebnissen. Ein 2D-Ebenenspannungselement geht von identischen Spannungen über die gesamte Dicke hinweg aus. Wenn wir dieses Element für das Modellieren eines Problems verwenden, bei dem sich die Spannungen über die Dicke hinweg ändern, erhalten wir wieder falsche Ergebnisse. Die Liste des „Elementemissbrauchs“ ist lang und wir müssen immer Elemente auswählen, die das erwartete Muster der Spannungsverteilung korrekt modellieren. Das gilt für jedes FEM-Programm. Ein Element an sich ist weder „genau“ noch „ungenau“. Der Begriff „Genauigkeit“ bezieht sich auf das aus den finiten Elementen bestehende Netz.

Welche sind genauer: Hexaedrische oder tetraederförmige (Tet) Elemente?

Um zu verstehen, warum einige FEM-Anwender meinen, dass hexaedrische (kubische) Elemente genauer als tetraederförmige (Tet) Elemente sind, müssen wir in die Vergangenheit zurückgehen und uns die frühen 1980er Jahre anschauen. Zu dieser Zeit wurden FEM-Programme, im Vergleich zu dem, was wir heute gewohnt sind, auf sehr langsamen Computern ausgeführt. Die Analytiker mussten den Umfang eines Modells möglichst klein halten – also große Elemente erster Ordnung verwenden – um die Analyse überhaupt ausführen zu können. Daher waren kubische Elemente erster Ordnung von Vorteil im Vergleich zu tetraederförmigen Elementen erster Ordnung. Das liegt daran, dass kubische Elemente erster Ordnung das Verschiebungsfeld zweiter Ordnung und den linearen Spannungszustand modellieren, tetraederförmige Elemente erster Ordnung hingegen das lineare Verschiebungsfeld und konstante Spannungen. Daher verhalten sich kubische Elemente erster Ordnung wie tetraederförmige Elemente zweiter Ordnung. Wenn Sie tetraederförmige Elemente anstatt kubischer Elemente verwenden möchten, müssten Sie tetraederförmige Elemente zweiter Ordnung oder deutlich kleinere Elemente erster Ordnung einsetzen. Mit beiden Varianten waren die Computer der 1980er Jahre überfordert.

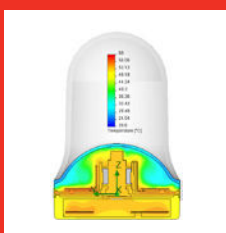
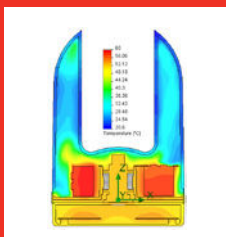
Heutzutage nutzt niemand mehr Elemente erster Ordnung. Automatische Vernetzungsprogramme erzeugen problemlos riesige Netze und das Gleichungssystem wird von effizienten Solvern in kurzer Zeit gelöst. Die omnipräsenten Tetraeder-Elemente der zweiten Ordnung modellieren das Verschiebungsfeld zweiter Ordnung und den Spannungszustand erster Ordnung. In modernen FEM-Programmen bieten Hexaeder-Elemente keinerlei Vorteile mehr im Vergleich zu Tetraeder-Elementen. Was bleibt, ist die Frage nach der Ästhetik einer Vernetzung. Viele Leute empfinden Netze aus Hexaeder-Elementen ästhetisch angenehmer, selbst wenn die nett gestalteten Hexaeder an den Außenflächen des Modells stark verzerrte hexaedrische oder tetraederförmige Elemente im Inneren verdecken.

Einige Konstrukteure fühlen sich durch FEM eingeschüchtert. Warum?

Weil viele FEM-Pakete schwer zu handhaben sind. Daher ist es für Konstrukteure eine Herausforderung, aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ohne zuvor eine umfangreiche Schulung absolviert zu haben. Das ist der Grund dafür, dass SOLIDWORKS Simulation die von mir bevorzugte FEM-Lösung darstellt. Mit SOLIDWORKS Simulation können Problemstellungen auf einfache Weise formuliert und genaue, aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden. Mit SOLIDWORKS Simulation können die Ingenieure schon nach einer kurzen Einarbeitung von ein paar Stunden loslegen.

„Wir sind begeistert von der Präzision von SOLIDWORKS Flow Simulation. Anhand der präzisen Voraussagen können wir neuartige Ansätze in kürzester Zeit beurteilen.“

Marcel Tremblay
Director of Mechanical
Engineering FLIR Systems, Inc.



PRÄZISE SIMULATIONSERGEBNISSE LÖSEN EINEN INNOVATIONSSCHUB BEI WÄRMEBILDKAMERAS AUS

FLIR Systems, Inc. ist der weltweit führende Hersteller von Infrarot-Wärmebildkameras. Bei der Entwicklung von neuen Wärmebildgeräten für den Einsatz auf See, für Sicherheitsüberprüfungen und als Handheld-Geräte verlässt sich das Unternehmen auf die Software SOLIDWORKS Simulation Premium und SOLIDWORKS Flow Simulation.

Beispielsweise mussten die Ingenieure bei der Entwicklung der seetauglichen schwenk- und neigbaren Kamera der Serie M die Höhe des anfänglichen Entwurfs um 1,5 Zoll verringern. Dies führte zu einem Anstieg der Temperatur über einen für den Motor zulässigen Wert. FLIR nahm eine Reihe von Änderungen am Entwurf vor und führte eine kombinierte Strömungs-/Thermoanalyse aus. Durch diesen Prozess konnte FLIR den Entwurf so abändern, dass die Temperatur um 23 °C (ein Sicherheitspolster von 6 °C) abgesenkt werden konnte, und dies ohne einen einzigen Prototyp zu fertigen.

„Die Kamera der Serie M hat gezeigt, wie leistungsstark eine kombinierte Strömungs-/Thermoanalyse ist“, so Marcel Tremblay, Director of Mechanical Engineering. „Alles dreht sich um die Luft im Inneren. Dabei liefert eine kombinierte Strömungs-/Thermoanalyse genauere Ergebnisse als nur Berechnungen mit Wärmeleitung und Wärmekonvektion. Mithilfe dieser Strömungs-/Thermoanalyse können wir besser erkennen, an welchen Stellen Entwurfsänderungen am günstigsten und vielversprechendsten sind, und zwar ohne einen Prototyp fertigen zu müssen. Dadurch haben wir Monate an Zeit gespart.“

„SOLIDWORKS ist die perfekte Kombination aus einfacher Bedienung und hoher Leistungsfähigkeit“, meint Tremblay. „Das CAD-System macht das Modellieren einfach. Mithilfe der Simulationswerkzeuge können wir die Entwürfe optimieren, verfeinern, verbessern und zuverlässiger gestalten.“

SOLIDWORKS SIMULATION: GENAUIGKEIT + INTUITIVITÄT = LEISTUNG

Aufgrund ihrer Anwenderfreundlichkeit, ihrer Geschwindigkeit, ihrer Genauigkeit und ihrer Leistungsstärke beinhalten die Lösungen von SOLIDWORKS Simulation das höchste Potential zur Verbesserung Ihres Produktentwicklungsprozesses. Mit SOLIDWORKS Simulation haben Sie Zugang zu einem vielseitigen Feld von Analysemöglichkeiten – einschließlich Solvern, Vernetzungsalgorithmen und Werkzeugen für die Weitergabe von Ergebnissen – und dies direkt aus der Modellierungsumgebung von SOLIDWORKS CAD heraus.

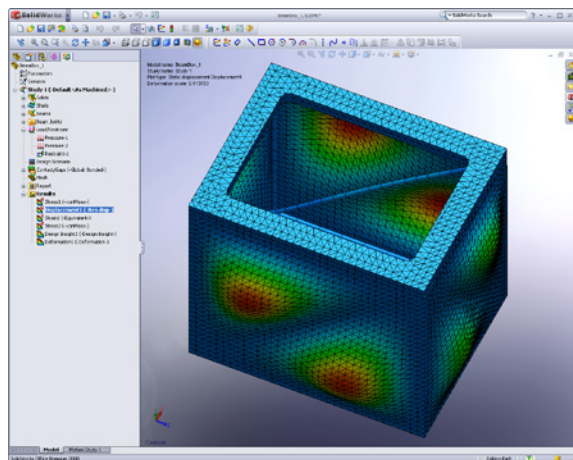
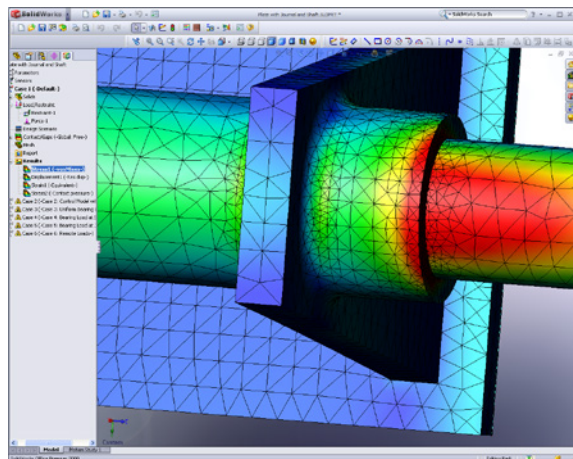
Funktionen

SOLIDWORKS Simulation verfügt über ein umfassendes Sortiment an Analysearten, mit denen Sie nahezu jedes Simulationsproblem bewältigen können:

- Strukturanalyse, von einfachen linearen bis hin zu hochgradig nichtlinearen Anwendungen
- Lineare und nichtlineare Schwingungsanalyse
- Thermische Analyse – für stationäre und transiente Zustände
- Ermüdungsanalyse
- Fluidströmungsanalyse
- Bewegungssimulation
- Analyse gekoppelter physikalischer Effekte durch Kombination der oben aufgeführten Funktionen (Multiphysik)

Mit SOLIDWORKS Simulation können Sie außerdem viele Arten von Untersuchungen innerhalb dieser Analysearten vornehmen. Hier einige Beispiele:

- Statik (mechanische Spannungen)
- Frequenz
- Knicken
- Ermüdung
- Vibration
- Kontakt
- Baugruppe
- Nicht-linear
- Dynamisch
- Modaler Zeitverlauf
- Harmonisch
- Zufällige Vibration
- Reaktionsspektrum
- Konstruktionsverbesserung
- Kinematik und Dynamik
- Bauteile aus Kunststoff oder Gummi
- Fluidströmung
- Thermisches Management für elektronische Produkte
- Faktoren für thermische Behaglichkeit
- Gekoppelte Analyse Thermisch-Strukturell
- Gekoppelte Analyse Thermisch-Fluide
- Kunststoff-Spritzgießen
- Nachhaltigkeit



Vernetzungsalgorithmen

Mit der Software SOLIDWORKS Simulation können Sie die Vorteile des integrierten automatischen Vernetzers nutzen. Außerdem stehen Ihnen flexible und leistungsstarke Werkzeuge für das Verfeinern der Vernetzung zur Verfügung. Diese Werkzeuge umfassen auch h-adaptive und p-adaptive Funktionen, mit denen Sie die Genauigkeit der Simulation erhöhen können. Sie können sich entsprechend der zu simulierenden Geometrie für Volumen, Schalen, Balken oder gemischte Vernetzungen entscheiden. Außerdem können Sie festlegen, ob das Problem in 2D oder in 3D formuliert werden soll. Die enge Integration von SOLIDWORKS Simulation in SOLIDWORKS CAD ermöglicht ein automatisches Überführen der Geometrie in die am besten geeignete Vernetzungsart: Strukturbauteile zu Balken, Flächen zu Schalen.

Solver

Die FEM-Software SOLIDWORKS Simulation gibt Ihnen die Möglichkeit, entweder direkte oder iterative Lösungsverfahren zu nutzen, den Solver Direct Sparse oder den Solver FFEPlus. Die Software wählt automatisch den für die konkrete Analyseaufgabe am besten geeigneten Solver aus. Bei Problemen bezüglich Statik, Frequenzen, Knicken und Thermik nutzt die Software beispielsweise den Direct Sparse Solver. Bei nichtlinearen Problemen und bei Kontaktanalysen wechselt die Software jedoch zum iterativen Solver FFEPlus. Bei großen Modellen mit Millionen an Freiheitsgraden wird automatisch der Direct Sparse Solver für große Modelle verwendet.

Kommunikation der Ergebnisse

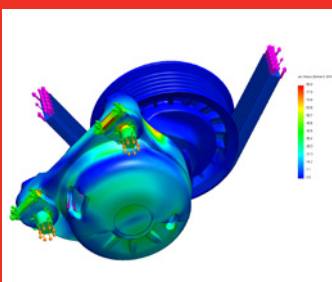
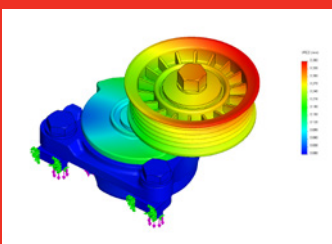
Nachdem Sie eine Analyse ausgeführt haben, die Sie nun dokumentieren möchten, können Sie in SOLIDWORKS Simulation automatisch einen technischen Bericht über die Ergebnisse erstellen. Sie können problemlos und in kürzester Zeit Animationen erzeugen, in denen die Ergebnisse der Strukturberechnung, des thermischen Verhaltens, der Bewegung sowie der Fluidströmungen verdeutlicht werden. Außerdem können Sie Analyseergebnisse in einer kompakten SOLIDWORKS eDrawings-Datei ablegen. Dieses Dateiformat ermöglicht Ihnen, die Ergebnisse über E-Mail, Tablets und Smartphones weiterzugeben.

CAD-Integration

Ein echtes Alleinstellungsmerkmal von SOLIDWORKS Simulation gegenüber anderen FEM-Paketen ist die vollständige Integration in die Modellierungsumgebung von SOLIDWORKS CAD. Bei SOLIDWORKS Simulation entfällt das Importieren bzw. Exportieren von Modellen zur Ausführung von Berechnungen oder zur erneuten Analyse nach einer Modelländerung. Da alle FEM- und CFD-Simulationen innerhalb der Modellierungsumgebung von SOLIDWORKS CAD ausgeführt werden, können Sie die Simulation schon frühzeitig in der ersten Entwurfsphase einsetzen. Zusätzlich können Sie mithilfe von CAD-Werkzeugen wie beispielsweise Konfigurationen eine ganze Reihe von Analysen an einem einzigen Modell, eine einzelne Analyse an einer Reihe von Modellen oder eine Mischung aus beiden vornehmen. Außerdem können Sie die CAD-Daten – beispielsweise Materialeigenschaften, Positionierung von Bauteilen (Verknüpfungen) oder Definitionen von Verbindungselementen – nutzen, um das Aufsetzen der Simulation zu beschleunigen.

„Im Rahmen unserer Produktentwicklung müssen wir eine Vielzahl von Simulationen durchführen – von komplizierten Kontaktanalysen mithilfe der Finite-Elemente-Methode bis hin zur Entwurfsoptimierung und Studien zu Sensitivität, Bewegungsanalysen und Lebensdauer. Wir brauchten eine FEM-Lösung, die nicht nur all diese Arten von Analysen bewältigen kann, sondern auch schnell zu genauen Ergebnissen führt. Diese Lösung heißt SOLIDWORKS Simulation Premium.“

Dr. Steve Jia
Chief Engineer, CAE
Technologies and Materials
Engineering
Litens Automotive Group



SCHNELLE, AUSSAGEKRÄFTIGE SIMULATIONEN BESCHLEUNIGEN DEN ENTWICKLUNGSPROZESS VON ANTRIEBSSYSTEMEN

Die Litens Automotive Group ist der weltweite Marktführer bei der Entwicklung und Fertigung von Systemen und Komponenten für Antriebsstränge. Als hochkarätiger Zulieferer für die Fahrzeugindustrie konnte Litens seine Marktführungsposition verteidigen, indem das Unternehmen beständig innovative Produkte entwickelt hat, mit denen Probleme bezüglich Fahrverhalten sowie Geräuschentwicklung, Schwingungen und Härte (NVH) gelöst werden konnten.

Durch die Nutzung von SOLIDWORKS Simulation Premium für das Ausführen von Simulationen als integralen Bestandteil des Konstruktionsprozesses konnte Litens den wiederholten Bau von Prototypen und die damit verbundenen Kosten minimal halten und gleichzeitig den Konstruktionsprozess beschleunigen. Die Ingenieure des Unternehmens nehmen hochkomplizierte Kontaktanalysen sowie Analysen zu kinematischem und dynamischem Verhalten, Lebensdauer und Verschiebungsberechnungen sowie thermische Analysen direkt in der Entwicklungsumgebung von SOLIDWORKS vor.

„Zeit ist der wichtigste Faktor. Mit dem schnellen Solver in SOLIDWORKS Simulation Premium können wir eine Kontaktanalyse der gesamten Baugruppe innerhalb von wenigen Stunden ausführen. Wer sonst ist dazu in der Lage?“ so Dr. Steve Jia, Chief Engineer. „Wenn Sie die Zeit und die Kosten für Prototypen in Betracht ziehen, die wir durch eine virtuelle Produktentwicklung mithilfe von CAE einsparen können, kommen Millionen von Dollar im Jahr zusammen.“

„Das Schöne an SOLIDWORKS Simulation Premium ist, dass diese Software über einen robusten Netzgenerator verfügt und Simulationen sehr umfangreicher Baugruppen mit äußerst komplizierten Kontaktzuständen bewältigen kann“, fügt Dr. Jia hinzu. „Wir konnten mit SOLIDWORKS Simulation Premium eine enorme Rendite erzielen und verlassen uns bei unseren Arbeiten jeden Tag auf dieses System.“

VERIFIZIEREN DER GENAUIGKEIT VON SOLIDWORKS SIMULATION

Sie können die Genauigkeit der Ergebnisse von SOLIDWORKS Simulation anhand von Verifizierungsproblemstellungen und Benchmarks von der National Agency for Finite Element Methods and Standards (NAFEMS) verifizieren. Diese Informationen sind bereits in der Software enthalten. Im Lieferumfang von SOLIDWORKS Simulation sind Verifizierungsproblemstellungen für alle Arten von Analysen enthalten. Bei diesen Problemstellungen werden die FEM-Ergebnisse von SOLIDWORKS Simulation mit bekannten analytischen Lösungen verglichen. Außerdem beinhaltet die Software NAFEMS-Benchmarks für statische, thermische, Frequenz- und lineare dynamische Analysen. NAFEMS-Benchmarks dokumentieren die Genauigkeit von Analyseergebnissen aller im Handel erhältlichen FEM-Pakete. Im Folgenden sind einige Beispiele für Verifizierungsproblemstellungen für SOLIDWORKS Simulation und NAFEMS aufgeführt.

Biegung eines Kragbalkens

Beschreibung

Berechnen Sie die maximale Durchbiegung und die maximale Verdrehung (θ) eines Kragbalkens, der am freien Ende mit einer Scherkraft der Stärke 1 lbf belastet wird. Die Länge des Kragbalkens beträgt 10", der Querschnitt hat die Abmessungen 1" x 1". Der Kragbalken wird als zwei identische Kragbalken modelliert, die an der gemeinsamen Fläche mit einer Kontaktbedingung „Verbunden“ miteinander verbunden sind.

Studientyp

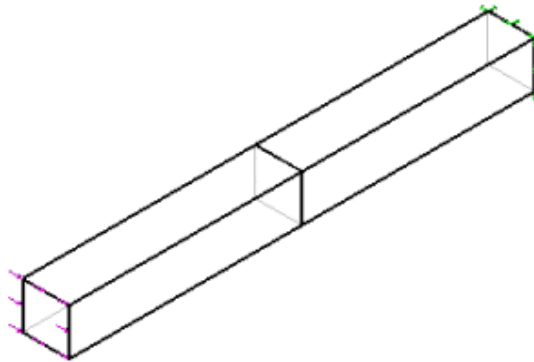
Static

Vernetzungstyp

Volumenkörpervernetzung und Balkenvernetzung in separaten Studien

Materialeigenschaften

Elastizitätsmodul = 1×10^6 PSI,
Querdehnzahl = 0,4



Ergebnisse

	Theorie	SOLIDWORKS Simulation, Volumenkörpervernetzung	SOLIDWORKS Simulation, Balkenvernetzung
Verschiebung am nicht eingespannten Ende (UX), Zoll	-0,004	-0,004	-0,004
Verdrehung am nicht eingespannten Ende (RY), rad	-0,0006	Nicht zutreffend	-0,0006

Analytische Lösung

Verschiebung am freien Ende: $UX = (2 \cdot P \cdot L^3) / (6 \cdot E \cdot I)$

Endrotation: $\theta = 3 \cdot UX / (2 \cdot L)$

Definition:

- **P:** Schubkraft
- **L:** Balkenlänge
- **E:** Elastizitätsmodul
- **I:** Flächenträgheitsmoment

Frequenzen eines dreieckigen Flügels

Beschreibung

Berechnen Sie die Eigenfrequenzen eines dreieckigen Flügels, bestehend aus einem rechtwinkligen, gleichschenkligen Dreieck. Die gleichlangen Schenkel sind 6" lang und haben eine Stärke von 0,034". Einer der gleichlangen Schenkel des Dreiecks ist fest eingespannt.

Studentyp

Frequenz

Vernetzungstyp

Schalenvernetzung

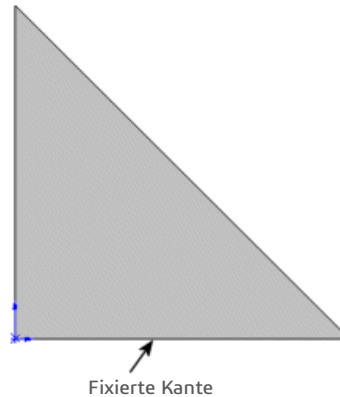
Materialparameter

Schalenstärke = 0,034 Zoll – Ansatz „Dünn“

Materialeigenschaften

Elastizitätsmodul = $6,5 \times 10^6$ psi,

Querdehnzahl = 0,3541, Dichte = 0,06411 lb/in³



Ergebnisse

Eigenfrequenz-Nr.	Theorie (Hz)	SOLIDWORKS Simulation (Hz)	
		Anfängliche Vernetzung	Vernetzung hoher Qualität
1	55,9	55,917	55,925
2	210,9	211,130	211,363
3	293,5	292,701	293,198

Referenz

„ASME Pressure Vessel and Piping 1972 Computer Programs Verification“, von I.S. Tuba and W. B. Wright, ASME Publication I-24, Problem 2.

Stationärer Wärmefluss in einer orthotropen Platte

Beschreibung

Eine rechteckige Platte von 1 m x 2 m x 0,1 m erzeugt Wärme mit einer Intensität von $Q = 100 \text{ W/m}^3$. Zwei angrenzende Kanten sind isoliert und die beiden anderen Kanten geben die Wärme an die Atmosphäre bei 0°C ab. Die Platte hat orthotrope Materialeigenschaften. Ermitteln Sie die Temperaturverteilung in der Platte im stationären Zustand.

Studientyp

Stationäre thermische Analyse

Vernetzungstyp

Schalenvernetzung

Wandungsparameter

Schalenstärke = 0,1 m – Ansatz „Dünne Schale“

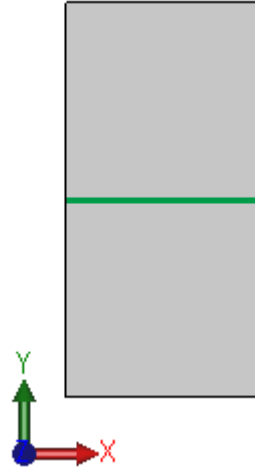
Materialeigenschaften und weitere Eingangsdaten

Thermische Leitfähigkeit in X-Richtung = $KX = 10 \text{ W/(m K)}$,

Thermische Leitfähigkeit in Y-Richtung = $KY = 0 \text{ W/(m K)}$.

Wärmeübergangskoeffizient entlang der langen Kante = $h_1 = 10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Wärmeübergangskoeffizient entlang der kurzen Kante = $h_2 = 1 = 20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

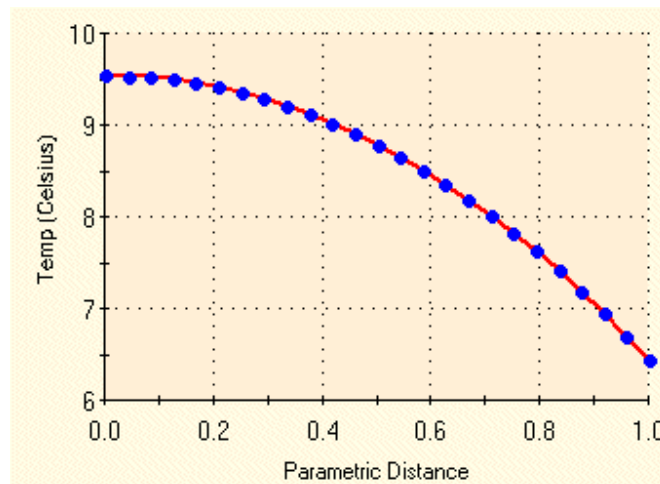


Tipps für die Modellierung

Eine Hälfte der Platte wird modelliert. Wenn keine andere Bedingung vorgegeben ist, wird automatisch die Bedingung „Isoliert“ verwendet.

Ergebnisse

Im folgenden Diagramm ist die Temperaturveränderung in X-Richtung entlang der unteren Kante des Modells dargestellt. Das Diagramm stimmt gut mit den Referenzergebnissen überein.



Referenz

M. N. Ozisik,
„Heat Conduction“, Wiley,
New York, 1980.

NAFEMS-BENCHMARKS FÜR NICHTLINEARE ANALYSEN

Torsionsknicken eines Kragbalkens

Ermitteln Sie die Durchbiegung an der Spitze Z eines Kragbalkens, der mit einer konstanten Last von $P = 0,017 \text{ N}$ entlang der Y-Richtung beaufschlagt wird. Die Kante AB des Kragbalkens ist fest eingespannt. Das Problem soll für den konservativen Lastfall gelöst werden. Um Imperfektionen in der inkrementellen nichtlinearen Analyse zu simulieren, wird eine geringe Querbelastung aufgebracht.

Studientyp

Nichtlineare statische Analyse mit Ansatz „Große Verschiebung“

Vernetzungstyp

Schalenvernetzung

Netzgröße

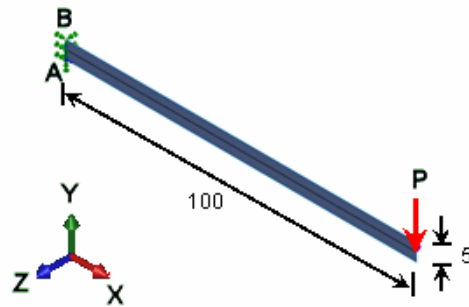
Verwendung eines Standard-Netzes mit globaler Elementgröße von 1,5 mm

Wandungsparameter

Schalenstärke = 0,2 mm –
Ansatz „Dünne Schale“

Materialeigenschaften

- Elastizitätsmodul (E) = $10 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$
- Querdehnzahl (ν) = 0

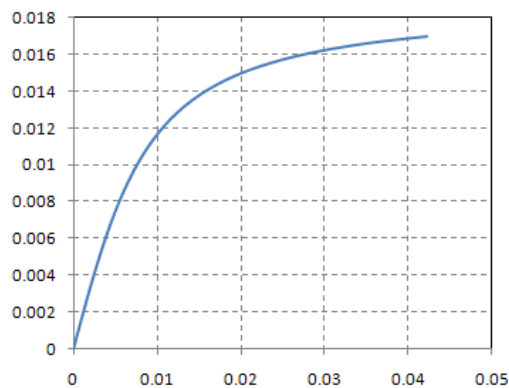


Ergebnisse

Definieren Sie an der Zielposition einen Sensor **Arbeitsablaufbezogen** und stellen Sie mithilfe des Werkzeugs **Sonde** das Diagramm für die Komponente der Verschiebung UZ dar. Verarbeiten Sie die Ergebnisse mithilfe einer Grafiksoftware, um das Diagramm zu erzeugen.

Auf der X-Achse ist die Verschiebung UZ in mm dargestellt und die Y-Achse zeigt die Last in N.

Der Graph der Auslenkung aufgrund der Last stimmt mit der in der Referenz aufgeführten Finite-Elemente-Lösung überein.



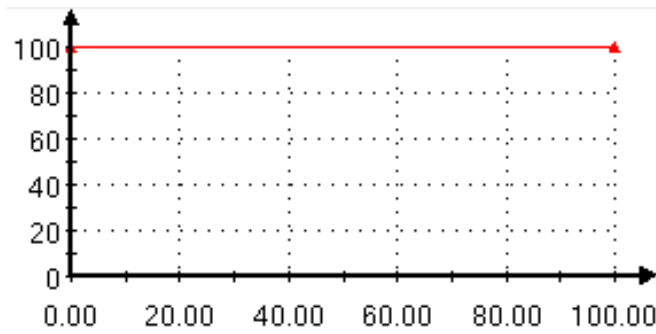
Referenz

NAFEMS Publication R0065, The International Association for the Engineering Analysis Community, „Background to Finite Element Analysis of Geometric Non-linearity Benchmarks, 1999“.

NAFEMS-BENCHMARKS ZU ERZWUNGENEN SCHWINGUNGEN

Gelenkig gelagerte dünne Platte unter plötzlich aufgebrachtem Druck

Berechnen Sie die größte Verschiebung in Richtung UZ und die Biegespannung (SY bzw. SX) in der Mitte einer gelenkig gelagerten quadratischen Platte mit einer Seitenlänge von 10 m und einer Dicke von 0,05 m, die einem plötzlich aufgebrachten Normaldruck von 100 N/m² ausgesetzt wird.



Studientyp

Es werden drei Schalenanalysen erstellt:

Studienname	Studientyp
Modal_Damping	Lineare Dynamik – Transient (modale Dämpfung)
Rayleigh_Damping	Lineare Dynamik – Transient (Rayleigh-Dämpfung)
Static	Statisch

Vernetzungstyp

Schalenvernetzung für alle drei Analysen. Schalenstärke = 0,05 m – Ansatz „Dünne Schale“

Materialeigenschaften

Linearelastisch und isotrop. Elastizitätsmodul (E) = $2 \times 1.011 \text{ N/m}^2$,
 Massendichte (ρ) = 8.000 kg/m^3 , Querdehnzahl (ν) = 0,3

Last

Plötzlich aufgebrachter Normaldruck von 100 N/m² auf die gesamte Fläche

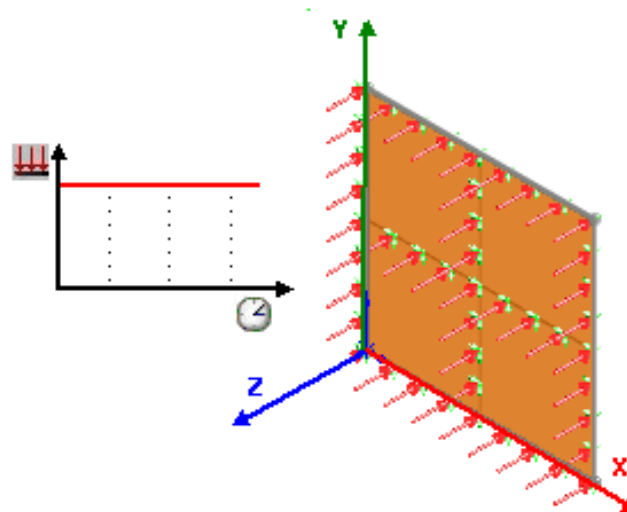
Die horizontale Achse zeigt die Zeit (s) und die vertikale Achse den Druck (N/m²).

Dynamische Optionen

- Anzahl Eigenschwingungsformen = 16
- Lösungszeit = 1,2 s
- Zeitschritt = 0,002 s

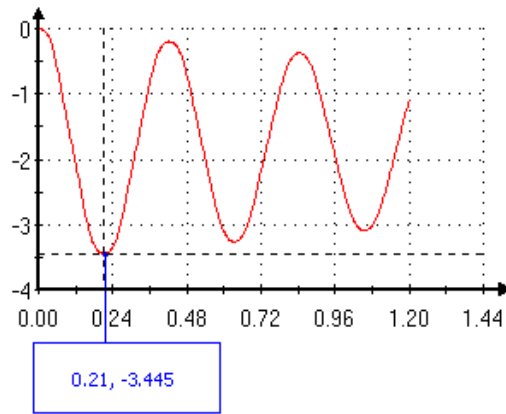
Dämpfung

- Modal_Damping: 2 % der kritischen Dämpfung für alle 16 Eigenschwingungsformen
- Rayleigh_Damping: Massekoeffizient $a_0 = 0,299$; Steifigkeitskoeffizient $a_1 = 1,339 \times 10^{-3}$



Ergebnisse

Die Diagramme für die sich ergebenden UZ-Verschiebungen und Biegespannungen in der Mitte der Platte stimmen mit den analytisch berechneten Ergebnissen überein. Das Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der UZ-Verschiebung in der Mitte der Platte. Die horizontale Achse zeigt die Zeit (s) und die vertikale Achse die Verschiebung UZ (mm).



SOLIDWORKS Simulation			
	Referenz	Modal_Damping	Rayleigh_Damping
Größte UZ-Verschiebung in der Mitte	3,523 mm (t = 0,21 s)	3,445 mm (t = 0,21 s)	3,457 mm (t = 0,21 s)
Höchstwert der Biegespannung in der Mitte	2,484 N/mm ²	2,360 N/mm ²	2,296 N/mm ²
Stationäre Verschiebung in der Mitte	1,817 mm	1,775 mm	1,775 mm

Referenz

NAFEMS, Publication R0016, The International Association for the Engineering Analysis Community, „Selected Benchmarks for Forced Vibration“, Test 13T, 1989.

NUTZUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT VON SOLIDWORKS SIMULATION FÜR INNOVATIONEN

Erkenntnisse über das Verhalten einer Konstruktion in ihrer tatsächlichen Betriebsumgebung können Sie bei der effizienteren und kostengünstigeren Schaffung innovativer Produktentwürfe gewinnen. Mit SOLIDWORKS Simulation können Sie eine Vielzahl von Analysen ausführen und auf diese Weise direkt in der Modellierumgebung SOLIDWORKS CAD präzise Informationen über das Verhalten der Konstruktion erhalten. Dadurch können Sie auf teure und zeitintensive Tests mit Prototypen verzichten.

Mithilfe von SOLIDWORKS Simulation können Sie Ihre Produktivität steigern, Kosten senken und Fertigungsprobleme eliminieren. Gleichzeitig können Sie Probleme beim Betriebsverhalten vermeiden, das Vertrauen in die Konstruktion erhöhen und die Zusammenarbeit mit Kollegen und Partnern wirkungsvoller gestalten. Mithilfe der präzisen Ergebnisse von SOLIDWORKS Simulation können Sie wichtige Entwurfsentscheidungen treffen, die letztendlich zu einer höheren Qualität und zu noch innovativeren Produkten führen, und dies bei einem Bruchteil an Zeit- und Kostenaufwand.

Wenn Sie mehr darüber erfahren möchten, wie die leistungsfähigen und zuverlässigen Lösungen von SolidWorks Simulation Ihren Produktentwicklungsprozess verbessern können, besuchen Sie www.solidworks.de/simulation oder rufen Sie uns unter **+1 800 693 9000** (innerhalb der USA und Kanadas) bzw. **+1 781 810 5011** (international) an.

Die 3DEXPERIENCE Plattform bildet die Grundlage unserer, in 12 Branchen eingesetzten, Anwendungen und bietet ein breites Spektrum an Branchenlösungen.

Dassault Systèmes, die 3DEXPERIENCE® Company, stellt Unternehmen und Anwendern „virtuelle Universen“ zur Verfügung und rückt somit nachhaltige Innovationen in greifbare Nähe. Die weltweit führenden Lösungen setzen neue Maßstäbe bei Konstruktion, Produktion und Service von Produkten. Die Lösungen zur Zusammenarbeit von Dassault Systèmes fördern soziale Innovation und erweitern die Möglichkeiten, mit Hilfe der virtuellen Welt das reale Leben zu verbessern. Die Gruppe schafft Mehrwert für mehr als 220.000 Kunden aller Größenordnungen, in sämtlichen Branchen, in über 140 Ländern. Weitere Informationen finden Sie unter www.3ds.com/de.

