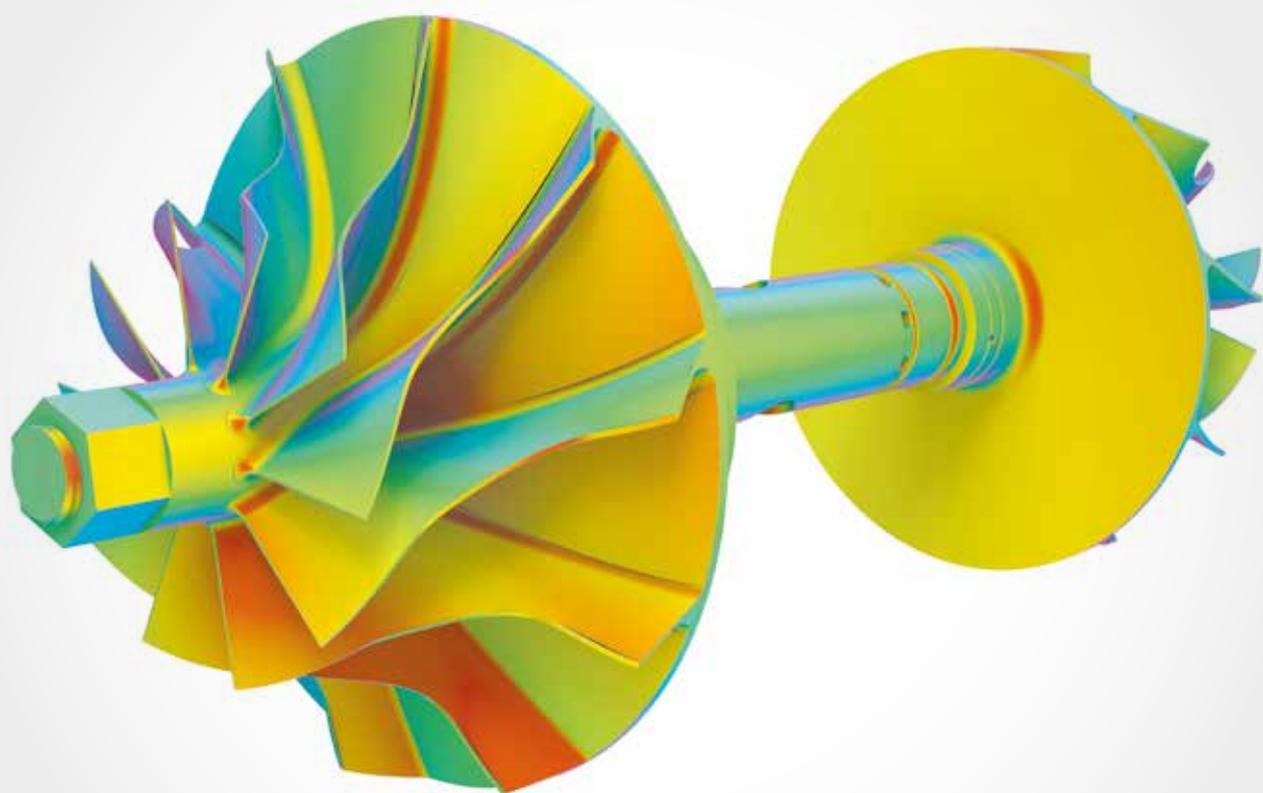


konstruktions praxis

ALLES, WAS DER KONSTRUKTEUR BRAUCHT



Dossier: **Produktentstehung 2021**

Teil 3:
Simulation revolutioniert die Produktentwicklung

Simulation revolutioniert die Produktentwicklung

Die Welt im Computer: Dank leistungsstarker Hard- und Software wird Simulation weiter demokratisiert und sorgt so für mehr Effizienz in der Produktentstehung.

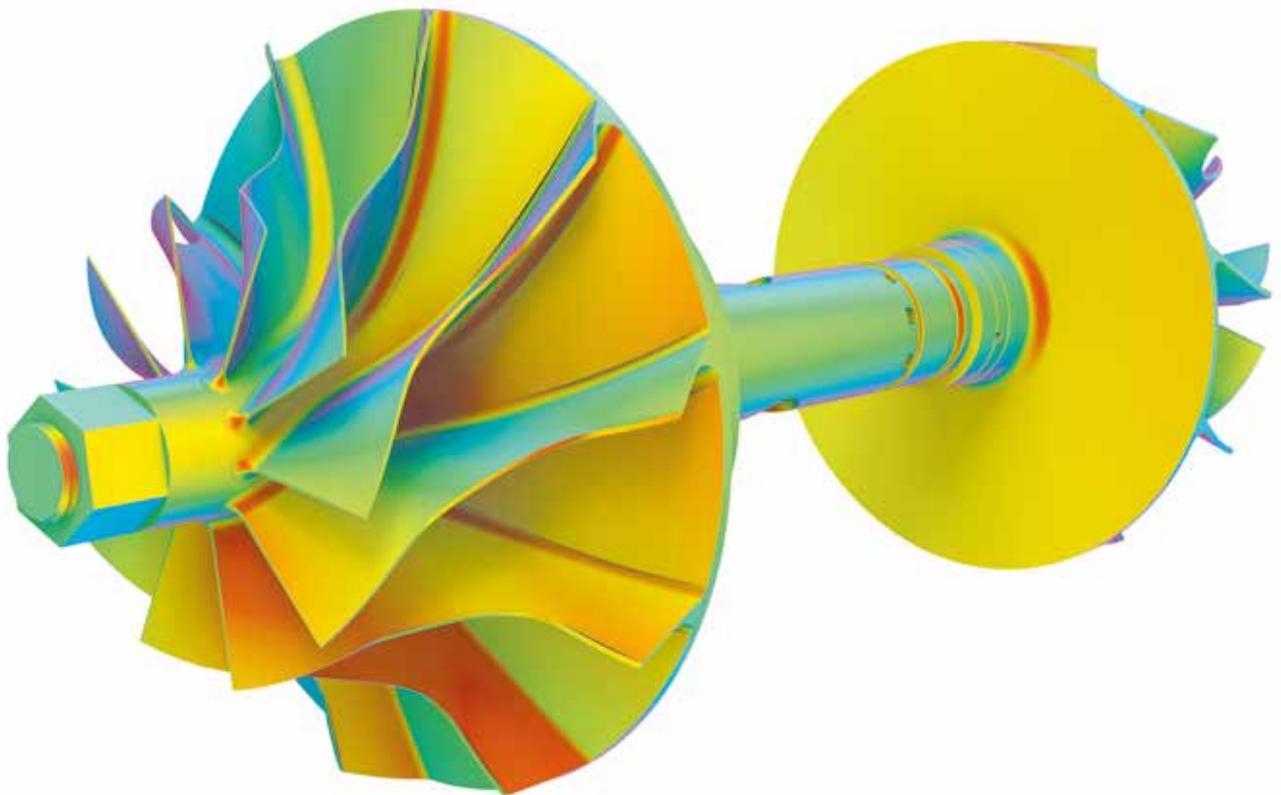


BILD: ©3D CONCEPTS - STOCK.ADOBE.COM

AUTOR



Dipl.-Ing. Ralf Steck

Freier Fachjournalist für CAD/CAM, IT und Maschinenbau, Friedrichshafen, Kontakt: rsteck@die-textwerkstatt.de

Je später im Produktentwicklungsprozess Probleme erkannt werden, desto höher sind Aufwand und Kosten der Änderung. Wenn schon physikalische Prototypen gebaut sind, wird es teuer und Änderungen sind immer schwieriger umzusetzen. Ziel muss also sein, das Produkt so weit wie möglich zu testen und zu optimieren, solange man noch im virtuellen Teil des Prozesses steckt. Hier kommt die Simulation ins Spiel. Dank leistungsstarker Hardware ist man heute in der Lage, auch komplexe technische und physikali-

sche Abläufe im Rechner nachzubilden und Schwachpunkte beziehungsweise Optimierungspotenziale früh zu entdecken.

Simulation ersetzt teure Prototypen

Früher baute man von einem neuen Automodell Dutzende von Prototypen, die man dann in Finnland über vereiste Seen und in Afrika über glutheiße Schlaglochpisten knüppelte, bis die Fahrzeuge mehr oder weniger auseinanderfielen. Dann zerlegte man die Prototypen, identifizierte die Bauteile, die

defekt oder überbeansprucht waren, und verstärkte beziehungsweise überarbeitete die entsprechenden Bereiche. Dann wurde die nächste Serie an Prototypen gebaut und getestet – so lange, bis das Fahrzeug den Qualitätsansprüchen genügte. Dementsprechend dauerte die Entwicklung eines neuen Fahrzeugtyps bis zu zehn Jahre und verschlang Unsummen. Auch große Autokonzerne hatten deshalb nur wenige Fahrzeugreihen parallel im Angebot – im Gegensatz zu heute, wo jede Nische mit einem eigenen Modell bedient wird. Noch gravierender wird diese Problematik bei Produkten, die zu groß, zu teuer oder zu einzigartig sind, um Prototypen zu bauen – beispielsweise Schiffe oder Raketen. In dieselbe Kategorie fallen Sondermaschinen: Wird nur eine Maschine gebaut, macht ein Prototyp wenig Sinn. Hier muss die Konstruktion auf das erste Mal funktionieren. Um Überlastungen zu vermeiden, gibt es dabei neben manuellem Rechnen ohne Simulation nur eine Möglichkeit: Die gesamte Konstruktion wird so überdimensioniert, dass sie in jedem Fall hält.

Diese Herangehensweise ist jedoch bei gewichtssensitiven Produkten wie Flugzeugen und Raketen nicht möglich und bei Schiffen sehr unwirtschaftlich, weshalb in diesen Bereichen auch die ersten Simulationsprogramme entstanden. Ziel ist, das Produkt im virtuellen Raum zu testen, Schwachpunkte zu erkennen, zu beheben und die Optimierung wiederum mit einer Simulation zu validieren.

Vorgänge realistisch abbilden

Ging es dabei anfangs vor allem um einwirkende Kräfte (FEM) um Strömungen und Drücke (CFD), so lassen sich heute nahezu alle chemischen und physikalischen Phänomene numerisch nachbilden und simulieren. Mit wachsender Rechenleistung ist es zudem heute möglich, nicht nur Momentaufnahmen zu simulieren (statische Simulation), sondern auch Zeiträume und Abläufe (dynamische oder transiente Simulation). Transiente Simulationen sind nichts anderes als nacheinander berechnete Momentaufnahmen, bei denen die Veränderungen der vorhergehenden Rechnung als Eingangsgröße genutzt wird – ähnlich einem Kinofilm, der ja auch aus 24 Standbildern pro Sekunde besteht. Jedes Einzelbild zeigt dabei einen nächsten Schritt in der Bewegung.

Dieses Prinzip der Kopplung aufeinanderfolgender Simulationen lässt sich auch auf unterschiedliche Simulationstechnologien anwenden. So lassen sich in der sogenannten Multiphysiksimulation physikalische Vorgänge immer realistischer abbilden. Ein Beispiel wäre ein Ventil, das von einer Flüssigkeit durchströmt wird:

- Mit den Druckverhältnissen an den Wandungen des Ventils, die in der Strömungssimulation errechnet werden, lässt sich im zweiten Schritt eine FEM-Simulation füttern.
- Diese analysiert dann, ob alle Bestandteile des Ventils diese Drücke aushalten und wie sich das Ventil unter Druck verformt.
- Ebenso lassen sich Vibrationen im Ventil, die von Strömungswirbeln erzeugt werden, berechnen und akustisch analysieren.

Die Simulation beschränkt sich dabei nicht auf physikalische Phänomene, es lassen sich auch chemische Abläufe mathe-

matisch abbilden und in Simulationen einbinden. So können beispielsweise Verbrennungsvorgänge in die Simulation integriert werden, um die Abläufe im Verbrennungsmotor zu analysieren. Dabei lässt sich abbilden, wie Kraftstoff eingespritzt wird und verwirbelt, entzündet wird und die Flammenfront ausbildet. Druck baut sich auf, der Kolben bewegt sich – diverse physikalische und chemische Abläufe interagieren hier. Jeder dieser zeitlichen Schritte und Sprünge zwischen chemischen und verschiedenen physikalischen Phänomenen erfordert einen neuen Rechenlauf. Deshalb verbraucht die transiente Multiphysiksimulation extrem viel Rechenleistung – bildet aber die Realität am besten ab.

Aufbau und Visualisierung

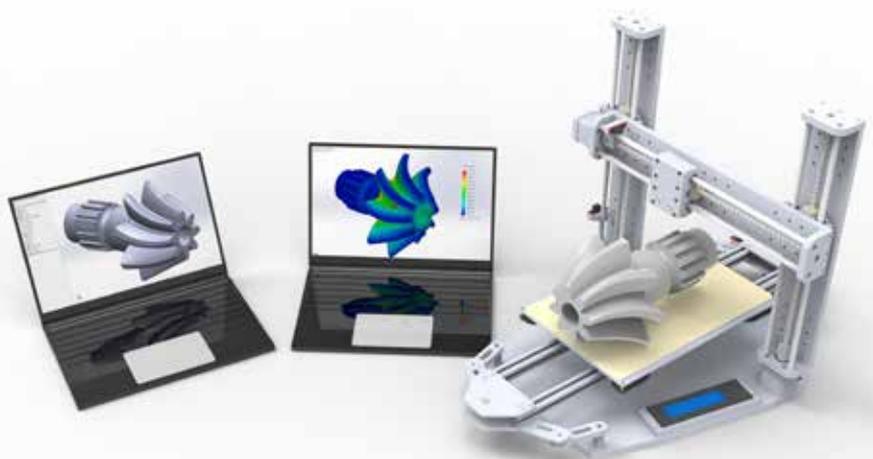
Simulation besteht immer aus mehreren, typischerweise drei Schritten: Vorbereitung, Berechnung und Aufbereitung der Ergebnisse. Üblicherweise handelt es sich dabei um zwei oder drei eigenständige Programme, die unter einer gemeinsamen Oberfläche zusammenarbeiten. Der sogenannte Solver, in dem die Berechnung erfolgt, ist quasi eine Blackbox, in die Input eingespeist wird und der Ergebnisdaten ausgibt. Input und Output des Solvers sind meist im reinen ASCII-Textformat, das sich gut in anderen Anwendungen weiterverarbeiten lässt, aber für den Menschen praktisch unlesbar ist. Deshalb werden zwei weitere Komponenten benötigt, die zum einen 3D-Geometrie und Randbedingungen in das vom Solver gewünschte Format umwandeln und zum anderen die oft riesigen Datenmengen des Outputfiles in verstehbare Daten und Visualisierungen umsetzen.

1. Präprozessor – Daten mundgerecht aufbereitet

Zum Aufbau der Simulation bieten moderne Simulationssysteme eine visuelle Oberfläche an, in der die verschiedenen Inputs und Outputs wie in einem Fließdiagramm miteinander verbunden werden können. So lassen sich Multiphysiksimulationen schnell aufbauen, aber auch herkömmliche Simulationen komfortabel konfigurieren.

Ein „Grundgesetz“ der Simulation ist, dass Komplexität teuer ist – je detaillierter die Randbedingungen berücksichtigt werden und je detaillierter die zu berechnende Geometrie,

BILD: ©3DCONCEPTS - STOCK-ADOBE.COM



Konstruktionen realistischen Bedingungen aussetzen, obwohl noch gar kein reales Exemplar des Produkts existiert – das ist der Grundgedanke von Simulation.

desto höher ist der Rechenaufwand, was wiederum entweder mehr CPU-Leistung oder mehr Zeit erfordert. Hierbei sind oft Anpassungen der über Schnittstellen importierten Geometrie sinnvoll. Zum einen lassen sich oft Teile miteinander verschmelzen, ohne das Ergebnis zu beeinflussen – beispielsweise Schraube, Scheibe und Mutter einer Schraubverbindung. Zum anderen lohnt es sich, kleinere Details wegzulassen, da diese kleinere Geometrielemente beim Vernetzen erfordern, was wiederum die Rechenzeit treibt.

Das erwähnte Vernetzen ist der nächste Schritt in der Vorbereitung der Berechnung. Je nach Anforderung kann dies automatisch geschehen, man wird oft aber manuell nacharbeiten. So ist das Rechenergebnis umso detaillierter, je kleiner die Elemente des Berechnungsgitters sind – auf Kosten einer aufwendigeren Berechnung. Deshalb kann es sinnvoll sein, auf Flächen, auf der man keine besonderen Änderungen der Ergebnisse erwartet, größere Elemente zu definieren, während beispielsweise an einem Anschluss, wo interessante Ergebnisse erwartet werden, kleinere Elemente für mehr Detaillierung sorgen. Ein solches Gitter aus unterschiedlichen Elementen nennt man adaptiv, da es an die jeweiligen örtlichen Anforderungen adaptiert, also angepasst ist.

Zudem lassen sich Berechnungsgitter nicht nur aus Quadern aufbauen, sondern auch aus Tetraedern oder besonders flachen Elementen. Tetraeder ergeben einfachere Gleichungen und deshalb etwas geringere Rechenzeiten, zudem ermöglichen sie eine genauere Abbildung der Ursprungsgeometrie. Besonders lange, aber flache Elemente werden beispielsweise in der Strömungsanalyse nahe der Wand eines Rohrs eingesetzt, da sich dort je nach Abstand von der Wand die Strömung sehr stark verändert. In der Richtung parallel zur Wand ist dagegen weniger Änderung zu erwarten, deshalb können die Elemente hier größer sein.

Im nächsten Schritt werden den Elementen Materialdaten zugewiesen und Randbedingungen, Einschränkungen, Kräfte, Drucklasten und alle anderen Eingangsdaten definiert, die der Solver benötigt, um die Berechnung zu starten.

2. Solver – Rechenknecht der Simulation

Der Solver oder Gleichungslöser nimmt nun die Daten aus dem Präprozessor entgegen und verarbeitet sie. Der Solver erzeugt aus den vielen Elementen ein riesiges Gleichungssystem mit Millionen von Einzelgleichungen, die jeweils einen Knoten des Gitters darstellen. Dieses Gleichungssystem nennt man auch Steifigkeitsmatrix. In dieses Gleichungssystem speist der Solver dann die Randbedingungen und Kräfte ein, dann folgt die mühselige Berechnung des gesamten Gleichungssystems. Zum Glück lässt sich dieses Gleichungssystem parallel berechnen, was ein ideales Einsatzszenario für die vielen kleinen Recheneinheiten aktueller Grafikkarten ist. So hat die Simulationsberechnung auf der GPU der Technologie einen großen Schub verschafft und es stehen bei vielen CAD-Anwendern Rechenleistungen unter dem Schreibtisch, die vor einigen Jahren einem Hochleistungsrechner zur Zier gereicht hätten.

Dabei unterscheidet man lineare und nichtlineare Gleichungssysteme. Linear bedeutet, dass die Steifigkeitsmatrix konstant ist, sich also das Verhältnis zwischen aufgebracht



BILD: ANSYS

Kräften und den daraus entstehenden Verformungen innerhalb der Matrix nicht ändert. Damit lassen sich Festkörper sehr gut und mit relativ geringem Rechenaufwand simulieren, beispielsweise Stahl im elastischen Bereich unterhalb der Fließgrenze.

Sollen größere und nichtlineare Verformungen berechnet werden, beispielsweise Gummielemente oder eine Karosserie beim Crash, kommt die nichtlineare Berechnung zum Einsatz. Diese nicht-konstante Steifigkeitsmatrix bildet die Auswirkungen von Verformungen ab. So ändert sich beispielsweise die Elastizität eines Gummipuffers während er komprimiert wird. Zu Beginn reagiert er eher weich und wird immer härter. Es muss also eine zeitliche Abfolge berücksichtigt werden und die Auswirkung einer ersten Verformung auf den nächsten Rechenschritt. Eine andere Nichtlinearität ist Kontakt zwischen Bauteilen, beispielsweise bei einer Verschraubung, wo sich durch den Kraftschluss der Kraftfluss plötzlich verändert. Ein nichtlinearer Solver arbeitet also auch immer dynamisch und rechnet mehrere Schritte nacheinander.

Da die lineare Simulation wesentlich weniger Rechenleistung erfordert, rechnet man oft erst einmal eine lineare Simulation und überprüft, ob beispielsweise bei einem Stahlteil an einer Stelle die Fließgrenze überschritten wird. In diesem Fall muss dann eine nichtlineare Simulation folgen, um ein realistisches Ergebnis zu erhalten. Da das Überschreiten der Fließgrenze meist nicht erwünscht ist, kann sich jedoch auch eine geometrische Optimierung anschließen, die mit einer weiteren linearen Berechnung validiert wird, bis das simulierte Teil an keiner Stelle mehr die gefährlichen Druckverhältnisse erreicht. In der Praxis sind verschiedene Solver im Einsatz, einige davon sind schon sehr alt: So geht die Geschichte des Nastran-Solvers bis in die 1960er Jahre zurück. Nastran wurde ursprünglich im Auftrag der Nasa entwickelt. Viele Jahre war MSC Software führend in der Nastran-Weiterentwicklung, im Jahr 2002 verfügte jedoch die US-Behörde FTC, dass MSC sein Monopol auflösen und den Code an andere Firmen lizenzieren muss. Dieses Angebot nahm unter anderem UGS,

Live-Simulation – wie u.a. Ansys Discovery Live sie ermöglicht – bietet 3D-Simulation in enger Verbindung mit Geometrie-Modellierung für die interaktive Erkundung von Designs.

heute Siemens, an und so basiert die Simulation in NX ebenfalls auf Nastran. Heute existieren mehrere Nastran-Versionen, die laufend weiterentwickelt werden.

Jeder Simulationsanbieter entwickelt verschiedene Solver, beispielsweise ist Optistruct die Basis des Altair-Angebots für lineare und nichtlineare Analysen in den Disziplinen Statik und Dynamik, Vibrationen, Akustik, Ermüdung und Multi-physik. Die großen Simulationsanbieter haben inzwischen durch Zukäufe einen ganzen Zoo von Solvern im Programm, die für verschiedene Einsatzzwecke optimiert sind. Die Auswahl des richtigen Solvers für eine Aufgabenstellung ist eine Kernkompetenz des Simulationsingenieurs.

3. Postprozessor – bunte Bilder statt Zahlenwüsten

Auch am Ende der Simulation ist Visualisierung wichtig – seien es die typischen, in den Regenbogenfarben eingefärbten 3D-Modelle, die die Spannungen an jedem Punkt des Bauteils zeigen oder die überhöhte Darstellung der Verformung – beides trägt zum einfacheren und schnelleren Verständnis dessen bei, was die Berechnung ergeben hat.

Der Postprozessor sammelt und präsentiert zudem Daten zum Rechenlauf, die dem Berechnungsingenieur unter anderem Auskunft geben über die erreichte Genauigkeit der Simulation, über die benötigte Rechenleistung und -zeit. Und andere Parameter. Aus diesen lassen sich Schlüsse für weitere Optimierungen ziehen.

Konstruktionsbegleitende Simulation

Mit wachsender Rechenleistung von Workstations entstanden Lösungen für konstruktionsbegleitende Simulation. Sie soll es dem Produktentwickler ermöglichen, schon während der Konstruktion Simulation einzusetzen, um die Haltbarkeit und Plausibilität seiner Konstruktion zu beurteilen. Da solche Simulationen eben nicht vom Spezialisten durchgeführt werden und zudem keinen großen zusätzlichen Aufwand erfordern sollen, sind diese Werkzeuge in die Oberfläche des CAD-Systems integriert und bieten Assistenten, die den Konstrukteur durch die Definition der Grundbedingungen führen. Die Möglichkeiten dieser Simulation sind zudem eingeschränkt, um die Komplexität zu reduzieren und damit kein Ersatz für die Simulation durch einen Spezialisten mit einem „großen“ Simulationssystem.

Simulation mit und ohne Bewegung

Neben diesen typischen Simulationen rund um Festigkeit, Strömungen und Temperatur bietet der Markt eine Vielzahl von Simulationswerkzeugen für andere Einsatzgebiete. Die bekannteste dürfte die Kinematiksimulation sein, bei der die Bewegungen einer Baugruppe nachgebildet werden. Kinematiksimulationen sind Teil der meisten CAD-Systeme, wobei nicht jedes System Kollisionen erkennt, also wenn die Bewegung physikalisch nicht möglich ist.

Ein interessantes Gebiet ist die sogenannte 1D-Simulation, die sozusagen ohne Geometrie funktioniert – deshalb die seltsame Benennung 1D im Gegensatz zu 2D- und 3D-Geometrie. 1D-Simulation ist Teil des Systems Engineering, bei dem Produkte und ihre Funktion als System definiert werden, ohne dass in jedem Fall eine Festlegung getroffen wird, wie

die einzelne Funktion umgesetzt wird. In der 1D-Simulation lassen sich die Abhängigkeiten und Verhältnisse von Funktionen zueinander simulieren, beispielsweise: „Beim Drücken des Bremspedals geht ein Impuls zu den Radbremszylindern, gleichzeitig wird der Bremslichtschalter betätigt und das ABS beginnt seinen Regelkreis.“

Cloud eröffnet neue Möglichkeiten

Unter Simulation versteht man den Versuch, reale Abläufe im Computer nachzubilden und dabei Erkenntnisse zu gewinnen. Die Idee dahinter ist es, Konstruktionen schon zu einem Zeitpunkt realistischen Bedingungen auszusetzen, zu dem noch gar kein reales Exemplar des Produkts existiert, dabei zu untersuchen, ob die Konstruktion die gewünschten Eigenschaften hat und im Zweifelsfall die Konstruktion so lange anzupassen, bis sie innerhalb der Spezifikationen und Materialkennwerte liegt.

Das Grundproblem der Simulation ist die Komplexität der Realität. Nicht nur, dass verschiedene physikalische Einflüsse parallel wirken, alleine der Detailgrad der zu untersuchenden Geometrie erfordert sehr aufwendige Berechnungen. Damit steigt der Bedarf an Rechenleistung mit der Komplexität der Fragestellung ebenso wie mit dem Detaillierungsgrad der Geometrie. Eine intelligente Abwägung, wie genau und realistisch die Simulation sein muss und sein darf, ist eine Grundlage für die erfolgreiche Integration der Simulation in den Produktentwicklungsprozess. Die Rechenleistung aktueller Rechner und Grafikkarten, vor allem aber die unendlichen Ressourcen der Cloud, machen heute einen Realismus möglich, von dem Simulationsexperten vor zehn Jahren nicht zu träumen wagten.

WISSEN

Tools für die Produktentwicklung - unsere Whitepaper-Reihe

Die Produktentwicklung ist ohne Softwarewerkzeuge nicht mehr denkbar. Was viele Jahre auf Zeichenbrettern und zweidimensional abgebildet wurde ist seit den neunziger Jahren zum Großteil digital und dreidimensional. Die in der Produktentwicklungsphase entstehenden Daten – neben der Geometrie sind dies alle Arten von Dokumenten vom Lastenheft über funktionale Beschreibungen, betriebswirtschaftliche Daten und Protokolle, Schriftverkehre sowie Simulationsdaten, Renderings und die gesamte Dokumentation – dienen im gesamten weiteren Produktlebenszyklus als Basis für weitere Prozesse.

In einer Reihe von Whitepapers sollen der gesamte Prozess und die dabei genutzte Software detailliert beschrieben werden – von der ersten Idee über die Entwicklung und Konstruktion mit CAD-Software und Simulation bis hin zur Fertigungsvorbereitung, NC-Programmierung, Dokumentation und After-Sales-Service. Den gesamten Prozess begleiten Anwendungen für Requirements Management und Datenverwaltung.

Besuchen Sie uns auch hier:



www.facebook.com/konstruktionspraxis



[linkedin.com/company/konstruktionspraxis](https://www.linkedin.com/company/konstruktionspraxis)



twitter.com/konstruktionspr



www.xing.com/communities/groups/konstruktionspraxis-139



Impressum



VOGEL COMMUNICATIONS
GROUP

Vogel Communications Group GmbH & Co. KG

Max-Planck-Str. 7/9

97082 Würzburg

www.vogel.de

info@vogel.de

Registergericht Würzburg,
HRA 245, Komplementär GmbH:
Vogel Communications Group
Verwaltungs GmbH, HRB 10

Geschäftsführung:

Matthias Bauer (Vorsitz)

Günter Schürger

Redaktionell verantwortlich:

Monika Zwettler, Redakteurin