

# Schneller bessere Entscheidungen treffen: So können Maschinenbauingenieure die Effizienz mit Berechnungssoftware für den Konstruktionsbereich verbessern

Am 28. März 1979 erlebten die USA ihren schlimmsten nuklearen Unfall im Kraftwerk Three Mile Island. Ursache war ein fehlerhaftes Ventil, das klemmte und sich nicht schloss. Der Schriftsteller Mike Gray erklärte in einem Interview für das PBS-Programm „American Experience: Meltdown at Three Mile Island“, das Ventil auf dem Druckhalter sei „wie eine zu breite Schublade. Stellen Sie sich vor, Sie öffnen eine Schublade, die breiter als lang ist – naja, und dieses Ventil war so konstruiert. Das war ein Konstruktionsfehler. Anstatt sich frei zu bewegen, tendierte es dazu, sich zu verklemmen. Es funktionierte also nicht und blieb offen, ohne dass es bemerkt wurde.“

Dasselbe war einige Monate zuvor in einem Werk außerhalb von Toledo im US-Bundesstaat Ohio geschehen. Glücklicherweise hatte jedoch jemand intuitiv ein unteres Blockventil geschlossen, das die Leitung verschloss und dadurch das Werk rettete. Der Zwischenfall von Toledo wurde den Betreibern identischer Werke im Land niemals angemessen gemeldet. Das ist hier jedoch nicht das Thema.

Ein solcher Reaktorunfall ist allen Unternehmen im Bereich Maschinenbau, die für ihren Erfolg auf Präzision, Höchstleistung und effektives Wissensmanagement angewiesen sind, eine Mahnung. Sind die eigenen ingenieurtechnischen Prozesse so konzipiert, dass eine ähnliche Situation vermieden werden kann? Kann ausreichend Dokumentation bereitgestellt werden, um Fehler zu entschärfen?

Die richtige Berechnungssoftware kann ein leistungsstarkes Tool sein, das es den Ingenieursteams ermöglicht, Probleme einfacher zu lösen, Ideen zu entwickeln, wichtige Daten gemeinsam zu nutzen und Fehler zu erkennen, bevor sie schwerwiegende Folgen nach sich ziehen. Warum also verlassen sich so viele Maschinenbauingenieure auf fehleranfällige, eingeschränkte und oftmals papierbasierte überholte Berechnungsmethoden wie Microsoft® Excel®-Tabellen oder gar Programmiersprachen wie Fortran?

In diesem kurzen White Paper werden einige der wichtigsten Gründe erläutert, warum moderne Berechnungssoftware eine viel bessere Alternative für Maschinenbauingenieure ist – nicht nur für die Durchführung komplexer Kalkulationen, sondern auch, um die Intention dahinter zu verstehen. Sie erfahren, warum immer mehr Unternehmen im Bereich Maschinenbau erkennen, dass zufällige Informationen aus Kalkulationstabellen ihren Interessen nicht optimal gerecht werden, sondern dass sie auf Berechnungssoftware setzen müssen, bei der jede Kalkulation als wichtiger Geschäftswert behandelt wird.

## Zehn Berechnungen für den Maschinenbau, die mit dedizierter Software einfacher durchgeführt werden

- Getriebestufen/Zahnräder
- Ausgangsleistung
- Drehmoment und Drehzahl
- Wärmeverlust
- Reibungsverlust
- Systemdynamik und -antworten
- Motorleistung
- Sprungfederanalyse
- Geschwindigkeit und Beschleunigung
- Systeme linearer/nicht-linearer Gleichungen

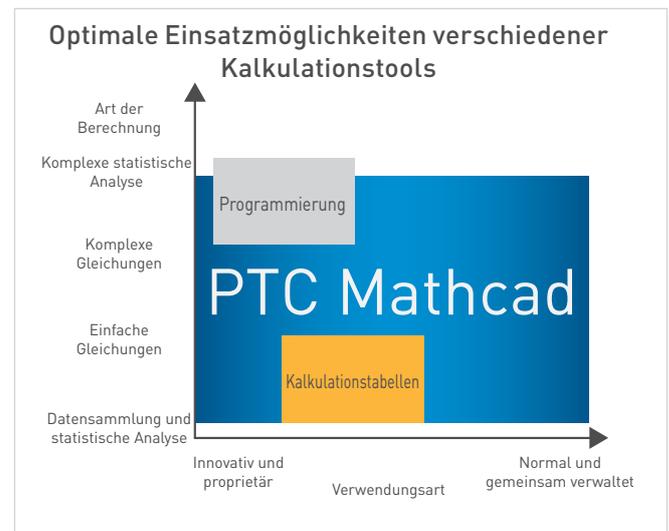
### Erfolgsfaktor 1: Die Time-to-Market verkürzen

„Mir sind 30 Personen unterstellt“, erklärt ein Engineering Manager bei Arbor Networks, einem Unternehmen, das DDoS-Schutz (Distributed Denial of Service) für Computersysteme in Unternehmen entwirft. „Ich stehe unter ständigem Druck, Projekte fristgerecht zu liefern und sicherzustellen, dass unsere Ingenieure über alle Ressourcen verfügen, die sie für ihre Arbeit benötigen.“

Das klingt für Sie sicher vertraut, schließlich stehen die meisten Unternehmen, die im Bereich Ingenieurtechnik tätig sind, vor den gleichen Herausforderungen. Ingenieure aller Disziplinen müssen immer kürzere Fristen bis zur Markteinführung einhalten. Vielen von ihnen ist dabei gar nicht bewusst, wie viel Zeit sie damit vergeuden, in Excel durchgeführte Berechnungen zu dokumentieren.

Dr. Robert Phillips, ein Ingenieur, der einen Großteil seiner beruflichen Karriere im Bereich Reverse Engineering bei General Motors tätig war, spart durch den Einsatz der PTC Mathcad® Software in seinem Entwicklungsteam bei jedem Projekt viel Zeit. Als ihm die Vorteile dieser Software gegenüber den herkömmlichen Arbeitsverfahren klar wurden, erkannte er, dass „bei einer Verdoppelung der Produktivität die Mitarbeiterzahl bei gleicher Ausbeute auf ein Achtel reduziert werden kann – oder aber bei stabiler Mitarbeiterzahl die Time-to-Market verkürzt werden kann.“ Da viele neue Produkte Varianten

vorhandener Konstruktionen sind, ist es wichtig, die ursprünglichen Analysen für diese Produkte so zu verwalten, dass sie für andere Benutzer problemlos auffindbar sind. Ältere Berechnungsmethoden ziehen oft beträchtliche Nacharbeit nach sich. Dadurch verlängert sich die Entwicklungsdauer, wertvolle Ressourcen werden gebunden und die Time-to-Market verlangsamt.



Kalkulationstabellen und Programmiersprachen sind für bestimmte Berechnungsarten optimiert, wohingegen Berechnungssoftware für den Konstruktionsbereich, wie PTC Mathcad, sich für praktisch alle Arten von Kalkulationen eignet, angefangen bei sehr einfachen bis hin zu extrem komplexen.

### Erfolgsfaktor 2: Kreativer arbeiten

Das Sondieren verschiedener Konstruktionskonzepte und Was-wäre-wenn-Szenarien bereits früh im Konstruktionsprozess ist für Projekte, bei denen Innovation und Designoptimierung im Vordergrund stehen, sehr wichtig. Eine solche Vorgehensweise kann für Maschinenbauingenieure, die Probleme in wichtigen Bereichen wie Mechanik, Thermodynamik, Robotik und Mechatronik lösen, erfolgsentscheidend sein.

Konstruktionsstudien und Tradeoff-Analysen sind Best Practices, die Ingenieuren dabei helfen, schneller bessere Konstruktionsentscheidungen zu treffen, in dem Wissen, dass sie die am besten geeigneten Optionen evaluiert haben. Die Definition von Leistungsgrenzen und Kosten-Tradeoff-Kurven anhand von mathematischen Modellen

ermöglicht die schnelle Identifizierung der Konstruktionslösung, die die Produkthanforderungen am effektivsten erfüllt. Eine sorgfältig dokumentierte Studie oder Analyse sollte deutlich machen, warum der Konstruktionsvorschlag den besten Kompromiss zwischen Leistung und Kosten darstellt, und den Prüfern die Sicherheit geben, dass keine bessere Lösung übersehen wurde.

Mithilfe von Berechnungssoftware können Maschinenbauingenieure die Leistung von Konstruktionen vorhersagen, bevor mit der Modellierung der physischen Geometrie begonnen wird. Berechnungssoftware kann bereits in einer frühen Phase eingesetzt werden, um die geeigneten physischen Konstruktionsbemaßungen und Parameter zu bestimmen, die in CAD-Modellen verwendet werden. Anders als Kalkulationstabellen, bei denen zur Umwandlung von Maßen komplexe Formeln notwendig sind, verfügt eine optimale Berechnungssoftware über integrierte Konvertierung und Einheitenerkennung, sodass Ingenieure ihre Zeit für kreative Problemlösungen nutzen können, statt sich mit solch banalen Tätigkeiten zu befassen.

### Erfolgsfaktor 3: Die Präzision verbessern und kostspielige Fehler minimieren

Geschwindigkeit und Kreativität sind nebensächlich, wenn Ihre Entwürfe am Ende nicht genau und klar verständlich sind. Mit Berechnungssoftware können Sie die Genauigkeit und damit auch die Leistung einzelner Ingenieure und Ingenieursteams verbessern. Robert Phillips betont, dass er „in der Regel Unstimmigkeiten während der Arbeit über ein Mathcad-Modell bereinigen kann, anstatt sich in einer späteren Phase zu fragen, was denn da nicht stimmt“.

Raymond Panko, Spezialist für Tabellenkalkulationsprogramme, erklärt: „In jeder einzelnen Studie, in der versucht wurde, eine Fehlerquote zu ermitteln, haben sich Werte ergeben, die in keiner Organisation akzeptabel wären“. Rick Butler, ein der fehleranfälligen Natur von Kalkulationstabellen bekannt ist, weist ebenfalls darauf hin, dass Entwickler, die mit Tabellenkalkulationen arbeiten, mehr als 80 % ihrer eigenen Fehler übersehen und externe Tester mehr als 50 % der Fehler in der Konstruktionslogik und 34 % der Anwendungsfehler nicht erkennen.

<sup>1</sup> Panko, Raymond R (2009). „What We Know About Spreadsheet Errors“, Spreadsheet Research (SSR. 2 16 2009), University of Hawaii, 27. Februar 2009.

<sup>2</sup> Powell, S. G., Baker, K. R. und Lawson, B., (2007b), „Impact of Errors in Operational Spreadsheets“. Proceedings of the European Spreadsheets Risks Interest Group, 2007b.

Kalkulationstabellen und Programmiersprachen verbergen die Logik, die einer Konstruktionsentscheidung zugrunde liegt, wodurch es sehr viel schwieriger wird, komplexe Berechnungen schnell und angemessen zu überprüfen. Bei Verwendung von Legacy-Berechnungsmethoden ist es wahrscheinlicher, dass Fehler in nachgelagerten Projektphasen auftreten, wenn die Kosten für Neuarbeit exponentiell gestiegen sind. Oder noch schlimmer, die Fehler werden in das Endprodukt integriert. Selbst geringfügige Fehler stellen ein ernstzunehmendes Risiko für die meisten Produktentwicklungsorganisationen dar. Berechnungssoftware hilft dabei, diese Fehler auf ein Minimum zu begrenzen.

### Die Katastrophe ist vorprogrammiert: Warum wichtige Berechnungen dem Risiko durch Kalkulationstabellen aussetzen?

- Nach Angaben des Marktforschers Raymond Panko weisen 94 % aller Kalkulationstabellen Fehler auf, und die durchschnittliche Fehlerrate pro Zelle (also der Anteil der Zellen mit Fehlern bezogen auf alle Zellen, die Formeln enthalten) liegt bei 5,2 %<sup>1</sup>.
- Von 25 Kalkulationstabellen, die von S.G. Powell untersucht wurden, verursachten 10 durch Fehler bedingte finanzielle Verluste, die von 216.806 US-Dollar bis zu 110.543.305 US-Dollar reichten<sup>2</sup>.
- Olson & Nilsen stellten unter erfahrenen Anwendern von Tabellenkalkulationsprogrammen eine Zellenfehlerrate von 21 % fest<sup>3</sup>.

### Erfolgsfaktor 4: Reibungsloser zusammenarbeiten

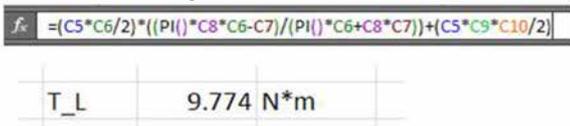
Indem sie Standardprozesse für die Bearbeitung und Dokumentation von Berechnungen einführen, können Unternehmen Konstruktionsinformationen für alle Beteiligten innerhalb der Organisation sichtbar und verfügbar machen. Dadurch wird es einfacher, die Berechnungen anderer Ingenieure zu prüfen, Berechnungen ohne Neuarbeit wiederzuverwenden, die Genehmigung der Manager einzuholen und ganz allgemein auf effizientere Weise zusammenzuarbeiten.

Die verfügbaren Berechnungsmethoden für technische Aufgabenstellungen sind nicht immer optimal für die Erfassung und gemeinsame Nutzung von Ingenieurwissen geeignet. Berechnungen sind nicht nur aufgrund der Endergebnisse so wichtig für Konstruktionsunternehmen, sondern auch aufgrund der Annahmen, Methoden und Werte hinter diesen Ergebnissen.

<sup>3</sup> Olson, Judith Reitman und Nilsen, Erik. „Analysis of the Cognition Involved in Spreadsheet Interaction“. Human-Computer Interaction, Band 3, Ausgabe 4, Dezember 1987

Mathematische Software bietet Ingenieursteams gemeinsam nutzbare Dokumente, die alles Erforderliche über den Konstruktionsprozess erläutern, in Form von Text, interaktiven mathematischen Kalkulationen, Grafiken sowie Zeichnungen und Modellen. Wiederverwendbare Arbeitsblätter können in vielen verschiedenen Formaten wie Microsoft Word, Adobe® PDF, HTML und XML gespeichert werden. Damit wird die Freigabe von Informationen für die verschiedensten Beteiligten erleichtert, selbst wenn diese unterschiedliche Dokumentverwaltungsanwendungen, CAD-Programme und PDM-Lösungen verwenden.

**Natürliche mathematische Schreibweise ermöglicht Zusammenarbeit**



$$T_L := \frac{F \cdot d_m}{2} \left( \frac{\pi \cdot f \cdot d_m - L}{\pi \cdot d_m + f \cdot L} \right) + \frac{F \cdot f_c \cdot d_c}{2}$$

$T_L = 9.774 \text{ N} \cdot \text{m}$        $T_L = 7.209 \text{ ft} \cdot \text{lbf}$

Die Logik von Konstruktionsberechnungen kann in Kalkulationstabellen verloren gehen, während sie in Kalkulationssoftware stets klar ersichtlich ist.

Mithilfe der standardmäßigen mathematischen Schreibweise sowie der integrierten Text- und Grafikanzeige kann Berechnungssoftware automatisch leicht lesbare Dokumente erstellen, die auf jeder Ebene und überall im Team verständlich sind.

**Erfolgsfaktor 5: Den Stress bei der Berichterstattungspflicht reduzieren**

Neben der internen Wissensübertragung erleichtert Berechnungssoftware die Berichterstattung gegenüber Aufsichtsbehörden und Kunden, die die Qualitätsprozesse ihrer Lieferanten prüfen müssen.

Kalkulationstabellen verfügen nicht über die erforderlichen Kontroll- und Dokumentationsfunktionen für eine angemessene Verfolgbarkeit. Dahingegen sorgt Berechnungssoftware für vereinfachte und optimierte Dokumentation, die entscheidend ist, um Standards in Hinblick auf Geschäft und Qualitätssicherung zu erfüllen. Sämtliche ingenieurtechnischen Informationen sind zentral und mit den jeweils erforderlichen Erläuterungen abrufbar: Berechnungen, Methoden und Werte können je nach Bedarf des Unternehmens an zahlreiche externe Beteiligte weitergegeben werden.

**Fallbeispiel: Evaluierung der Streckfestigkeit möglicher Materialien für ein Roboterarmgelenk**

Das Entwicklungsteam eines Maschinen- und Anlagenbauers soll das Verhältnis von Streckfestigkeit und Kosten für verschiedene Roboterfinger-Materialien bei unterschiedlichen Greifkräften ermitteln. Zu den evaluierten Materialien gehören Stähle wie ASTM A36, ASTM 514, ANSI 302-Edelstahl sowie Polyethylen-HDPE.

Mithilfe von Berechnungssoftware formulieren die Ingenieure visuelle Tradeoff-Gleichungen und Diagramme, um das Flächenträgheitsmoment beim Biegen des Gelenkmodells zu berechnen.

Der integrierte Gleichungseditor ermöglicht es dem Team, Komponentenlösungen mit der vertrauten, natürlichen mathematischen Schreibweise auszudrücken und dank der automatischen Einheitenüberprüfung maximale Genauigkeit zu erreichen. Das Team kann sich auf die Konstruktionsversuche und die Analyse selbst konzentrieren, anstatt sich mit der Programmierung von schwer verständlichen Formeln zu beschäftigen.

Die Evaluierung der maximalen Spannung in Abhängigkeit von der Materialdicke wird durch die offene Architektur der Berechnungssoftware unterstützt. Die Werte für Streckfestigkeit, Zugfestigkeit und Dichte der evaluierten Materialien, die in einem früheren Projekt erfasst worden waren, wurden aus einer Microsoft Excel-Tabelle importiert.

Das Team kann diese Informationen problemlos in das Arbeitsblatt einfügen, das für die Tradeoff-Analysen verwendet wird. Das Team minimiert die Dicke der einzelnen Materialien innerhalb eines Sicherheitsfaktors für die Streckfestigkeit und generiert eine Grafik, die den Tradeoff zwischen den Materialien visuell veranschaulicht.



Nach Berücksichtigung aller Bedingungen und der gesteckten Ziele kommt das Team zu dem Schluss, dass Polyethylen-HDPE am besten geeignet ist. In der Konstruktion ist ausreichend Raum für das dickere Gelenk, und die Anforderungen an Streck- und Zugfestigkeit werden ebenfalls erfüllt. Die resultierende Masse beträgt nur 37,5 % der entsprechenden A36-Stahlstruktur, und dabei kostet HDPE auch weniger.

Der gesamte Analyseprozess wird automatisch Schritt für Schritt im Arbeitsblatt der Berechnungssoftware dokumentiert, sodass er problemlos überprüft oder von anderen Teams für andere Projekte wiederverwendet werden kann. Das Team könnte die Bemaßungen und die Greifgeometrie des Robotergelenks auch direkt aus einem CAD-Modell in das Arbeitsblatt importieren. Aufgrund der Verknüpfung aller Komponenten wird bei Änderungen am Berechnungssoftwaremodell auch dynamisch das CAD-Modell geändert.

### Schlussfolgerung: Ermitteln der geeigneten Berechnungssoftware für den Maschinenbau

Ingenieure aller Disziplinen müssen immer kürzere Fristen bis zur Markteinführung einhalten. Vielen von ihnen ist dabei gar nicht bewusst, wie viel Zeit sie damit vergeuden, in Excel durchgeführte Berechnungen zu dokumentieren.

Entwickler, die mit Tabellenkalkulationen arbeiten, bemerken über 80 % ihrer eigenen Fehler nicht, und externe Tester übersehen über 50 % der Fehler in der Konstruktionslogik und 34 % der Anwendungsfehler.

Mithilfe der standardmäßigen mathematischen Schreibweise sowie der integrierten Text- und Grafikanzeige kann Berechnungssoftware automatisch leicht lesbare Dokumente erstellen, die auf jeder Ebene verständlich sind.

Moderne Berechnungssoftware ist eine viel bessere Alternative für die Durchführung komplexer Kalkulationen und das Verständnis der zugrunde liegenden Intentionen. Die zufälligen Informationen in Kalkulationstabellen werden Ihren Interessen nicht optimal gerecht. Hingegen behandelt Berechnungssoftware Ihre Kalkulationen als wichtige Geschäftswerte.

Diejenigen, die sich für moderne Berechnungsprogramme entscheiden (wie Robert Phillips, dessen Wahl auf PTC Mathcad gefallen ist), sind von den Ergebnissen und der Einfachheit der Handhabung meist beeindruckt. Als Ingenieur sind Sie es sich selbst schuldig, zumindest eine **kostenlose 30-tägige Testversion** eines gängigen Berechnungspakets auszuprobieren, um zu sehen, wie diese Software Ihre persönliche Leistung auf ein neues Niveau heben kann.

### Quellen

American Experience: Meltdown at Three Mile Island, Interview mit Mike Gray, 1999. Bezogen im März 2012 über: <http://www.pbs.org/wgbh/amex/three/filmmore/reference/interview/gray03.html>

Butler, Rick (2002). „The Subversive Spreadsheet“, European Spreadsheet Risks Interest Group, November 2002.

Fuller, Brian (2011). „Social Media and Engineers: Live with it, OK?“

Panko, Raymond R (2009). „What We Know About Spreadsheet Errors“, Spreadsheet Research (SSR, 2 16 2009), University of Hawaii, 27. Februar 2009.

PTC Mathcad ist die branchenführende Software für Konstruktionsberechnungen.

Weitere Informationen: [www.PTC.com/mathcad/](http://www.PTC.com/mathcad/)

© 2013, PTC Inc. (PTC). Alle Rechte vorbehalten. Die Inhalte dieser Seiten werden ausschließlich zu Informationszwecken bereitgestellt und beinhalten keinerlei Gewährleistung, Verpflichtung, Bedingung oder Angebot seitens PTC. Änderungen der Informationen vorbehalten. PTC, das PTC Logo, Windchill und alle anderen PTC Produktnamen und Logos sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen von PTC und/oder Tochterunternehmen in den USA und anderen Ländern. Alle anderen Produkt- oder Firmennamen sind Eigentum ihrer jeweiligen Besitzer. Releasetermine und Funktionsumfänge können nach Ermessen von PTC geändert werden.

J01640-PTC Mathcad Mechanical Engineering-WP-0613-de