

# Befreien Sie sich von den Einschränkungen durch Tabellenkalkulationen

**Hervorragende Konstruktionsqualität durch gleichzeitige  
Konstruktion und Dokumentation**

## Inhalt

Zusammenfassung für die Geschäftsleitung .....	3
Vorteile und Einschränkungen von Tabellenkalkulationen .....	4
Der Weg zu einer einzelnen Lösung zum Erreichen der Ziele des Ingenieurs und des Konstruktionsbetriebs .....	6
Mathcad® - Software für simultanes Entwerfen und Dokumentieren von Konstruktionsarbeiten .....	8
Mathcad im Vergleich zu Tabellenkalkulationen - Standardisierung des richtigen Tools für Ingenieure .....	9
Umstellung von Tabellenkalkulationen auf Mathcad - Integrations- und Migrationsoptionen .....	11
PTC Mathcad - Maßgeschneidert für die Anforderungen eines Konstruktionsbetriebs .....	12
Schlussfolgerung .....	13

## Zusammenfassung für die Geschäftsleitung

Für eine Vielzahl von internationalen Organisationen sind die wichtigsten Ziele im modernen Wettbewerbsumfeld nach wie vor eine kürzere Time-to-Market und höhere Produktqualität. Dabei gilt es, gesetzliche Bestimmungen einzuhalten und ständig innovativ zu sein. Entwicklungsorientierte Organisationen – von der Luft- und Raumfahrtindustrie über Automobilhersteller bis hin zu Pharmaunternehmen – haben die gleichen Ziele, wobei die erfolgreiche Verwaltung geschäftskritischer Informationen für sie noch eine viel wichtigere Rolle spielt. Werden Konstruktionsberechnungsdaten nicht erfasst und dokumentiert, stellt dies ein großes Risiko dar, da ein einzelner Fehler ein Multimillionen-Euro-Projekt zum Scheitern bringen kann – und sogar Menschenleben und Sachgüter gefährdet.

Da in einer zunehmend technischen Wirtschaft die technische Entwicklung für den Erfolg so vieler Global 1000-Unternehmen verantwortlich ist, erkennen Organisationen endlich die Notwendigkeit, ihre geschäftskritischen Konstruktionsberechnungen zu standardisieren und zu dokumentieren. Die Standardisierung der Methoden für das Lösen und Dokumentieren von Konstruktionsberechnungen fördert die Konsistenz der globalen Produktentwicklungsprozesse.

Sie möchten durch Berechnung kritischer Produktparameter vorhersagen, wie sich der Wechsel zu einem neuen Stahllieferanten auswirken würde. Sie möchten Testdaten analysieren, um die Schaltkreisordnung für einen neuen Halbleiter zu überprüfen, oder die Produktleistung vorhersagen, um die Elastizität von Kunststoffen zu bestimmen. Bei all diesen Vorhaben gilt: Mathematische Berechnungen bilden die Grundlage des Konstruktionsprojekts. Praktisch jeder technischen Entscheidung liegen in jeder Phase der Produktentwicklung zahlreiche Berechnungen zugrunde. Die Berechnungen sind ein wichtiger Bestandteil des Produktentwicklungsprozesses und sollten als geistiges Eigentum erfasst und gemeinsam genutzt werden.

Ingenieure führen Berechnungen heutzutage von Hand, mit Taschenrechnern, durch das Erstellen von angepassten Programmen und häufig unter Verwendung von Tabellenkalkulationsprogrammen aus. Für Tabellenkalkulationsprogramme spricht sicherlich, dass sie als Produktivitätsanwendung auf praktisch jedem heute ausgelieferten PC vorhanden sind und somit jedem zur Verfügung stehen. Verfügbarkeit ist allerdings nicht gleichbedeutend mit Zuverlässigkeit oder Überprüfbarkeit. Das kann in Konstruktionsbetrieben besonders problematisch sein, wo die Kosten eines Fehlers nicht nur materieller Art sind.

**„Werden Konstruktionsberechnungsdaten nicht erfasst und dokumentiert, stellt dies ein großes Risiko dar, da ein einzelner Fehler ein Multimillionen-Euro-Projekt zu Fall bringen kann – und sogar Menschenleben und Eigentum gefährdet.“**

### Rolls-Royce im Blickpunkt

„Hochqualifizierte Ingenieure arbeiten mit Excel und produzieren dabei unbewusst schwerwiegende Fehler. Und die Fehler häufen sich unglaublich schnell.“

- Dr. Alan Stevens, Spezialist für mathematische Modellierung und Simulation, Rolls-Royce

Dr. Stevens verwendet Mathcad von PTC bei vielen seiner Konstruktionsberechnungen. Von vier Konstruktionsberechnungs-Tools, die von einer Gruppe bei Rolls-Royce mit einem speziellen Interesse an mathematischen Tools in der technischen Entwicklung untersucht wurden, erzielte Mathcad die höchste Bewertung. Die Diskussionsteilnehmer führten die Anwenderfreundlichkeit, die intuitive Oberfläche und die Fähigkeit, komplexe Gleichungen zu bearbeiten, an.

In Anbetracht dessen, dass Berechnungen das Kernstück der Konstruktionsdaten bilden, sind viele Unternehmen in der Fertigungsindustrie der Meinung, dass die Informationen bzw. die Datenverwaltung in Tabellenkalkulationsprogrammen ihren Anforderungen nicht gerecht werden und dass ihre Interessen besser gewahrt sind, wenn Berechnungen nicht als gelegentliche Aufgaben sondern als wichtige Unternehmenswerte angesehen werden – was einer optimalen Vorgehensweise entspricht.

In diesem White Paper wird diskutiert, wie Unternehmen in der Fertigungsindustrie eine kontinuierliche Konstruktionsqualität erreichen können, indem sie sich von der Tabellenkalkulation wegbewegen und standardmäßig ein Tool einsetzen, das für die Konstruktion optimiert wurde – eine Lösung, die ausdrücklich darauf ausgerichtet ist, Berechnungen besser zu erstellen, zu dokumentieren und gemeinsam zu nutzen. Berechnungen sind für Fertigungsunternehmen wertvoll – nicht nur aufgrund des Endergebnisses, sondern auch wegen der Annahmen, Methoden und Werte, die den Ergebnissen zugrunde liegen. Durch Standardisierung der Lösung und Dokumentation von Berechnungen können technische Entwickler allen anderen Mitarbeitern wertvolle Konstruktionsdaten zur Ansicht zur Verfügung stellen. Entscheidungsträger können darauf zugreifen. So wird eine hohe Rentabilität sichergestellt und die gewünschte Konstruktionsqualität erzielt.

## Vorteile und Einschränkungen von Tabellenkalkulationen

Seit den Tagen von VisiCalc und Lotus 1-2-3 – den bahnbrechenden Anwendungen, die PCs in Unternehmen einführten – ermöglichen Tabellenkalkulationen schnelle und präzise Berechnungen. Tabellenkalkulationsprogramme sind zum großen Teil aufgrund ihrer Programmierbarkeit so verbreitet und auch, weil wegen des Erfolgs von Microsoft Office auf praktisch jedem Desktop ein Tabellenkalkulationsprogramm verfügbar ist. Allerdings kann es an diesen Tabellenkalkulationen liegen, wenn ein Konstruktionsbetrieb seine übergeordneten Geschäftsziele nicht erreicht, da sie kein Gesamtbild für geschäftskritische Berechnungen bereitstellen.

**„Berechnungen sind für Fertigungsunternehmen wertvoll – nicht nur aufgrund des Endergebnisses, sondern auch wegen der Annahmen, Methoden und Werte, die den Ergebnissen zugrunde liegen.“**

### Tabellenkalkulationen: die Tatsachen

- Die University of Hawaii stellte fest, dass 20% bis 40% aller Tabellenkalkulationen Fehler enthielten.<sup>1</sup>
- Coopers und Lybrand fanden heraus, dass 90% aller Tabellen mit mehr als 150 Zeilen Fehler enthielten.<sup>2</sup>
- KPMG stellte fest, dass 91% der 22 untersuchten Tabellen Fehler enthielten.<sup>3</sup>
- Olson & Nilsen stellten unter erfahrenen Anwendern von Tabellenkalkulationsprogrammen eine Zellenfehlerrate von 21% fest.<sup>4</sup>
- Die University of Michigan stellte unter unerfahrenen Anwendern von Tabellenkalkulationsprogrammen eine Zellenfehlerrate von 11,3% fest.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Studien der University of Hawaii

<sup>2</sup> Journal of Accountancy, „How to Make Spreadsheets Error-Proof“

<sup>3</sup> KPMG Management Consulting, „Supporting the Decision Maker: A Guide to the Value of Business Modeling“

<sup>4</sup> Human-Computer Interaction, „Analysis of the Cognition Involved in Spreadsheet Interaction“

<sup>5</sup> University of Michigan, „Computerized Financial Planning: Discovering Cognitive Difficulties in Knowledge Building“

### Tabellen geben Antworten, unterschlagen aber den Kontext.

Eine Tabellenkalkulation stellt die Ergebnisse von wichtigen Konstruktionsberechnungen bereit, aber die Methoden, Annahmen, Werte und die Logik, die hinter diesem Ergebnis stehen, sind nicht sichtbar. Statt der Berechnungen in herkömmlicher mathematischer Schreibweise sehen die Anwender in Formeln verborgenen maschinenlesbaren Text. Die Zellstruktur der Tabellenkalkulationen gibt zwar Hinweise auf die den Zellen zugrunde liegende Logik, diese ist aber nicht explizit erkennbar. Es ist oft schwierig, eingebettete Gleichungen und versteckte Makros zu entschlüsseln. Und obwohl die modernen Tabellenkalkulationsprogramme Beziehungen zwischen den Zellen verfolgen können, ist es im Normalfall mühevoll, die Schritte nachzuvollziehen.

### Tabellenkalkulationen sind naturgemäß fehleranfällig.

Rick Butler hat sich in vielen Veröffentlichungen und Vorträgen mit Tabellenkalkulationsprogrammen auseinandergesetzt. Ihm zufolge zeigen kontrollierte Stichproben, dass 40 bis 80% der Tabellenkalkulationen von Anfang an Fehler enthalten.<sup>6</sup> In der heutigen globalen Wirtschaft müssen Konstruktionsberechnungen fehlerfrei sein; außerdem müssen sie validiert, überprüft und dokumentiert werden können und nachvollziehbar sein – und das ist mit Tabellenkalkulationsprogrammen nicht möglich.

„Rick Butler hat sich in vielen Veröffentlichungen und Vorträgen mit Tabellenkalkulationsprogrammen auseinandergesetzt. Ihm zufolge zeigen kontrollierte Stichproben, dass 40 bis 80% der Tabellenkalkulationen von Anfang an Fehler enthalten.“

#### Das Problem bei Tabellenkalkulationen

Raymond Panko, Spezialist für Tabellenkalkulationsprogramme an der University of Hawaii, schreibt: „In jeder einzelnen Studie, in der versucht wurde, eine Fehlerquote zu ermitteln, haben sich Werte ergeben, die in keiner Organisation akzeptabel wären.“<sup>7</sup>

Rick Butler, der sich in vielen Veröffentlichungen und Vorträgen mit Tabellenkalkulationsprogrammen auseinandergesetzt hat, behauptet, dass Entwickler, die mit Tabellenkalkulationen arbeiten, über 80% ihrer eigenen Fehler nicht bemerken, und dass externe Tester über 50% der Fehler in der Konstruktionslogik und 34% der Anwendungsfehler übersehen.<sup>8</sup>

1987 untersuchten Davies und Ikin 19 Tabellenkalkulationen, die damals verwendet wurden und von zehn Entwicklern aus zehn verschiedenen Firmen als fehlerfrei angesehen wurden. Vier Tabellenkalkulationen enthielten schwere quantitative Fehler und drei Viertel enthielten quantitative oder qualitative Fehler.

<sup>7</sup> Raymond R. Panko, „What We Know About Spreadsheet Errors“, Sommer 2000, Website zum Thema Tabellenkalkulation

<sup>8</sup> Rick Butler, „The Subversive Spreadsheet“, Europäische Interessensgruppe „Tabellenkalkulationsrisiken“.

<sup>6</sup> Rick Butler, „The Subversive Spreadsheet“, Website der Europäischen Interessensgruppe „Tabellenkalkulationsrisiken“, [www.eusprig.org](http://www.eusprig.org), November 2002

### **Tabellenkalkulationen müssen gründlich getestet werden, bevor sie in erfolgskritischen Bereichen eingesetzt werden.**

Tabellenkalkulationen haben sich bewährt, wenn sie als persönliche Produktivitätsanwendung genutzt werden (d.h., wenn ein Anwender eine Tabellenkalkulation nur für eigene Zwecke erstellt). Der Konstruktionsprozess wird allerdings in den meisten Fällen in Teamarbeit durchgeführt, und viele verschiedene Personen arbeiten mit derselben Anwendung. Wenn dies der Fall ist, muss das Tabellenkalkulationsprogramm getestet und validiert oder geprüft werden, denn ein Anwender könnte das Tabellenkalkulationsprogramm später für erfolgskritische Aufgaben einsetzen und davon ausgehen, dass das Programm für diese Zwecke geeignet ist, auch wenn dies nicht zutrifft.

### **Für Tabellenkalkulationsprogramme gibt es in der Fertigungsindustrie zwar viele geeignete Einsatzgebiete, sie sind aber nicht für das Modellieren, Analysieren und Dokumentieren von technischen Konstruktionen geeignet.**

Tabellenkalkulationsprogramme sind Mehrzweck-Tools, die den speziellen Anforderungen von Ingenieuren nicht gerecht werden können. Ingenieure benötigen Dokumente, die alle wichtigen Informationen über den Konstruktionsprozess enthalten. Dabei müssen z.B. Text, interaktive mathematische Berechnungen, Diagramme und die eigentlichen Zeichnungen und Modelle in einem einzelnen Dokument enthalten sein, auf das alle Beteiligten zugreifen können. Außerdem wird ein System benötigt, mit dem diese Dokumente und ihre Komponenten angezeigt und durchsucht werden können, mit dem Berichte erstellt und mit dem sie veröffentlicht werden können.

## **Der Weg zu einer einzelnen Lösung zum Erreichen der Ziele des Ingenieurs und des Konstruktionsbetriebs**

Während der Computerrevolution blieb es eine der größten Herausforderungen der Fertigungsindustrie, die Ingenieure bei ihren täglichen Berechnungen zu unterstützen und die langfristigen geschäftlichen bzw. technischen Prozessziele der Organisation zu verwirklichen. Die Berechnungsmethoden, die für das einfache Lösen von Rechnungen verfügbar sind, sind nicht immer die besten Tools, um geistiges Eigentum zu erfassen, optimale Vorgehensweisen gemeinsam zu nutzen, die Einhaltung von Normen zu unterstützen oder die Prozessproduktivität zu optimieren.

Grundsätzlich sollten Ingenieure die folgenden Aufgaben ausführen können:

- Berechnungen im selben Format wie die Konstruktionen durchführen - in mathematischer Schreibweise
- Methoden und Annahmen dokumentieren und die Prozesse festhalten, die den Berechnungen zugrunde liegen
- Alle Arbeitsphasen effizient und mit weniger Fehlern ausführen
- Berechnungen für zukünftige Projekte wiederverwenden. Ingenieure benötigen Dokumente, die alle wichtigen Informationen über den Konstruktionsprozess enthalten. Dabei müssen z.B. Text, interaktive mathematische Berechnungen, Diagramme und die eigentlichen Zeichnungen und Modelle in einem einzelnen Dokument enthalten sein, auf das alle Beteiligten zugreifen können. Außerdem wird ein System benötigt, mit dem diese Dokumente und ihre Komponenten angezeigt und durchsucht werden können, mit dem Berichte erstellt und mit dem sie veröffentlicht werden können.

„Ingenieure benötigen Dokumente, die alle wichtigen Informationen über den Konstruktionsprozess enthalten. Dabei müssen z.B. Text, interaktive mathematische Berechnungen, Diagramme und die eigentlichen Zeichnungen und Modelle in einem einzelnen Dokument enthalten sein, auf das alle Beteiligten zugreifen können.“

### **Tabellenkalkulationen: ein unwägbares Risiko**

„Je wichtiger der Einsatzbereich, umso zuverlässiger muss die Software sein. Tabellenkalkulationspakete und -programme können nicht die hohe Zuverlässigkeit gewähren, die von sicherheitskritischen Anwendungen verlangt wird (z.B. in Bereichen, in denen durch Softwarefehler Menschenleben gefährdet werden können).“<sup>9</sup>

<sup>9</sup>R.M. Barker, P.M. Harris und G.I. Parkin, „Software Support for Metrology Best Practice Guide No. 7: Development and Testing of Spreadsheet Applications“, März 2004

In einem Konstruktionsbetrieb stehen u.a. die folgenden Geschäftsziele ganz oben auf der Tagesordnung:

- Höhere Innovations- und Produktqualität
- Maximale Produktivität
- Bewahrung und Wiederverwendung des geistigen Eigentums der Organisation
- Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen durch die Nachverfolgung, Überprüfung, Validierung und Erfassung von Aktivitäten im Rahmen der Zusammenarbeit mit wichtigen Geschäftspartnern und Behörden
- Nutzung der vorhandenen IT-Ressourcen

Mit Tabellenkalkulationen können Organisationen große Datensätze verwalten, Tabellendaten darstellen und einfache mathematische Berechnungen ausführen. Aber welche Lösung eignet sich am besten, um Konstruktionsberechnungen als nützlichen Vermögenswert eines Unternehmens zu erstellen und zu dokumentieren?

**„Mit Tabellenkalkulationen können Organisationen große Datensätze verwalten, Tabellendaten darstellen und einfache mathematische Berechnungen ausführen. Aber welche Lösung eignet sich am besten, um Konstruktionsberechnungen als nützlichen Vermögenswert eines Unternehmens zu erstellen und zu dokumentieren?“**

#### Bechtel im Blickpunkt

„Bechtel hat seit den späten Neunzigerjahren Vorlagen für Konstruktionsberechnungen (mit Mathcad) erstellt und diese im Intranet 70 Ingenieuren zur Verfügung gestellt. Wir verwenden keine Tabellenkalkulationen und Makros mehr, weil es Probleme bei der Überprüfung gab“, sagt Khaldoon Sakkal, Automatisierungskordinator für Hoch- und Tiefbau und Architekturtechnik der Erdöl- und Chemie-Organisation von Bechtel. „Da 40 Berechnungen zentral bereitgestellt werden, müssen Ingenieure einfach nur diejenige herunterladen, die sie benötigen - ob für Windlasten oder Ankerbolzenanalysen -, und die Variablen eingeben. Die Technologie kann zwar Fehler nicht vollständig verhindern (schließlich kann ein Ingenieur inkorrekte Daten eingeben), aber zumindest in der Berechnung selbst kommen keine Fehler vor.“<sup>10</sup> Aus diesem Grund ist es laut Khaldoon Sakkal relativ einfach, Fehler zu finden und zu korrigieren, da nur die Eingaben überprüft werden müssen.

<sup>10</sup> CIO Magazine, Juli 2003

## Mathcad® - Software für simultanes Entwerfen und Dokumentieren von Konstruktionsarbeiten

In einer Tabelle oder Programmiersprache ist die Logik, die technischen Entscheidungen zugrunde liegt, unsichtbar (Abbildung 1a). Aus diesem Grund kann die Arbeit nicht schnell und sachgemäß überprüft werden. Berechnungsfehler zeigen sich erst im weiteren Verlauf des Projekts, wenn die Kosten für die Nacharbeit exponentiell höher liegen. Noch schlimmer ist es, wenn der Fehler im fertigen Produkt enthalten ist.

Dagegen können Ingenieure mit Arbeitsblättern von Mathcad den Konstruktionsberechnungsprozess effektiv dokumentieren. Im Gegensatz zu Tabellenkalkulationen setzt die Konstruktionsberechnungs-Software von Mathcad eine standardmäßige mathematische Schreibweise ein und erfasst die Annahmen, Methoden und wichtigen Daten, die jeder Berechnung zugrunde liegen (Abbildung 1b). Mathcad, die Konstruktionsberechnungs-Software von PTC, stellt eine Umgebung bereit, in der Ingenieure genau wie auf einem Whiteboard ihre Produkthanforderungen, wichtigen Daten, Methoden und Annahmen für schnelle Berechnungen einfach erfassen, anwenden und verwalten können. In Mathcad sind die ursprünglichen Konzepte, zugrunde liegenden Annahmen, mathematischen Formeln, veranschaulichenden Diagramme, Textbeschreibungen, Anmerkungen, Skizzen und Ergebnisse im Arbeitsblatt klar ersichtlich. Das Wissen wird in einem gemeinsam nutzbaren Format erfasst und klar dokumentiert.

Aufgrund der dynamischen Mathcad Oberfläche gibt ein einzelner Tastaturbefehl ein Ergebnis zurück. Wenn eine Variable geändert wird, wird das Ergebnis sofort neu berechnet und jedes 2D- oder 3D-Diagramm neu gezeichnet. Eine manuelle Neuberechnung ist nicht erforderlich. Die Berechnungen und Ergebnisse werden in wiederverwendbaren Arbeitsblättern dokumentiert, die in verschiedenen Formaten wie Word, PDF, HTML und XML gespeichert werden können. Diese Flexibilität ermöglicht es Ingenieuren, die vollständig dokumentierte Konstruktion gemeinsam zu nutzen – einschließlich Konzept und Implementierung, und nicht nur den Code. Das XML-Format vereinfacht die gemeinsame Nutzung von Arbeitsblättern, Methoden bzw. Werten durch mehrere Anwender und Systeme. Dazu gehören Anwendungen für das Dokumentmanagement, CAD-Programme und PDM-Lösungen (Produktmanagement).

„Im Gegensatz zu Tabellenkalkulationsprogrammen setzt die Konstruktionsberechnungs-Software von Mathcad eine standardmäßige mathematische Schreibweise ein und erfasst die Annahmen, Methoden und wichtigen Daten, die jeder Berechnung zugrunde liegen (Abbildung 1b).“

$$((\pi \cdot D1 \cdot h) / 2) \cdot (\text{SQRT}(1 + ((D1^2) / (4 \cdot h^2)) + ((\pi \cdot D1^2) / 4)))$$

**Abbildung 1a.** Beispiel einer Gleichung in Excel, in der die Logik nicht ersichtlich ist, weil der lineare Ausdruck in der Zelle verborgen ist.

$$\frac{\pi \cdot D \cdot h}{2} \cdot \sqrt{1 + \frac{D^2}{4h^2} + \frac{\pi D^2}{4}}$$

**Abbildung 1b.** Die Gleichung aus Abbildung 1a, diesmal in Mathcad in einer standardmäßigen mathematischen Schreibweise dargestellt.

## Mathcad im Vergleich zu Tabellenkalkulationen – Standardisierung des richtigen Tools für Ingenieure

Wie erkennen Sie, ob für ein bestimmtes Projekt die Funktionen und Merkmale eines Tabellenkalkulationsprogramms oder von Mathcad besser geeignet sind? Die Anforderungen, Parameter und Ziele unterscheiden sich zwar von einem Konstruktionsprojekt zum anderen, aber die folgenden Fragen haben sich als Entscheidungshilfe bei der Suche nach dem richtigen Tool erwiesen.

### Welche Arten von Berechnungen und Gleichungen kommen vor?

In der Vergangenheit haben Anwender Tabellenkalkulationsprogramme wie Microsoft Excel für große Datentabellen und einfache Berechnungen und Gleichungen verwendet. Je komplexer eine Berechnung jedoch ist, desto unübersichtlicher ist die Darstellung in Excel, und oft ergibt sich ein unverständliches Durcheinander aus Zahlen, Buchstaben und Klammern.

Für Mathcad muss keine schwierige Syntax erlernt werden. Sie geben einfach die Gleichungen ein, und die Ergebnisse werden angezeigt. Mathcad setzt eine echte mathematische Schreibweise ein und erfasst die Annahmen, Methoden und wichtigen Daten jeder Berechnung – ob einfach oder komplex. Wenn einfache numerische Berechnungen Ihren mathematischen Anforderungen nicht genügen und zu unflexibel sind, können Sie symbolische Berechnungen oder andere Arten höherer Berechnungen mit Mathcad durchführen. Darüber hinaus umfassen Mathcad QuickSheets gebrauchsfertige Mathcad Vorlagen, die Sie anpassen können. Mit ihnen sind eine Vielzahl von mathematischen Aufgaben lösbar, z.B. das Lösen von Gleichungen, die Diagrammerstellung und die Infinitesimalrechnung.

### Müssen Sie eine Modellgleichung oder -lösung ableiten?

Für Ingenieure und ihre Organisationen ist das Ableiten von Gleichungen für die Modellierung oder Beschreibung eines bestimmten Prozesses oder Verhaltens unverzichtbar. Mathcad ist die ideale Lösung, um Modellgleichungen in natürlicher mathematischer Schreibweise zu erstellen und um es den Anwendern zu ermöglichen, Variablen einfach auszutauschen.

„Wenn einfache numerische Berechnungen Ihren mathematischen Anforderungen nicht genügen und zu unflexibel sind, können Sie symbolische Berechnungen oder andere Arten höherer Berechnungen mit Mathcad durchführen.“

### Müssen Sie das Modell in einem Bericht dokumentieren?

Bei der Dokumentierung von Ergebnissen in einem Bericht steht die Lesbarkeit an hoher Stelle. Tabellenkalkulationsprogramme wie Excel ermöglichen zwar die Eingabe von Text, aber für die Darstellung von längeren oder ausführlichen Beschreibungen ist das Zellen- und Tabellenformat alles andere als ideal. Mathcad ermöglicht es den Anwendern dagegen, Gleichungen, Text und Grafiken in einem einzigen Arbeitsblatt zu kombinieren. Darüber hinaus ermöglicht es die XML-Architektur von Mathcad den Anwendern, Arbeitsblätter im XML-Format zu speichern, Informationen in anderen textbasierten Systemen wiederzuverwenden oder Arbeitsblätter zu suchen und in Berichten zu erfassen, ohne sie in Mathcad erneut öffnen zu müssen.

### Spielt die Umrechnung von Einheiten für die Erfüllung der Aufgabe eine entscheidende Rolle?

In Tabellenkalkulationsprogrammen wie Excel ist die Umrechnung von Maßeinheiten zwar möglich, aber selbst für einfache Umrechnungen müssen komplexe Formeln eingegeben werden. Mathcad hat integrierte Funktionen für die Erkennung und Konvertierung von Einheiten, und Anwender können problemlos verschiedene Einheitensysteme verwenden und konvertieren. Außerdem erkennt Mathcad Einheitenfehler, indem es die Arbeitsblätter auf dimensionale Konsistenz überprüft.

### Bestimmen Ihre Berechnungen die Konstruktionsbemaßungen und -parameter in CAD-Modellen?

Ergebnisse aus Tabellenkalkulationen können als Eingabe für CAD-Modellbemaßungen verwendet werden, aber sie dokumentieren nicht die gesamten Schlussfolgerungen, die der CAD-Modellkonstruktion zugrunde liegen. Mathcad kann am Anfang des Konstruktionsprozesses verwendet werden, um die geeigneten physischen Konstruktionsbemaßungen und -parameter zu bestimmen, die in CAD-Modellen verwendet werden, und um eine umfassendere Dokumentation der wichtigen Annahmen und Berechnungsmethoden bereitzustellen.

Ingenieure können jetzt die direkte Einbindung in Pro/ENGINEER® für die Geometrie der Konstruktion nutzen. Die Integration von Mathcad und Pro/ENGINEER ist eine bidirektionale Verknüpfung zwischen den beiden Anwendungen. Anwender können eine beliebige Mathcad Datei mit einem Teil oder einer Baugruppe in Pro/ENGINEER einfach verknüpfen. Wichtige Werte, die in Mathcad berechnet wurden, können Parametern und Bemaßungen im CAD-Modell für die Erstellung der geometrischen Konstruktion zugeordnet werden. Parameter aus einem Pro/ENGINEER Modell können außerdem in Mathcad eingegeben werden, um später Konstruktionsberechnungen durchzuführen. Die Integration umfasst dynamische Aktualisierungen der Berechnungen und CAD-Zeichnungen, wenn Parameter geändert werden.

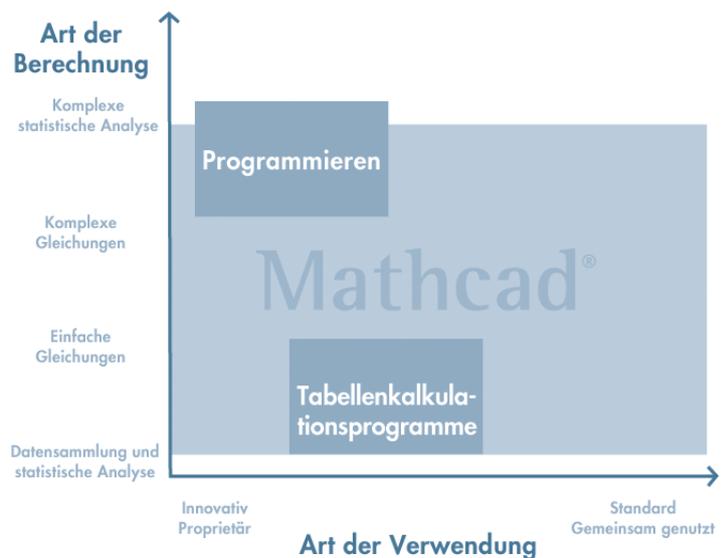
### Müssen Sie die Anzahl der Konstruktionsiterationen verringern, die während der Konstruktion in den CAD-Modellierungs- und -Analysephasen durchgeführt werden?

Indem Mathcad verwendet wird, um die Leistung von Konstruktionen vorherzusagen, bevor die physische Geometrie modelliert wird, können Ingenieure Konstruktionen schon in der Anfangsphase des Prozesses optimieren, die funktionale Leistung voraussagen und somit die Anzahl der erforderlichen Konstruktionsiterationen verringern. „Predictive Engineering“ ist eine Funktionalität des Produktentwicklungsprozesses, die aktiviert wird, wenn Mathcad frühzeitig im Produktkonstruktions- und -entwicklungsprozess verwendet wird. Mathcad kann eingesetzt werden, um wissenschaftliche und mathematische Prinzipien in der Anfangsphase des Konstruktionsprozesses auf Konstruktionsprobleme anzuwenden und so die entscheidenden Bemaßungen und Parameter zu bestimmen, die im nachgeordneten CAD-Modell verwendet werden. Indem sie schon am Anfang die erforderlichen Parameter berechnen und die Leistung der Konstruktion vorhersagen, statt wichtige Bemaßungen und Parameter zu schätzen, können Produktkonstrukteure eine optimierte Konstruktion schneller und mit weniger Iterationen produzieren als durch den Einsatz der heutzutage üblichen Methoden.

### Werden Ihre Berechnungen von anderen Mitarbeitern in Ihrer Organisation, von Teams an verschiedenen Standorten, von Auftragnehmern, Lieferkettenpartnern oder anderen für verschiedene Projekte genutzt und wiederverwendet?

Wie bereits zuvor in diesem White Paper erwähnt, wurden viele Tabellenkalkulationslösungen von einem einzelnen Entwickler für den persönlichen Gebrauch erstellt. Tabellenkalkulationen sind hervorragende Produktivitätsanwendungen für den persönlichen Gebrauch. Es wird aber problematisch, wenn andere Anwender in der Organisation die Lösung verwenden möchten und annehmen, dass sie ihren Anforderungen genügt, wenn dies nicht der Fall ist. Die XML-Architektur in Mathcad zeichnet sich durch ein offenes Konstruktionsdatenmodell aus, dessen Veröffentlichungs-, Zusammenarbeits-, Integrations- und Suchfunktionen besonders zum Tragen kommen, wenn Mathcad in der Organisation als Standardsoftware eingesetzt wird.

„Mathcad hat integrierte Funktionen für die Erkennung und Konvertierung von Einheiten, und Anwender können problemlos verschiedene Einheitensysteme verwenden und konvertieren.“



**Abbildung 2.** Unterschiedliche Konstruktionsprojekte erfordern unterschiedliche Tools - abhängig von der Art der Berechnung und der Art der Verwendung.

**Müssen Ihre Berechnungen überprüft werden oder wird ein Debugging durchgeführt?**

In der heutigen Geschäftswelt stellt die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen höchste Priorität dar. Eine beständig hohe Produktqualität kann nur dann gewährleistet werden, wenn eine Organisation im Rahmen des Debugging und der Fehlerbehebung Berechnungen nachverfolgen kann. Diese Nachverfolgbarkeit erfordert Kontroll- und Dokumentierungsfunktionen, die in Tabellenkalkulationen nicht vorhanden sind. Mit Hilfe von Makros und mehreren verknüpften Tabellenkalkulationen können Anwender sehr komplizierte - und manchmal unübersichtliche - Modelle und andere Geschäftsfunktionen erstellen, die wenige oder gar keine Dokumentationsinhalte bieten.

Mathcad vereinfacht und optimiert die Erstellung der Dokumentation, die für die Kommunikation und Einhaltung von Geschäfts- und Qualitätssicherungsstandards wichtig ist (Abbildung 3). Alle Konstruktionsdaten sind mit entsprechenden Anmerkungen an einer Stelle zusammengefasst. Berechnungen, Methoden und Werte können gemäß den Auflagen des Unternehmens für eine Vielzahl von Beteiligten außerhalb der Konstruktionsabteilung freigegeben werden.

**Tabellenkalkulation**

	A	B	C	D
64	beta	0.25		
65	beta^4	3.91E-03		
66	E	1.002		
67	Re term	1.70E-03		
68	L1 & L2 terms	-1.10E-04		
69	C Stolz equation	0.599		
70	omega/delta p	0.928		
71	delta p/p1 < 0.25	1.72E-01		
72	epsilon	9.50E-01		
73	area orifice m2	1.23E-04		
74	delta p Pa	21000		

**Mathcad**

$$\beta := \frac{d}{D} \quad E := \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

Stolz equation for the discharge coefficient C

$$C := 0.5959 + .0312 \cdot \beta^{2.1} - 0.1840 \cdot \beta^8 + 0.0029 \cdot \beta^{2.5} \cdot \left(\frac{10^6}{Re_D}\right)^{0.75} + 0.0900 \cdot L_1 \cdot \left(\frac{\beta^4}{1 - \beta^4}\right) - 0.0337 \cdot L_2 \cdot \beta^3$$

C = 0.599

**Abbildung 3.** In diesem Beispiel einer Tabellenkalkulation ist die Stolz-Gleichung in einer Zelle verborgen, wodurch es schwierig ist, die Methoden, Annahmen und Daten der Gleichung zu dokumentieren. In Mathcad sind die mathematischen Formeln und Textbeschreibungen klar ersichtlich und überprüfbar.

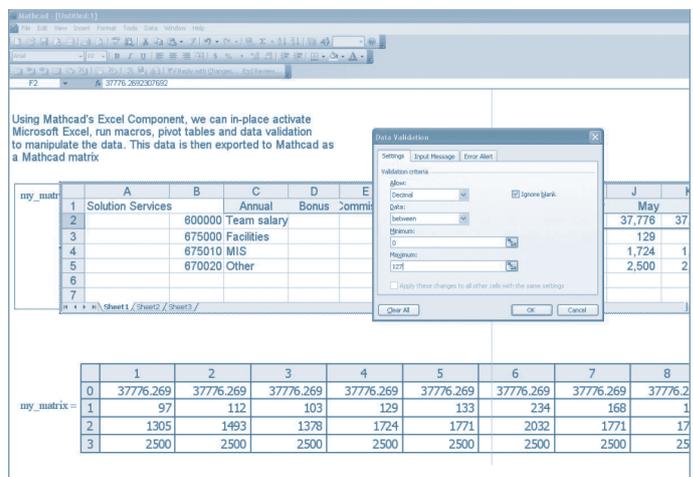
PricewaterhouseCoopers, „The Use of Spreadsheets: Considerations for Section 404 of the Sarbanes-Oxley Act“, 2004.

„Die XML-Architektur in Mathcad zeichnet sich durch ein offenes Konstruktionsdatenmodell aus, dessen Veröffentlichungs-, Zusammenarbeits-, Integrations- und Suchfunktionen besonders zum Tragen kommen, wenn Mathcad in der Organisation als Standardsoftware eingesetzt wird.“

**Umstellung von Tabellenkalkulationen auf Mathcad - Integrations- und Migrationsoptionen**

Organisationen, die bereits große Summen in eine Tabellenkalkulationslösung investiert haben, um ihre Konstruktionsberechnungsdaten zu dokumentieren, können eine Vielzahl von Datenquellen und Produkten von Drittherstellern, z.B. Excel, in Mathcad integrieren. Anwender können Excel-Daten in Mathcad einbetten oder Informationen über dynamische Verknüpfungen, durch Exportieren oder einfaches Ausschneiden und Einfügen austauschen. Die Excel-Komponente ist im Lieferumfang von Mathcad enthalten und kann direkt aktiviert werden. Anwender können dadurch Excel innerhalb von Mathcad ausführen und vorhandene Excel-Arbeitsblätter einfügen bzw. neue erstellen (Abbildung 4).

Zusätzlich zur Verwendung der integrierten Excel-Komponente können Organisationen das Fachwissen nutzen, das im Rahmen einer Servicevereinbarung bereitgestellt wird. Berater können Excel-Tabellenkalkulationen schnell in Mathcad Arbeitsblätter konvertieren, wodurch es Organisationen ermöglicht wird, ihre wertvolle Bibliothek mit Produktberechnungen und -formeln zu pflegen und zu verwenden. Durch diesen Service entstehen weniger Datenmigrationsfehler, und Konstruktionsberechnungen werden wie Unternehmenswerte oder geistiges Kapital behandelt.



**Abbildung 4.** Durch die direkte Aktivierung der Excel-Komponente können Anwender Excel-Daten in Mathcad bearbeiten.

## PTC Mathcad – Maßgeschneidert für die Anforderungen eines Konstruktionsbetriebs

Organisationen können Mathcad als Standard einrichten, um die Leistungskraft der Mathcad Arbeitsblätter voll auszunutzen und unternehmensweit verfügbar zu machen. Indem diese als optimale Vorgehensweisen freigegeben werden, kommt der Wert der Mathcad Arbeitsblätter erst richtig zur Geltung. Berechnungen können jederzeit für die Wiederverwendung, Validierung, Nachbearbeitung, Berichterstellung und Veröffentlichung abgerufen werden – außerdem kann jede Berechnung für eine effektive Nachverfolgung (Herkunftsangabe) genutzt werden. Mathcad umfasst Wissensmanagement-Elemente für die Erstellung und Erfassung der wertvollsten Konstruktionsdaten einer Organisation. Die leistungsstarken Funktionen für die Wissenserfassung der Mathcad Produktfamilie können Fertigungsunternehmen dabei unterstützen, ihre Geschäftsziele präzise und effizient zu erreichen.

Mathcad ermöglicht die Zusammenarbeit und fördert die fristgerechte Produktentwicklung und optimale Produktivität, da Organisationen bewährte und überprüfte Konstruktionsdaten vertrauensvoll verwenden können. Ingenieure können sowohl in der Anfangsphase Zeit sparen als auch im weiteren Projektverlauf, da sich eine zeitaufwändige Fehlerbehebung erübrigt. Außerdem verringert sich im Vergleich zu komplizierten Zahlenverarbeitungsvorgängen bzw. Software- oder Programmierungs-Tools der Schulungsaufwand.

Mathcad verbessert die Produktqualität, indem optimale Vorgehensweisen dokumentiert und durchgesetzt werden, wodurch eine stabile Grundlage für kontinuierliche Verbesserungen geschaffen wird. Organisationen können vollständig dokumentierte Entwürfe als professionell formatierte Word-Dateien, PDF-Dokumente, Webseiten oder Webdienste freigeben. Wenn ein Ingenieur z.B. die Wanddicke einer Ölpipeline berechnen muss, die in 3 Kilometer Meerestiefe auf einem Riff verlegt werden soll, kann er das entsprechende Arbeitsblatt aus dem Online-Repository mit Standardberechnungen abrufen. Dadurch macht er die Investition in die Konstruktion zu einem dauerhaften Unternehmenswert.

Mathcad erleichtert die Erstellung von Berichten für Aufsichtsbehörden und Kunden, die die Qualitätsprozesse ihrer Zulieferer prüfen. Alle Konstruktionsdaten befinden sich mit den entsprechenden Anmerkungen an einer Stelle, damit Berechnungen, Methoden und Werte von einer Vielzahl von Beteiligten gemeinsam genutzt werden können.

Mathcad stellt für IT-Abteilungen eine minimale Belastung dar, da es auf offenen, standardmäßigen, höchst zuverlässigen und einfach integrierbaren Technologien, z.B. Microsoft .NET Framework und XML, aufbaut. Durch Verwendung des XML-Datenaustauschstandards können Berechnungen team- und disziplinübergreifend problemlos in automatisierte Geschäftsprozesse eingebunden werden.

„PTC Mathcad umfasst Wissensmanagement-Elemente für die Erstellung, Dokumentierung und Nutzung der wertvollsten Konstruktionsdaten einer Organisation.“

## Schlussfolgerung

Mehrzweck-Tabellenkalkulationsprogramme haben sich in Organisationen zwar als Tools für Tabellendaten und einfache mathematische Berechnungen bewährt, aber den höheren Ansprüchen von Ingenieuren werden sie ebenso wenig gerecht wie den übergeordneten Geschäftszielen der Fertigungsindustrie.

Um wirklich das richtige Tool für Konstruktionsberechnungen als Standard einzuführen, müssen Organisationen die Anforderungen der Ingenieure und des Konstruktionsbetriebs genau untersuchen. Mathcad bietet viel mehr Möglichkeiten als Tabellenkalkulationsprogramme und stellt eine Lösung dar, bei deren Entwicklung die Lösung und Dokumentierung von Berechnungen im Vordergrund stand. Mathcad ist dank der standardmäßigen mathematischen Schreibweise für Ingenieure nicht nur leicht verständlich, sondern erfasst auch die Annahmen, Methoden und wichtigen Daten jeder Berechnung. Darüber hinaus stehen die Berechnungsfunktionen von Mathcad den Organisationen auch für größere, umfassendere unternehmensweite Produktentwicklungsprozesse zur Verfügung. Der Konstruktionsbetrieb kann seine Berechnungen optimal nutzen, wodurch eine kürzere Time-to-Market, höhere Produktqualität, problemlose Einhaltung von gesetzlichen Bestimmungen und einfache Integration in Unternehmensanwendungen ermöglicht wird.