

Best Practice: Anforderungs-Flowdown

Ob Ihr Unternehmen ein neues Produkt anbieten oder eine vorhandene Produktlinie verbessern möchte – der Erfolg hängt einzig und allein davon ab, inwiefern die Produktentwicklung den Anforderungen des Marktes genügt. Dies ist eine allgemein bekannte und anerkannte Tatsache. Was sich allerdings verändert hat, ist, dass sich der Produktentwicklungszyklus extrem verkürzt hat, während die Produktkomplexität dramatisch zugenommen hat. Beispielsweise werden Fahrzeuge mit zukunftsweisender Hybrid-, Sicherheits- und Unterhaltungstechnik heutzutage in wenigen Monaten statt mehreren Jahren entwickelt. Die Herausforderung bei diesem komprimierten Entwicklungszyklus besteht darin, schnell zu arbeiten, die Kosten einzudämmen und Produkte zu entwickeln, die die Kundenerwartungen zunächst erfüllen und sie im weiteren Verlauf übertreffen.

Während der iterativen Planungs-, Konzept- und Konstruktionsphasen des Produktlebenszyklus müssen die Anforderungen stets umfassend, klar, wohlstrukturiert, nachvollziehbar und verifizierbar sein. Anforderungs-Flowdown ist eine Best Practice, mit der Ingenieure während der Zerlegung der übergeordneten Systemanforderungen in funktionelle, physische und komponentenbasierte Entwurfsanforderungen die Klarheit und Struktur erhalten können. Anforderungs-Flowdown sorgt außerdem für Verfolgbarkeit zwischen den Ebenen der Zerlegung, sodass Unklarheiten oder Fehler, die die Effizienz der Konstruktionsprozesse beeinträchtigen könnten, weitestgehend vermieden werden. Die sorgfältige funktionelle und physische Zerlegung der Anforderungen hilft Entwicklungsteams, die besten Komponenten zu erkennen und die Produktkonstruktion und -fertigung zu optimieren.

PTC® Mathcad® ist die ideale Umgebung für die Erstellung von mathematischen Modellen, die Durchführung von Berechnungen für die präzise physische Zerlegung und die Sicherstellung der Verfolgbarkeit auch bei Konstruktionsänderungen. Als branchenübliche Standardsoftware für Konstruktionsberechnungen reduzieren die einzigartigen Merkmale wie standardmäßige mathematische Notation, Einheitenverwaltung und Whiteboard-Arbeitsblätter die Störungen und Reibungsverluste beim Anforderungs-Flowdown enorm. Insbesondere ermöglicht PTC Mathcad Folgendes:

- Klare Darstellung, inwiefern die Anforderungen durch die zugrunde liegenden Produktentwürfe erfüllt werden und welche Anforderungen welche System-, Produkt- oder Teileentwürfe beeinflussen
- Verdeutlichung der Auswirkungen von Konstruktionsänderungen auf Anforderungen und von geänderten Anforderungen auf Produktentwürfe
- Sichtbarkeit für alle Entwicklungsfachbereiche während des gesamten Produktentwicklungsprozesses

Dank dieser Software können sich Entwicklungsteams Gewissheit verschaffen, dass die von ihnen entwickelten Lösungen die Marktanforderungen optimal erfüllen und die strategischen Unternehmensziele wie ein größerer Marktanteil, eine kürzere Time-to-Market und höhere Rentabilität erreicht werden.

Herausforderungen für die technische Entwicklung bei der Verwaltung von Anforderungen während der physischen Zerlegung

Ob die technische Entwicklung nun ein neues Produkt entwickeln oder vorhandene Produkte verbessern soll – der Prozess beginnt stets mit der Analyse und Dokumentation der übergeordneten Anforderungen und der Ableitung der Lösungsanforderungen.

Verschiedene Faktoren verursachen Unschärfen bei diesem Prozess und machen ihn dadurch schwierig. Zu diesen Faktoren gehören Folgende:

- Menschliche Fehler und Inkonsistenzen bei der mathematischen Analyse und Dokumentation
- Unterbrechungen der Verfolgbarkeit von den physischen Anforderungen zurück zu den zugeordneten funktionellen Anforderungen bzw. nach vorn zur Komponentenkonstruktionsphase
- Missverständnisse zwischen Teams in verschiedenen Funktionsbereichen, beispielsweise zwischen Elektronik- und Mechanikkonstruktion
- Unfähigkeit, Anforderungen und Testergebnisse bei Änderungen aktuell zu halten

Anforderungs-Flowdown ist eine Best Practice, die Ingenieuren hilft, funktionelle und physische Anforderungen anhand der System- oder Marktanforderungen (Abbildung 1) abzuleiten oder zu zerlegen.

Konzentrieren wir uns auf die Ansprüche der physischen Zerlegung, bei der qualitative Anforderungen, die in früheren Phasen definiert wurden, in verifizierbare quantitative Anforderungen umgewandelt werden.

Voraussetzungen für die erfolgreiche Verwaltung der Anforderungen während der physischen Zerlegung:

- Die Anforderungen müssen die funktionellen Anforderungen umfassend erfüllen und klar strukturiert sowie formuliert und dokumentiert sein.
- Die Zerlegung muss so strukturiert werden, dass physische Anforderungen sich einfach durch die höheren Anforderungsebenen verfolgen lassen.
- Änderungen bei höheren Anforderungsebenen müssen präzise an physische Anforderungen übertragen werden und aktuell bleiben – alle Ebenen müssen stets synchron sein.
- Angemessene Tests der physischen Anforderungen müssen zeitnah und präzise definiert und ausgeführt werden.
- Die empfangenen Testergebnisse müssen durch die Anforderungsebenen hindurch zurückgeleitet werden, um zu überprüfen, dass sie erfüllt werden. Dieser iterative Prozess erfordert die Synchronisation von Änderungsmanagement und Anforderungsmanagement.



Abbildung 1: Anforderungs-Flowdown von anfänglichen Anforderungen bis zur Detailkonstruktion

PTC Mathcad spielt eine entscheidende Rolle bei der physischen Zerlegung:

- Mathcad ist die ideale Umgebung für die Zerlegung und unterstützt die einfache und präzise Definition der mathematischen Formeln für die physische Modellierung und Analyse.
- Mathcad ermöglicht die einfache Auswertung durch Teams an verschiedenen Standorten dank natürlicher mathematischer Schreibweise und Textanmerkungen.
- Mathcad sorgt für die Verfolgbarkeit der Anforderungszersetzung, da es sowohl mit den PLM-Tools (Product Lifecycle Management), in denen die Anforderungen auf den unterschiedlichen Ebenen organisiert werden, als auch mit den Konstruktionssystemen integriert ist, die von den Anforderungen beeinflusst werden.

Sehen wir uns an, wie diese Funktionen ein Technologieunternehmen bei der Verwaltung der physischen Zerlegung für die Produktion von Halbleiter-Wafern unterstützen konnte.

Anforderungs-Flowdown – Beispiel

Angesichts steigender Wachstumserwartungen und zunehmenden Wettbewerbs aus dem Ausland wollte ein Fertigungsunternehmen ein neues Herstellungssystem für Halbleiter einführen, mit dem Wafer um 20 Prozent schneller hergestellt werden können als mit den derzeitigen Verfahren. Wenn dieses Konstruktionsziel erfüllt würde, könnte das Unternehmen seinen Marktanteil sichern und das Produkt ausreichend von kostengünstigeren Alternativen aus dem Ausland differenzieren. Beim bisherigen Konstruktionsverfahren begann das Unternehmen mit einer einfachen Schätzung des Durchsatzes für Wafer. Diese Schätzung wurde durch Aufzeichnung der Start-/Endzeit für jeden Schritt der vorhandenen Produktionsanlage erstellt. Diese empirischen Verarbeitungszeiten wurden in einer Kalkulationstabelle erfasst und je nach Layout der Produktionsanlage addiert. Wenn beispielsweise ein Wafer fünf Stationen durchlaufen sollte und die Verarbeitungszeit pro Station 10 Minuten betrug, ergab das einen Durchsatz von 50 Minuten pro Wafer. Sobald die grobe Schätzung stand, konzentrierte sich das Entwicklungsteam auf den Bau und die Verfeinerung physischer Prototypen, bis das erwünschte Durchsatzziel erreicht war.

Dieses Verfahren hat mehrere Nachteile. Zunächst erhält man damit nur ein Modell mit geringer Wiedergabetreue, bei dem die dynamischen Abhängigkeiten im Fertigungsprozess keine Berücksichtigung finden. Außerdem werden viele physische Prototypen benötigt, die die Kosten und den Zeitaufwand für die Entwicklung des Produkts in die Höhe treiben. Und zu guter Letzt wird jegliche Innovation im Keim erstickt, da man bei dieser Vorgehensweise eher dazu neigt, eine Produktvariante zu entwickeln statt eines echten Originalprodukts. Bei der Entwicklung zukunftsweisender Geräte und/oder der Implementierung neuer, noch nicht bewährter Prozesse ohne Rückhalt durch Analysen steigt das Risiko eines teuren Ausfalls. Angesichts dieser Nachteile beschloss das Forschungsteam, stattdessen ein mathematisches Modell mit hoher Wiedergabetreue zu entwickeln und dieses für die weitere Entwicklung, Ausarbeitung und den Flowdown von Anforderungen zu nutzen, statt die knappen Ressourcen in die Prototypenentwicklung zu investieren. Die Forschungsabteilung unterteilte bzw. zerlegte das Modell in drei Elemente, die Bereiche mit signifikanten Konstruktionsänderungen im neuen Wafer-Herstellungssystem repräsentierten. Dazu gehörten die Optimierung des Layouts der Produktionsanlage, die Verbesserung des Wafer-Handhabungssystems und Anpassungen am Abscheidungsprozess. Wir werden auf diese nun im Einzelnen eingehen.

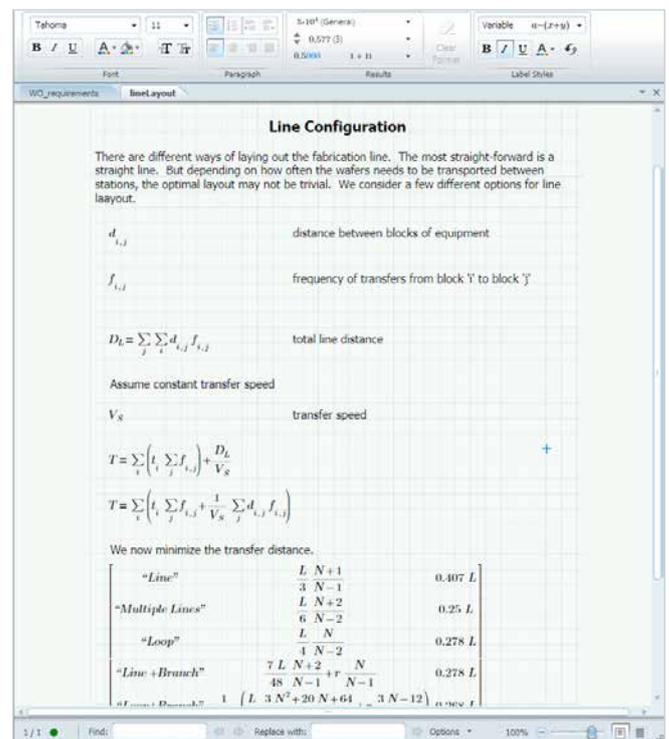


Abbildung 2: Produktionsanlagen-Layoutmodell in PTC Mathcad



a. Produktionsanlagenlayout: Um das Ziel der Geschwindigkeitsverbesserung zu erreichen, mussten verschiedene Verlegungsoptionen für die Produktionsanlage modelliert und analysiert werden. Jede Verlegungsoption umfasste verschiedene Unteranforderungen wie die zurückgelegte Strecke, die Dauer für die Strecke, die Übertragungshäufigkeit und die Reihenfolge der Vorbereitungs- und Produktionsstationen. Diese Aspekte wurden als einfache Gleichungen mit Abstand und Geschwindigkeit modelliert. Darüber hinaus wurden basierend auf den Komponentenvariationen Toleranzen für die Bewegung durch die einzelnen Stationen zugewiesen. Nach diesem Schritt wurde ein grobes zeitbasiertes Modell definiert, anhand dessen die Ingenieure potenzielle Engpässe beim Wegentwurf schnell identifizieren konnten.

b. Wafer-Handhabungssystem: Nachdem das grobe Produktionsanlagenlayout stand und alle Einschränkungen ausgelotet waren, konnte das Team mit großer Zuversicht zusätzliche Anforderungen für das Wafer-Handhabungssystem ausarbeiten. Es gibt mehrere Optionen für den Transport von Wafers durch die Produktionsanlage. In diesem Fall verglichen die Ingenieure die Effizienz eines traditionellen Montagebandverfahrens, bei dem die Scheibe von einer Reihe von Roboterarmen von einer Station zur nächsten transportiert wird, mit einem neuen Verfahren mit Magnetschwebetechnik. Das Magnetschwebesystem war zwar teurer, reduzierte aber die Reibung und damit die Abnutzung von Komponenten, wodurch die Gefahr von Verunreinigungen mit Staub bei Kontakt auf ein Minimum sank. Das Entwicklungsteam bezog an dieser Stelle die Automatisierungingenieure mit ein, um die Anforderungen für beide untersuchten Handhabungsverfahren zu erweitern. Die Automatisierungingenieure begannen mit der Analyse des Zeitbudgets bzw. der für jede Station zugeteilten Zeit und bestimmten dann, wie schnell jede Komponente reagieren musste, um die Anforderungen zu erfüllen. In dieser Phase legte das Team die kritischen Parameter für den Elektromotorantrieb inklusive der Reaktionszeit (T_r), der Beruhigungszeit (T_b) und des erforderlichen Überschwingungsanteils in Prozent für die einzelnen Direktantriebsmotoren des Montagebands, ebenso wie die Reaktion und die Positionsgenauigkeit für das Magnetschwebesystem fest. Da bei der Magnetschwebetechnik ein Hochgeschwindigkeits-Schaltkreis für den Transport der Wafer zum Einsatz kommt, war eine zusätzliche Umgebung für die Transistormodellierung erforderlich. Glücklicherweise konnte dieses Multi-Domänen-Modell mithilfe der zugrunde liegenden elektromagnetischen Gleichungen ganz einfach zusammengestellt werden. Zum Abschluss dieses Schrittes verfügte das Team über ein detailliertes Modell des Produktionsanlagenverlaufs sowie über die spezifischen Anforderungen für jedes der beiden Handhabungssysteme.

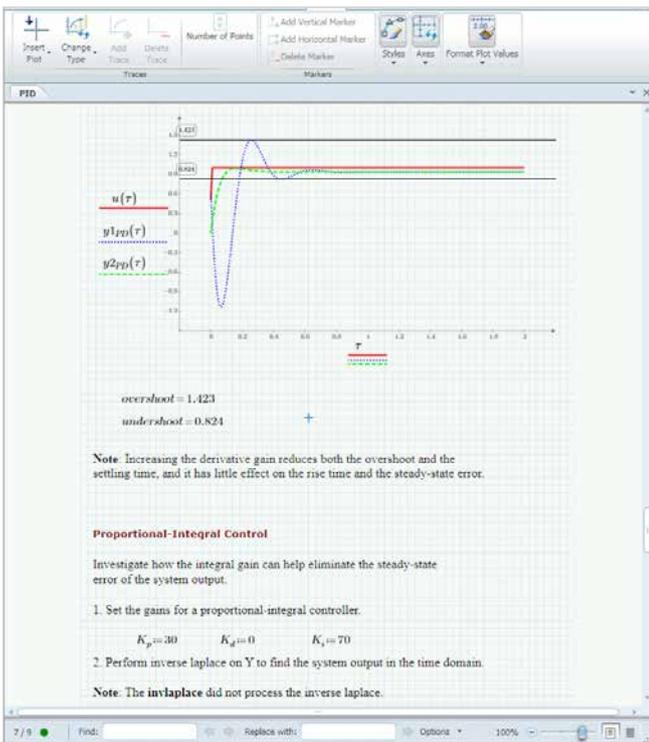


Abbildung 3: Anforderungen zur Kontrolle beim Umgang mit Wafers

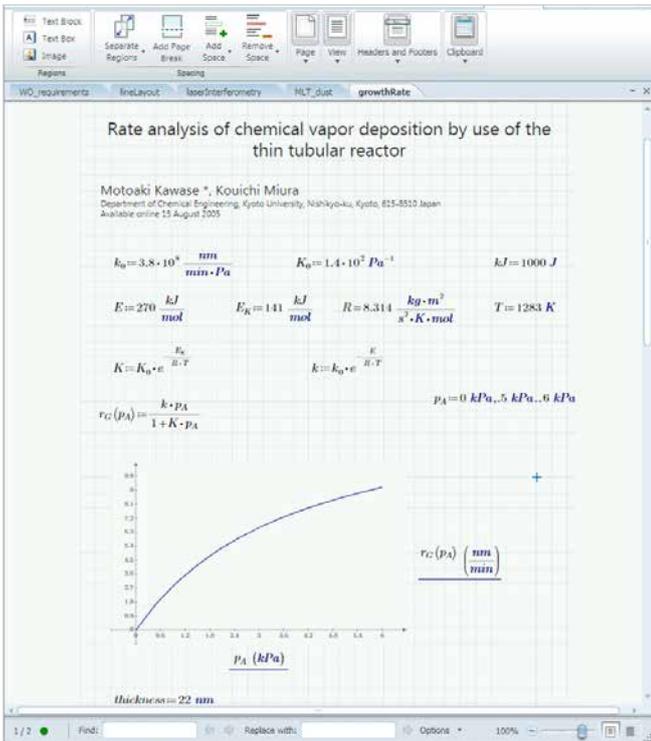


Abbildung 4: Adsorptionsmodell nach Langmuir

c. Chemische Gasphasenabscheidung:

Da ein detailliertes Modell für die Produktionsanlagenverlegung und die Wafer-Handhabung entwickelt worden war, bestand der nächste Schritt darin, für jede der Stationen in der Produktionsanlage ein detaillierteres Modell anzufertigen. Die wichtigste dieser Stationen war der Prozess der chemischen Gasphasenabscheidung. Dieser Prozess wurde in großen Teilen von der zugrunde liegenden Physik bestimmt [siehe Abbildung 4]. Das Wachstum wird größtenteils durch den Kammerdruck p_A und die Temperatur T bestimmt. Je höher die Temperatur und der Druck, umso schneller der Abscheidungsprozess. Allerdings nimmt mit steigender Temperatur auch die Spannung auf dem Wafer zu. Weitere Überlegungen sind notwendig, um sicherzustellen, dass die erforderliche Temperatur und der notwendige Druck durch einen Ofen und eine Vakuumpumpe erreicht werden können. Die Modellierung erfolgte nach dem Langmuir-Adsorptionsmodell (mit Abhängigkeit vom Partialdruck des Reaktionsmittels). Zu den weiteren Faktoren, die berücksichtigt werden müssen, gehören Gase, die der Kammer zugeführt werden, da dadurch die Wachstumsraten erhöht oder reduziert werden.

Schließlich besaß das Entwicklungsteam ein detailliertes mathematisches Modell, in dem sämtliche wichtige Aspekte der Produktionsanlagenverlegung, Wafer-Handhabung und des Abscheidungsprozesses beschrieben wurden. So konnte es das Layout der Produktionsanlage bzw. den Wafer-Handhabungsmechanismus verändern oder eine andere Kammerdynamik einführen und die Auswirkungen dieser Änderungen auf das Design im Handumdrehen bestimmen. Dieses detaillierte Modell enthielt untereinander die Anforderungen vom Wafer-Durchsatz von 20 Prozent auf oberster Ebene bis hin zu den individuellen Anforderungen für die einzelnen Stellglieder, Kammern und Sensoren in der Produktionsanlage. Dieser Flowdown von Anforderungen und die damit einhergehende Verfolgbarkeit ermöglichten es dem Forschungsteam, neue und innovative Entwürfe zu erkunden, ohne teure physische Prototypen entwickeln zu müssen. So war es in der Lage, den Berechnungskontext hinter seinen Konstruktionsentscheidungen bereitzustellen und den Weg für die zukünftige Verifizierung von Anforderungen und die intelligente Wiederverwendung der Modelle ebnen. Mit diesen Best Practices für die technische Entwicklung konnte dieser Hersteller das neue Wafer-Herstellungssystem effizient aufbauen, seinen Marktanteil schützen und kostengünstigere Rivalen abwehren.

Sicherstellung der Verfolgbarkeit der Anforderungserlegung

Während der iterativen Planungs-, Konzept- und Konstruktionsphasen, die im vorherigen Beispiel aus der Fertigung beschrieben wurden, müssen die Anforderungen stets umfassend und klar, wohlstrukturiert, verfolgbar und testbar bleiben. PLM-Systeme (Product Lifecycle Management) wie PTC® Windchill® organisieren Anforderungen auf unterschiedlichen Ebenen und untergliedern Aufgaben in die entsprechenden Fachbereiche (z. B. Mechanik- und Elektronikentwicklung).

Anforderungen können während der gesamten Planungs- und Konzeptphase geprüft werden, wodurch die Verwaltung neu abgeleiteter Anforderungen und die Überwachung von Daten zu den entsprechenden Komponenten des Projekts erleichtert und die Verfolgbarkeit ermöglicht wird (Abbildung 5).



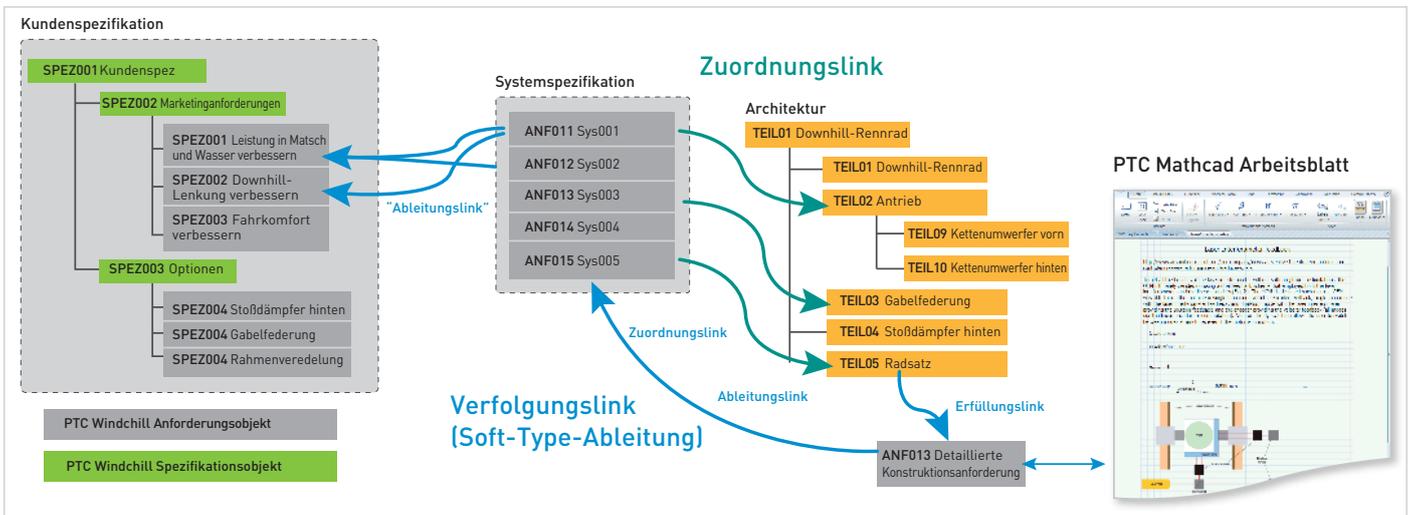


Abbildung 5: Anforderungs-Flowdown bei der Fahrradkonstruktion

Die offene Architektur der Software erlaubt die einfache Integration mit PLM-Systemen für ein Höchstmaß an Verfolgbarkeit. Bei der Arbeit innerhalb eines PLM-Systems liefert PTC Mathcad den Gleichungslöser für Formeln und Berechnungen, die in den Anforderungen fixiert sind und helfen, die inhärenten Gründe bei der physischen Zerlegung zu erklären. Die Software hilft zu klären, wie Anforderungen von den zugrunde liegenden Produktentwürfen erfüllt werden und welche Anforderungen die System-, Produkt- oder Teilentwürfe beeinflussen. Ingenieure können Arbeitsblätter entweder über die PTC Mathcad oder über die PLM-Benutzeroberfläche ein- und auschecken und schnell nach Attributbeschriftungen und Inhalten von gespeicherten Arbeitsblättern suchen. PLM-Systeme sind in der Lage, alle Versionen der Arbeitsblätter beizubehalten und darauf zuzugreifen. Bei Änderungen an den Anforderungen nimmt das Produkt die erforderlichen Änderungen an Formeln und Berechnungen vor und erstellt ggf. eine Iteration mit synchronisierten und aktuellen visuellen Verfolgbarkeits-Mappings/-Matrizen. PTC Mathcad lässt sich auch mit CAD-Systemen wie PTC® Creo® Parametric™ integrieren, sodass die Auswirkungen von Änderungen am Anforderungs-Flowdown auch in überarbeiteten Konstruktionszeichnungen reflektiert werden. Die offene Architektur ermöglicht auch die Verfolgbarkeit für Entwicklungsgruppen, die kein PLM-System verwenden. In vielen Unternehmen werden die Anforderungen auf oberster Ebene ursprünglich in Form von Dokumenten in Microsoft Office und SharePoint definiert. Die offene Architektur ermöglicht die Integration mit diesen Anwendungen und beinhaltet eine Integration mit Microsoft Excel. Arbeitsblätter können gespeichert und mittels Live-Mathematik dynamisch für die Ad-hoc-Verwendung aktualisiert werden. Alternativ können die Arbeitsblätter auch als PDFs exportiert und in normalen ECM- oder DMS-Systemen verwaltet werden.

Produktentwicklungsprozesse an Unternehmenszielen ausrichten

Um seinen Marktanteil zu vergrößern, könnte Ihr Unternehmen eine Initiative zur Verbesserung eines bestimmten Geschäftsablaufs ins Leben rufen, beispielsweise die effizientere und flexiblere Herstellung zentraler Produktkomponenten. Mit PTC Mathcad können Entwicklungsteams die physische Zerlegung besser durchführen, ihre Arbeit besser formulieren und gemeinsam verwalten und Verfolgbarkeit im Anforderungs-Flowdown herstellen. Die dynamischen Arbeitsblätter und die Einheitenverwaltung erhöhen das Vertrauen, dass die entwickelten Lösungen die Marktanforderungen optimal erfüllen und die übergeordneten strategischen Unternehmensziele erreichen werden.



Abbildung 6: Verbesserungen beim Konstruktionsprozess unterstützen strategische Unternehmensziele

Der Einsatz von Best Practices innerhalb der Entwicklung hilft sicherzustellen, dass die Lösung den Effizienzanforderungen tatsächlich genügt und damit dazu beiträgt, einen größeren Marktanteil zu erreichen. Zu diesen Best Practices gehören: Konstruktionsstudien und Tradeoff-Analysen (DS/TOA), Anforderungs-Flowdown, Anforderungsverifizierung und Simulations-Frontloading.



In unserer White Paper-Reihe Best Practices für die Produktentwicklung:

[White Paper: Konstruktionsstudien und Tradeoff-Analysen](#)

[White Paper: Standardisierung von Konstruktionsberechnungen](#)

Zusammenfassung

Der Anforderungs-Flowdown wird gemäß Best Practices in den Planungs-, Konzept- und Konstruktionsphasen der Produktentwicklung eingesetzt und ermöglicht es Ingenieuren, Produktentscheidungen enger an den definierten Anforderungen auszurichten. Die Software unterstützt diese Best Practice mit einer idealen Umgebung für die Zerlegung. Ingenieure können die in physischer Modellierung und Analyse verwendeten mathematischen Formeln und Gleichungen damit einfach und präzise erfassen und darstellen. Über dynamisch aktualisierte Arbeitsblätter lässt sich leicht klären, inwiefern Anforderungen durch die vorgeschlagenen System-, Produkt- oder Komponentenentwürfe erfüllt werden. Dies fördert außerdem für alle Entwicklungsteams während des gesamten Produktentwicklungsprozesses den Einblick in die physische Zerlegung. Mathcad ermöglicht bei der Zerlegung die einfache Dokumentation und Kommunikation der zugrunde liegenden Logik in vertrauter mathematischer Schreibweise mit Textanmerkungen, die die einfache Bewertung durch Teams an allen geografischen Standorten und Zeitzonen ermöglichen. Zu guter Letzt hilft PTC Mathcad, die Verfolgbarkeit der Anforderungszерlegung herzustellen, indem es mit den PLM-Tools (Product Lifecycle Management) integriert wird, in denen Anforderungen auf verschiedenen Ebenen organisiert werden – ebenso wie mit den CAD-Systemen, die von diesen Anforderungen beeinflusst werden. Synchronisierte und aktuelle visuelle Verfolgbarkeits-Mappings/-Matrizen fördern das Verständnis dafür, wie sich Konstruktionsänderungen auf Anforderungen und geänderte Anforderungen auf Produktentwürfe auswirken.

Leiten Sie ein Team von Ingenieuren?

Wir liefern Entwicklungsteams wie Ihrem Best Practices für Produktkonstruktion und Entwicklung. Wenn Sie mehr über die Durchführbarkeitsanalyse, Anforderungsverifizierung oder einfach nur die Verbesserung der Produktivität von Entwicklungsteams erfahren möchten, vereinbaren Sie einen Beratungstermin mit einem Mitarbeiter.

Kontaktieren Sie uns noch heute, und ein Mitarbeiter wird telefonisch eine individuelle Demo mit einem Produktexperten mit Ihnen vereinbaren.

PTC Mathcad ist die branchenführende Software für Konstruktionsberechnungen.

Weitere Informationen finden Sie unter PTC.com/products/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, PTC Mathcad, PTC Windchill, PTC Creo Parametric und alle 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.

J2482-PTC-Mathcad-Requirements-Flowdown-DE-0713

