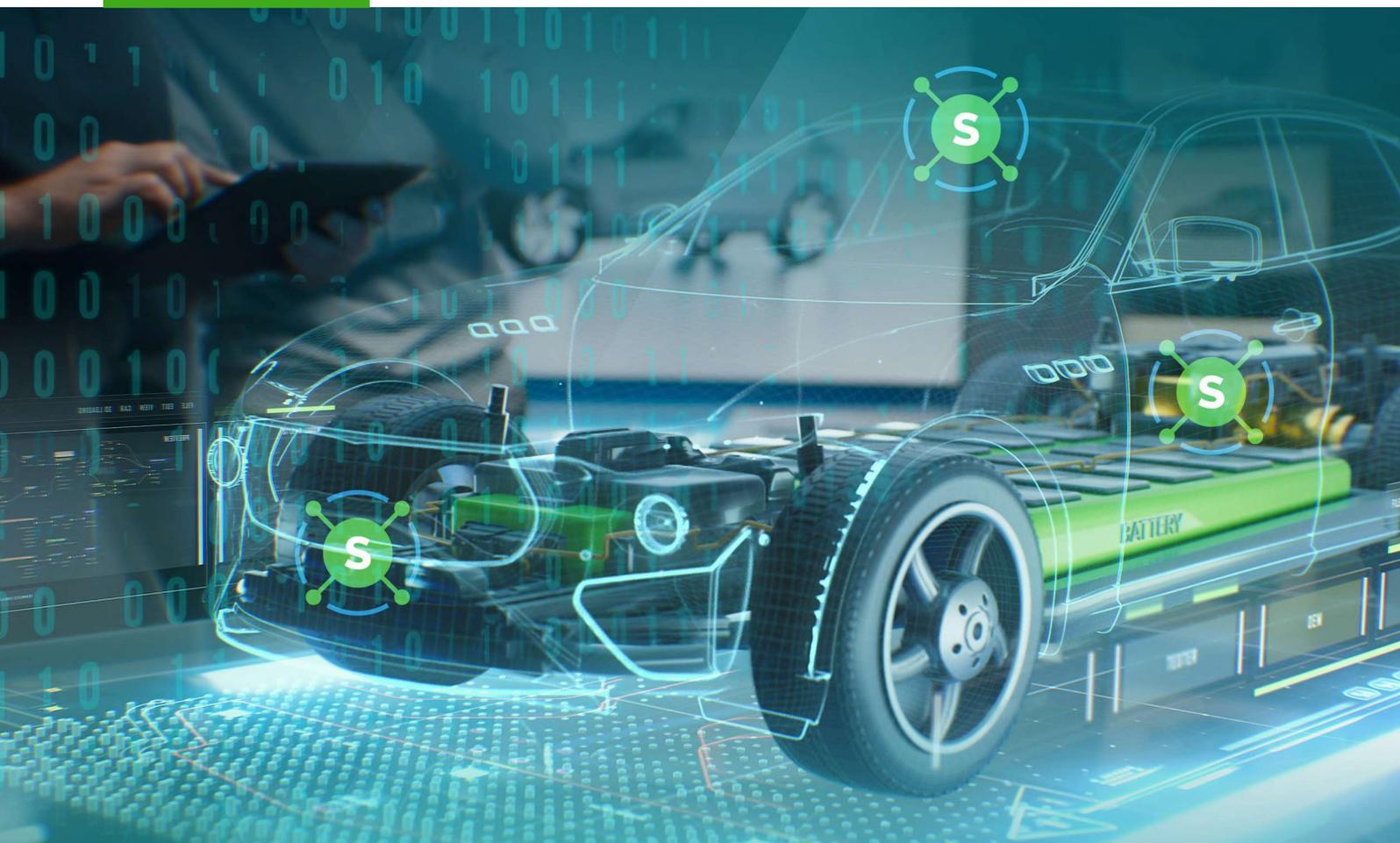


Software-defined Vehicles

Auswirkungen auf die agile Produktentwicklung



Ein Positionspapier zu den Herausforderungen in der Automobilindustrie.
Lösungsansätze zur Komplexitätsbeherrschung und Verkürzung des
Produktentstehungsprozesses.

Kurzfassung

In diesem Artikel wird erläutert, wie Automobilhersteller die Zusammenarbeit zwischen traditionell getrennten Teams aus den Bereichen Mechanik, Elektrik, Software und Produktionstechnik verbessern können, um die Markteinführungszeit zu verkürzen, Entwicklungskosten zu senken und qualitativ hochwertigere Produkte zu liefern. Agile Produktentwicklungsprozesse in Kombination mit einem integrierten Werkzeug-Portfolio sind die Grundlage für die Entwicklung der neuen Generation von Software-defined Vehicles (SDV).

Impulse für den Wandel

Die Entwicklung moderner Fahrzeuge bringt viele neue und gestiegene Herausforderungen mit sich. Automobilhersteller müssen die Fahrzeugentwicklungszeit verkürzen, gleichzeitig die steigenden gesetzlichen Vorschriften berücksichtigen, auf eine sich schnell ändernde Fahrzeug-Elektrik/ Elektronik-Architektur (E/E) reagieren und Produktmerkmalskomplexität beherrschen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten oder sie auszubauen.

Zusätzlich müssen sie Fahrzeugsoftware mit separaten Lebenszyklen und Over-the-Air (OTA)-Updates in ihre Plattformkonzepte integrieren, Cyber- und Betriebssicherheit gewährleisten, sich mit Lieferanten abstimmen und die Fertigungsentwicklung beschleunigen, um kürzere Durchlaufzeiten zu erreichen. Noch größere Integrationsherausforderungen entstehen durch die exponentielle Zunahme an Softwareinhalten, um autonomes Fahren zu ermöglichen. McKinsey & Company beschreibt in einer Forschungsarbeit von 2023 die sich ändernde Entwicklungslandschaft und betont die Notwendigkeit für Unternehmen, sich in diesem Bereich weiterzuentwickeln (Abbildung 1).

Demnach müssen Unternehmen bei der Soft- und Hardwareentwicklung effektiver zusammenarbeiten, um diese

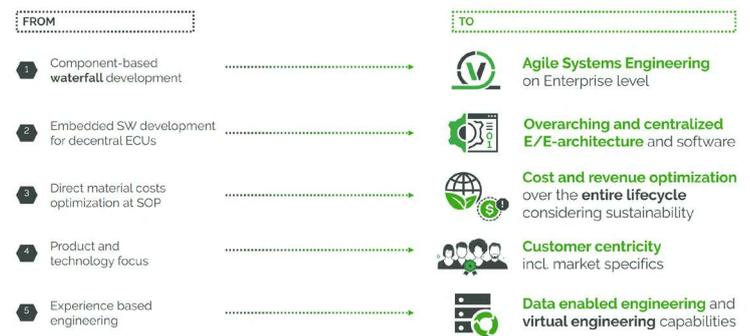


Abbildung 1: Fünf neue bahnbrechende Fähigkeiten in der Forschung und Entwicklung - Quelle: McKinsey & Company / GenAI in F&E / Oktober 2023

Herausforderungen zu meistern. Diese Zusammenarbeit wird jedoch häufig durch unterschiedliche Vorgehensweisen in den traditionell getrennten Entwicklungsdomänen behindert: Die Hardware-Entwicklung folgt einer sequenziellen Wasserfallmethodik, die aufgrund der Vorlaufzeiten von Material und Zulieferkomponenten, der einzuhaltenden Kosten und der hohen Komplexität der Logistik- und Produktionsplanung eingesetzt wird. Dem gegenüber wird Software heutzutage mit schnellen, iterativen Zyklen entwickelt, welche auf agilen Methoden basieren. Diese Diskrepanz zwischen Hardware- und Softwareentwicklungsmethoden kann zu Verzögerungen und Qualitätsverlusten in Design, Beschaffung und Integrationsaufgaben führen und erhöht den organisatorischen Abstimmungsbedarf. Automobilhersteller, die dieses Problem erkennen und Verbesserungen implementieren, verkürzen den Produktentstehungsprozess, verschaffen sich Wettbewerbsvorteile gegenüber ihren Mitbewerbern und können ihren Marktanteil erhöhen.

PTC Portfolio für Software-defined Vehicles & Agile Projektumsetzung

PTC hilft, diese Herausforderungen zu lösen, indem über das „PTC Agile Product Development Framework“ eine synchronisierte, agile Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Werkzeugen und über Disziplinen hinweg ermöglicht wird. Das PTC-Produktportfolio schließt die Lücken zwischen Hardware- und Softwareentwicklung, indem es Prozesse und Technologie auf einzigartige Weise zusammenführt. Kritische Funktionalitäten aus dem Bereich Application Lifecycle Management (ALM) werden mit Product-Lifecycle-Management Fähigkeiten überlagert und weitere Partnerkomponenten über die offene Systemarchitektur integriert.

Das PTC-Produktportfolio (Abbildung 2) kombiniert die eigenen marktführenden Produkte durch offene Standards mit anderen Best-in-Class Werkzeugen, um die Anforderungen der Automobilentwicklung mit agilen Methoden

entlang des V-Modells über den gesamten Lebenszyklus hinweg umzusetzen. Es umfasst die Bereiche Anforderungsmanagement, modellbasiertes Systems Engineering (MBSE), Plattformarchitektur, Variantenmanagement, mechanische Konstruktion, Simulations- und Testmanagement, Konfigurations- und Änderungsmanagement sowie Produktionsplanung. Die integrierten Funktionalitäten von PTC ermöglichen es, die nächste Evolutionsstufe für die Durchführung von agilen Projekten über alle Disziplinen hinweg umzusetzen und bilden die Grundlage für das „Agile Product Development Framework“. Dieses Rahmenwerk kann zusätzlich mit Scaled Agile Frameworks (SAFe / SCRUM@Scale etc.) kombiniert werden, um bei unternehmensweiter Projektumsetzung eine Prozessverkürzung durch Prozesssynchronisation zu realisieren.

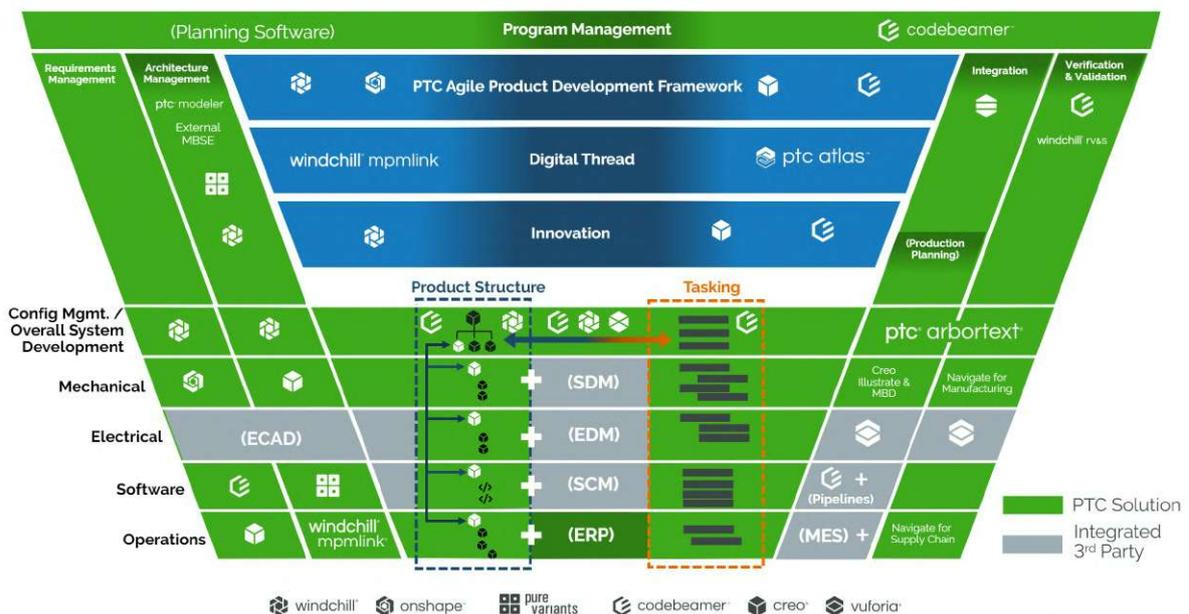


Abbildung 2: Systemübergreifendes PTC Lösungsportfolio

Lösungselemente für Software-defined Vehicles im V-Modell

Das „Agile Product Development Framework“ von PTC ist flexibel konzipiert und kann vom Kunden an seine spezifischen Anforderungen angepasst werden. Es setzt Best Practices aus agilen Methoden wie SCRUM und Kanban um und definiert einen Projektplan für die Implementierung agiler Methoden über den gesamten Entwicklungslebenszyklus (Abbildung 3). Das Framework umfasst unter anderem Werkzeuge und Techniken zum Verwalten von Anforderungen, zur Nachverfolgung des Fortschritts und zur Erleichterung der Zusammenarbeit zwischen Teams.

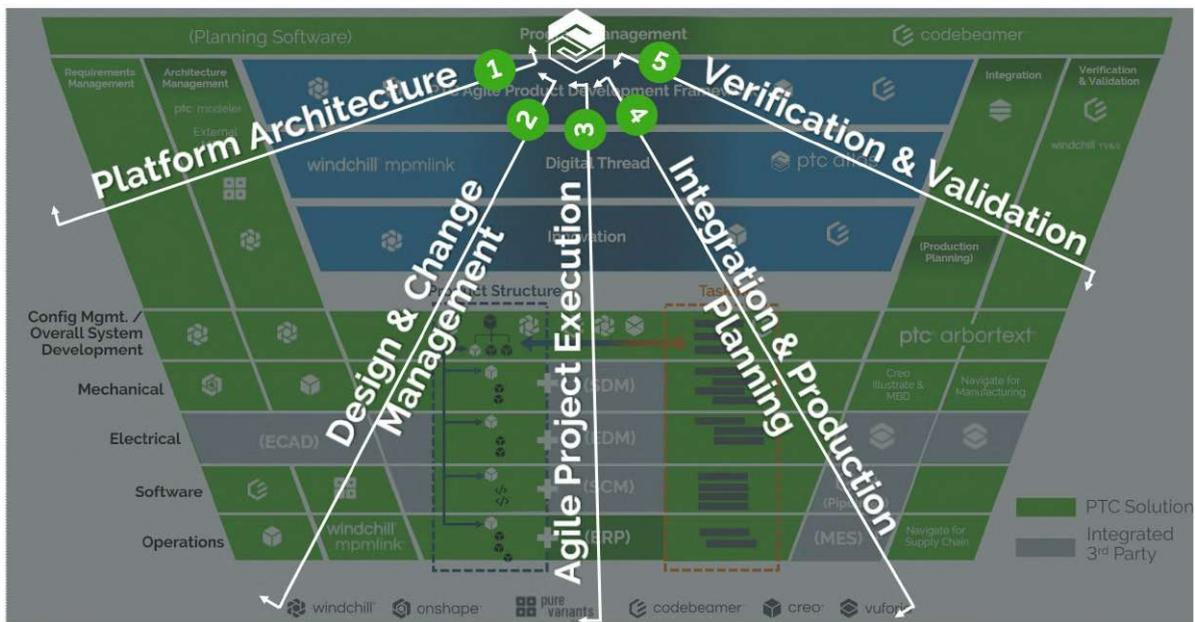


Abbildung 3: Software-defined Vehicles im gesamten PTC Portfolio mit verschiedenen Produktlebenszyklusstatus.

1. Plattform-Architektur

Plattformarchitekturen definieren, welche Funktionen des Fahrzeugs in welchen Systemen implementiert werden und welche Systeme (oder Subsysteme) variabel sind. Bei Software-defined Vehicles ist die Definition solcher Architekturen entscheidend, um die Komplexität der Abhängigkeiten zu bewältigen und Verantwortlichkeiten der Entwicklungsteams zu definieren.

PTC unterstützt Kunden bei Architekturdesign und Variantenmanagement durch die Kombination von ALM-, PLM- und MBSE-Lösungen. PTC's ALM-Lösungen Codebeamer, pure::variants, das PLM-System Windchill, der PTC Modeler und weitere Spezialwerkzeuge im Markt werden zu einer ganzheitlichen Architektur- und Variantenmanagementlösung für die Entwicklung von Systemen kombiniert. Dies ermöglicht Durchgängigkeit und Nachvollziehbarkeit aller RFLP-Definitionen (Requirements, Functions, Logic and Physical) und damit eine beschleunigte Fehleranalyse im Problemfall. Noch entscheidender ist die mittlerweile in vielen Ländern geforderte Konformität zu relevanten Standards in Bezug auf die Funktionale Sicherheit.

2. Design & Änderungsmanagement

Die zunehmende Komplexität der Abhängigkeiten zwischen Software- und Hardwaremodulen in Software-defined Vehicles erfordert ein erweitertes Konfigurations- und Änderungsmanagement, das system- und domänenübergreifende Änderungen bewältigen kann. PTC verwendet dafür ein 2-Stufen-Modell, beginnend innerhalb jeder Domäne (z. B. ALM, MBSE, PLM, CAD) und dann darauf aufbauend domänenübergreifend (siehe Abbildung 4). Diese Art des Änderungsmanagement bietet eine gemeinsame, systemübergreifende Sicht und unterstützt sehr effektiv die Durchführung ganzheitlicher Wirkkettenanalysen mithilfe des Tracings von Modellelementen innerhalb und zwischen Systemen.

- PTC's ALM-Lösung Codebeamer verwaltet Anforderungen, Testdefinitionen und -ergebnisse. In Kombination mit pure::variants führt es die gesamte Produktdefinition von den Anforderungen bis hin zur Software mit einem einheitlichen Variantenmanagement zusammen. Es ermöglicht die Kontrolle des Lebenszyklus der Softwareentwicklung, einschließlich der Entwicklungsaufgaben, CI/CD-Integration und vollständiger Fehlerverfolgung.

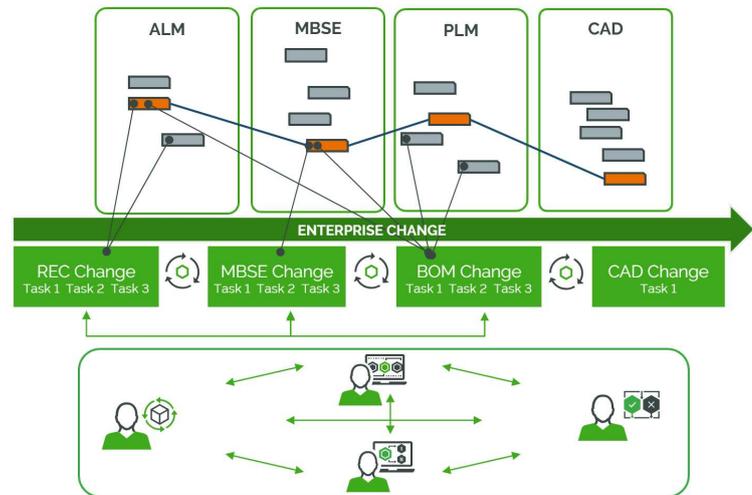


Abbildung 4: Enterprise-Änderungsmanagement über funktionale Domänen hinweg

- Model-Based Systems Engineering (MBSE) mit PTC Modeler (oder Marktalternativen) bietet eine virtuelle Produktlinien-/Produktdesignumgebung mit Verwaltung der Systemmodelle, deren Schnittstellen und Variabilität. Dies beinhaltet auch die Zuordnung der Entwicklungsumfänge zu den richtigen Entwicklungsdisziplinen.
- Die PLM-Lösung Windchill verwaltet die physische Architektur und ihre Konfigurationen und Varianten mit Konstruktions- und Fertigungstücklisten sowie Produktionsprozessplänen, die an die Fertigungsausführung weitergegeben werden können.
- PTC's CAD-Lösung Creo ist mit der Windchill PLM-Lösung vollständig integriert, wodurch eine skalierbare Baugruppen- und Teilekonstruktion bis hin zur Fertigungsdefinition möglich ist. Diese unterstützt eingebettete Simulationen, die auf die im Codebeamer ALM-Tool definierten Anforderungen und Testfälle verweisen können.

Ergänzend bietet PTC Navigate einen vereinfachten Umgang mit Entwicklungsdaten, z. B. bei der Zulieferintegration, im Änderungsprozess oder im Projektmanagement. Die PTC Lösungen bauen auf einer offenen Systemarchitektur auf, die eine integrierte Arbeitsweise auch über die Systemgrenzen hinaus ermöglicht. Dazu stehen definierte Schnittstellen u.a. Webservices-APIs für OpenAPI und ODATA sowie die Unterstützung des OSLC Standards zur Verfügung. Zusätzlich können Standard-Datenformate genutzt werden, unter anderem ReqIF, Step/AP242, etc. Die derart ausgeprägte, offene Architektur, ermöglicht den einfachen Zugang zu Daten, um mit ihnen weitere Unternehmensprozesse zu versorgen und sie für neuartige Technologien wie zum Beispiel KI nutzbar zu machen.

Multi-CAD-Workflows mit Creo und Windchill

Windchill kann CAD Daten vieler gängiger CAD Systeme verwalten, auch ein Mischbetrieb aus mehreren CAD Systemen wird unterstützt. Diese Fähigkeit basiert auf einem einheitlichen Windchill-Datenmodell und stellt sicher, dass die unterschiedlichen Teams mit ihren jeweils bevorzugten Applikationen arbeiten und gleichzeitig einem konsistenten Prozess folgen können. Dadurch wird die Integration der Komponenten unterschiedlicher Engineering Domänen wie Elektrik und Mechanik und die Effizienz der Zusammenarbeit zwischen den Teams erheblich verbessert.

PTC's Creo ist eine leistungsstarke, skalierbare und einfach zu bedienende CAD-Applikation für die mechanische Konstruktion. Creo unterstützt das gesamte Spektrum der Produktentwicklungsanforderungen unserer Kunden mit außergewöhnlichen Fähigkeiten im Concept Design, äußerst robusten und leistungsstarken Funktionen für die Entwicklung von Einzelteilen und Baugruppen sowie einem breiten Spektrum an Modulen für die Fertigungsvorbereitung, das von Hochgeschwindigkeitsbearbeitung über die Konzeption von Verbundwerkstoffen, bis zu Spritzguss, additiver Fertigung, Blechbearbeitung und mehr reicht. Der 3D-Master Ansatz von Creo ermöglicht es Kunden, direkt aus ihren 3D-CAD-Modellen zu fertigen, wodurch die Abhängigkeit von abgeleiteten, nicht wertschöpfenden 2D-Zeichnungen erheblich reduziert oder sogar eliminiert wird.

Creo arbeitet nach dem Prinzip der Assoziativität und sichert damit ab, dass Änderungen im weiteren Verlauf des Entwicklungsprozesses sichtbar und nachverfolgbar sind. Die entstehende Geometrie wird prozesssicher an die Simulation mit in Creo integrierten branchenführenden Solvern von ANSYS, sowie KI-gesteuerten generativen Designwerkzeugen zugeführt. Creo verbessert die Zusammenarbeit im Team, indem es die gleichzeitige Bearbeitung durch mehrere Benutzer ermöglicht - weltweit verteilt, auch mit Lieferanten - ohne Änderungen über Dateien hinweg senden und synchronisieren zu müssen. Dadurch kann der Konstruktionsprozess besser als je zuvor in eine agile Arbeitsweise eingebunden werden.



3. Agile Projektausführung

Traditionell arbeiten Softwareentwicklung, Mechanik- und E/E-Engineering in Silos mit ihren eigenen Werkzeugen und Philosophien. Während der agile Ansatz auf der Softwareseite einer Fail-Fast-Mentalität folgt, wird die Hardware nach dem Prinzip "Do-it-right-the-first-time" nach einem Wasserfall-Projektansatz entwickelt. In der Vergangenheit erforderte der hochoptimierte Produktionsprozess bei Automobilherstellern stabile Inputs aus der Produktentwicklung und ein rigides Änderungswesen. Um die Entwicklungszyklen zu verkürzen, versuchen Automobilhersteller bereits heute, Arbeitsabläufe der Produkt- und Produktionsentwicklung zu parallelisieren, was zu mehr Änderungen in allen Bereichen führt. Obwohl dafür eine häufige Kommunikation und Abstimmung – ein Kernelement agiler Methoden – wichtiger denn je ist, wird häufig am wasserfall-basierten Ansatz festgehalten. In einem harmonisierten Prozess, der auf agilen Prinzipien basiert, stellt sich PTC dieser Herausforderung. Integrierte ALM-, CAD- und PLM-Funktionen befähigen PTC in einzigartiger Art und Weise, Prozesslücken zu schließen und vollständig disziplinübergreifenden zu arbeiten.

Das ALM-Portfolio von PTC sorgt dafür, dass die Entwicklung abhängiger Module über Engineering-Domänen hinweg synchronisiert werden. Toolübergreifende Kanban-Boards (z. B. in Codebeamer, Windchill und Creo) richten die auszuführenden Aufgaben an einer koordinierten Sprint- und Meilensteinplanung aus und bieten damit die Möglichkeit einer koordinierten Überprüfung und schnellen Kurskorrektur.

Die Einhaltung der Qualität bei der Weiterentwicklung der Produktmodelle wird durch das Testmodul in Codebeamer sichergestellt. Hier wird automatisiertes Testen im Sinne des Test-Driven Development (TDD) nicht nur für Software, sondern auch für alle anderen Disziplinen unterstützt.

Die Integration von ALM und PLM ermöglicht die Synchronisierung des agilen Backlogs mit der Produktstruktur. Dabei wird MBSE verwendet, um die physische von der funktionalen Architektur abzuleiten und eine produktorientierte Ansicht der Tätigkeiten mit vordefinierten Puffern für notwendige Vorlaufzeiten zu erhalten. Eine idealisierte Illustration der Wirkweise ist in Abbildung 5 dargestellt.

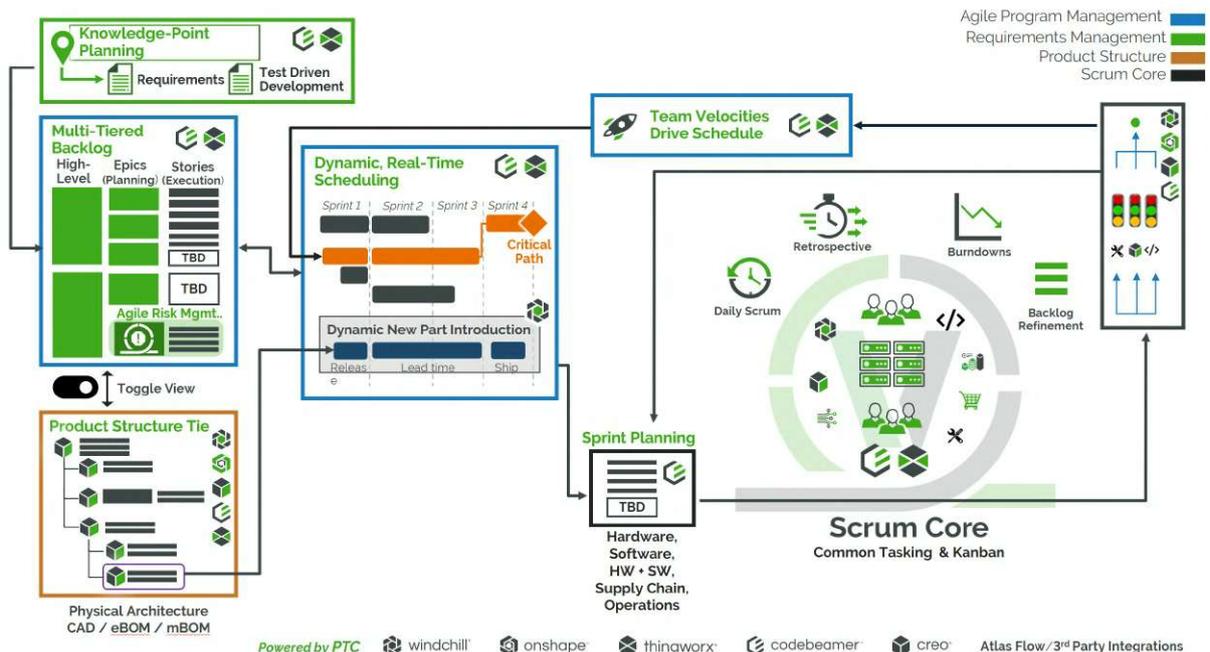


Abbildung 5: Das PTC Framework für die Agile Produktentwicklung, powered by PTC Technology

4. Integration & Produktionsplanung

Die hochautomatisierte Fertigung von konfigurierbaren Fahrzeugen ist eine Kernkompetenz und ein Unterscheidungsmerkmal von führenden Automobilherstellern. Neue Werkzeuge und Methoden müssen diese Fähigkeit stärken und gleichzeitig eine schnellere Fertigungsreife unterstützen.

Mit PTC's Windchill Funktionalitäten für die Fertigung können Produktionsplaner Entwicklungsstücklisten (E-BOM) an mehrere verschiedene Prozessplandefinitionen und Anlagenkonfigurationen anpassen. Dazu werden Entwicklungsstücklisten in eine oder mehrere Fertigungs- und Servicestücklistenstrukturen überführt und Prozesspläne sowie Arbeitsanweisungen erstellt.

Integrationen mit Werkzeugen zur Erstellung von Bewegungs- und Zeitanalysen, Fabrik- und Ergonomie-Simulationen und umfassenden 3D-Visualisierungsmöglichkeiten stehen bereit. Alle abgeleiteten Fertigungsstrukturen werden konsistent varianten- und konfigurationsgesteuert, da die Variantenlogik von der EBOM zu MBOM, SBOM und Prozessplänen automatisch übertragen wird (Abbildung 6).

3D-Master Funktionen stellen den Datenfluss zur Fertigung sicher, um auf Basis dieser maschinenlesbaren Daten und Merkmale eine stärkere Automatisierung der Produktionsvorbereitung für einen schnelleren Prozess und höhere Produktqualität zu erreichen.

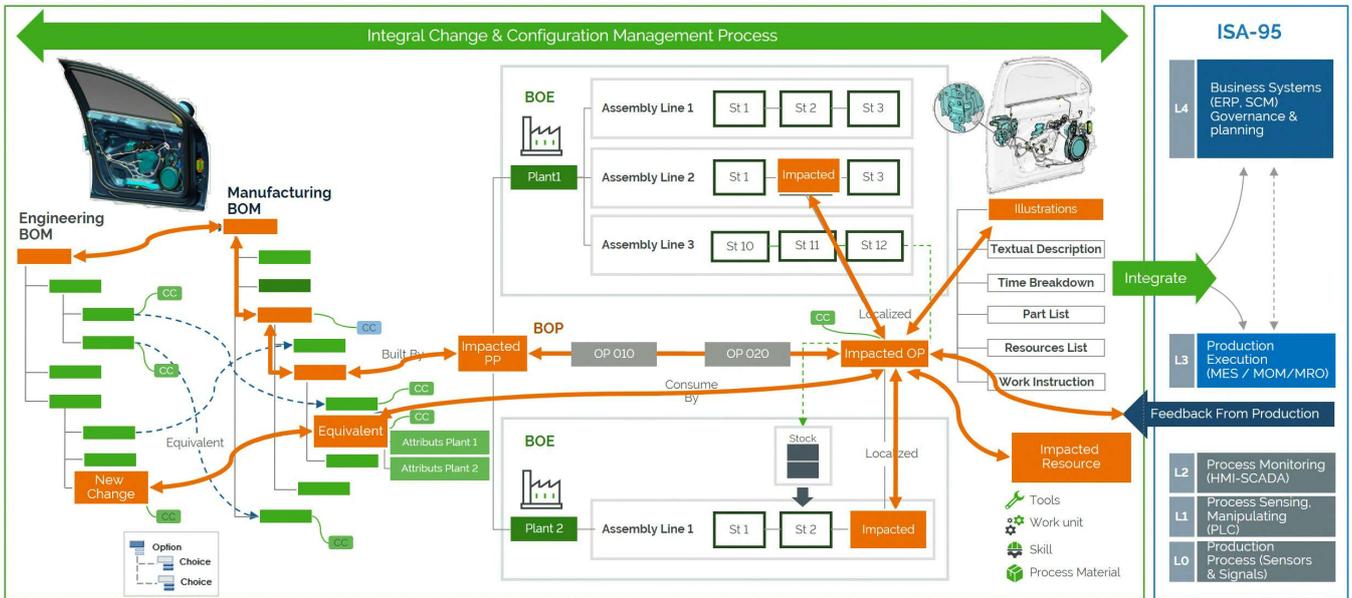
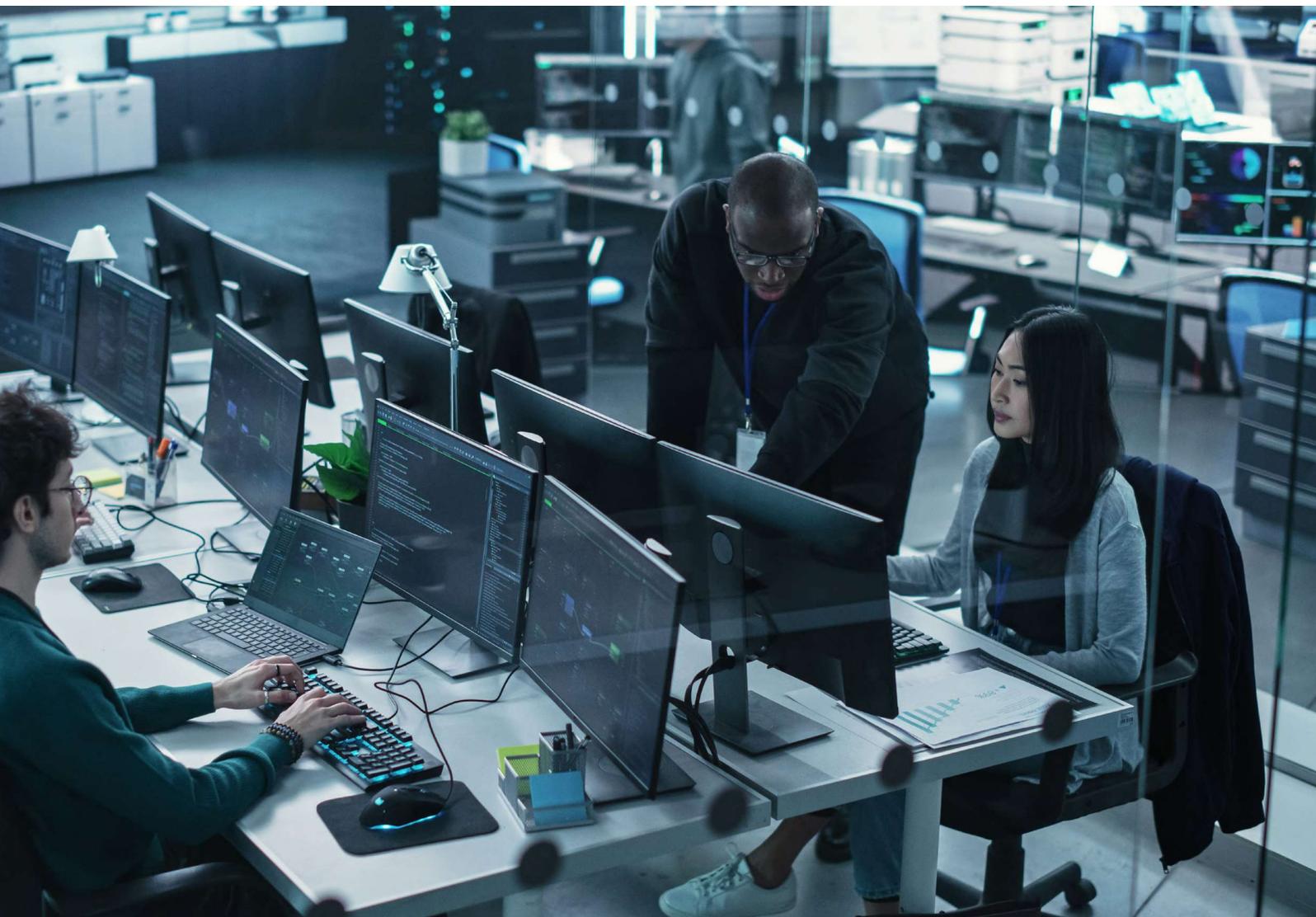


Abbildung 6: Von der technischen Entwicklungsstückliste zur Fertigungsplanung und -ausführung

5. Verifizierung und Validierung

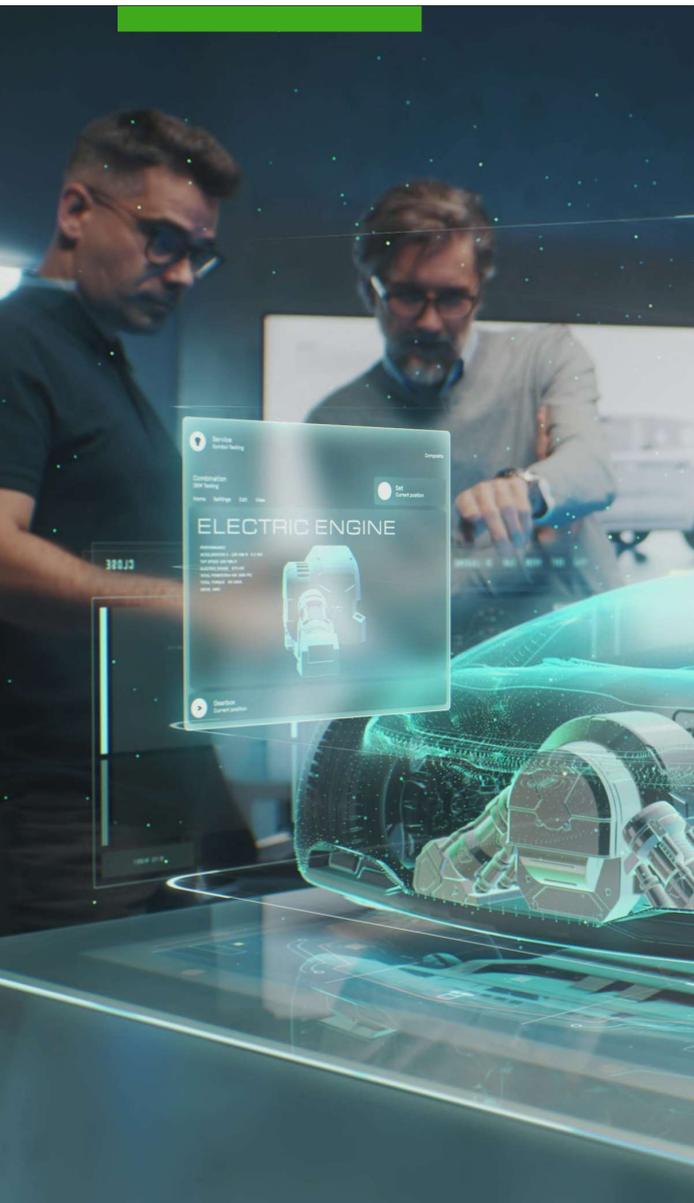
Die erhöhte Änderungsgeschwindigkeit in allen technischen Disziplinen kann zu Folge- und Regressionsfehlern führen, die schnell identifiziert werden müssen, um ihre Auswirkungen zu minimieren. Systematisches und ganzheitliches Verifikations- und Validierungsmanagement ist ein Schlüsselement des „PTC Agile Product Development Framework“. Es stellt sicher, dass Fehler schnell erkannt werden können, es beschleunigt den Feedback-Prozess und unterstützt die Ursachenanalyse durch eine vollständige Rückverfolgbarkeit.

Codebeamer bildet nicht nur die Abhängigkeiten zwischen Softwareanforderungen, Quellcode und entsprechender Validierung ab, sondern bietet auch gleichwertige Funktionen im Bereich der mechanischen und E/E Domäne. Durch die Simulationsintegration in die Test-Automatisierung von Codebeamer können Automobilhersteller den Grad der Testabdeckung erhöhen, Regressionstests in E/E-, Mechanik- und Produktionstechnikentwicklung effizient durchführen und das Qualitätsberichtswesen harmonisieren. Dies verspricht ähnliche Mehrwerte für den physischen Hardwareentwicklungsprozess, wie Softwareteams sie mit CI/CD-Ansätzen bereits erreicht haben. Eine frühere Transparenz im Problemfall wirkt auf die Produktqualität und die Möglichkeiten zur Reduzierung von Kosten durch Nacharbeit.



PTC beschleunigt die Entwicklung von SDV

Das PTC-Produktportfolio mit dem „Agile Product Development Framework“ beseitigt die Barrieren zwischen Software, Mechanik und E/E. Automobilhersteller können dadurch einen Fail-Fast-Ansatz in allen Domänen der Entwicklung etablieren und Feedbackzeiten im gesamten Prozess verkürzen. Das ist der Schlüssel, um Fahrzeuge, die vor allem durch einen immer weiter steigenden Anteil an Software charakterisiert sind, schneller in den Markt zu bringen und bei gleichzeitig hohem Qualitätsanspruch die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.



**Erfahren Sie
mehr über Agile
Produktentwicklung**

**Für weitere Informationen
und Details zum „Agile
Product Development
Framework“ für Software-
defined Vehicles
kontaktieren Sie uns hier.**



121 Seaport Blvd, Boston, MA 02210 : [ptc.com](https://www.ptc.com)

© 2024, PTC Inc. All rights reserved. Information described herein is furnished for informational use only, is subject to change without notice, and should not be taken as a guarantee, commitment, condition or offer by PTC. PTC, the PTC logo, and all other PTC product names and logos are trademarks or registered trademarks of PTC and/or its subsidiaries in the United States and other countries. All other product or company names are property of their respective owners.