

Managing Complexity in Automotive Engineering

Ergebnisse der Studie



i n v e n t

Schuh & Co.
Komplexitätsmanagement

WZL
RWTHAACHEN

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary	4
Ausgangssituation	6
Zielsetzung & Durchführung	7
Methodik.....	8
Standortbestimmung	9
Vielfaltsbeherrschung.....	11
Technologiebeherrschung	15
Prozessbeherrschung	19
Glossar	23
Kontakt	24

Autoren

Schuh, G; Deger, R.; Jung, M;
Meier, J; Lenders, M.

© 2008 Werkzeugmaschinenlabor WZL
der RWTH Aachen.
Alle Rechte vorbehalten.

Executive Summary

Der skalierbare Baukasten wird das Plattform-Konzept ersetzen.

Der Baukasten ermöglicht Kommunalität auf verschiedenen Ebenen.

Modernes Konfigurationsmanagement unterstützt die Durchgängigkeit der Kommunalitätsebenen.

Das Baukastenprinzip erfordert eine langfristige Modulplanung.

Das Release-Engineering ist die Grundlage für eine effektive Planung und Realisierung von Modulen über der Zeit.

Wettbewerbsüberlegenes Komplexitätsmanagement in den Leistungsdimensionen Vielfaltsbeherrschung, Technologiebeherrschung und Prozessbeherrschung ist ein zentraler Erfolgsfaktor für OEMs und Zulieferer. An der Schnittstelle zwischen OEMs und Zulieferern schließt dies deren Wettbewerb um Wertschöpfungsanteile entlang der gesamten automobilen Wertschöpfungskette mit ein.

Aus den Tiefeninterviews mit jeweils mehreren Vertretern der teilnehmenden Automobilhersteller und Zulieferunternehmen kristallisieren sich folgende Aspekte als Standortbestimmung heraus:

Die OEMs konzentrieren sich auf einen Markt, der sich in den letzten Jahren zu einem hochfrequenten Endkundengeschäft mit zahlreichen zielgruppenspezifischen Variationen bei verkürzten Marktzyklen entwickelt hat. Gleichzeitig delegieren sie stärker an ihre Zulieferer. Dies beinhaltet auch zahlreiche Felder, in denen Technologie- und Integrationsfähigkeiten weitgehend von Zulieferern wahrgenommen werden. Jedoch wollen OEMs die teilweise verloren gegangenen Kompetenzen («Lastenheftfähigkeit») wieder zurückgewinnen.

Die Zulieferer nutzen diese Entwicklung bewusster als die OEMs, um verstärkt System- und Lösungskompetenz aufzubauen und sich einen größeren Teil der Wertschöpfungskette zu sichern.

Dabei werden sie zunehmend zu eigenständigen Innovationstreibern. In diesem Rahmen haben die Zulieferer – relativ zu der von ihnen zu meisternden Herausforderung – ihre eigenen Fähigkeiten zur Komplexitätsbeherrschung ausgebaut. Die Komplexitätsbeherrschung kann in drei Leistungsdimensionen untergliedert werden, die sich in der Befragung als vorrangig erwiesen haben:

- Fähigkeiten zur Beherrschung der Produktarchitekturkomplexität – in der Studie vereinfachend als Vielfaltsbeherrschung bezeichnet.
- Fähigkeiten zur Beherrschung der Funktionskomplexität – im Folgenden als Technologiebeherrschung bezeichnet.
- Fähigkeiten zur Beherrschung der Prozesskomplexität – im Folgenden als Prozessbeherrschung bezeichnet.

Obgleich Hersteller und Systemlieferanten in ihren jeweiligen Szenarien unterschiedlichen Herausforderungen gegenüberstehen, sind die Folgerungen und Empfehlungen für beide ähnlich:

- Für die Beherrschung der Vielfalt scheint die Ausweitung des Baukasten-Prinzips unerlässlich – für den OEM können Baukästen die flexiblere Alternative zu dem als zu starr empfundenen Plattform-Prinzip darstellen; für den Zulieferer ermöglichen Baukästen OEM-übergreifende Entwicklungen. Als Voraussetzung für die Gestaltung von Modul-Baukästen stellt sich ein effektives Konfigurationsmanagement dar.
- Für die Verbesserung der Technologiebeherrschung wird die Einführung eines funktionsübergreifenden Release Engineering empfohlen, das die verschiedenen Disziplinen von Mechanik-, Elektronik- und Softwareentwicklung integriert. Zur Umsetzung der OEM-Integrationskompetenz muss eine »deduktive« Entwicklung die »induktive« Entwicklung ergänzen, die den Hersteller in die Lage versetzt, das Verhalten komplexer Gesamtsysteme in frühen Entwicklungsstadien sicher vorherzusagen.

- Um die zugehörigen Prozesse zukunftssicher zu machen, sollten sich die Hersteller die bereits gut ausgebildete Systemkompetenz ihrer Zulieferer zu nutze machen, aber auch kritische Kompetenzen wieder aufbauen, wo sie im Zuge der Auslagerung an die Lieferanten verloren gegangen sind.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass es im Zusammenwirken zwischen OEMs und Zulieferern noch erhebliche beidseitige Gestaltungsspielräume gibt. Der Grad, zu dem diese Spielräume bewusst weiter ausgefüllt werden, wird den dabei aktiveren Partnern Vorteile eröffnen.

Die Kombination von verschiedenen Modulen erfordert ein stärkeres deduktives Systemverständnis als eine induktive Modulsicht.

Es existieren verschiedene Ansätze zur Baukastenbefüllung mit Modulen (Baureihenorientiert, Modulorientiert, Leadbaureihe).

Die Integration der Zulieferer in den Entwicklungsprozess ist abhängig vom Produkt-Know-how.

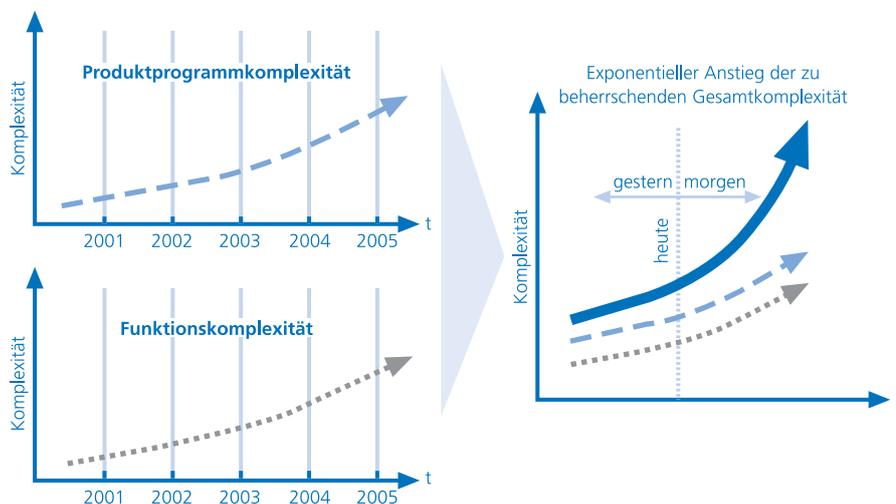
Entwicklungsprozesse müssen zwischen den verschiedenen technologischen Disziplinen stärker vernetzt werden.

Schnittstellen sind ein effektiver Stellhebel, um die Auswirkungen der Dynamik in der Produktarchitektur zu dämpfen.

Ausgangssituation

Top-Qualität zu wettbewerbsfähigen Kosten produzieren und gleichzeitig überzeugende technische und innovative Lösungen anbieten, sind die Herausforderungen mit denen sich die Unternehmen der Automobilindustrie heutzutage konfrontiert sehen. Die Studie »Managing Complexity in Automotive Engineering« zeigt, dass diese Herausforderungen zur kosten-

Die zu beherrschende Gesamtkomplexität steigt exponentiell an



Verschmelzung der Fachdisziplinen Mechanik, Elektronik und Software. Beschleunigt wird die Zunahme der Funktionskomplexität durch einen unvermindert wachsenden Anteil von Elektrik- und Softwarekomponenten im Automobil.

Die resultierende, exponentiell ansteigende Gesamtkomplexität stellt eine neue Herausforderung für die unternehmensinternen und unternehmensübergreifenden Prozesse dar. Zusätzlich erfordern die Effekte globaler Märkte und globaler Wertschöpfungsketten hohe Anforderungen an die Funktionsweise der Unternehmensprozesse in Bezug auf die Koordination verteilter Standorte und die Beherrschung kultureller Probleme.

optimalen Beherrschung der Komplexität für die Unternehmen der Automobilindustrie immer weiter zunehmen. Einerseits liegt dies in einem immer variantenreicheren Produktprogramm begründet, andererseits in der stetig zunehmenden Funktions- und Technologiekomplexität der Automobile.

Die Diversifikation des Marktes zur Erfüllung der heterogenen, globalen Anforderungen und die damit einhergehende Modelloffensive in der Automobilindustrie führen in Kombination mit schnelleren Modellwechseln zu einer steigenden Vielfalt und Dynamik im Produktprogramm. Zusätzlich steigt die Funktionskomplexität des Automobils weiter stark an. Ursache hierfür ist die zunehmende Vernetzung der verschiedenen Fahrzeugkomponenten untereinander, in Verbindung mit der

Aufgrund der Steigerung der Gesamtkomplexität ist die kostenoptimale Komplexitätsbeherrschung ein wesentlicher Faktor für den Markt- und Unternehmenserfolg im Verbund zwischen OEMs und Zulieferunternehmen. Besonders in der exportorientierten Automobilbranche sind Produktinnovationen und eine effiziente Produktentwicklung auch in Zukunft von wettbewerbsentscheidender Bedeutung, um auch künftig internationale Spitzenpositionen sichern und verteidigen zu können. Die Beherrschung der hieraus resultierenden Komplexität wird zur zentralen Aufgabe der heutigen und zukünftigen Automobilindustrie.

Zielsetzung & Durchführung

Die Studie »Managing Complexity in Automotive Engineering« wurde mit der Zielsetzung durchgeführt, die unterschiedlichen Herausforderungen der Komplexitätsbeherrschung in der Automobilindustrie zu untersuchen. Das Komplexitätsmanagement in der Automobilindustrie wurde aus unterschiedlichen Blickwinkeln analysiert, wobei der Betrachtungsbereich der Studie die unternehmensinterne Komplexitätsbeherrschung sowie die Beziehungen zwischen OEM und Zulieferer umfasst. Auf diese Weise betrachtet die Studie die Komplexität, hervorgerufen durch die Vielfalt im Produktprogramm und im Funktionsumfang, sowie die Komplexität in der unternehmensinternen und unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit.

Die Zielsetzung der vorliegenden Studie »Managing Complexity in Automotive Engineering« kann anhand von drei Hauptzielen zusammengefasst werden:

- Untersuchung der OEM- und Zuliefererspezifischen Herausforderungen für die Komplexitätsbeherrschung in der Automobilindustrie
- Identifikation erfolgreicher Ansätze zur kostenoptimalen Komplexitätsbeherrschung
- Erkennung aufkommender Probleme und Trends in diesem Umfeld

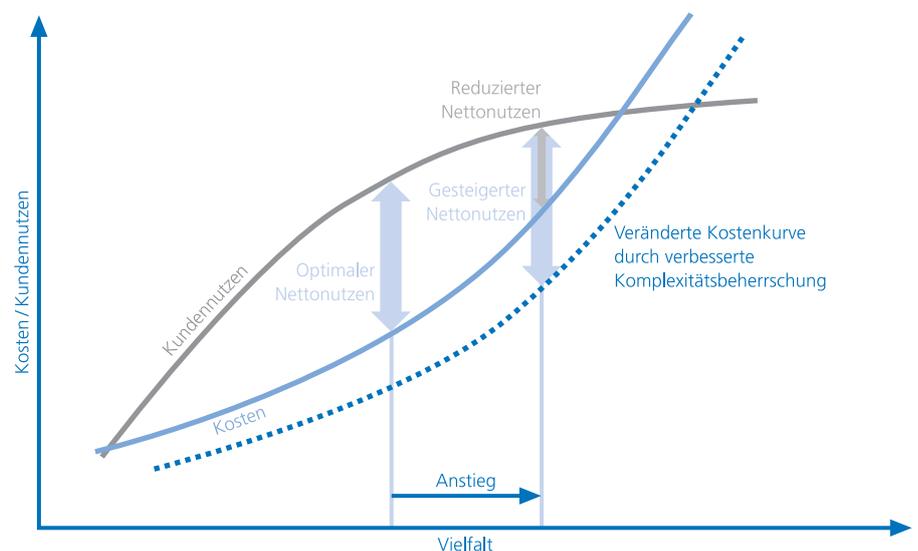
Die Optimierung des Netto-Nutzens als wesentliches unternehmerisches Ziel ist die Grundhypothese der vorliegenden Studie. Diese Hypothese ergibt sich aus der Tatsache, dass mit zunehmender Produktvielfalt der Kundennutzen nur

noch degressiv ansteigt. Die variantenabhängigen Kosten nehmen jedoch überproportional zu. Aufgrund des dargestellten Kurvenverlaufs existiert für jedes Unternehmen eine spezifische Vielfalt mit einem optimalen Netto-Nutzen. Der Fokus der Studie liegt auf der kostenoptimalen Beherrschung der Komplexität und weniger auf einer Erhöhung des Kundennutzens mithilfe einer optimierten Produktdifferenzierung.

Die Studie zeigt den Unternehmen der Automobilindustrie aktuelle und künftige Ansätze zur kostenoptimalen Beherrschung des Komplexitätsmanagements und bietet die Möglichkeit aufkommende Probleme und Trends, hervorgerufen durch die zunehmende Komplexität, frühzeitig zu erkennen.

Leitsatz: »So viel Vielfalt wie erforderlich, so wenig Vielfalt wie möglich.«

Der Fokus der Studie ist die Optimierung des Nettonutzens



Mithilfe einer ganzheitlichen Betrachtung der dargestellten Komplexitätstreiber wird den Unternehmen die Chance gegeben, die richtige Erfolgsmischung für die zukünftige Entwicklung komplexer Produkte zu finden. Aus diesem Grund richtet sich die Studie hauptsächlich an Entwicklungsleiter und involvierte Führungskräfte der Automobilindustrie.

Im Gegensatz zu zahlreichen zum Thema vorhandenen empirischen Studien wurde für diese Studie ein Ansatz gewählt, der ausgehend von persönlichen Interviews mit Führungskräften, die im Umfeld des Komplexitätsmanagements wirken, qualitative Aussagen und detaillierte Hintergrundinformationen erfasst. Zu diesem Zweck wurden jeweils mehrere Befragungen in acht Unternehmen durchgeführt, um ein vollständiges Verständnis bezüglich der Komplexitätsbeherrschung zu erlangen. Die teilnehmenden Unternehmen der Studie waren führende Fahrzeughersteller (OEMs) sowie deren Zulieferunternehmen im Bereich Infotainment, als wesentlicher Innovationstreiber im Interieur, und im Bereich Bremskomponenten, als wesentliches Grundsystem eines Fahrzeugs. Aufgrund dieser Auswahl konnten zusätzlich die verschiedenen Beziehungen zwischen OEM und Zulieferer eingehend untersucht werden.

Es wurden folgende Betrachtungsschwerpunkte gesetzt:

- Prozesskomplexität – Beherrschung der Abläufe in der Produktentwicklung
- Produktkomplexität – Beherrschbarkeit der Variantenvielfalt
- Organisationskomplexität – Beherrschbarkeit der externen und internen Zusammenarbeit

Die vorliegende Studie »Managing Complexity in Automotive Engineering« entstand in Zusammenarbeit des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen, der Unternehmen Parametric Technology Corporation (PTC), Hewlett Packard (HP) und der Schuh & Co. Komplexitätsmanagement GmbH.

Unser besonderer Dank gilt an dieser Stelle den teilnehmenden Unternehmen der Automobilindustrie, ohne deren Unterstützung die Durchführung der Studie nicht möglich gewesen wäre.

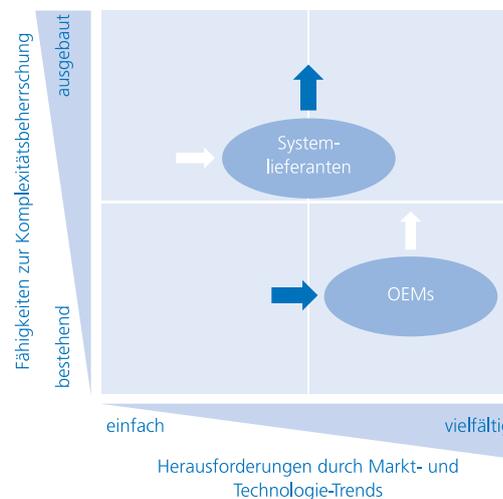
Die Ergebnisse der Studie lassen einen grundsätzlichen Trend hinsichtlich der Entwicklung der Rollenprofile von OEMs und Systemlieferanten erkennen – Systemlieferanten und OEMs haben sich entsprechend ihrer Geschäftsmodelle unterschiedlich und über weite Strecken komplementär aufgestellt, um die wachsende Komplexität aus ihrer Sicht zu beherrschen.

Um Marktanteile durch die Erfüllung immer anspruchsvollerer Kundenwünsche hinzuzugewinnen, haben die befragten Hersteller (OEMs) in der jüngeren Vergangenheit ihre Fähigkeiten primär im Hinblick auf die »Kernkompetenz Endkunde« gezielt weiterentwickelt. Dadurch werden Kundenwünsche immer differenzierter bedient und neue Modelle bzw. Derivate in immer kürzeren Zyklen zur Marktreife gebracht (Arbeitsbegriff: »Hochfrequenzgeschäft«).

Diese Konzentration auf den Endkunden und die Beschleunigung der Modellfrequenz wurde zum Teil erst durch Systemlieferanten ermöglicht, die durch den Ausbau der eigenen Technologie- und Systemkompetenz entlastend wirkten. Dies ermöglichte es den Herstellern, für sich die Schlüsselrolle des Integrators auf Gesamtfahrzeugebene und den Aufbau einer markenorientierten, selektiven Technologiekompetenz in den Vordergrund zu stellen.

Im Zuge des Aufbaus ihrer Systemkompetenz machen sich Zulieferer größere Abschnitte der Wertschöpfungskette zueigen und schlüpfen zunehmend in die Rolle als Vernetzer und Innovationstreiber. Demgegenüber werden OEMs stärker von den externen Markt- und Technologietrends beherrscht. Mit einer steigenden Technologie- und Markt-Abhängigkeit von den Systemlieferanten besteht für OEMs die Gefahr einer reduzierten Konzept- und Bewertungsfähigkeit.

Standortbestimmung der befragten Unternehmen



- Die Beherrschung der hervorgerufenen Komplexität wird derzeit von den OEMs teilweise aus der Hand gegeben, um das »Hochfrequenz-Geschäft« leben zu können
- Systemlieferanten unterstützen das Hochfrequenzgeschäft der OEMs, indem sie durch den eigenen Ausbau der Technologie- und Systemkompetenz entlastend wirken

- ➡ relativ starke Entwicklungsrichtung
- ⇨ relativ schwache Entwicklungsrichtung

Grundsätzlich lassen sich die aus der Befragung gewonnenen qualitativen Aussagen in drei Leistungsdimensionen ordnen, die in der Folge als Leitfaden für die systematische Ermittlung von Optimierungspotenzialen herangezogen werden sollen.

- Vielfaltsbeherrschung = Fähigkeit zur Beherrschung der Produktarchitekturkomplexität
- Technologiebeherrschung = Fähigkeit zur Beherrschung der Funktionskomplexität
- Prozessbeherrschung = Fähigkeit zur Beherrschung der Prozesskomplexität

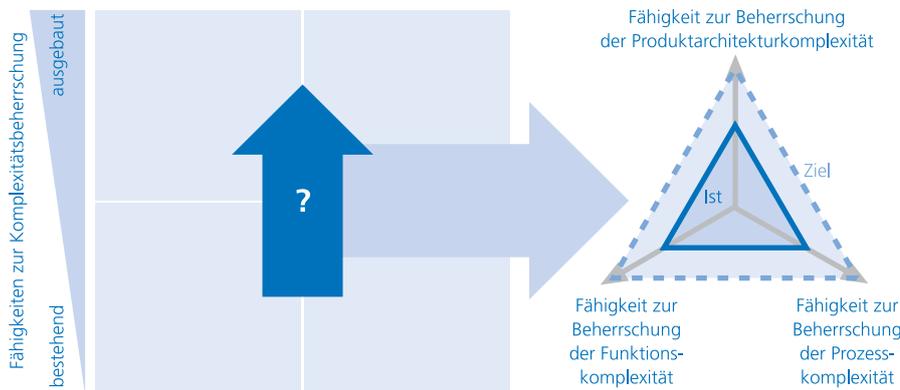
Vielfaltsbeherrschung: OEMs propagieren Wiederverwendungsstrategien in firmenspezifischen Ausprägungen. Systemlieferanten sind konsequent und maximieren Wiederverwendung durch Plattformen.

Technologiebeherrschung: Die Ausprägung der Integratorenrolle der OEMs ist im Fluss. Systemlieferanten übernehmen Technologie- und Qualitätsführerschaft durch Kompetenzzuwachs und Systembeherrschung.

Prozessbeherrschung: Prozessunsicherheiten begrenzen die Umsetzungseffizienz bei OEMs. Systemlieferanten sind zu den OEMs hin einerseits flexibel kundenorientiert und andererseits gestaltungswillig.

Die in der Unternehmensbefragung herausgearbeiteten Leistungsdimensionen unterstützen sich gegenseitig und stellen keine Zielkonflikte dar.

Ansätze zur Verbesserung der Komplexitätsbeherrschung



In der Vergangenheit wurden Baureihen insbesondere in der europäischen Automobilindustrie nach unterschiedlichen Vorgaben und auf der Basis unterschiedlicher Architekturen bzw. Strukturen sowie unter Einsatz unterschiedlicher technischer Lösungen individuell entwickelt. Ziel war eine größtmögliche Individualisierung für den Kunden, allerdings mit der Folge erheblicher Komplexität – teuer zu entwickeln, aufwändig zu produzieren und schwer zu beherrschen.

Es herrscht Konsens bei allen Befragten, dass die Auffächerung des Produktprogramms Wiederverwendungsstrategien erforderlich macht. Zukünftig gehen die Unternehmen dazu über, die unterschiedlichen Baureihen verstärkt aus einem gemeinsamen Modulbaukasten heraus zu entwickeln.

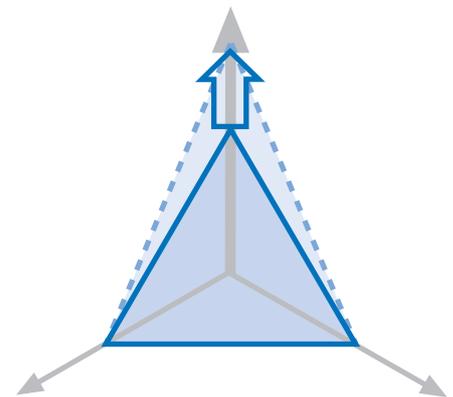
Die Studie hat gezeigt, dass der Begriff des Baukastens bei allen befragten OEMs vorhanden ist. Dennoch unterscheiden sich die befragten Unternehmen deutlich bezogen auf den Qualitäts- und Füllungsgrad der verwendeten Baukästen.

Der Begriff der Plattform wird in den befragten Unternehmen immer mehr durch den Begriff der Produktfamilie verdrängt. Plattformen haben sich in der Praxis als ein zu statisches, d.h. unflexibles Konstrukt dargestellt und werden deshalb bei allen Unternehmen durch baureihenübergreifende und skalierbare Baukästen abgelöst. Das Baukastenprinzip erweitert das Kom-

munalitätsverständnis gegenüber dem Plattformansatz, indem Gemeinsamkeiten zwischen den verschiedenen Produktfamilien berücksichtigt werden. Zukünftig wird die Kommunalität zwischen den Baukästen durch den einen sogenannten »Meta-Baukasten« erschlossen, einem Baukasten über dem Baukasten.

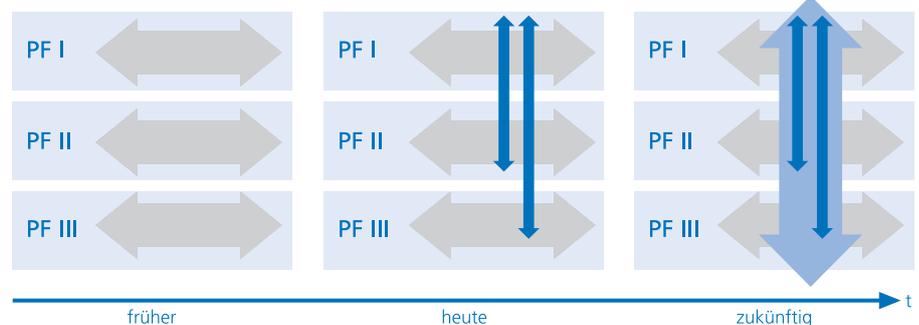
Kommunalität im Baukasten kann auf mehreren Ebenen erschlossen werden. Je heterogener die im Baukasten umgesetzten Anforderungen, desto eher sind neben der physischen Kommunalität auch weitere Kommunalitätsebenen zu erschließen. Neben der physischen Kommunalität existieren die technologische Kommunalität und die Kommunalität in Bezug auf Anforderungen, Funktionen oder Produkteigenschaften.

Fähigkeit zur Beherrschung der Produktarchitekturkomplexität



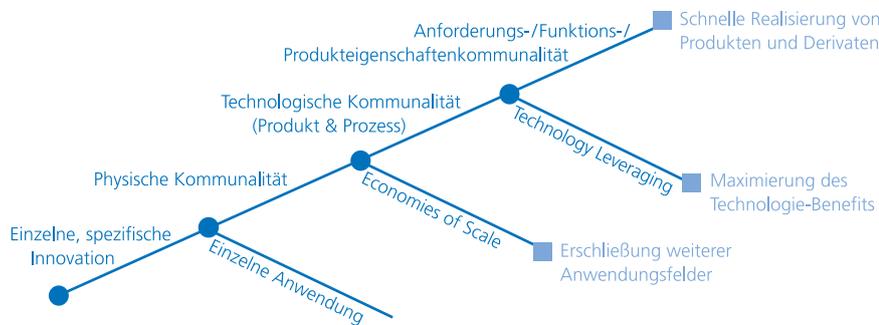
Skalierbare Baukästen ersetzen zukünftig das Plattformkonzept

»Meta-Baukasten«: Baukasten über den Baukästen



- PF Produktfamilie
- ↔ schwache Kommunalitätsumsetzung
- ↔ starke Kommunalitätsumsetzung
- Meta-Baukasten
- Plattformansatz
- Baukasten

Kommunalität kann auf verschiedenen Ebenen erzielt werden



Die technologische Kommunalität ermöglicht die Maximierung des Technologie-Benefits, während die Kommunalität auf der Ebene von Anforderungen, Funktionen und Produkteigenschaften die schnelle Realisierung gewährleistet. Auf jedem einzelnen der unterschiedlichen Kommunalitätsniveaus kann die gesamte Kommunalitätskaskade durchlaufen werden. Die Kaskade besteht aus dem Vollkommunalmodul, dem Baukasten- bzw. Familienmodul, dem Derivatmodul und der applikationsspezifischen Lösung. Die einzelnen Bestandteile der Kaskade unterscheiden sich anhand ihres Differenzierungsbeitrags, wobei das Baukastenmodul, das Derivatmodul und die applikationsspezifische Lösung varianzerzeugende Module darstellen.

Modernes Konfigurationsmanagement unterstützt die Durchgängigkeit der Kommunalitätsebenen

Die kommunale Produktarchitektur eines Baukastens ist mit einer Regellogik kundengerecht, konfliktfrei und durchgängig zu konfigurieren. Der Aufbau der Regellogik muss bereits bei den Anforderungen aller betrachteten Produktfamilien beginnen und nachvollziehbar dargestellt werden. Zusätzlich muss die Regellogik, beginnend bei der Definition der Anforderungen über die Festlegung der Produktspezifikationen bzw. Produktfunktionen bis hin zur Konzeption der physischen Bauteile und der notwendigen Prozesse, alle Schritte umfassen.

Eine intelligente Gestaltung des Baukastens ist die Basis eines modernen Konfigurationsmanagements. Das Baukastensystem beschreibt ein vom Unternehmen vorkonfiguriertes Produktprogramm. Die Funktionen eines Baukastens werden unterteilt in Grundfunktionen, Hilfsfunktionen, sowie für den Kunden vorgedachte Sonderfunktionen und Anpassfunktionen.

Die auftragsspezifischen Funktionen sind nicht im Konfigurationsraum vorgedacht, wobei es aber insbesondere für zahlreiche Zulieferer gilt, das Mischsystem erfolgreich zu beherrschen. Diese auftragsspezifischen Umfänge sind weniger im Umfeld der OEMs anzutreffen, sondern eher im Umfeld der Zulieferunternehmen, um OEM-spezifische bzw. modellspezifische Anpassungen im Produkt realisieren zu können. Hierbei gilt es, diese auftragsspezifischen Umfänge aus dem Gesamtprodukt »herauszulösen«, um den Einfluss auf das Restsystem minimal zu halten.

Die Studie hat gezeigt, dass in der deutschen Automobilindustrie Fahrzeuge immer noch in spezifischen, baureihen- gebundenen Projekten entwickelt werden. Eine baureihenunabhängige Modulentwicklung, die sich am Reifegrad des Moduls orientiert, findet selten statt. Eine Produktstrukturierung zur baureihenübergreifenden Kommunalitätssteigerung ist somit in den Unternehmen immer noch eine Ausnahme bzw. befindet sich derzeit im Aufbau.

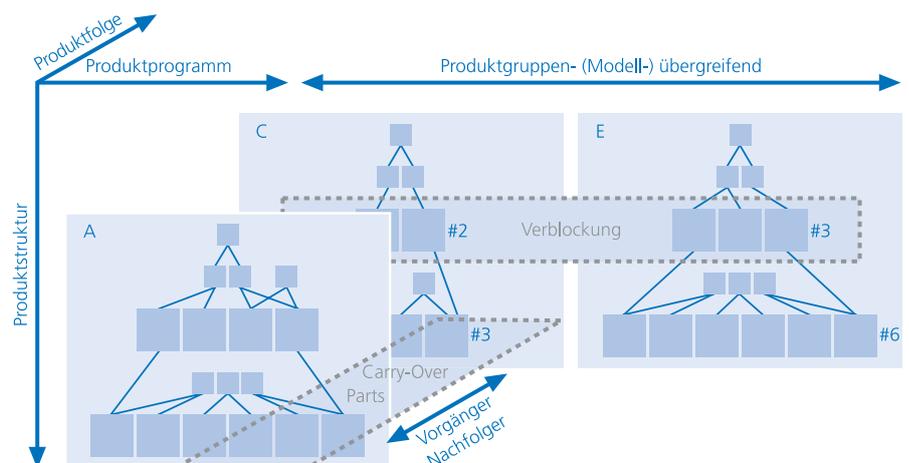
In der Praxis führen unabgestimmte Prozesse in der Vorentwicklung und in der Serienentwicklung zu einer unzureichenden Kommunalität im gesamten Produktprogramm. Die Chance durch physische und logische Plattformen eine optimale Kommunalität zu erzielen, wird noch nicht im gewünschten Ausmaß genutzt.

Kommunalitäten können sowohl im aktuellen Produktprogramm als auch zwischen Vorgängern und Nachfolgern realisiert werden. Abhängig von der F&E-Strategie sind jedoch die Kommunalitätsschwerpunkte bei Innovationsführern und Kostenführern unterschiedlich ausgeprägt. Bei Innovationsführern liegt der Kommunalitätsschwerpunkt eher auf einer »Verblockung« der Module, die produktgruppenübergreifend eingesetzt werden können.

Daraus ergibt sich eine hohe Aktualität bzw. Innovativität aller Produkte, die aufwandsoptimal umgesetzt werden kann. Kostenführer fokussieren dagegen bei ihrem Kommunalitätsschwerpunkt stärker auf so genannte »Carry-Over« Parts. Carry-Over Parts sind Module, die das Nachfolgermodell vom Vorgänger übernehmen kann, um auf diese Weise die Entwicklungskosten möglichst gering zu halten.

Die befragten Systemlieferanten setzen dagegen in ihrem spezifischen Kompetenzbereich bereits konsequent auf die Anwendung eines modularen Produktaufbaus: Grundmodule und Plattformen fördern eine hohe Wiederverwendung. Im Vergleich zu OEMs haben die befragten Systemlieferanten ein erweitertes Verständnis des Plattform-Begriffes. So unterscheidet man im Infotainment-Bereich zwischen physischen Plattformen und softwaretechnischen Plattformen.

Es können verschiedene Kommunalitätsschwerpunkte durch Modularisierung realisiert werden



Anders als OEMs geben die befragten Systemzulieferer an, Entwicklungsergebnisse und Bauteile aus früheren Modellreihen bereits zu einem großen Anteil übernehmen zu können, wobei eine hohe Wiederverwendung bei kostenintensiven Bauteilen bevorzugt wird. Häufig wird der verwendete Lösungsansatz bewusst überdimensioniert, um eine übergreifende Einsetzbarkeit zu ermöglichen. Individuelle Entwicklungen werden überwiegend im sichtbaren Bereich des Interieurs aufgrund der endkundenspezifischen Optik und Haptik durchgeführt. Die zugrunde liegende Produktarchitektur wird wiederverwendet oder bei einer Neuentwicklung durch den OEM bezahlt.

Zur Bewertung von variantenbedingten Komplexitätskosten existieren verschiedene Herangehensweisen. Die Anwendung der jeweiligen Komplexitätskostenbewertung ist abhängig von den strategischen Zielen hinsichtlich der durchgeführten Variante. Die Berechnung der Komplexitätskosten mit dem geringsten Aufwand erfolgt über die Bewertung von Varianten anhand qualitativer Merkmale. Im Vordergrund steht die schnelle Umsetzung der Variante. Bei der Vergleichsrechnung erfolgt die Bewertung der Komplexitätskosten bezogen auf das definierte Referenzfahrzeug. Das Referenzfahrzeug kann Gültigkeit für eine oder mehrere Baureihe(-n) oder für den gesamten Konzern besitzen.

Der Aufwand für die Vergleichsrechnung ist etwas geringer als für die Anwendung der Absolutrechnung. Die Absolutrechnung bewertet den gesamten Prozess der Variantenentstehung; ist aber aufgrund des hohen Aufwands in den Unternehmen kaum vorzufinden.

Die wichtigsten Kernaussagen zur Beherrschung der Produktarchitekturkomplexität sind zusammengefasst:

- Der Baukasten ermöglicht Kommunalität auf verschiedenen Ebenen
- Der skalierbare Baukasten wird zukünftig das Plattformkonzept ersetzen
- Modernes Konfigurationsmanagement unterstützt die Durchgängigkeit der Kommunalitätsebenen

Im Automobil besitzt die Elektrik & Elektronik derzeit die höchste Dynamik und entwickelt sich zu einem wesentlichen Innovationstreiber. OEMs identifizieren sich in diesem Bereich mit der Integratorenrolle (»Kernkompetenz Systemintegration«), wobei teilweise Probleme auftreten, im »deduktiven« Ansatz selber die Fahrzeuge durchgängig gestalten zu können.

Koordinationsprobleme bereitet den OEMs vor allen die Heterogenität der disziplinspezifischen Entwicklungsprozesse von Mechanik, Elektrik & Elektronik und Software. Disziplinübergreifende Prozesse sind derzeit noch die Ausnahme; Abstimmungsprobleme werden häufig über sogenannte Koordinatorenrollen gelöst. Gleichzeitig erkennen OEMs die Gefahr einer reduzierten Konzept- und Bewertungsfähigkeit (Lastenheft-Kompetenz) als Folge einer steigenden Technologie- und Marktabhängigkeit von den Systemlieferanten im Bereich Elektrik & Elektronik.

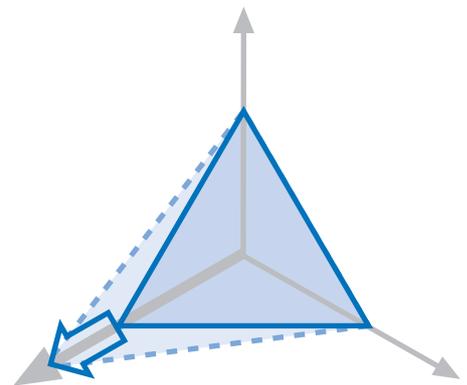
Systemlieferanten andererseits erkennen und nutzen die Chance zur Emanzipierung durch Übernahme der Technologie- und Qualitätsführerschaft in ihrem Bereich durch Kompetenzzuwachs und Systembeherrschung konsequent.

Im untersuchten Bereich Infotainment folgt die Innovationsdynamik den Zyklen von Elektrik & Elektronik. Zulieferer entwickeln in 3–5 Jahreszyklen (im betrachteten Produktbereich) OEM-übergreifende Plattformen und beherrschen die Vernetzung zwischen den angebotenen Modulen, um als Systemanbieter auftreten zu können. Die Wiederverwendbarkeit von Grundmodulen wird durch Architekturen gesichert, die separat kundenspezifische Ausprägungen bzw. Anbindungen erlauben.

Der Fokus, den Systemlieferanten auf Wiederverwendbarkeit von Grundmodulen richten, schlägt sich auch in der Tatsache nieder, dass diese gegenüber den OEMs deutliche Unterschiede in der Budgetverteilung in den einzelnen Projektphasen aufweisen: Besonders der Anteil für die Konzeptentwicklung ist deutlich höher. Generell soll diese Phase im Sinne eines »Frontloading« bei den Systemlieferanten weiter gestärkt werden.

Die Herausforderung in der Modul- und Technologiegestaltung besteht darin, mitunter die teilweise heterogenen Anforderungen mehrerer Baureihen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund kommt der Modul- und Technologieentwicklung bei der Umsetzung des Baukastenprinzips eine steigende Bedeutung zu. Im Rahmen der Studie konnten drei verschiedene Typen der Baukastenfüllung identifiziert werden.

Fähigkeit zur Beherrschung der Funktionskomplexität



Das Baukastenprinzip erfordert eine langfristige Modulplanung.

Es existieren verschiedene Typen der Baukastenbefüllung

Typ 1: Baureihen-orientiert

- Baureihen formulieren ihre Anforderungen und steuern diese in die Technologie-/Modulentwicklung ein
- Keine/geringe Budgetverantwortung der Modulentwicklung
- Beschränkter Planungs-/Einflusshorizont

Typ 2: Modul-orientiert

- Modulentwicklung füllt »Regal« und antizipiert den Bedarf der Module für die Baureihen
- Budgetverantwortung liegt bei der Modulentwicklung
- Geringer Entwicklungsaufwand bzw. Anpassungsaufwand bei Baureihen

Typ 3: Mittelweg über Leadbaureihen

- »Erstausrüstung« des Baukastens über die Leadbaureihe
- Leadbaureihe kann aus den maximalen Anforderungen der Derivate einer Baureihe bestehen

Bei dem modulorientierten Typ der Baukastenbefüllung ist die Modulentwicklung für die Füllung des »Regals« verantwortlich und antizipiert den Bedarf der Module für die Baureihen. Die Budgetverantwortung liegt bei diesem Typ hauptsächlich bei der Modulentwicklung, da die Baureihe nur einen geringen Entwicklungsaufwand für die applikationsspezifische Entwicklung verantwortet.

Beim dritten Typ, dem Mittelweg über Leadbaureihen, erfolgt die »Erstausrüstung« des Baukastens über die Leadbaureihe. Die Leadbaureihe wird aus den maximalen Anforderungen über alle betroffenen Baureihen bestimmt, wobei die Ausprägungen der Leadbaureihe OEM-spezifisch sind. Die Leadbaureihe kann somit ein nicht reales Gesamtfahrzeug repräsentieren, das bezogen auf den Baukasten einen Mix heterogener Anforderungen darstellen kann.

Die unterschiedlichen Typen der Baukastenbefüllung können im Unternehmen zu verschiedenen Konflikten führen, da die Entwicklung einer Modulvariante insbesondere abhängig vom absetzbaren Volumen und vom Innovationspotenzial ist. Aufgrund dieser Tatsache existiert ein Spannungsfeld bei der Entwicklung der Modulvarianz. Auf der einen Seite besitzen die volumenstarken Baureihen einen großen Einfluss auf die Definition der Anforderungen eines Moduls. Daraus ergibt sich ein möglicher Konflikt mit dem Ansatz Innovationen aus den höherwertigen Baureihen bzw. Segmenten Top-Down in die Modulentwicklung einfließen zu lassen. Zusätzlich existieren Anforderungen an die Modulentwicklung, die sich aus technischen Restriktionen z. B. Bau-raumbeschränkungen ergeben.

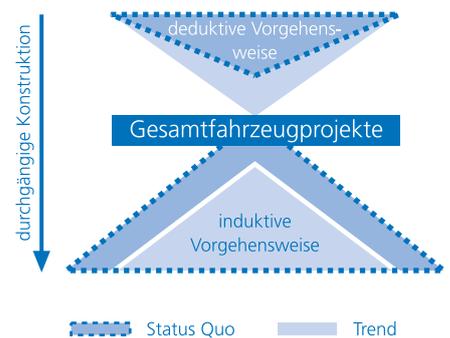
Bei dem baureihenorientierten Typ formulieren die Baureihen die Anforderung an die Modulentwicklung. Diese Vorgehensweise hat zur Folge, dass unausgeglichene Machtverhältnisse zwischen den Baureihen Einfluss auf die Modulentwicklung nehmen und es zu einer ungewollten Dominanz bei der Festlegung von Produktmerkmalen kommt. Bei der Modulentwicklung liegt nur eine geringe Budgetverantwortung. Aus diesem Grund ist der Planungs- und Einflusshorizont bei diesem Typ der Baukastenbefüllung sehr beschränkt.

Die Anforderungen eines innovationsstarken Premiumsegments und die auf Kosteneinsparung fokussierenden Anforderungen eines Volumenmodells in der Modulentwicklung zu verknüpfen, führt aufgrund der Heterogenität der Anforderungen zu einem zusätzlichen Konfliktpotenzial bei der Füllung des Baukastens. Die Herausforderung für die Unternehmen besteht in der Integration der verschiedenen, heterogenen Anforderungen in einem Baukasten. Eine mögliche Lösung eines solchen Konflikts bieten so genannte Modulverträge, bei denen unter Abstimmung aller beteiligten Partner (Modulentwickler und Baureihenentwickler) eine verbindliche Regelung festgelegt wird, wo und wann die Module eingesetzt werden.

Die Entscheidung für oder gegen eine Modulvariante erfolgt im Zusammenspiel zwischen Baukasten- und Baureihenverantwortlichen. Mit zunehmender Ausrichtung auf eine Baukasten-Strategie gewinnt die baureihenübergreifende Modulentwicklung jedoch an Bedeutung. In Zukunft werden Baukästen produktlinienübergreifend entwickelt und besitzen einen kommunalen Kern sowie einen produktspezifischen Anteil. Die Baukästen werden bereits in der Konzeptphase mit allen Eigenschaften der Derivate entwickelt, wobei der kommunale Anteil des Baukastens konstant bleibt. Die detaillierte Ausgestaltung des produktlinienspezifischen Anteils erfolgt erst in der Serienentwicklung der jeweiligen Derivate.

Der Status quo in der Automobilindustrie zeigt einen starken Anteil einer induktiven Vorgehensweise in der Produktentwicklung. Die Entwicklung der einzelnen Produktbestandteile erfolgt nahezu unabhängig voneinander und berücksichtigt die Anforderungen an das Gesamtsystem nur unzureichend. Erst im späteren Verlauf der Entwicklung, bei der Zusammenführung der Einzelkomponenten zum Gesamtsystem, wird ein Abgleich mit den Anforderungen des Gesamtsystems gemacht. Mithilfe der induktiven Vorgehensweise können aber die Eigenschaften des Gesamtsystems nicht vollständig erfasst werden. Aus diesem Grund muss zukünftig die induktive Vorgehensweise durch einen stärkeren deduktiven Ansatz ergänzt werden, um den Anforderungen einer zunehmenden Baukastenentwicklung zu begegnen. Das Konfigurationsmanagement und das Schnittstellenmanagement gewinnen aufgrund der deduktiven Vorgehensweise, die für einen Systemintegrator im Sinne eines Baukastens notwendig ist, an Bedeutung.

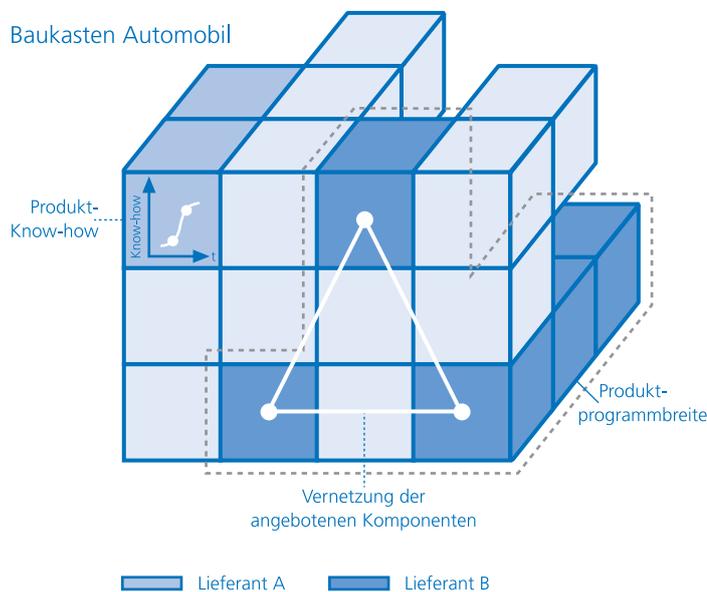
Die »deduktive« Vorgehensweise bildet die Basis für die Baukastenentwicklung



Innovationen im Rahmen der Modulentwicklung erfolgen in den Unternehmen sowohl durch interne als auch durch externe Know-how Träger. Aufgrund dieser Tatsache ergibt sich für die Zulieferunternehmen die Chance, ihre Beziehung gegenüber dem OEM selbst zu beeinflussen.

Die Kompetenz wird bestimmt durch das Produkt-Know-how, die Programmbreite und die Vernetzung

Baukasten Automobil



Diese Beziehung der Zulieferunternehmen gegenüber dem OEM wird bestimmt durch das eigene Produkt-Know-how, die angebotene Produktprogrammbreite und durch den Grad der Vernetzung zwischen den angebotenen Komponenten. Vor allem die Kompetenz unterschiedliche Module miteinander vernetzen zu können, was die Kernaufgabe heutiger OEMs als Systemintegrator ist, verschafft den Zulieferunternehmen zahlreiche Vorteile gegenüber der Konkurrenz, da das Unternehmen einen wettbewerbsentscheidenden Zusatznutzen generieren kann.

Bei der Integration bzw. Vernetzung der Einzelbestandteile des Systems können hierbei Eigenschaften des Gesamtsystems auftreten, die nicht durch die Kombination der Eigenschaften der Einzelbestandteile erklärbar und vorhersehbar sind. Diese Gefahr tritt insbesondere bei der Vernetzung der Einzelkomponenten z. B. der Steuergeräte im E/E-Bereich auf. Diese Eigenschaft eines komplexen Systems wird als Emergenz bezeichnet.

Die wichtigsten Kernaussagen zur Beherrschung der Funktionskomplexität sind zusammengefasst:

- Das Baukastenprinzip erfordert eine langfristige Modulplanung.
- Es existieren verschiedene Ansätze zur Baukastenbefüllung mit Modulen (Baureihenorientiert, Modulorientiert, Leadbaureihe).
- Die Kombination von verschiedenen Modulen erfordert eine stärkere deduktive Systemsichtweise als eine induktive Modulsicht.

Entwicklungsprozesse sind bei den befragten OEMs noch sehr stark standort- und disziplinenbezogen. Die Zusammenarbeit ist geprägt von informellen Arbeitsweisen und wird behindert durch »Informations-Silos«, die die Möglichkeiten der Weiter- und Wiederverwendung von Informationen stark einschränken.

Die Produktstrukturierung erfolgt je nach OEM-Philosophie: mit funktionalem Schwerpunkt zur Optimierung der Produkteigenschaften, mit Schwerpunkt Design for Manufacturing and Assembly zur Steigerung der Fertigungseffizienz und Senkung der Gesamtkosten oder mit Schwerpunkt Elektrik & Elektronik.

Nach wie vor ist festzustellen, dass einzelne Fachdisziplinen die Produktstrukturierung bestimmen. In der Vergangenheit war dies bei den OEMs die Karosserieentwicklung (Geometrie). Im Zuge des steigenden Anteils von Elektrik & Elektronik an der Gesamtwertschöpfung wird die Dominanz der Geometrie zunehmend zurückgestellt.

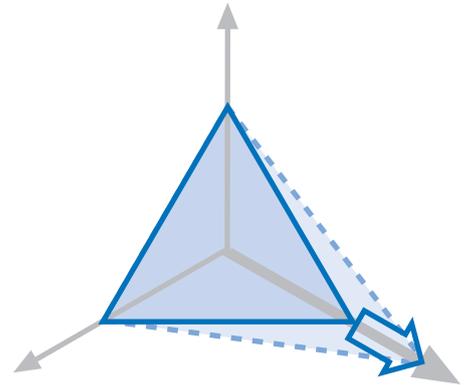
Dies spiegelt sich in Unklarheiten bei der Handhabung von Produktentwicklungsdaten wider: Entwicklungs- bzw. Produktstrukturen ab der Konzeptentwicklung sind nicht klar verankert und/oder werden nicht eindeutig prozessunterstützend bereitgestellt.

Die Informationsgenerierung und -verwaltung erfolgt vorwiegend manuell, mit der Folge, dass Daten stark verteilt und ggf. redundant gehalten werden.

Eine Reduzierung der Prozesskomplexität im Netz OEM/Zulieferer wird angestrebt, aber oft nicht erreicht: Die Anforderungen des OEM sind oft situativ motiviert, häufig fehlt eine partnerschaftliche Kultur oder ist nicht angestrebt. Einbindungszeitpunkte von Systemlieferanten werden situativ gewählt; teilweise proaktiv durch technologiekompetente Systemlieferanten veranlasst bzw. vorverlegt.

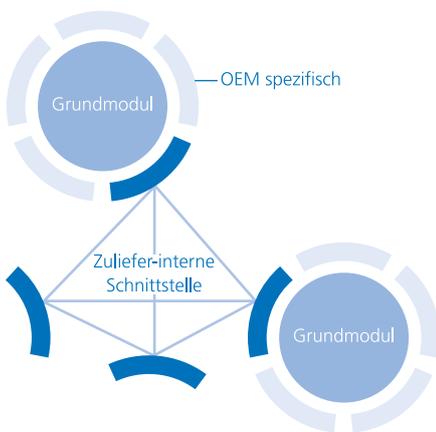
Dementsprechend bleibt den Systemlieferanten nur ein flexibler Ansatz, um sich nach den jeweiligen OEM-Kunden zu richten bzw. die jeweils möglichen Spielräume optimal auszunutzen. Dies erfordert die Orientierung an vielfältigen Arten von Vorgaben, z. B. Schnittstellen, Bauräume, Detaillierungsgrade und Zielpräferenzen, die sich von OEM zu OEM und Projekt zu Projekt unterscheiden können. Dabei bevorzugen die Zulieferer eine möglichst frühzeitige Einbindung, um einen möglichst weiten Gestaltungsspielraum mit zu bestimmen.

Fähigkeit zur Beherrschung der Prozesskomplexität



Die Integration der Zulieferer in den Entwicklungsprozess ist abhängig vom Produkt-Know-how.

Der Baukasten Aufbau erfolgt bei Systemlieferanten mit einem hohen Kommunalitätsanteil



Schnittstellen sind ein effektiver Stellhebel, um die Auswirkungen der Dynamik in der Produktarchitektur zu dämpfen.

Somit kommt im Sinne der Systemintegration der Gestaltung der Schnittstellen und Wechselwirkungen zwischen den Komponenten zur Beherrschung der Emergenz des Gesamtsystems eine zentrale Rolle zu. Um einen hohen Kommunalitätsgrad im Baukasten zu erreichen, verwenden Zulieferunternehmen systeminterne Schnittstellen, mit deren Hilfe die verschiedenen Grundmodule, d. h. ohne auftragspezifische Anteile, miteinander gekoppelt werden können. Diese Vorgehensweise kann zu einem Vorteil gegenüber dem Wettbewerb werden und erlaubt eine auftragsunabhängige technologische Weiterentwicklung des Gesamtprodukts. Der auftrags- bzw. OEM-spezifische Anteil erfolgt über die OEM-bezogene Schnittstelle.

Zusätzlich ist die intelligente Definition von Schnittstellen ein effektiver Hebel zur Abfederung der Anforderungsdynamik in der Produktarchitektur. Dennoch ergibt sich bei der Definition von Schnittstellenstandards ein Spannungsfeld.

Auf der einen Seite sichern effektive Schnittstellen die Erweiterbarkeit und die Austauschbarkeit von Modulen im Baukasten. Ein weiterer Vorteil von Schnittstellenstandards ist die Tatsache, dass sich dynamische Anforderungsänderungen effizienter in die Produktarchitektur integrieren lassen.

Dem gegenüber steht jedoch die Problematik, dass Schnittstellenstandards nachweislich die funktionale Qualität innerhalb des Gesamtsystems und die Einzigartigkeit im Sinne der Austauschbarkeit reduzieren.

Aufgrund dieses Spannungsfeldes ergibt sich für die Unternehmen die Notwendigkeit, ein intelligentes Schnittstellenmanagement aufzubauen, das die Basis zur Beherrschung der Systemintegration bietet. Zulieferunternehmen entwickeln das Grundmodul ihres Produktes OEM-unabhängig in Form einer Plattform und koppeln im Rahmen von kundenspezifischen Projekten das Grundmodul mit dem OEM-System durch OEM bzw. variantenspezifische Schnittstellen. Diese Vorgehensweise zeichnet sich durch eine klare Ablösestrategie aus, wobei das Funktionsspektrum eines Moduls möglichst von einer Plattform abgedeckt wird. Aus Kostengründen bzw. aus Gründen der Fertigungskomplexität werden auf der Vorgängerplattform basierende Geräte jeweils auf die neue Plattform umgestellt. Im Bereich Infotainment unterscheiden die Zulieferunternehmen beispielsweise zusätzlich zwischen einer Hardware- und einer Software-Plattform.

Eine Synchronisation der Gesamtentwicklung und ihrer Prozesse bildet die Grundlage für eine konsequente Entwicklungsrichtung und hohe Ergebnisübernahme. Die Modul- und Technologieentwicklung werden zunehmend die Taktgeber für die Baureihenentwicklung. Zusätzlich wird mit der Implementierung eines modularen Baukastens eine baureihenübergreifende inhaltliche und zeitliche Abstimmung notwendig. Mithilfe des Release-Engineering können die Entwicklungszyklen verschiedener Module und technologischer Disziplinen gezielt entkoppelt werden. Baureihenübergreifende Module erfordern eine gezielte Vorausplanung und Prognose von Releasezyklen. Bei einem modularen Baukasten erfordern die unterschiedlichen Innovationszyklen eine Synchronisation der verschiedenen Module und der zugrunde liegenden Technologieentwicklungsprojekte. Entkoppelte Entwicklungszyklen ermöglichen die proaktive Planung von Modulen und Schnittstellen im Sinne eines Release-Engineering.

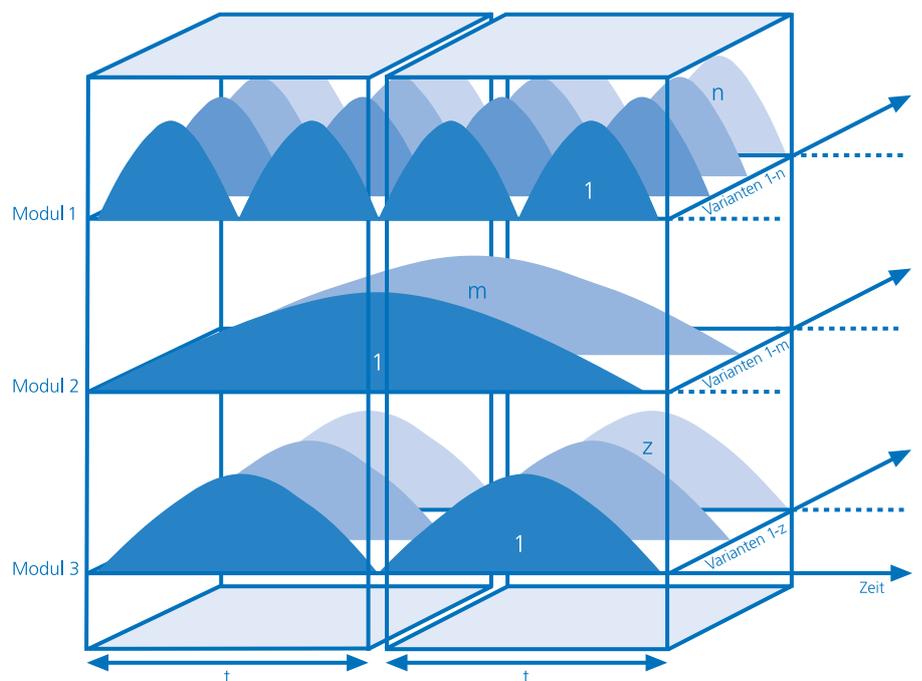
Neben der Entkopplung von Entwicklungszyklen müssen die Modulentwicklungsprozesse disziplinübergreifend standardisiert werden, um Effizienzpotenziale zu erschließen. Standardisierte und fachdisziplinenübergreifende Modulentwicklungsprozesse mit Vernetzungsmeilensteinen zu anderen Modulen ermöglichen die frühzeitige Identifikation von Problemen und reduzieren den Aufwand zur Fehlerreduktion in den späten Phasen.

Für die einzelnen technologischen Disziplinen existieren unterschiedliche Entwicklungsprozesse. Ansätze zur

standardisierten Beschreibung von mechanischen Entwicklungsprozessen sind beispielsweise die VDI 2221 oder der Stage-Gate-Prozess. In der Elektronikentwicklung findet hauptsächlich das Y-Modell Anwendung, während in der Softwareentwicklung beispielsweise das Wasserfallmodell oder das Spiralmodell zum Einsatz kommt.

Entkoppelte Entwicklungszyklen erfordern die proaktive Planung von Schnittstellen im Sinne eines Release-Engineering

Modularer Baukasten



Die Bildung, Zerlegung, Absicherung und Zusammenführung von Modulen erfolgt nach verschiedenen Sichtweisen, wobei heutzutage in der Automobilindustrie immer noch mechanische Ansätze die Produktentwicklung dominieren. Aber aufgrund der steigenden Mechatronisierung des Fahrzeugs müssen die technischen Disziplinen zur Beherrschung der Komplexität prozessual miteinander vernetzt werden.

Entwicklungsprozesse müssen zwischen den verschiedenen technologischen Disziplinen stärker vernetzt werden.

Die wichtigsten Kernaussagen zur Beherrschung der Prozesskomplexität sind zusammengefasst:

- Die Integration der Zulieferer in den Entwicklungsprozess ist abhängig vom Produkt-Know-how.
- Schnittstellen sind ein effektiver Stellhebel, um die Auswirkungen der Dynamik in der Produktarchitektur zu dämpfen.
- Das Release-Engineering ist die Grundlage für eine effektive Planung und Realisierung von Modulen.
- Entwicklungsprozesse müssen zwischen den verschiedenen technologischen Disziplinen stärker vernetzt werden.

Glossar

OEM

Bezeichnet die in der Untersuchung einbezogenen Automobilhersteller.

Systemlieferant

Bezeichnet die in der Untersuchung einbezogenen Automobilzulieferer, die auf Tier 1-Ebene Module bzw. Systeme an die OEMs liefern.

Komplexität

Beschreibt die Eigenschaft eines Systems, deren Grad von der Anzahl und Vielfalt der Systemelemente, von der Vielzahl der Beziehungen zwischen den Elementen sowie der Anzahl möglicher dynamischer Systemzustände abhängt.

Kommunalität

Beschreibt die Wiederverwendung von Gleichheiten bzw. Ähnlichkeiten (Gleichteile, gleiche Prozesse, etc.) innerhalb eines Produktprogramms.

Plattform

Beschreibt eine physische, technologische und/oder funktionale Grundausrichtung einer Produktpalette. Dient bei OEMs auch als gemeinsame Basis bei der Verfolgung von Mehr-Markenstrategien.

Produktfamilie

Beschreibt die Basis einer Baureihe, auf der die Derivate aufgebaut werden. Synonym werden häufig die Begriffe Produktlinie und Plattform verwendet.

(modularer) Baukasten

Beschreibt eine Menge an Baugruppen/Modulen, die zur baureihenübergreifenden Wiederverwendung genutzt werden.

Meta-Baukasten

Beschreibt einen aus Modulsicht übergeordneten Baukasten über den vorhandenen (modularen) Baukästen.

System

Beschreibt eine in sich funktional abgeschlossene Baugruppe.

Deduktiver Denkansatz

Beschreibt die Herangehensweise der Problemlösung vom »Ganzen ins Detail«. Dem gegenüber steht der induktive Denkansatz.

Induktiver Denkansatz

Beschreibt die Schlussfolgerung vom »Besonderen auf das Allgemeine«. Dem gegenüber steht der deduktive Denkansatz.

Frontloading

Beschreibt die Anstrengung im Produktentstehungsprozess, mit vorhandenen Ressourcen frühzeitig und stärker ausgeprägt technische Konzepte abzusichern und so diese früher zu einem höheren Reifegrad zu bringen.

Für nähere Informationen zu den Hintergründen der Studie und für den persönlichen Austausch zum Thema Komplexitätsmanagement stehen wir Ihnen sehr gerne persönlich zur Verfügung.

Dipl.-Ing. Michael Lenders
Abteilungsleiter Innovationsmanagement
Werkzeugmaschinenlabor WZL
der RWTH Aachen
Steinbachstr. 19
52074 Aachen
Telefon: +49 (0)241 80-27436
Telefax: +49 (0)241 80-627436
m.lenders@wzl.rwth-aachen.de

Dr. Rupert Deger
Vice President Business Development
PTC (Parametric Technology GmbH)
Edisonstr. 8
85716 Unterschleißheim
Telefon. +49 (0)89 32106-555
Mobil +49 (0)160 96964173
rdeger@ptc.com