# Komplexität in der Automobilindustrie am Beispiel Baukastenstrategie

Reiner Albert Schneider

Klaus Rieck

GMM Baukasten/Plattformen
Volkswagen AG
38436 Wolfsburg
Brieffach 1252

reiner.albert.schneider@volkswagen.de

klaus.rieck@volkswagen.de

**Abstract:** Das Automobil ist ein technologisch komplexes Massenprodukt. Es erfordert daher sowohl effiziente Serienprozesse um im Wettbewerb der Gegenwart zu bestehen als auch effektive Innovations- und Produktentwicklungsprozesse um zukünftige Anforderungen zu erfüllen. Diese im Zusammenspiel mit hoher Produktvielfalt gestiegenen Anforderungen erklären den hohen Kommunikations- und Abstimmungsbedarf innerhalb des Unternehmens mit allen damit einhergehenden Ineffizienzen. Der Ansatz einer modularen Produktarchitektur orientiert die Such- und Optimierungsprozesse der Fahrzeugentwicklung und –produktion an den Erfordernissen einer konsequenten Gleichteilstrategie, Vereinheitlichung von Produktionsstandards und Grundarchitektur um alle Kundenbedürfnisse zu erfüllen. Das Paper diskutiert die These, dass die daraus entstehenden Zielkonflikte zusätzlich den Informations- und Kommunikationsbedarf erhöhen und ob die daher rührende Komplexitätserhöhung mit herkömmlichen Prozessen und Systemen bewältigt werden kann und welche Optimierungspotenziale bestehen.

## 1 Hintergrund

Das Automobil ist ein technologisch komplexes Massenprodukt [ET07; GKD10; Ho00]. Es erfordert daher sowohl effiziente Serienprozesse um im Wettbewerb der Gegenwart zu bestehen als auch effektive Innovations- und Produktentwicklungsprozesse um zukünftige Anforderungen zu erfüllen. Die Kombination der Bauteile zu Modulen oder Systemen stellen hohe Anforderungen an die Informationsverarbeitung und –verteilung [DB07].

Komplexität wird nach Ulrich und Fluri [UF92] definiert als die „Vielfalt der einwirkenden Faktoren und dem Ausmaß ihrer gegenseitigen Interdependenzen und charakterisiert diese als Merkmal schlecht strukturierbarer Entscheidungssituationen […]. Komplexität ist eine mögliche Form eines Gegenteils von Einfachheit, Determinierbarkeit und der Überschaubarkeit.“ Komplexität findet ihren kostenrelevanten Niederschlag im Kommunikationsbedarf zwischen den Elementen eines Systems, im Folgenden wird daher der Abstimmungsaufwand als eine Annäherungsgröße für Komplexität verwendet.

Um neue Kundensegmente zu erschließen ist eine stärkere Diversifizierung des Produktportfolios notwendig [CK08; MP10]. Diese Potenziale sind jedoch häufig nicht mit der selben Technologie umsetzbar [FI96]. Folglich entsteht eine Zielkonkurrenz zwischen Wachstum und Standardisierung.

## 2 Problemstellung

Der steigende Kostendruck zwingt allerdings die Hersteller, eine Lösung des Zielkonflikts über intelligente Lösungen herbeizuführen, die gleichzeitig eine Differenzierung des Angebots zulassen, während sie doch einen hohen Anteil an Gleichteilen verwenden [FRU99]. Eine übergreifende Kostensenkung innerhalb aller beteiligten Funktionen von der Entwicklung bis zum Vertrieb ist folglich nur durch die zielgerichtete Koordination ihrer Arbeit über eine Vielzahl unterschiedlicher Produktentwicklungsprojekte erreichbar. [BMM09; Ja09].

Diese entstehenden Abstimm-, Informationsbeschaffungs- und Informationsverteilkosten sind schwierig zu beziffern, nehmen aber in der subjektiven Wahrnehmung der betroffenen Bauteil- oder Projektverantwortlichen bis zu 80% ihrer regulären Arbeitszeit ein, was einen erheblichen Anstieg der verursachten indirekten Kosten zur Folge hat. In einer modulorientierten Matrixentwicklung wird jede Produktentwicklung von seinen Schwesterprodukten beeinflusst. Die Komplexität jeder Einzelentscheidung hoch, die Komplexität der Organisation wird maximal.

Ein Fahrzeugentwicklungsprojekt bildete somit ein abgeschlossenes System, das innerhalb seiner Systemgrenzen ohne externe Restriktionen optimiert werden kann [KZ06; PH10]. Mit der Forderung nach einer abgestimmten Lösung für mehrere Fahrzeugprojekte wird dieses System aufgebrochen. Vordergründig steigt durch die Anzahl der betrachteten Bauteile und ihrer Eigenschaften die Kompliziertheit des Gesamtsystems. Zusätzlich bringen die Dynamik der Anforderungen an ein weltweit verkauftes Produkt und die unterschiedlichen Wünsche der Märkte eine neue Dimension von Komplexität ins Spiel.

In der real existierenden vernetzten Produktentwicklung wird jedes Produkt innerhalb einer Matrixorganisation entwickelt. Innerhalb der Matrix besteht ein kostengetriebener Optimierungs- und Abstimmungsbedarf. Dies führt zu Lösungen, die viele Anforderungen gleichzeitig abdecken und mit wenigen Bauteilvarianten eine Vielzahl von Produkten ermöglichen.

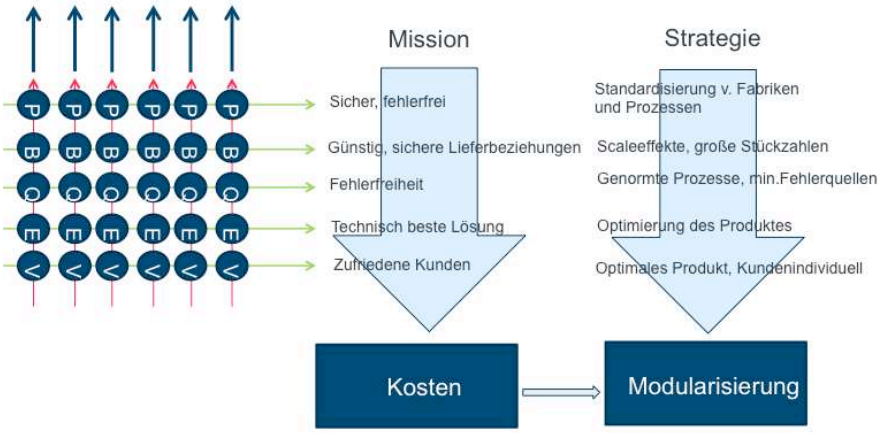



Abbildung 1: Gemeinsame Zielsetzung aller Fachbereiche und daraus gewachsener gemeinsamer Lösungsansatz, Quelle: Volkswagen AG; GMM.

Die Variantenvielfalt ist minimiert. Die Komplexität ist Funktion der Variantenvielfalt und steigt exponentiell mit der Anzahl der Produkte. Geringe Variantenvielfalt würde mit hohem Abstimmaufwand erkauft.

## 3 Rahmenbedingungen der Produktarchitektur

Den jeweiligen Koordinationsaufgaben, die sich durch die unterschiedlichen Produktentwicklungen ergeben, begegnet das Unternehmen mit geeigneten Organisationsformen, die grundlegende Produktarchitektur ist ein wichtiger Treiber der Wahl der Organisationsform von Produktentwicklungsprojekten [SER04].

Die Modularisierung des Produktes stellt also einen Lösungsansatz zur Verknüpfung der unterschiedlichen Geschäftsbereichsstrategien von der Entwicklung bis zur Produktion zur Erreichung ihrer jeweiligen Mission dar. Die folgende Grafik zeigt eine zeitliche Abfolge der unterschiedlichen Produktarchitektur-Konzepte, die der Volkswagen-Konzern durchlaufen hat und wie sie in ähnlicher Form die meisten Hersteller beschäftigt [FRU99; FI96; Wi06].

Stufe 1 verlagert den Schwerpunkt auf die Erzielung von Skaleneffekten durch den breiten Einsatz von Gleichteilen in sehr unterschiedlichen Fahrzeugen. Diese Plattformstrategie verwendet im Wesentlichen die nicht sichtbaren Produktumfänge parallel in Fahrzeugen ähnlicher Grundarchitektur; der „Hut“ wird über das Design und kundenwirksame Ausstattungsmerkmale mit den differenzierenden Produktfunktionen gestaltet [KG01; Ta99].

Weiterhin wird durch den Einsatz von Modulen über unterschiedliche Fahrzeugsegmente der Gleichteileinsatz noch weiter erhöht. Synergien werden somit nicht nur horizontal

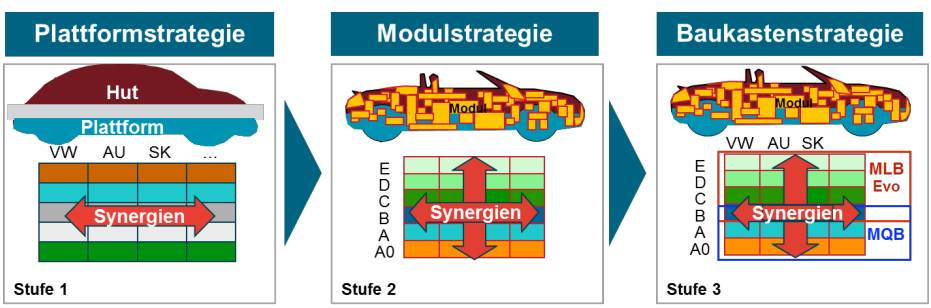
zwischen Produkten vergleichbarer Grundarchitektur, sondern auch vertikal über unterschiedliche Grundarchitekturen hinweg in Stufe 2 erreicht.

Die Baukastenstrategie in Stufe 3 bedeutet eine Verbindung der Gleichteilstrategie der Plattformen durch die Integration sichtbarer Module. [EK06; Eg03]. Gleichzeitig wird aber den bestehenden Plattformen für unterschiedliche Fahrzeugklassen (A0-Klasse Polo über A-Klasse Golf bis B-Klasse Passat) eine gemeinsame Basis von Modulen zugrunde gelegt, die übergreifend in den bisher unterschiedlichen Grundarchitekturen der unterschiedlichen Plattformen einsetzen kann.

Dieser Baukasten unterschiedlicher Varianten und Ausprägungen verschiedener Bauteile und Module oder Zusammenbauten (ZSB's) steht den Fahrzeugprojekten als Kunden wie in einem Supermarkt klassifiziert und geordnet zur Auswahl und Bestellung zur Verfügung. Sein Inhalt orientiert sich damit an den unterschiedlichen Anforderungen der Nutzerprojekte. Gleichzeitig dient dieses breite Angebot der Flexibilisierung des Produktangebotes des Herstellers: aus bestehenden Umfängen, die innerhalb einer vorgegebenen Grundarchitektur kompatibel sind, können vergleichsweise einfach neue Fahrzeugderivate entwickelt. Trotzdem ist der Baukasten aber angehalten, einen größtmöglichen Gleichteileinsatz herzustellen und damit maximale Synergien über alle Projekte zu generieren.

## 4 Fragestellung - Komplexität im Baukasten

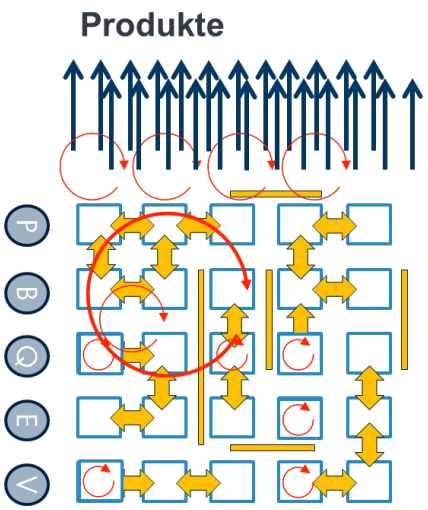
Die neue Produktarchitektur zeigt vielfältige Einflüsse auf die Organisation eines Unternehmens, auf seine Prozess- und Systemlandschaft. Die Volkswagen AG als ein stark produktfokussiertes Unternehmen orientiert seine Prozesse im Wesentlichen an den Rahmenbedingungen des Produktes. Die Organisation folgt der Produktstrategie und die unterschiedlichen Stufen von der Einzelproduktentwicklung über die Plattformsystematik zur modularisierten Plattform haben immer eine entsprechende Änderung der Projektorganisation nach sich gezogen [Hö06; Ka06].




: Stufenweise Entwicklung der Produktarchitekturen in der Automobilindustrie von über die Modulstrategie zur Baukastenstrategie.

ıelle: Volkswagen AG; K-

Der Baukasten stellt nun eine besondere Herausforderung an die Projektorganisation dar. Nie zuvor gab es eine solche Vielzahl an Stakeholdern und Betroffenen der Produktentscheidungen eines Fahrzeugprojektes. Die Komplexität des gesamten Systems ist demnach nicht auf die Kompliziertheit eines vielteiligen Systems zurückzuführen, sondern auf die Vielzahl und Unterschiedlichkeit der Verbindungen zwischen diesen Systembestandteilen [An99; DV99; St07]. Durch die gemeinsame Nutzung von Modulen werden Projekte zur Interaktion gezwungen. Diese Informations- und Kommunikationsströme können nun nicht mehr wie bisher durch bilaterale Absprachen bewältigt werden; eine Kombination von Absprachen und vertraglich festgeschriebenen Regeln und Schnittstellen ist erforderlich (vgl. Abbildung 6; in gelb die Regeln und Schnittstellendefinitionen, in rot die verbleibenden bilateralen Absprachen). Die Reduzierung der bilateralen Absprachen soll einen „information overkill" der beteiligten Mitarbeiter verhindern und eine verlässliche Arbeitsgrundlage schaffen.

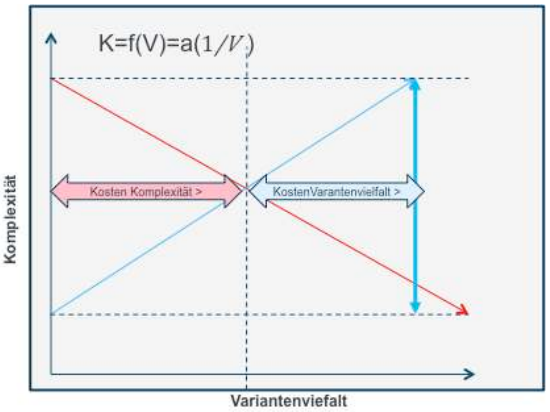



Grundsätzlich gelten folgende Zusammenhänge zwischen Komplexität und Variantenvielfalt innerhalb eines Baukastens mit einer feststehenden Zahl N von Nutzerprojekten. Die Komplexität wird annäherungsweise durch den Abstimmungsaufwand innerhalb einer Projektorganisation beschrieben (siehe Abbildung 4 – rot stellt den Abstimmaufwand dar, blau die Kosten der Variantenvielfalt):

1. Je geringer die Variantenvielfalt, desto höher der Abstimmaufwand.

2. Je höher die Variantenvielfalt, desto höher sind die Logistik-, Werkzeug-, Erprobungs- und Vertriebskosten.

Eine Reduzierung der Komplexität lässt sich also im ersten Ansatz nur durch eine Erhöhung der Variantenvielfalt mit den entsprechenden Kosten erreichen. Eine Reduzierung der Variantenvielfalt zieht notwendigerweise eine Erhöhung der Komplexität nach sich. Die Beschreibung und Bewertung der dahinter stehenden Kosten ist aufgrund der unklare Zuordenbarkeit indirekter Kosten allgemein - und insbesondere von Abstimmkosten – ein schwieriges Vorhaben. Dies führt dazu, dass diese Kosten-Nutzen-Betrachtung häufig nicht befriedigend durchgeführt werden kann und Entscheidungen unter Unsicherheit und unvollständiger Information getroffen werden.




: Zusammenhang zwischen
maufwand und Variantenvielfalt, Quelle:
olkswagen AG; GMM

Die Einführung einer modularen Produktarchitektur und einer Baukastensystematik bieten nun die Chance, den Trade-Off zwischen Variantenvielfalt und Abstimmaufwand ein Stück weit zu lösen. Ziel ist es nun, den Abstimmaufwand, der durch die Reduzierung der Bauteil- und Modulvarianten durch Einführung eines Baukastens entsteht über Regeln und Systeme zu reduzieren (Zielkurve in rot, Abbildung 5).

Die Baukastensystematik erlaubt daher die Ausweitung des Angebotes an Modul- und Bauteilvarianten ohne Grenzkosten; gleichzeitig wird durch den Integral unter der ursprünglichen Kurve des Abstimmaufwands das Kostenreduzierungspotenzial aus der Einführung von Baukasten-Regeln und Schnittstellendefinitionen beschrieben. Die Höhe des Einsparungspotenzials hängt zudem an der geplanten Variantenvielfalt.

In diesem Paper unternehmen wir nun den Versuch, allgemeingültige Rahmenbedingungen dieser parallelen Reduzierung von Abstimmkosten und Variantenkosten aufzustellen und in einer verständlichen Ableitung als Gedankenkonstrukt zu präsentieren. Auf dieser Basis kann im Weiteren eine Identifizierung von relevanten Potenzialen für Prozesse und Systeme im Baukasten der Volkswagen AG, sowie deren effektive Unterstützung durch IT gewährleistet werden.

## 5 Modellbildung

Aufbauend auf der Veranschaulichung zuvor wird im folgenden Abschnitt Komplexität als eine Funktion in Abhängigkeit der Variantenvielfalt modelliert.

$K=f(V) = 1/V$ mit K= Komplexitätszahl
V= Variantenviefalt (Anzahl der Varianten)

Die Variantenvielfalt des einzelnen Moduls oder Bauteils ist wiederum eine Funktion der Charakteristika dieses Bauteils selbst sowie seiner Entwicklungsdynamik.

$a= f(u, y)$ mit u = Marktrelevanz des Bauteils
y = Entwicklungsdynamik

So hat die Art des Bauteils selbst hohen Einfluss auf die Anzahl der Varianten. Ein technisch kompliziertes, teures, für den Kunden sichtbares Teil wird aufgrund der Marken- und Preisdifferenzierung im Regelfall stärker variiert (z.B. Kombi-Instrument) als ein günstigeres und unsichtbar für den Kunden verbautes Standardteil.

u =Marktrelevanz als f(Bauteilpreis, Erfahrbarkeit vor Kunde, Funktionsrelevanz, Ausfall, Bezugsart)

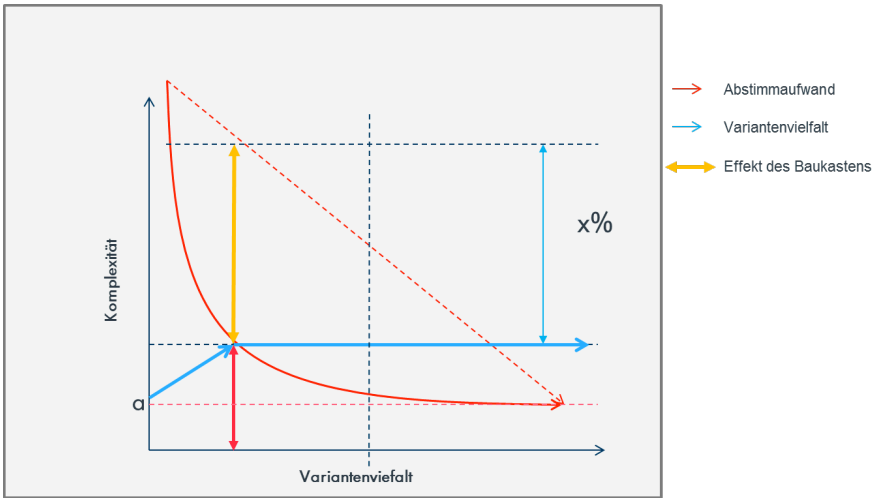
Als dynamischer Faktor de Varianz kommt die Entwicklungsdynamik y hinzu. Module unterscheiden sich in ihrem technologischen Reifegrad, ihrer Abhängigkeit von Markttrends oder ihrer Sicherheits- bzw. Emissionsrelevanz. Diese Bündel unterschiedlicher Merkmale bedingen häufig die Entwicklung einer neuen Teilevariante innerhalb des Produktlebenszyklus eines Fahrzeuges.

y = Entwicklungsdynamik als f(Innovation, Abstimmaufwand, Produktänderung)

Hieraus ergibt sich nun folgende Ableitung der Komplexität K als einer Funktion f(V) der Variantenvielfalt.

$$f(x)= \text{Komplexität}= a+\left(1+\frac{\text{tats.Variantenanzahl}}{\text{theor.Kombinationen}}\right)^{-x}$$

Die Aufgabe und der Hebel einer Baukastenorganisation liegen in der Beeinflussung der tatsächlichen Variantenzahl durch Einschränkung des Möglichkeitsraumes theoretisch denkbarer Varianten. Der Abstimmaufwand – als Indikator der Komplexität – wird dadurch reduziert, die Variantenvielfalt bleibt konstant. Dieser Prozess der Regelbildung wirkt mit einem Faktor von x% wertschöpfend (Abbildung 5; gelber Pfeil) auf die Rentabilität der Modul- und Fahrzeugprojekte.




: Auswirkung des Baukastens als Reduzierung der Komplexität bei konstanter riantenvielfalt, Quelle: Volkswagen AG; GMM.

## 6 Diskussion und weitere Forschung

Ziel des Papers war die Erarbeitung einer allgemeingültigen Formulierung und Ableitung der Komplexität innerhalb der Produktentwicklungsprojekte im Automobilbau unter den neuen Rahmenbedingungen einer modularen Produktarchitektur und eines Baukastens.

Das Paper diskutierte von aus Gleichteilstrategie und Synergiesuche auf der Produktebene entstehenden Zielkonflikte und den dadurch steigenden Informations- und Kommunikationsbedarf im Projekt, sowie die Frage der Bewältigung der daraus resultierenden Komplexitätserhöhung mit herkömmlichen Prozessen und Systemen.

Optimierungspotenziale wurden insbesondere in der Erarbeitung von übergreifenden Regeln und Schnittstellendefinitionen für die Verwendung und Weiterentwicklung von Baukastenmodulen identifiziert. Diese Potenziale müssen nun durch die Unterstützung dieser Regeln über geeignete IT-Systeme und die Begleitung sowohl der Verwendung der Baukastenmodule durch Fahrzeugprojekte als auch der Adaption der Baukastenmodule an externe Einflussfaktoren wie Gesetzesänderungen oder Marktanforderungen durch IT-geleitete Prozesse gehoben werden.

Im Folgenden sind erste Ideen skizziert, die innerhalb einer weiterführenden Untersuchung genauer durchleuchtet werden können:

1. Hebel Transparenz – Offenlegung direkter und verdeckter Einflussfaktoren des einzelnen Bauteils durch technische, kulturelle und wirtschaftliche interne und externe Restriktionen

2. Hebel Systembetrachtung – über ein Verständnis des Gesamtsystems besteht erstmals die Möglichkeit der Systemoptimierung, z.B. durch Elimination von Systembestandteilen, die over-engineered sind oder ein Fehlerpotenzial für das Gesamtsystem darstellen

3. Hebel Entscheidungseffektivität – Simulation von Entscheidungsauswirkungen durch die Beschreibung der dann wirksam werdenden Verknüpfungen und Schnittstellen zwischen Bauteilen / Modulen im Gesamtsystem

Des Weiteren sind die Autoren der Auffassung, dass das Thema Komplexität allgemein eine breitere wissenschaftliche Basis benötigt, um die dargestellten Potenziale zur Optimierung der Wertschöpfungskette im Automobilbereich zu beschreiben und bewerten [BKM98; Ho98; KW03]. Nach der umfassenden Optimierung der Kern-Wertschöpfungskette der Automobilindustrie ist es nun an der Zeit, einen stärkeren Fokus auf die Verschlankung der unterstützenden Funktionen wie die Entwicklungs- und Projektmanagementprozesse und insbesondere die Informations- und Kommunikationsprozesse zu legen [No88], deren wahrer Aufwand aktuell innerhalb des großen Blockes an indirekten Kosten bei Automobilherstellern versteckt liegt.

## Literaturverzeichnis


[An99] Anderson, P.: Complexity Theory and Organization Science. Organization Science 10, 1999, S.216-232.

[BMM09] Beaume, R., R. Maniak,; C. Midler.: Crossing innovation and product projects management: A comparative analysis in the automotive industry. International Journal of Project Management 27, 2009, S.166-174.

[BKM98] Bhattacharya, S., V. Krishnan,; V. Mahajan.: Managing New Product Definition in Highly Dynamic Environments. Management Science 44, 1998, S.50-S64.

[CK08] Chao, R. O.; Kavadias, S.: A Theoretical Framework for Managing the New Product Development Portfolio: When and How to Use Strategic Buckets. Management Science 54, 2008, S.907-921.

[DB07] Danilovic, M.; Browning, T.: Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices☆. International Journal of Project Management 25, 2007, S.300-314.

[DV99] Dooley, K. J.; Van de Ven, A. H.: Explaining Complex Organizational Dynamics. Organization Science 10, 1999, S.358-372.

[Eg03] Eggen, O.: Modular product development. A review of modularization objectives as well as techniques for identifying modular product architectures; 2003.

[EK06] Erixon, G.; Kenger, P.: Development of Modular Products, Borlänge, 2006.

[Et07] Ethiraj, S. K.: Allocation of inventive effort in complex product systems. Strategic Management Journal 28, 2007, S.563-584.

[FRU99] Fisher, M.; Ramdas, K.; Ulrich, K.: Component Sharing in the Management of Product Variety: A Study of Automotive Braking Systems. Management Science 45, 1999, S.297-315.

[FI96] Fisher, M.L.; Ittner, C.D.: The impact of product variety on automobile assembly operations: analysis and evidence. Wharton School, Philadelphia; 1996.

[GKD10] Glynn, M.A., Kazanjian, R.; Drazin, R.: Fostering Innovation in Complex Product Development Settings: The Role of Team Member Identity and Interteam Interdependence. Journal of Product Innovation Management 27, 2010, S.1082-1095.

[Ho98] Hobday, M.: Product complexity, innovation and industrial organisation. Research Policy 26, 1998, S.689-710.

[Ho00] Hobday, M.: The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems? Research Policy 29, 2000, S.871-893.

[Hö06] Hötker, G.: Do modular products lead to modular organizations? Strategic Management Journal 27, 2006, S.501-518.

[Ja09] Jahn, T.: Portfolio- und Reifegradmanagement für Innovationsprojekte zur Multiprojektsteuerung in der frühen Phase der Produktentwicklung. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design; Universität Stuttgart, Stuttgart, 2009.

[Ka06] Karim, S.: Modularity in organizational structure: the reconfiguration of internally developed and acquired business units. Strategic Management Journal 27, 2006, S.799-823.

[KW03] Kim, J.; Wilemon, D.: Sources and assessment of complexity in NPD projects. R & D Management 33, 2003, S.15-30.

[KG01] Krishnan, V.; Gupta, S.: Appropriateness and Impact of Platform-Based Product Development. Management Science 47, 2009, S.52-68.

[KZ06] Krishnan, V.; Zhu, W.: Designing a Family of Development-Intensive Products. Management Science 52, 2006, S.813-825.

[MP10] Murray-Webster, R.; Pellegrinelli S.: Risk management reconceived: reconciling economic rationality with behavioural tendencies. Journal of Project, Program & Portfolio Management 1, 2010, S.16-25.

[No88] Nonaka, I.: Creating Organizational Order Out of Chaos: Self-Renewal in Japanese Firms. California Management Review, 1988, S.34-42.

[PH10] Petit, Y.; Hobbs, B.: Project portfolios in dynamic environments: Sources of uncertainty and sensing mechanisms. Project Management Journal 41, 2010, S.46-58.

[SER04] Sosa, M.E.; Eppinger S.D.; Rowles C.M.: The Misalignment of Product Architecture and Organizational Structure in Complex Product Development. Management Science 50, 2004, S.1674-1689.

[St07] Stacey, R.D.: Strategic management and organisational dynamics: the challenge of complexity to ways of thinking about organisations. Financial Times Prentice Hall, Harlow, 2007.

[Ta99] Tatikonda, M.: An empirical study of platform and derivative product development projects. journal of Production Innovation Management, 1999, S.72-88.

[UF92] Ulrich, P.; Fluri, E.: Management. Haupt Verlag, 1992.

[Wi06] Williams, A.: Product-service systems in the automotive industry: the case of micro-factory retailing. Journal of Cleaner Production 14, 2006, S.172-184.