

## **ANFORDERUNGEN UND UNTERSTÜTZUNG EINES MULTIDISZIPLINÄREN KOSTENMANAGEMENTS**

*Stefanie C. Braun, Udo Lindemann*

### **Zusammenfassung**

Untersuchungen zeigen, dass sich nicht allein aus der Verknüpfung unterschiedlicher Disziplinen die Notwendigkeit der vernetzten Betrachtung des Kostenmanagements mechatronischer Produkte ergibt. Auch die Verteilung der Komplexitäts- und somit auch der Kostentreiber mechatronischer Produkte auf verschiedene Konkretisierungsebenen des Produktes und in der Folge auch der Entwicklungs- und Herstellprozesse erfordert eine integrierte Betrachtung. Aufbauend auf dieser Erkenntnis wurde ein Lastenheft für die Unterstützung eines multidisziplinären Kostenmanagements erarbeitet. Der auf Basis dieses Lastenhefts entwickelte Leitfaden mit integrierten Hilfsmitteln wird im vorliegenden Beitrag vorgestellt.

### **1 Motivation**

Seit einigen Jahren hält die Mechatronik konsequent Einzug in die Erzeugnisse des klassischen Maschinen- und Anlagenbaus und eröffnet dabei Erfolgspotenziale durch den Einsatz neuer Prinziplösungen [1, 2]. Stellvertretend für eine Reihe von Beispielen sei an dieser Stelle der Übergang von der klassischen zur digitalen Photographie genannt, der weit mehr mit sich brachte als den bloßen Wechsel des Aufnahmemediums von Film zu CCD-Chip. Im Gegensatz zur mechanischen Kamera, bei der die Einstellung von Blende, Belichtungszeit und Bildschärfe manuell erfolgt, ist das mechatronische System in der Lage, über entsprechende Sensoren Informationen aus der Umgebung zu erfassen und die erforderlichen Einstellungen selbstständig durchzuführen. Dies wird erreicht, indem die mechanischen Kopplungen zwischen den einzelnen Elementen durch elektronisch-informationstechnische Kopplungen ersetzt werden. Die Informationsverarbeitung ermittelt aus den elektronischen Signalen der Sensoren mit Hilfe der in der Software implementierten Algorithmen die jeweils günstigste Einstellung und stellt die Signale für die verschiedenen Antriebe bereit [3, 4].

Wie das Beispiel zeigt, ist das primäre Ziel der Mechatronik die Optimierung eines – zuvor meist rein mechanischen – Grundsystems in Hinblick auf die zur Verfügung gestellte Funktionalität. Erreicht wird dies durch die Integration von Wirkprinzipien weiterer technischer Disziplinen [4, 1]. Konsequenz der resultierenden Multidisziplinarität ist eine – im Vergleich zu klassischen mechanischen Erzeugnissen – erhöhte Komplexität mechatronischer Produkte. Gemeint ist hier die strukturelle Komplexität, die sich aus Anzahl und Verschiedenartigkeit der Komponenten und ihrer Relationen ergibt [5].

Eine steigende Produktkomplexität schlägt sich in der Folge in einer gesteigerten Prozesskomplexität nieder [6]. Um den gestiegenen Anforderungen mechatronischer Produkte in Hinblick auf ihren Entwicklungsprozess zu begegnen wurden in den letzten Jahren zahlreiche Vorgehensmodelle, Methoden, Hilfsmittel und Tools entwickelt.

Produktseitig unterstützen beispielsweise zahlreiche interdisziplinär entwickelte Werkzeuge wie gekoppelte Simulationsumgebungen die Modellbildung und Eigenschaftsfrüherkennung mechatronischer Produkte [7]. Auch zur Unterstützung des Managements multidisziplinärer

Entwicklungsprozesse lassen sich in der Literatur zahlreiche Ansätze finden, die sich unter anderem mit interdisziplinären Vorgehensmodellen beschäftigen [1, 2, 8].

Weitestgehend vernachlässigt wurde bei diesem Trend der „Multidisziplinarisierung“ jedoch das Kostenmanagement mechatronischer Produkte [9]. Doch ebenso wie bei den bereits erwähnten Aspekten der Entstehung und Handhabung mechatronischer Produkte werden auch hier erhöhte Anforderungen deutlich [10].

Zur Abschätzung der Kosten disziplinspezifischer Produktanteile existieren in den einzelnen Disziplinen zwar zahlreiche Ansätze, doch findet man in der Literatur keine disziplinübergreifenden Ansätze zur Kostenschätzung mechatronischer Gesamtsysteme [9]. Um beispielsweise jedoch Kosten des Tests und der Integration – welche einen erheblichen Beitrag zu den Kosten mechatronischer Produkte leisten – bereits bei einer frühen Kostenschätzung zu berücksichtigen sind solche Ansätze unabdingbar [10]. Ohne das Vorhandensein disziplinübergreifender Ansätze des Kostenmanagements fehlt der Überblick über die Kostenverursachung mechatronischer Konzeptalternativen, was ein effektives „Design to Cost“ im Rahmen eines entwicklungsbegleitenden Target Costing mechatronischer Produkte unmöglich macht [6].

## 2 Problemstellung

Um den Defiziten des Kostenmanagements mechatronischer Produkte zu begegnen, wurde am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München ein DFG-gefördertes Forschungsprojekt aufgesetzt. Dieses trägt den Titel „Kostentransparenz in der Mechatronik“<sup>1</sup> und ist seit Januar 2007 in Bearbeitung. Kern des Projektes ist die methodische Unterstützung des „Design to Cost“ mechatronischer Produkte.

Um in diesem Rahmen die Problemstellung eines multidisziplinären Kostenmanagements und die zugehörigen Anforderungen herauszuarbeiten wurde eine fragebogenbasierte Studie mit abschließendem Ergebnisworkshop durchgeführt [6]: Die Studie „Kostentransparenz in der Mechatronik – Eine Studie über Komplexitäts- und Kostentreiber mechatronischer Produkte“ [6] beleuchtet dabei ausführlich den Zusammenhang zwischen der Komplexität von Produkt und Prozess auf der einen Seite und der Ausprägung von Kostenniveau, -struktur und -verlauf auf der anderen Seite aus der Sicht deutscher Unternehmen (114 Fragebögen aus 87 Unternehmen). Betrachtet wurden in diesem Zusammenhang die Ursachen und Zusammenhänge der Komplexität von Produkt und Prozess, die komplexitäts- und kostentreibende Wirkung von Aspekten der Zusammenarbeit bei der Erstellung mechatronischer Produkte, Änderungsabhängigkeiten mechatronischer Produkte sowie Auswirkungen vermehrt notwendiger funktionsabsichernder Maßnahmen. Außerdem von Interesse war die Ausprägung von Kostendruck, Kostenrechnung und Kostentreibern in den befragten Unternehmen sowie die veränderten Wertschöpfungsanteile der an der Erstellung mechatronischer Produkte beteiligten Disziplinen. Ergänzt wurde die Studie durch Prozessuntersuchungen und Interviews, in deren Rahmen ergänzend Trends des domänenübergreifenden Konzeptentwurfs abgefragt wurden. Aus diesen Voruntersuchungen ergaben sich wesentliche Schlussfolgerungen für die Erarbeitung der Anforderungen an ein multidisziplinäres Kostenmanagement:

So wurde zunächst einmal deutlich, dass sich die Notwendigkeit der vernetzten Betrachtung des Kostenmanagements mechatronischer Produkte nicht allein aus der Verknüpfung unterschiedlicher Disziplinen ergibt. Die Verteilung der Komplexitäts- und somit auch der Kostentreiber mechatronischer Produkte auf verschiedene Konkretisierungsebenen des Produktes

---

<sup>1</sup> Vollständiger Titel: „Kostenfrüherkennung mechatronischer Produkte mittels Analyse multiplanarer Vernetzungen – Kostentransparenz in der Mechatronik“ LI 699/16-1

(Funktionsebene, Komponentenebene) und in der Folge auch der Entwicklungs- und Herstellprozesse (Prozessebene, Ressourcenebene) erfordert ebenfalls eine integrierte Betrachtung [6] (Bild 1).

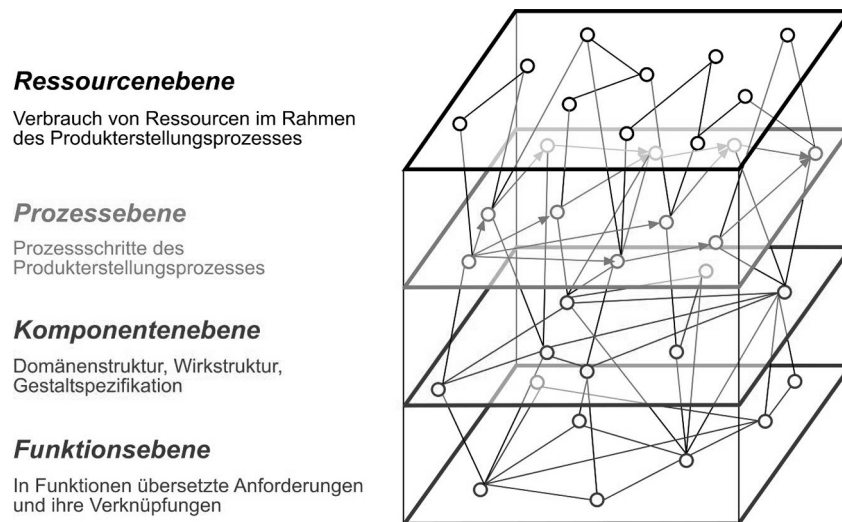


Bild 1: Verknüpfung von Funktions-, Komponenten-, Prozess- und Ressourcenebene [10]

Weiterführende Informationen über den Zusammenhang zwischen Komplexität und Kostenentstehung sind jedoch bisher nicht vorhanden, so dass auf diese Weise bisher noch keine Unterstützung eines „Design to Cost“ mechatronischer Produkte – beispielsweise im Sinne von Handlungsanweisungen – verfügbar ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bisher ein Leitfaden zur methodischen Unterstützung der Phase der Konzeptfindung und -entscheidung unter besonderer Berücksichtigung der Komplexität – also der „multiplanaren Vernetzung“ [10] der Kostentreiber – mechatronischer Produkte fehlt. Dieser sollte das Target Costing und hierbei insbesondere die Kostenfrüherkennung durch Integration disziplinspezifischer und -übergreifender Kostenschätzmethoden unterstützen. Zur Ausweitung auf ein erfolgreiches „Design to Cost“ ist es erstrebenswert, Handlungsanweisungen und Analysewerkzeuge zur kostenoptimierten Gestaltung der Produktstruktur in den Leitfaden zu integrieren.

### 3 Anforderungen an ein multidisziplinäres Kostenmanagement

Auf Basis der identifizierten Defizite wurde ein detailliertes Lastenheft für das „Design to Cost“ mechatronischer Produkte erarbeitet (Bild 2). Die in diesem Lastenheft gesammelten (leitfadenspezifischen) Anforderungen lassen sich in die drei Punkte „Informationshandhabung“, „Kostenanalyse“ und „Kostenoptimierung“ gliedern. Übergeordnete Anforderungen, die allgemein für die Gestaltung von Leitfäden zur Unterstützung der Produktentwicklung gültig sind, werden an dieser Stelle nicht weiter erläutert.

#### 3.1 Informationshandhabung

Basis für eine frühzeitige Kostenfrüherkennung und in der Folge ein erfolgreiches „Design to Cost“ mechatronischer Produkte ist eine geeignete Darstellung der in einer frühen Phase der Produktentwicklung vorhandenen Produktinformationen. Die Abbildung der Informationen sollte dabei unabhängig von disziplinspezifischen Modellierungssprachen sein und Informationen der Funktions- und Komponentenebene (vgl. Bild 1) unterschiedlicher Partialmodelle über die Disziplinen hinweg verknüpfen. Disziplinspezifische Sichten auf das Gesamtkonzept sollten jedoch nach wie vor ausleitbar sein. Verschiedene Blickwinkel auf die Komponenten-

struktur (funktionale Abhängigkeiten, physikalische Abhängigkeiten und Änderungsabhängigkeiten der Systemkomponenten) sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

Da es mit unter das Ziel des zu entwickelnden Ansatzes ist, Kostenabschätzungen auf Basis der (strukturellen) Komplexität des zu beurteilenden Konzeptes zu treffen ist es notwendig, dass strukturelle Informationen eindeutig abgebildet werden. Während des entwicklungsbegleitenden Einsatzes sollte eine fortlaufende Konkretisierung der Komponentenstruktur ermöglicht werden. Zusätzlich sollte eine Konkretisierung der Komponenten, beispielsweise über kostenrelevante Materialkennwerte – falls zu diesem Zeitpunkt bereits vorhanden – an die Struktur angehängt werden können. Um den Vergleich unterschiedlicher Konzeptvarianten zu ermöglichen sollten diese in einem Modell gehandhabt werden, welches einen intuitiven Vergleich der vorliegenden Produkt- und Prozessstrukturen ermöglicht.

Ein wesentlicher Aspekt der Akzeptanz eines neu entwickelten Ansatzes ist der damit verbundene Aufwand für den Entwickler. Um diesen möglichst gering zu halten, sollte das System eine Wiederverwendung von in der Vergangenheit angelegten Produkt- und Prozessstrukturen unterstützen.

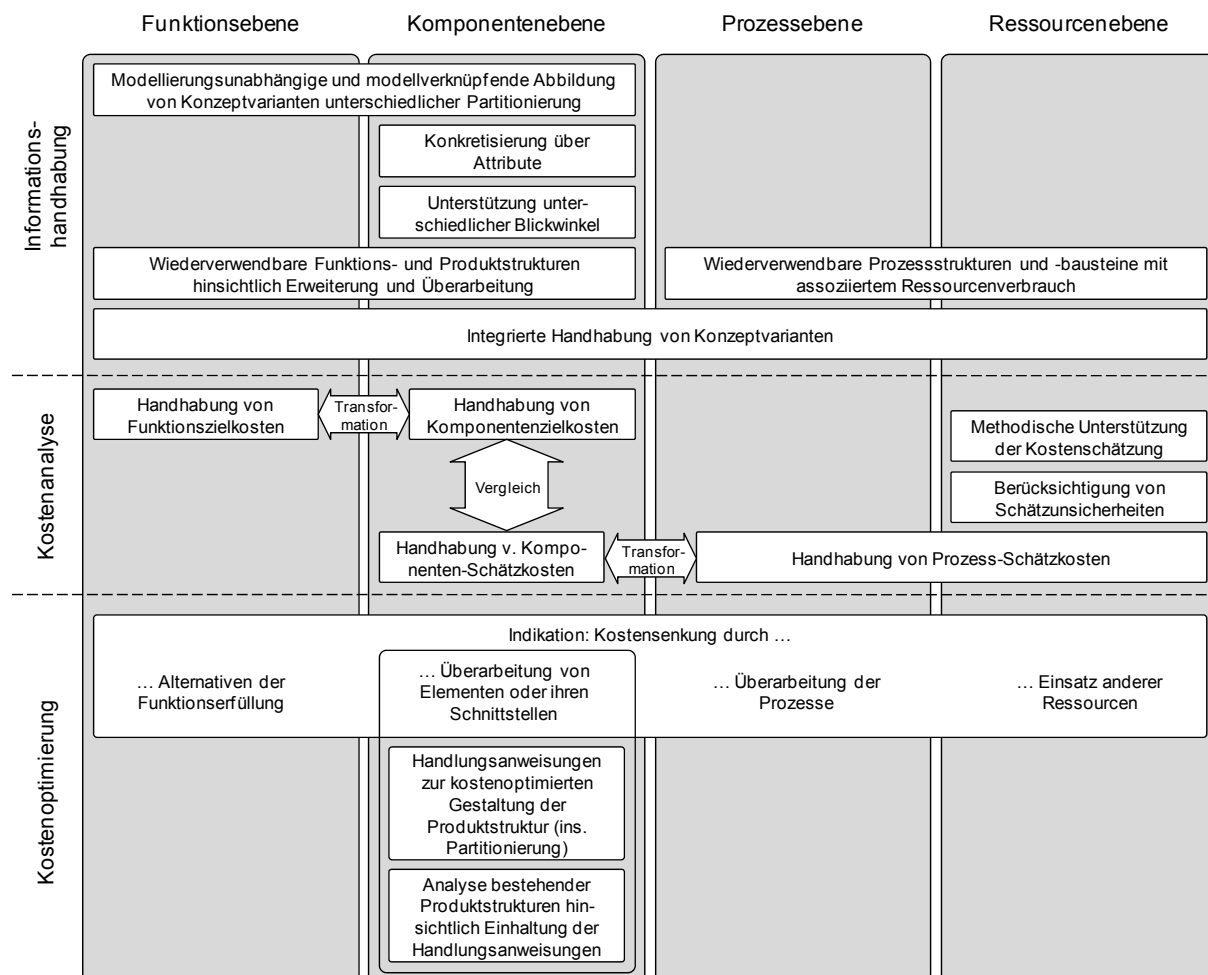


Bild 2: Visualisierung der Anforderungen

### 3.2 Kostenanalyse

Im Rahmen der Kostenanalyse sollte der zu entwickelnde Ansatz den entwicklungsbegleitenden Vergleich von Ziel- und aktuellen Schätzkosten im Sinne des Target Costing [11] ermöglichen. Für den Fall, dass die Zielkosten als Funktionszielkosten vorliegen soll eine pro-

blemlose Transformation in Komponentenzielkosten ermöglicht werden. Die Schätzkosten sind in Anlehnung an die von Gahr entwickelte Pfadkostenrechnung [12] – einer speziellen Form der Prozesskostenrechnung – zu bestimmen, so dass folglich auch eine Transformation von Prozess- in Komponentenkosten ermöglicht werden muss. Dabei macht es bei der Abschätzung der Kosten gerade in frühen Phasen Sinn Schätzunsicherheiten zu berücksichtigen [12, 13]. Außerdem soll eine methodische Unterstützung auf Basis domänenspezifischer Kostenschätzwerkzeuge ermöglicht werden.

### 3.3 Kostenoptimierung

Mit dem zu entwickelnden Ansatz soll es ermöglicht werden gezielt Stoßrichtungen für kostensenkende Überarbeitungen zu identifizieren. Berücksichtigt werden sollen dabei kostensenkende Maßnahmen die sich sowohl auf Alternativen der Funktionserfüllung und die Überarbeitung von Elementen und ihren Schnittstellen aber auch der Umgestaltung der Herstellprozesse und dem Einsatz anderer Ressourcen beziehen.

Außerdem soll in den Leitfaden ein umfangreicher Katalog an Handlungsanweisungen zur kostenoptimierten Gestaltung der Produktstruktur mechatronischer Produkte – besonders im Sinne einer kostenoptimierten Partitionierung – integriert werden. Ergänzt werden soll dieser um eine Sammlung von Strukturanalysemethoden, die sinnvollen Einsatz bei der Konzeptbewertung unter Komplexitäts- und Kostengesichtspunkten – insbesondere hinsichtlich der Herstellkosten – finden.

## 4 Leitfaden für ein multidisziplinäres Kostenmanagement

Auf Basis der geschilderten Anforderungen wurde ein Leitfaden konzipiert, welcher im Laufe des Projektes mit den im Folgenden beschriebenen Inhalten befüllt wird.

Um einen situations- und nutzergerechten Einsatz des Leitfadens zu gewährleisten wurde dieser über die Merkmale „Zweck“, „Situation“ und „Wirkung“ charakterisiert [14]. Dabei beschreibt der „Zweck“ die Tätigkeiten im Entwicklungsprozess, die durch den Einsatz des Leitfadens unterstützt werden sollen, die „Situation“ die Rahmenbedingungen, die erfüllt sein müssen, damit der Einsatz des Leitfadens die erwünschte Wirkung bringt und zuletzt beschreibt die „Wirkung“ typische Ergebnisse der Leitfadenanwendung. Für den entwickelten Leitfaden sind diese Inhalte exemplarische in Bild 3 dargestellt.

Der eigentliche Leitfaden, welcher als Vorgehensempfehlung für ein erweitertes Target Costing mechatronischer Produkte zu verstehen ist, ist aus einzelnen Vorgehensbausteinen deren Auswahl und Aneinanderreihung situationsspezifisch erfolgen muss, aufgebaut. Jeder Vorgehensbaustein ist mit zugehörigen, im Rahmen des Projektes zu entwickelnden Hilfsmitteln und Methoden verknüpft (in Anlehnung an [15]).

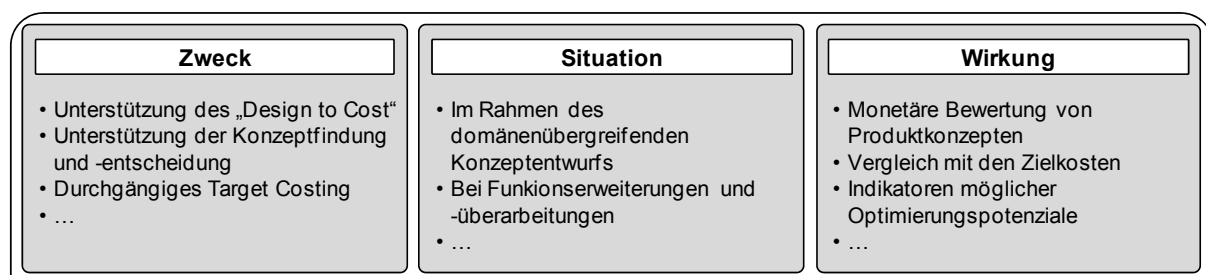


Bild 3: Zweck, Situation und Wirkung des entworfenen Leitfadens (Leitfaden Teil 1)

#### 4.1 Vorgehensempfehlung des Leitfadens

Wie bereits erwähnt, versteht sich der hier vorgestellte Leitfaden als Vorgehensempfehlung für ein erweitertes, multidisziplinäres, entwicklungsbegleitendes Target Costing. Ausgerichtet ist er dabei auf die Funktionserweiterung bzw. Funktionsüberarbeitung und die damit verbundene Variantenbildung einer bestehenden Produktbasis [16]. Da es sich beim Target Costing um einen iterativen und auch situationsspezifisch zu gestaltenden Prozess handelt, ist die vorgeschlagene Aneinanderreihung der Vorgehensbausteine nicht zwingend einzuhalten. So sind auch an einigen Stellen des vorkonfigurierten Vorgehens mögliche Handlungsalternativen vorgesehen. Um eine flexible Umgestaltung der Vorgehensstruktur zu ermöglichen wurde darauf geachtet, alle Vorgehensbausteine auf einem vergleichbaren Abstraktionsniveau zu beschreiben. Mit den Vorgehensbausteinen verknüpft sind zugehörige Methoden bzw. Hilfsmittel, die zum Teil im Rahmen des Projektes neu entwickelt wurden (Bild 4).

Zur Unterstützung der situationsspezifischen Aneinanderreihung der Vorgehensbausteine ist im Laufe des Projektes eine Entscheidungslogik zu entwerfen.

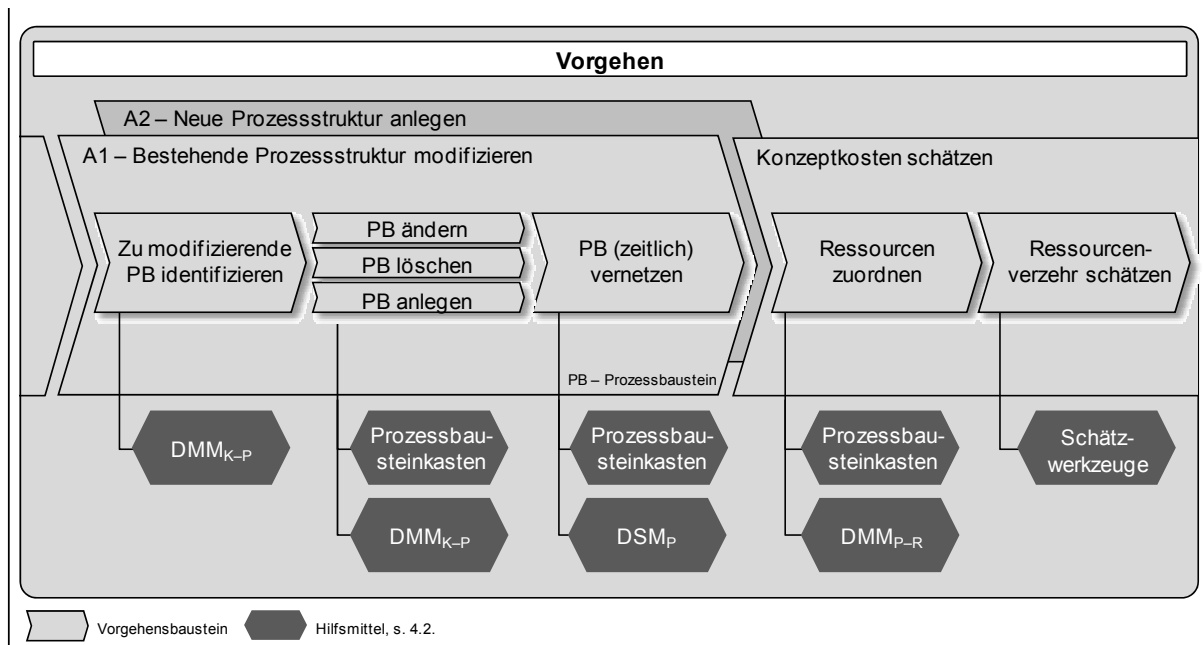


Bild 4: Ausschnitt aus dem Leitfaden: Aneinanderreihung der Vorgehensbausteine mit zugeordneten Hilfsmitteln (Leitfaden Teil 2)

Bild 4 zeigt einen Ausschnitt aus der entworfenen Vorgehensstruktur des Leitfadens: So bietet der entworfenen Ansatz zur Unterstützung einer frühzeitigen Kostenschätzung die Möglichkeit eine bestehende Prozessbausteinstruktur zu modifizieren. Denn über die ebenenübergreifende Anbindung der Prozessbausteine an die zugehörigen Produktkomponenten und weiter deren Verknüpfung mit den zu realisierenden Produktfunktionen besteht die Möglichkeit Prozessbausteine zu identifizieren, die durch eine durchzuführende Modifikation bzw. Erweiterung einer Produktfunktion betroffen sind. Auf diese Weise lässt sich bequem eine modifizierte Prozessbausteinstruktur für die betrachtete Entwicklung erstellen. Die entsprechenden Prozessbausteine gilt es dann mit geschätzten Kostenwerten zu hinterlegen. Dieser Schritt sollte durch domänenspezifische Schätzwerkzeuge unterstützt werden [19].

## 4.2 Integrierte Hilfsmittel

Die mit den beschriebenen Vorgehensbausteinen des Leitfadens verknüpften Hilfsmittel lassen sich den Anforderungskategorien des in Kapitel 3 beschriebenen Lastenhefts zuordnen (Bild 5).

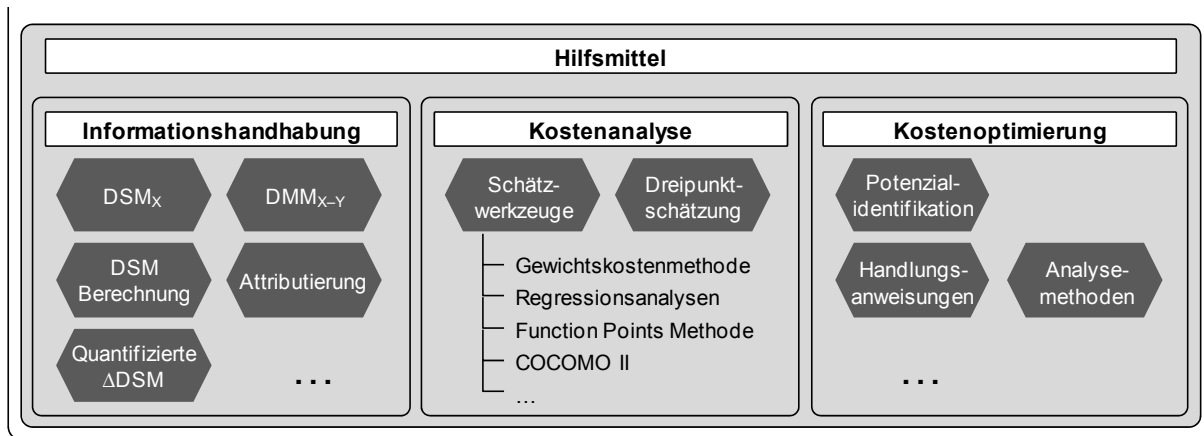


Bild 5: Kategorisierung der Hilfsmittel (Leitfaden Teil 3)

### 4.2.1 Hilfsmittel der Informationshandhabung

Wie beschrieben ist es das Ziel des vorgestellten Ansatzes Komplexitäts- und Kostentreiber multidisziplinärer Konzeptvarianten in ihrer gesamten Vernetzung abzubilden um auf diese Weise die Entwicklung eines kostenoptimierten Gesamtkonzeptes zu ermöglichen.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Ansätze zur Verknüpfung von Produkt-, Prozess- und Kostenausprägungen (z.B. [17, 18]) veröffentlicht. Systematisiert man diese Ansätze, so lassen sie sich in die so genannte Multiple-Domain Matrix Notation (MDM [19, 20]) überführen. In einer MDM sind die betrachteten Domänen, im beschriebenen Falle die vier Betrachtungsebenen (Funktions-, Komponenten-, Prozess- und Ressourcenebene), in einer symmetrischen Matrix angeordnet. Netzwerke einer Domäne, also beispielsweise die Funktionsstruktur, finden sich in Form von Design Structure Matrizen (DSM [21]) auf der Diagonalen der MDM. Der Rest der MDM besteht aus Domain Mapping Matrizen (DMM [22]), welche eine Verknüpfung von Elementen über Ebenen hinweg ermöglichen, wie beispielsweise die Anbindung der Systemelemente an die Funktionsstruktur (Bild 6 oben links).

Bei den Arbeiten im Rahmen des Projektes zeigte sich, dass die MDM Notation eine flexible Möglichkeit der Datenaufbereitung darstellt. Produktinformationen können unabhängig ihrer sonstigen Modellierungsform in Zusammenhang gestellt und in diesem analysiert werden [23]. Als konkrete Hilfsmittel sind die unterschiedlichen, verwendeten und miteinander verknüpften Matrizen im Leitfaden referenziert (Bild 4, 5, 6).

Erweitert wird die von Maurer voran getriebene MDM Methodik [20] um die Handhabung von Kostenwerten in den verschiedenen Matrizentypen [24]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass strukturelle Informationen durch die Integration von numerischen Werten nicht beeinflusst werden [24]. So musste beispielsweise sicher gestellt werden, dass trotz der Integration von Funktionskosten in die Funktionsstruktur  $DSM_F$  eine Berechnung der, die funktionale Vernetzung der Komponenten abbildenden  $DSM_K$  nachwievor ohne Verlust struktureller Informationen möglich bleibt [16].





scheiden. Das bedeutet, dass für die Schätzung domänenspezifischer Produktanteile im Rahmen einer Gesamtschätzung eines multidisziplinären Produktes diese Methoden nicht beliebig miteinander kombiniert werden können wenn eine gewisse Aussagequalität angestrebt wird. Denn ansonsten wären die Schätzwerte der einzelnen Produktanteile nicht miteinander vergleichbar. Aus diesem Grund brauchen Anwender Unterstützung bei der sinnvollen Kombination der dokumentierten Methoden. Deshalb beinhaltet die angedachte Unterstützung zunächst eine Klassifikation der Schätzmethoden. Bisher dafür vorgesehene Kriterien sind: der Einsatzzeitpunkt, der Anwendungsaufwand, die geforderte Güte der Ausgangsdatenbasis (Berücksichtigung des bisherigen Kalkulationswesens des Unternehmens) und die Art der Kostenanteile für die die Schätzmethode angewendet werden kann. Auf Basis dieser Klassifikation können die Methoden in einem systematisierten Schema – ähnlich einem Morphologischen Kasten – abgebildet werden. Sinnvolle Kombinationspfade sollen dann für verschiedene Anwendungsfälle vordefiniert und in dieses Schema projiziert werden und so den Anwender bei seiner Auswahl unterstützen.

Auch die Berücksichtigung von Schätzunsicherheiten wurde in den Ansatz integriert. Nach dem Vorbild von [12] kam zu diesem Zweck eine Dreipunktschätzung [13] zum Einsatz.

#### 4.2.3 Hilfsmittel der Kostenoptimierung

Durch das Vorhandensein von in [16] näher beschriebenen, zusätzlichen strukturellen Informationen erhält der Anwender einen Hinweis, ob eine Kostenoptimierung tendenziell eher durch konzeptionelle Alternativen der Funktionserfüllung, die Überarbeitung von Elementen oder ihrer Schnittstellen, die Überarbeitung der Prozesse oder durch den Einsatz alternativer Ressourcen erreicht werden kann.

Als weiteres Hilfsmittel sind Handlungsanweisungen zur kostenoptimierten Gestaltung mechatronischer Produkte – insbesondere in Hinblick auf die Partitionierung – angedacht. Handlungsanweisungen zum kostengünstigen Konstruieren aus der klassischen, mechanisch geprägten Konstruktionslehre [29] beschäftigen sich mit der kostenoptimierten Gestaltung spezifischer Produktausprägungen, wie beispielsweise der Positionierung von Schweißnähten (Sammlung in [29, 30]). Die Ableitung von Rückschlüssen auf die Produktkosten aus der bloßen Beurteilung einer spezifischen Gestaltausprägung einzelner Produktkomponente ist bei stark interdisziplinär vernetzten Produkten jedoch nicht als allein zielführend zu erachten. Aus der Erfahrung der Projektbearbeitung heraus ist es vielmehr die Konstellation der Produktstruktur mit den ihr zugrundeliegenden Strukturcharakteristika die als kostentreibende Größe nicht zu vernachlässigen ist [31]. Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Ausprägungen der Produktstruktur und der Kostenstruktur sind jedoch bisher nicht dokumentiert. In der Folge gibt es auch keine Handlungsanweisungen zur kostenoptimierten Gestaltung der Produktstruktur – besonders im Sinne einer kostenoptimierten Partitionierung – mechatronischer Produkte. Die zumindest teilweise Behebung dieses Defizits in Form von Untersuchungen in der Industrie und der Ableitung erster Handlungsanweisungen wurde somit als wesentlicher Punkt in die Bearbeitung des Forschungsprojektes mit aufgenommen.

Kern der Untersuchungen ist die detaillierte Analyse des Zusammenhangs spezifischer Strukturcharakteristika der Produktstruktur und Charakteristika der Kostenstruktur. Die Produktstruktur von fünf betrachteten Produkten wurde dabei unter Berücksichtigung funktionaler Abhängigkeiten, physikalischer Abhängigkeiten und Änderungsabhängigkeiten in Form dreier Design Structure Matrizen (DSM [21]) aufbereitet. Diese Repräsentationen der Produktstruktur werden in der Folge mittels toolgestützter Analysealgorithmen auf relevante Strukturcharakteristika [20, 31] hin untersucht. Die Beschreibung der unterschiedlichen Produkte über ihre Strukturcharakteristika ist eine Möglichkeit, die betrachteten Produkte hinsichtlich ihrer Komplexität vergleichbar zu machen. Die identifizierten (Struktur-)charakteristika werden spezifischen Ausprägungen der Kostenstruktur zugeordnet. Durch die Korre-

lation der gefundenen Zusammenhänge über alle betrachteten Produkte hinweg können Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden [31], auf deren Basis erste Handlungsanweisungen zur kostenoptimierten Gestaltung der Produktstruktur mechatronischer Produkte abgeleitet werden [31].

Die Analysealgorithmen die zum Auffinden relevanter Charakteristika im Sinne eines erfolgreichen „design to cost“ mechatronischer Produkte eingesetzt werden können, sollen in Form einer Werkzeugsammlung zusammengestellt werden und Entwickler bei der Untersuchung ihrer Produkte unterstützen [31].

## 5 Reflexion und Ausblick

Um den Anforderungen eines multidisziplinären Kostenmanagements zu begegnen wurde die Erarbeitung eines generischen Leitfadens als probates Mittel eingeführt. Die in den Leitfaden eingebetteten Hilfsmittel dienen dazu, eine integrierte Betrachtung der disziplinspezifischen und -übergreifenden Kosten zu ermöglichen. Berücksichtigt wird hierbei insbesondere die „Vielschichtigkeit“ der Komplexitäts- und somit der Kostentreiber mechatronischer Produkte.

Es wurde gezeigt, dass der Einsatz der MDM Methodik im Rahmen des Kostenmanagements vollkommen neue Potenziale bietet. So ist einer der Benefits die direkte Ableitung von Kostensenkungsmaßnahmen aus den durch die DSM Analyse zusätzlich gewonnenen strukturellen Informationen [16].

Als besonders vielversprechend werden die aktuell laufenden Untersuchungen zur Erforschung des Zusammenhangs zwischen Komplexität und Kostenentstehung eingestuft, da auf diese Weise wertvolle bisher noch nicht existente Erkenntnisse zusammengetragen und in Form von Handlungsanweisungen nutzbar gemacht werden können.

## 6 Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projekts „Kostenfrüherkennung mechatronischer Produkte mittels Analyse multiplanarer Vernetzungen“ in dessen Rahmen dieser Beitrag erarbeitet wurde.

## 7 Literatur

- [1] VDI 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Berlin: Beuth 2004.
- [2] Bender, K.; Dominka, S.; Koç, A.; Pöschl, M.; Russ, M.; Stützel, B.: Embedded Systems - qualitätsorientierte Entwicklung. Berlin: Springer 2004.
- [3] Stetter, R.; Niedermeier, M.: Approaches Towards Lean Products. In: 16th International Conference on Engineering Design - ICED 2007, 28.08.-30.08.2007, Paris, Frankreich
- [4] Jansen, S.: Eine Methodik zur modellbasierten Partitionierung mechatronischer Systeme. Aachen: Shaker, 2007. Zugl. Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 2006.
- [5] Patzak, G.: Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme: Grundlagen, Methoden, Techniken. Berlin: Springer 1982.
- [6] Braun, S. C.; Hellenbrand, D.; Lindemann, U.: Kostentransparenz in der Mechatronik - Eine Studie über Komplexitäts- und Kostentreiber mechatronischer Produkte. DOI 10.2370/322\_261. Shaker Online 2007.

- [7] Clauß, C.; Reitz, S.; Schwarz, P: Simulation mechanisch-elektrischer Wechselwirkungen am Beispiel eines sensorischen Mikrosystems. In: Proceedings SIM2000 – Simulation im Maschinenbau, Dresden, 24.-25. März 2000, S. 183 ff.
- [8] Möhringer S. Gibt es ein gemeinsames Vorgehen in der Mechatronik? In: Mechatronik 2005 – Innovative Produktentwicklung. Düsseldorf: VDI 2005. (VDI-Berichte Nr. 1892).
- [9] Braun, S. C.; Lindemann, U.: A Multilayer Approach for Early Cost Estimation of Mechatronical Products. In: 16th International Conference on Engineering Design - ICED 2007, 28.08.-30.08.2007, Paris, Frankreich, S. 187-188..
- [10] Braun, S. C.; Lindemann, U.: Multiplanare Vernetzungen – Abhängigkeiten zwischen Produktkonzept, Produkterstellungsprozess und Ressourcenverbrauch in der Mechatronik. In: Gausemeier, J.; Ramming F.; Schäfer, W.; Trächtler, A.; Wallaschek, J. (Hrsg.): 5. Paderborner Workshop - Entwurf mechatronischer Systeme, 22./23.03.2007, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, S. 319-334.
- [11] Seidenschwarz, W.: Target Costing - Marktorientiertes Zielkostenmanagement. München: Vahlen 1993.
- [12] Gahr, A.: Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte. München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 67). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- [13] Neff, T.: Front Load Costing – Produktkostenmanagement auf der Basis unvollkommener Informationen. Wiesbaden, Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, Diss.: 2002.
- [14] Ponn, J.: Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte. München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- [15] Braun, T.: Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld. München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 60). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- [16] Braun, S. C.; Biedermann, W.; Lindemann, U.: Design to Cost: New Impulses for Target Costing. In: Marjanovic, D.: 10th International Design Conference Dubrovnik, 19 - 22 May 2008. The Design Society 2008.
- [17] Vivace: "Requirements/Cost Driven System Development – RCDS", In: Design to Decision Objectives – DTDO. 2004
- [18] Zrim, G.; Maletz, M.; Lossack, R.: "Experience Based Cost Management in the Early Stages of Product Development", In: Marjanovic, D.: 9th International Design Conference Dubrovnik, 15 - 18 May 2006. Glasgow: The Design Society 2006, S. 1569 - 1574.
- [19] Eichinger, M.; Maurer, M.; Lindemann, U.: Using Multiple Design Structure Matrices In: Marjanović, D. (Ed.): Proceedings of the 9th International Design Conference DESIGN 2006 Dubrovnik (Croatia), 2006, S.229-236.
- [20] Maurer, M.: Structural Awareness in Complex Product Design. München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007
- [21] Steward, D. V.: The design structure system: a method for managing the de-sign of complex systems. IEEE Transactions on Engineering Management 28 (1981), S. 71-74.
- [22] Danilovic, M.; Browning, T.: A Formal Approach for Domain Mapping Matrices (DMM) to Complement Design Structure Matrices (DSM). The 6th Design Structure Matrix (DSM) International Workshop, Proceedings, 12.-14.09.2004, University of Cambridge, Cambridge Engineering Design Centre, Cambridge, UK.

- [23] Braun, S. C.; Diehl, H.; Petermann, M.; Hellenbrand, D., Lindemann, U.: Function Driven Process Design for the Development of Mechatronic Systems. In: Lindemann, U., Danilovic, M.; Deubzer, F.; Maurer, M.; Kreimeyer, M. (Eds.): Proceedings of the 9th International DSM Conference, 16.10.-18.10.2007, München, S. 161-173.
- [24] Biedermann, W.; Maurer, M.; Lindemann, U.: "The Multiple-Domain-Approach and Cost Attributes", In: Udo Lindemann, Mike Danilovic, Frank Deubzer, Maik Maurer, Matthias Kreimeyer (Eds.): Proceedings of the 9th International DSM Conference, Munich, 16-18 October 2007. Aachen: Shaker 2007.
- [25] Kreimeyer, M.; Braun S. C.; Gürtler, M.; Lindemann, U.: Relating Two Domains Via a Third – An Approach to Overcome Ambiguous Attributions Using Multiple Domain Matrices. In: Proceedings of the ASME 2008 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2008, August 3-6, 2008, Brooklyn, New York, USA.
- [26] Braun, T; Deubzer, F.: New Variant Management Using Multiple-Domain Mapping. In: Lindemann, U., Danilovic, M.; Deubzer, F.; Maurer, M.; Kreimeyer, M. (Eds.): Proceedings of the 9th International DSM Conference, 16.10.-18.10.2007, München, S. 363-372
- [27] Weck, O. L. de: On the Role of DSM in Designing Systems and Products for Changeability. In: Lindemann, U., Danilovic, M.; Deubzer, F.; Maurer, M.; Kreimeyer, M. (Eds.): Proceedings of the 9th International DSM Conference, 16.10.-18.10.2007, München, S. 311-320.
- [28] Eben, K.; Biedermann, W.; Lindemann, U.: Modelling structural change over time – requirements and first methods. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> International DSM Conference, 11.11.-12.11.2008, Stockholm, Schweden (zur Veröffentlichung eingereicht).
- [29] Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 6. bearb. Aufl. Berlin: Springer 2007..
- [30] Michaels, J. V.; Wood, W. P.: Design to Cost. New York: Wiley 1989
- [31] Braun, S. C.; Lindemann, U.: The influence of structural complexity on product costs. In: 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 08.12.-11.12.2008, Singapore, zur Veröffentlichung angenommen

Dipl.-Ing. Stefanie C. Braun  
Lehrstuhl für Produktentwicklung  
Technische Universität München  
Boltzmannstr. 15, D-85748 Garching  
Tel: +49-89-289-15126  
Fax: +49-89-289-15144  
Email: stefanie.braun@pe.mw.tum.de  
URL: <http://www.pe.mw.tum.de>