

Anwendung einer integrierten Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien

Thomas Kipp, Christoph Blees und Dieter Krause
*Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Technische Universität Hamburg-Harburg*

1 Einleitung

Die letzten Jahrzehnte wurden durch den Megatrend der Globalisierung wesentlich geprägt. Heute ist es daher möglich, weltweite Märkte zu erschließen, aber auch erforderlich, in einem verschärften Wettbewerb zu bestehen. Um in diesem Umfeld Erfolg zu haben, müssen neu entwickelte Produktfamilien heute einer Reihe von Anforderungen gerecht werden: Der Vertrieb fordert individuell konfigurierbare Produkte, die dennoch eine geringe Komplexität aufweisen. Produktion und Logistik fordern kommunale Bauteile und Werkstoffe. Kunden wünschen sich letztlich die Erfüllung ihrer Wünsche, einen geringen Preis und eine intuitive Bedienung des Produkts.

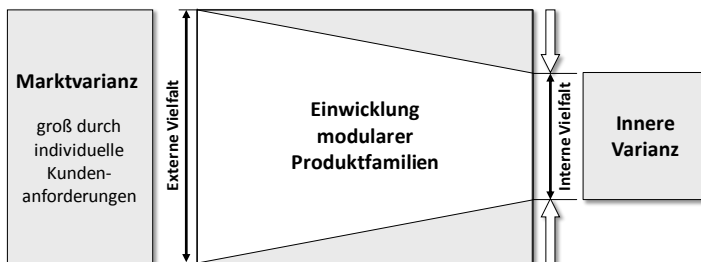


Bild 1: Zielsetzung modularer Produktfamilien

Um solchen, teilweise widersprüchlichen, Anforderungen gerecht zu werden, ist eine modulare Strukturierung von Produktfamilien unerlässlich. Die Module ermöglichen es, wie in Bild 1 dargestellt, eine große externe Vielfalt auf Basis einer geringen internen Vielfalt anzubieten. Zur Entwicklung modularer Produktfamilien wurde am Institut PKT der TU Hamburg-Harburg eine integrierte Methode entwickelt, welche u.a. am Beispiel einer Fallstudie auf der NordDesign 2010 vorgestellt wurde [4].

Ziel des Beitrags ist es, ein Vorgehen zum Transfer der Methode in die industrielle Praxis aufzuzeigen sowie die Erfahrungen aus der Anwendung dieses Vorgehens zu vermitteln und die daraus resultierenden Forschungspotentiale aufzuzeigen. Im Folgenden werden hierzu die grundlegende Idee der *integrierten Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien* und der aktuelle Stand der Entwicklung der Methode beschrieben. Anschließend wird ein Vorgehen zum Transfer der Methode in die industrielle Praxis am Beispiel seiner ersten Anwendung aufgezeigt. Abschließend werden die Ergebnisse und die Erfahrungen aus der ersten industriellen Anwendung diskutiert und daraus neue Forschungspotentiale abgeleitet.

2 Ausgangssituation und resultierende Forschungsfragen

Ein Teil der bestehenden Methoden zur Strukturierung von Produktfamilien dient der Reduzierung der Komplexität, indem entweder die Kopplungen zwischen den Bausteinen oder die Vielfalt der Bausteine reduziert werden (z.B. die *Design Structure Matrix* [6] oder *Design for Variety* [5]). Produktstrategische Modularisierungsmethoden entwickeln demgegenüber die Produktstruktur auf Basis der Anforderungen der unterschiedlichen produktstrategischen Sichten (z.B. *Modular Function Deployment* [2]). Der Vorteil von Methoden, welche die Anzahl der unterschiedlichen Bausteine reduzieren und den gemeinsamen Anteil erhöhen, liegt in der erzielbaren deutlichen Verminderung der internen Vielfalt. Der Nachteil dieser Methoden liegt in ihrem beschränkten Fokus. So verursachen die entstandenen Konzepte eine geringe interne Vielfalt, doch ist nicht sichergestellt, dass ihre Produktstruktur dem gesamten Produktlebenszyklus (z.B. Reparatur und Wartung) gerecht wird.

Demgegenüber liegt der Vorteil einer produktstrategischen Modularisierung darin, dass während der Modularisierung die Anforderungen aller Phasen des Produktlebenszyklus in Betracht gezogen werden. Nachteil dieser Methoden ist allerdings, dass aufgrund der vielfältigen Anforderungen und der dadurch nötigen Kompromisse die Qualität der Modularisierung mit zunehmender Komplexität der Produktfamilie sinkt.

Ziel der *integrierten Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien* ist es, die Vorteile beider Ansätze miteinander zu verbinden und ihre Nachteile zu vermeiden. Dafür werden die Methodenbausteine *Variantengerechte Produktgestaltung* [3] und *Produktlebenszyklus-Modularisierung* [1] in sequentieller Abfolge angewendet [4]. Wie in Bild 2 dargestellt, dient die variantengerechte Produktgestaltung dabei der Entwicklung und Konstruktion eines Satzes von variantengerechten Komponenten, der die Komplexität der Produktfamilie reduziert. Die anschließende Modularisierung greift diesen variantenbereinigten Komponentensatz auf und erzeugt darauf basierend eine Modularisierung, die den Anforderungen des gesamten Produktlebenszyklus gerecht wird. Die reduzierte Komplexität der Produktfamilie ermöglicht dabei eine hohe Qualität der Modularisierung.

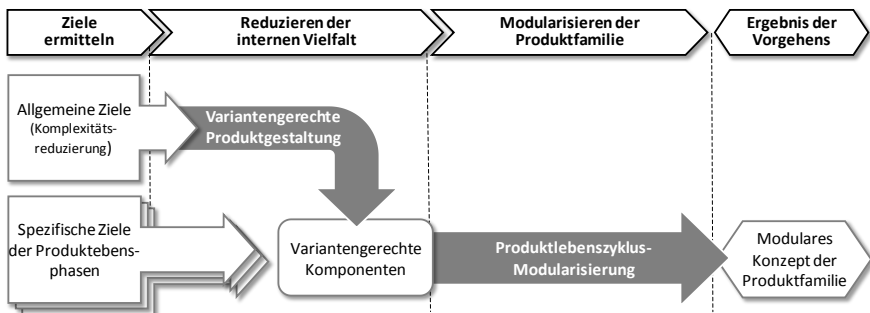


Bild 2: Grundidee der Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien

Dieser integrierte Ansatz wurde bereits im universitären Umfeld in einer ersten Fallstudie erprobt, wobei eine reale Produktfamilie als Beispiel diente. Das Ergebnis der Fallstudie übertraf die Ergebnisse einer separaten Anwendung der einzelnen Methoden deutlich [4]. Ziel des folgenden, hier vorgestellten Schritts der Methodenentwicklung ist es, die Methode in einer weiteren Fallstudie in der industriellen Praxis anzuwenden und daraus neue Forschungspotentiale abzuleiten. Für diesen Schritt der Methodenentwicklung sind die folgenden Forschungsfragen von Interesse:

- Wie kann die Methode zum Transfer und zur Anwendung in der industriellen Praxis aufbereitet werden?
- Welche weiteren Forschungspotentiale können aus der ersten Anwendung im industriellen Umfeld abgeleitet werden?

Um diese Forschungsfragen zu beantworten, wird nachfolgend das Konzept zur Anwendung der Methode in der industriellen Praxis anhand einer Fallstudie vorgestellt. Anschließend wird das Feedback des Industriepartners zusammengefasst, bevor Potentiale für die zukünftige Forschung abgeleitet werden.

3 Vorstellung des Konzepts für den Methodentransfer

Die Aufgabenstellung beim Transfer einer Methode im Rahmen eines industriellen Entwicklungsprojekts ist es, Vermittlung und Anwendung der Methode zu kombinieren. Um dies zu ermöglichen, wird die *integrierte Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien* als Workshop-Reihe aufbereitet. Hierzu wird das Vorgehen in sieben Schritte gegliedert, aus welchen einzelne Workshops und definierte Vorbereitungstermine abgeleitet werden. Diese werden im Folgenden anhand ihrer Ziele und Inhalte sowie der genutzten Methodenbausteine vorgestellt. Als Beispiel dient dabei eine Produktfamilie von Tauchpumpen mit interner Energieversorgung, die je nach Variante zum Abpumpen verunreinigter oder auch leicht entflammbarer bzw. explosiver Fluide genutzt werden können.

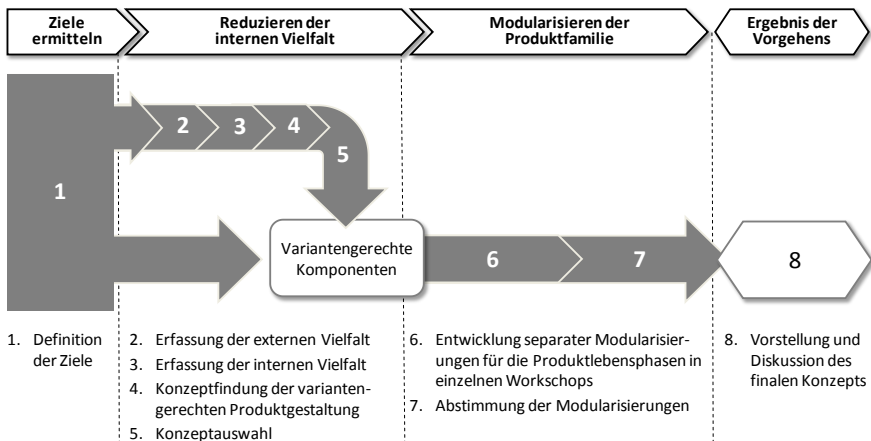


Bild 3: Grundidee der Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien

3.1 Definition der Ziele der Modularisierung

Der erste Workshop dient der Definition von Zielen für die Gestaltung der Produktfamilie. Dabei werden sowohl allgemeine Ziele, als auch Ziele der ver-

schiedenen produktstrategischen Sichten aufgenommen. Dieser Workshop wird am Beginn eines Entwicklungsprojekts durchgeführt.

Im Rahmen dieses Workshops ist es wichtig bei allen Mitgliedern des Teams ein gemeinsames Verständnis für den Begriff der Modularität zu schaffen, da dies meist nicht gegeben ist. Hierzu ist beispielsweise eine Vorstellung dieses Begriffs auf Basis der fünf von Salvador ermittelten Merkmale der Modularität sinnvoll [7]. Darüber hinaus sind die Mitglieder des Projektteams im Rahmen dieses Workshops über die erzielbaren Vorteile sowie die möglichen Nachteile der Modularisierung zu informieren. Nach der Information der Teilnehmer sind gemeinsam Ziele für die Modularisierung der Produktfamilie zu erarbeiten und diese anschließend zu gruppieren und zu priorisieren. Im Beispiel der Tauchpumpe wurden hierbei Ziele wie die „individuelle Kombinierbarkeit“ der Komponenten und die „Anwendung einer Postponement-Strategie“ definiert. An dem entstandenen Zielsystem orientiert sich die gesamte anschließende Modularisierung.

3.2 Erfassung der externen Vielfalt

Der zweite Workshop dient der Erfassung der geplanten externen Vielfalt, also der Abstimmung zwischen Vertrieb / Produktprogramm-Management und Entwicklung. Im Vorfeld dieses Workshops muss eine umfassende Analyse der Marktbedürfnisse vorliegen. Auf deren Basis wird ein vorläufiger *Merkmalsbaum* – ein Modell zur Visualisierung der Produktvielfalt – der Produktfamilie als Diskussionsgrundlage vorbereitet.

Innerhalb des Workshops sind die Teilnehmer erst mit der Visualisierungsmethode *Merkmalsbaum* vertraut zu machen, bevor ihnen der vorläufige Merkmalsbaum vorgestellt wird. Auf Basis dieses Merkmalsbaums sind anschließend die *Unterscheidungsmerkmale* (Bild 4 oben) zu vervollständigen, zu präzisieren und zu ordnen. Anschließend sind ihre Ausprägungen ebenfalls zu präzisieren und zu vervollständigen, bevor abschließend die Kombinatorik überprüft wird. Hierbei sind insbesondere Kombinationen von Ausprägungen zu eliminieren, die nicht angeboten werden sollen.

Ergebnis des Workshops ist somit ein Merkmalsbaum, der den Entscheidungsprozess des Kunden vollständig wiedergibt und quantitativ ausgewertet werden kann. Dieser ist in Bild 4 für die Produktfamilie der Tauchpumpen dargestellt.

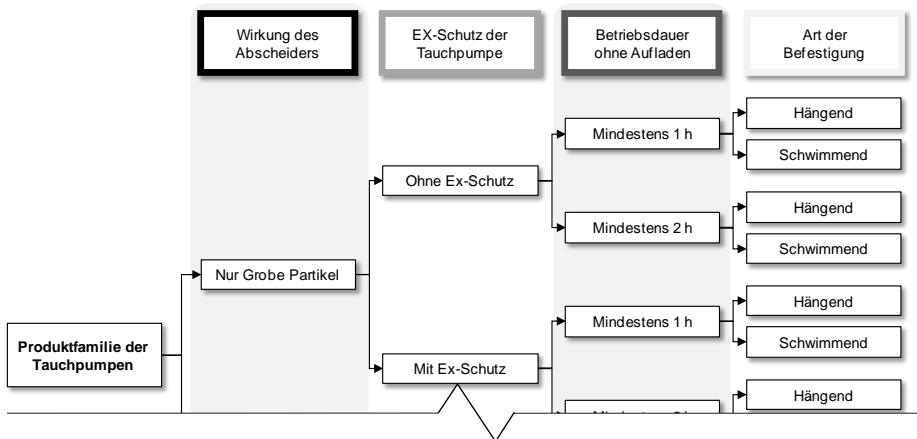


Bild 4: Merkmalsbaum der Familie der Tauchpumpen

3.3 Erfassung der internen Vielfalt

Der dritte Workshop dient zur Erfassung der Funktionalität und der internen Vielfalt der Produktfamilie mit den Entwicklern. Zur Vorbereitung dieses Workshops ist ein vorläufiges funktionales Produktmodell zu erstellen, welches auf einer Analyse von Vorgänger- oder Wettbewerbsprodukten basieren kann. Hierzu wird der *Modul Interface Graph (MIG)* verwendet (siehe Bild 5). Er stellt die Funktionsträger (Komponenten), die strukturellen Verbindungen und die Leistungs-, Stoff- und Informationsflüsse dar [1]. Damit eignet er sich ideal als Basis zur Erfassung der Funktionalität im Rahmen des Workshops sowie zur Visualisierung verschiedener Konzepte und Modularisierungen in den folgenden Terminen. Deshalb wird er innerhalb der entwickelten Methode konsequent zur Visualisierung genutzt.

Im Anschluss an die Erfassung der Funktionalität der Produktfamilie wird die aufgrund der Unterscheidungsmerkmale nötige Varianz der Funktionsträger ermittelt. Dieser Teil sollte wiederum so vorbereitet sein, dass innerhalb des Workshops eine Konzentration auf unklare oder kritische Punkte erfolgen kann.

Als Ergebnis des Workshops liegen damit ein abgestimmtes funktionales Modell der Produktfamilie und eine Dokumentation der Varianz der Funktionsträger vor. In Bild 5 ist der resultierende MIG der Produktfamilie der Tauchpumpe dargestellt. Er beinhaltet alle Funktionsträger der Tauchpumpe; entlang des Hauptumsatzes sind dies: Der Ansaugrüssel, der Partikel-

Abscheider, die Pumpe, das Anschlussstück und der Schlauch zu Ableitung des Fluids. Die Darstellung des MIGs orientiert sich dabei an der Struktur bestehender Produkte.

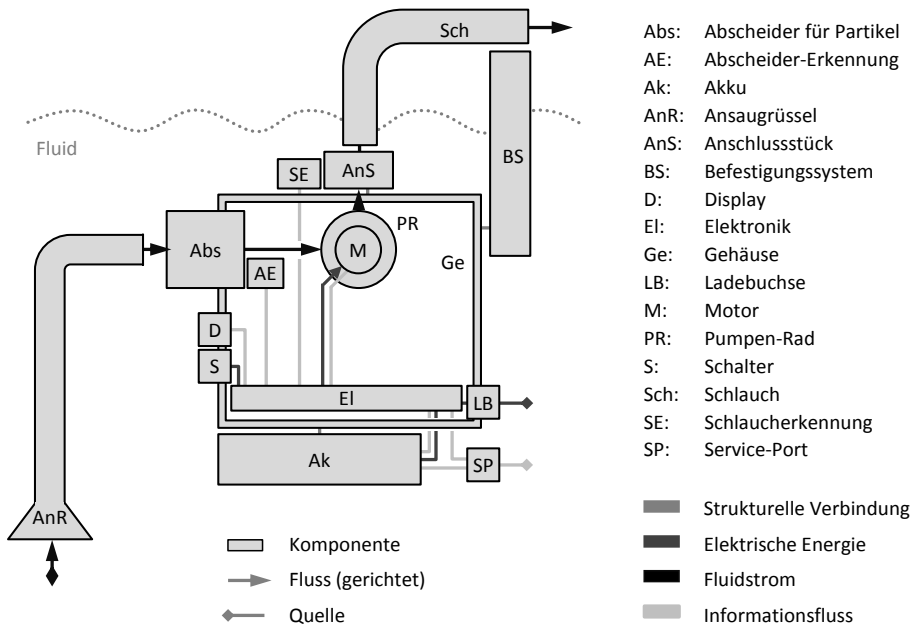


Bild 5: Module Interface Graph (MIG) der Familie der Tauchpumpen

3.4 Ideenfindung der variantengerechten Produktgestaltung

Im vierten Workshop sollen Ideen zur Reduzierung der internen Vielfalt der Produktfamilie abgeleitet werden. Dazu wird basierend auf den vorhergehenden Ergebnissen ein *Variety Allocation Model (VAM)* der Produktfamilie vorbereitet. Dieses neu entwickelte Modell visualisiert die Varianz von Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten sowie ihre Zuordnungen untereinander und zu den Unterscheidungsmerkmalen der Produktfamilie (siehe Bild 6). Es wird im Rahmen des Workshops genutzt, um Verbesserungspotentiale in der Variantenbildung zu visualisieren.

Der Workshop richtet sich wiederum an die Produktentwicklung, sollte aber zu Förderung der Kreativität heterogen besetzt werden. Zu Beginn wird den Teilnehmern ein Idealbild der variantengerechten Gestaltung von Produktfamilien vorgestellt [3], dabei ist beispielsweise die *Eins-zu-Eins-Zuord-*

nung zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Variantenkomponenten ein zentrales Kriterium. Anschließend wird das VAM der zu betrachtenden Produktfamilie mit dem Idealbild verglichen, wodurch Aufgabenstellungen für die folgende Ideenfindung abgeleitet werden. Dieser Abgleich ist im Bild 6 dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass die Familie der Tauchpumpen bei der bestehenden Gestaltung dem Kriterium der *Eins-zu-Eins-Zuordnung* widerspricht, da einerseits das Unterscheidungsmerkmal Explosionsschutz eine Auswirkung auf eine Vielzahl von Funktionen hat und andererseits mehrere Komponenten (bspw. der Akku) von zwei Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst werden.

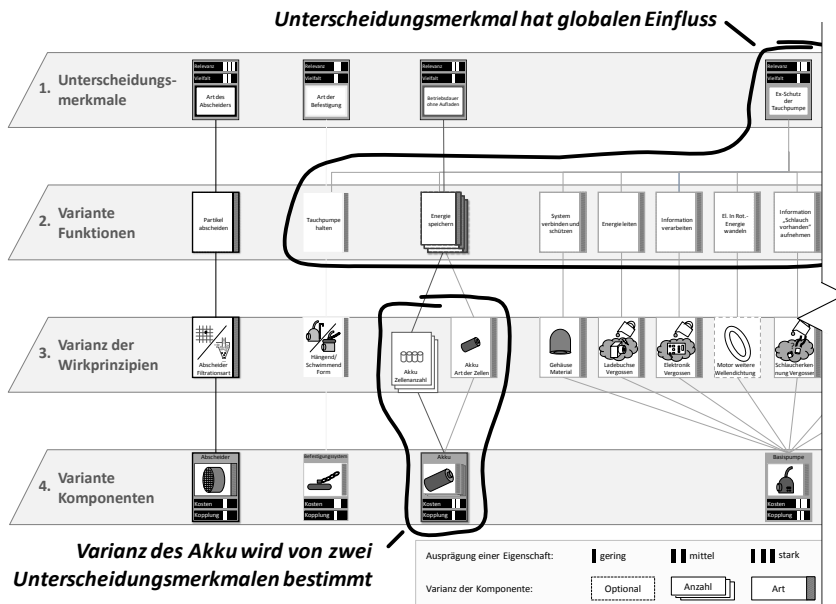


Bild 6: Variety Allocation Model (VAM) der Familie der Tauchpumpen

Im folgenden Teil werden Lösungsansätze entwickelt, um die identifizierten Schwachpunkte der Variantenbildung zu beseitigen. Beispielsweise ist für den Akku der Tauchpumpen die Idee entstanden, ein oder zwei gleiche Akkus anstatt der Varianten mit unterschiedlicher Betriebsdauer zu verwenden. Dadurch kann die Vielfalt der Akkuvarianten von vier auf zwei gesenkt werden.

Ergebnis des Workshops sind somit vielfältige Lösungsideen zur Verbesserung der Variantengerechtigkeit der Produktfamilie.

3.5 Auswahl eines variantengerechten Produktkonzepts

Der fünfte Workshop dient der Auswahl eines variantengerechten Produktkonzepts. In der Vorbereitung werden aus den Lösungsideen des vorhergehenden Termins konsistente Konzepte zusammengestellt. Im Rahmen des Workshops werden diese Konzepte dem gesamten Projektteam vorgestellt und von diesem bewertet. Zur Visualisierung der Konzepte wird wiederum der *Modul Interface Graph (MIG)* genutzt. Aufgrund der frühen Phase im Rahmen des Entwicklungsprojekts wird auf eine *einfache Punktbewertung* zurückgegriffen, wobei aber insbesondere die erarbeiteten Ziele der Modularisierung als Bewertungskriterien dienen.

Ergebnis dieses Workshops ist ein variantengerechtes Konzept, welches die Basis der folgenden Produktlebenszyklus-Modularisierung bildet.

3.6 Spezifische Modularisierungen für die Produktlebensphasen

Um auf Basis des variantengerechten Konzepts eine Modularisierung der Produktfamilie zu entwickeln, die allen Phasen des Produktlebenszyklus gerecht wird, ist in diesem Schritt pro Lebensphase eine spezifische Modularisierung zu entwickeln.

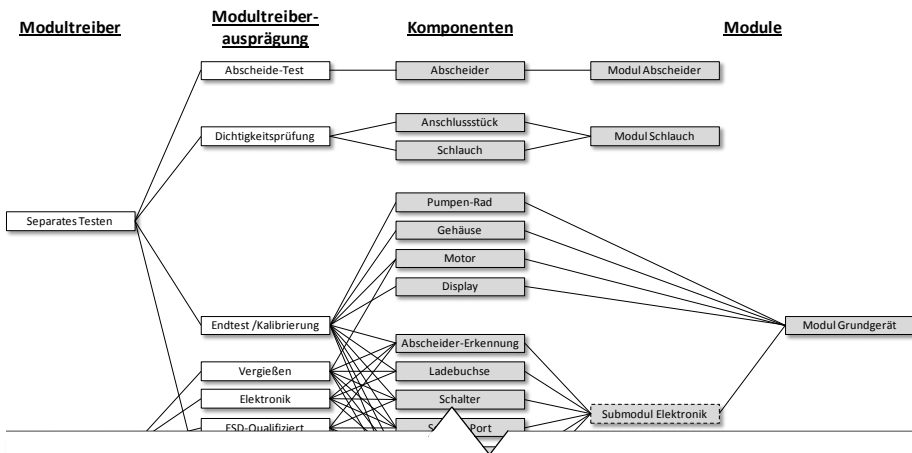


Bild 7: Netzplan der Tauchpumpen-Familie für die Phase Herstellung

Dazu werden in einzelnen Workshops mit den Vertretern der jeweiligen Unternehmenssicht die phasenspezifischen Modultreiber konkretisiert und ihre Auswirkung auf Komponenten ermittelt. Dieser Schritt wird in separaten

Netzplänen dokumentiert (siehe Bild 7). Basierend auf der Zuordnung zwischen spezifizierten Modultreibern und Komponenten werden anschließend phasenspezifische Modularisierungen entwickelt. Wie im Bild zu erkennen, wurde bspw. für die Herstellung der Modultreiber *separates Testen* durch die Ausprägung *Dichtigkeitsprüfung* spezifiziert. Diese betrifft *Anschlussstück* und *Schlauch*, weshalb beide aus Sicht der Herstellung ein Modul bilden.

Ergebnis dieser Workshops sind verschiedene Modularisierungen für die Produktlebensphasen, die sowohl in den *Netzplänen* als auch in *Modul Interface Graphen* dokumentiert werden.

3.7 Abstimmung der phasenspezifischen Modularisierungen

Dieser Workshop dient der Abstimmung der unterschiedlichen Modularisierungen zu einem konfliktfreien modularen Konzept. Um diese Abstimmung zu ermöglichen, wird aus den phasenspezifischen Modularisierungen ein *Module Process Chart (MPC)* abgeleitet (siehe Bild 8). Dieser stellt die unterschiedlichen Modularisierungen in einem Prozessablauf dar, wodurch Konflikte zwischen den spezifischen Modularisierungen offensichtlich werden.

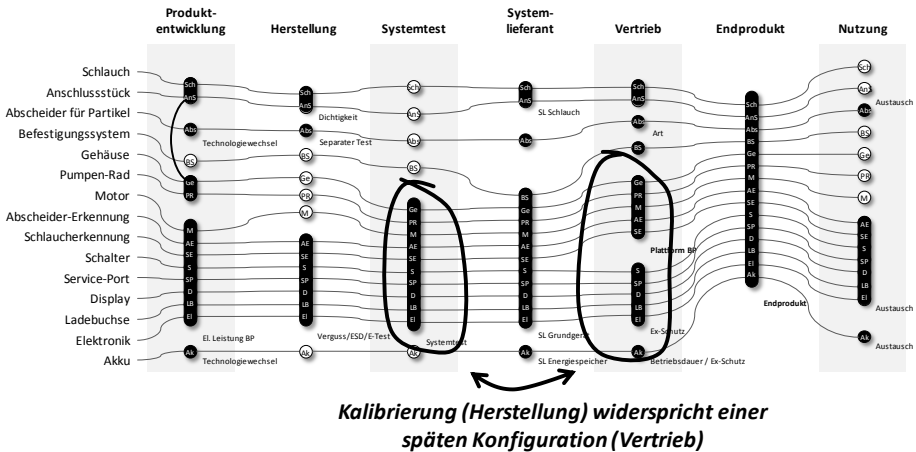


Bild 8: Module Process Chart (MPC) der Tauchpumpen-Familie

Innerhalb des Workshops werden die spezifischen Modularisierungen den Vertretern aller Sichten des Unternehmens mithilfe der *Netzpläne* und der *Modul Interface Graphen* vorgestellt und gemeinsam diskutiert. Anschließend werden die im MPC erkennbaren Konflikte vorgestellt und Ideen zur Auflösung

dieser Konflikte gesucht. Im Fall der Familie der Tauchpumpen bestand der wesentliche Konflikt zwischen dem Vertrieb, der ein separates konfigurierbares Elektronikmodul wünschte und der Herstellung, die eine Kalibrierung der Tauchpumpe inklusive Elektronik forderte. Innerhalb des Workshops wurde ein konstruktiver Ansatz erarbeitet, der einen Verzicht auf die Kalibrierung ermöglicht.

Das Ergebnis des Workshops bilden also sowohl innovative Konfliktlösungen als auch erzielte Kompromisse zur Abstimmung der Sichten.

3.8 Vorstellung des finalen modularen Konzepts der Produktfamilie

Basierend auf den Ergebnissen des vorhergehenden Workshops wird ein modulares Konzept vorbereitet, welches den Erfordernissen aller Sichten des Unternehmens gerecht wird. Dieses kann mehrere phasenspezifische Modularisierungen umfassen, welche im Produktlebenszyklus konfliktfrei koexistieren. Der letzte Termin dient ausschließlich der Vorstellung des Konzepts auf Basis des MIG und zur Diskussion dieses Ergebnisses.

Das modulare Konzept der Tauchpumpen umfasst zwei Modularisierungen. Die eine Modularisierung deckt die Sichten von Entwicklung, Herstellung, Einkauf und Vertrieb ab, die zweite Modularisierung bildet die Sicht der Nutzungsphase (Wartung und Reparatur) ab. Beide Modularisierungen wurden so abgestimmt, dass sie im Produktleben konfliktfrei koexistieren können.

4 Feedback des Industriepartners und Ausblick

Ziel der industriellen Anwendung war es, die *integrierte Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien* in der Praxis zu erproben und daraus Potentiale für die Forschung abzuleiten. Als Basis hierzu wird im Folgenden das Feedback des Industriepartners zusammengefasst.

Positive Aspekte des Vorgehens sind demnach die „gemeinsame Erarbeitung der Ziele“, die „Erfassung der externen Vielfalt und ihre Visualisierung mithilfe des Merkmalsbaums“ sowie die „Konkretisierung des prinzipiellen Aufbaus mithilfe des MIG“. Als besonders positiv wurde die durchgängige Verwendung des MIG und der spezifischen Visualisierungsmodelle hervorgehoben. Dabei wurde allerdings angemerkt, dass bspw. das Variety Allocation Model als hilfreich aber auch als schwer verständlich wahrgenommen wurde.

Desweiteren wurde die umfassende Betrachtung der unterschiedlichen Produktlebensphasen in der Modularisierung positiv hervorgehoben, wobei

wiederum angemerkt wurde, dass darüber hinaus eine optimale Abstimmung der Modularisierung der Produktfamilie auf die Supply-Chain der Firma erstrebenswert wäre.

Damit haben sich sowohl das zweistufige Vorgehen der integrierten Methode als auch die visuelle Unterstützung in der Praxis bewährt. Zusätzlich haben sich Ziele zur weiteren Verbesserung der Methode ergeben: Die Vereinfachung der Visualisierungsmodelle und die Erweiterung der Produktlebenszyklus-Modularisierung, um eine optimale Abstimmung der Produktstruktur auf die Wertschöpfungskette des jeweiligen Unternehmens zu ermöglichen.

Literatur

- [1] Bles, C., Jonas, H., Krause, D.: Development of Modular Product Families. 12th International DSM Conference, Cambridge, 2010.
- [2] Erixon, G.: Modular Function Deployment: A Method for Product Modularisation. Stockholm: Dissertation, Royal Institute of Technology, 1998.
- [3] Kipp, T.; Krause, D.: Design for Variety – Ein Ansatz zur variantengerechten Produktstrukturierung. 6. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, Aachen, 2008, S. 159-168.
- [4] Kipp, T.; Bles, C.; Krause, D.: Development of Modular Product Families: Integration of Design for Variety and Modularization. NordDesign 2010, Goteborg, 2010.
- [5] Martin, M.: Design for Variety: A Methodology for Developing Product Platform Architectures. Stanford: Dissertation, Stanford University, 1999.
- [6] Pimpler, T. U.; Eppinger, S. D.: Integration Analysis of Product Decompositions. Proceedings of the 6th Design Theory and Methodology Conference, New York, 1994, S. 343-351.
- [7] Salvador, F.: Toward a Product System Modularity Construct: Literature Review and Reconceptualization. IEEE Transactions on Engineering Management 54, 2007, S. 219-240.