

## **ENTWICKLUNG VON METHODEN ZUR VARIANTENGERECHTEN PRODUKTGESTALTUNG**

*Thomas Kipp, Dieter Krause*

### **Zusammenfassung**

Im folgenden Beitrag wird ein Überblick über verschiedene Methodiken der variantengerechten Produktgestaltung gegeben. Aus dem anschließenden Vergleich dieser anwendungsspezifischen Methodiken mit der generellen Produktentwicklungsmethodik wird ein effizientes Vorgehen zur variantengerechten Gestaltung von Produkten der Einzel- und Kleinserienfertigung hergeleitet. Im Anschluss werden die einzelnen Phasen näher beschrieben, ihnen verschiedene zielführende Methoden und erforderliche Informationen, beispielsweise in Form von Gestaltungsrichtlinien, zugeordnet. Parallel wird die praktische Anwendung dieses Vorgehens am Beispiel einer Maschine der Firma Softal zur Koronabehandlung von Kunststofffolien erläutert.

### **1 Einleitung**

Bereits zu Anfang der 90-Jahre stellte Prof. Franke fest, dass „das Produkt- und Teilespektrum zahlreicher Anbieter im Spezialmaschinenbau aufgrund der zunehmenden Berücksichtigung von individuellen Kundenwünschen immer breiter wird“ [1]. Dieser Trend scheint bis heute ungebrochen.

Neben anderen Maßnahmen, wie beispielsweise der Bereinigung des Produktportfolios oder der Einführung eines Produktmanagements, zählt eine variantengerechte Produktgestaltung und -strukturierung zu den elementaren Schritten auf dem Weg zu einem effizienten Umgang mit der geforderten externen Vielfalt. Wird die kontinuierliche Zunahme der individuellen Kundenwünsche in Betracht gezogen, besteht derzeit eine Kernaufgabe der Produktentwicklung darin, die stetig steigende marktseitig geforderte Variantenvielfalt mit möglichst geringem Aufwand zu erzeugen.

Zur Unterstützung dieser Tätigkeit wird im folgenden Beitrag ein Vorgehen vorgestellt und mit praktikablen Methoden hinterlegt. In Zukunft soll es den Rahmen zur weiteren Entwicklung und spezifischen Anpassung von Methoden bilden.

Gleichzeitig soll dieses Vorgehen die speziellen Anforderungen von Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung berücksichtigen. Eine der wesentlichen Anforderungen dieser Unternehmen ist es, eine vollständige Neugestaltung einer gesamten Produktgruppe möglichst zu vermeiden. Zumeist besteht der Wunsch eine Minimierung bestimmter unerwünschten Folgen der Variantenvielfalt mit möglichst geringen konstruktiven Veränderungen der Produkte zu erreichen. Verglichen mit Großserienherstellern zeigen sich auch bei diesen unerwünschten Konsequenzen der Variantenvielfalt Unterschiede. So stehen hier Probleme im Vordergrund wie beispielsweise ein großer auftragspezifischer Konstruktionsaufwand oder ein aufgrund der geringen Losgrößen großer Beschaffungsaufwand je zugelieferter Komponente.

## 2 Wesentliche Arbeiten zur variantengerechten Produktgestaltung

Als Basis für ein speziell adaptiertes Vorgehen werden im Folgenden die Kernpunkte dreier grundlegender Arbeiten zur variantengerechten Produktgestaltung vorgestellt.

### 2.1 Variantenoptimierende Produktgestaltung nach Franke

Die variantenoptimierende Produktgestaltung zeichnet sich durch ein klar strukturiertes, an der allgemeinen Produktentwicklungsmethodik orientiertes Vorgehen aus. Einerseits ist dabei der hohe Detaillierungsgrad des Vorgehens auffällig, und andererseits der große zu erwartende Arbeitsaufwand durch eine variantenmerkmalbezogenen Analyse der Produktgruppe sowie der betrachteten Baugruppen [1].

Zur Unterstützung der variantenmerkmalbezogenen Analyse wird die Baugruppenliste zur Produktstrukturierung, eine Methode zur Erfassung und Dokumentation der varianten Merkmale, vorgeschlagen. Basierend auf dieser Liste werden die einzelnen Komponenten mittels einer Portfolioanalyse, dem Stärkediagramm, kategorisiert. Die Dimensionen dieses Portfolios bilden dabei der anteilige Absatz sowie der anteilige Wert der Komponente. Das Ergebnis ist eine kostenorientierte Differenzierung zwischen Varianten- und Standardelementen, sowie ungünstigen Bausteinen [1].

Neben diesen Methoden bilden explizit formulierte Gestaltungsprinzipien einen wesentlichen Bestandteil der variantenoptimierenden Produktgestaltung. Diese Gestaltungsprinzipien werden als „typische Formgebungen, Anordnungen oder Bauweisen beschrieben, die für verschiedene Anwendungen als gesamthafte Lösungsansätze verwendet werden können“ [2]. Dabei wurden die folgenden Prinzipien formuliert:

- Prinzip der eindeutigen Zuordnung von Funktionen (Merkmalen) zu Baugruppen (Bauteilen) zur Verbesserung der Modularisierbarkeit
- Prinzip der Nutzung höher symmetrischer Formen als Variantenträger
- Prinzip der Überdimensionierung zur Vermeidung von Varianz
- Prinzip der variantenbezogenen Analyse und Nutzung gängiger Gestaltungsprinzipien

### 2.2 Variant Mode and Effekt Analysis (VMEA) nach Schuh und Caesar

Die VMEA ist eine Methodik zur kostengünstigen Gestaltung variantenreicher Serienprodukte. Sie ist als Synthese der Konstruktionsmethodik nach VDI-Richtlinie 2222 und des Vorgehens der FMEA entstanden [3].

Darüber hinaus fußt diese Methodik auf dem von Schuh entwickelten Variantenbaum, der die Zunahme der Varianz im Verlauf der Montage abbildet. Die EDV-technische Umsetzung des Variantenbaums im Programm Complexity Manager unterstützt die interaktive Reduzierung der Varianz und die Umstellung der Montagereihenfolge zur Schaffung eines schlanken Montageprozesses in dessen Verlauf die Variantenvielfalt erst gegen Ende entsteht [4].

Da die Montage im Maschinen- und Anlagenbau oft sehr flexibel und somit nur wenig von Auswirkungen der Variantenvielfalt betroffen ist, lassen sich die Ideen der VMEA nur bedingt auf Produkte dieser Branchen übertragen.

### 2.3 Design for Variety (DfV) nach Martin und Ishii

Das Design for Variety nach Martin und Ishii fußt auf der Grundidee, die Qualität der variantengerechten Gestaltung eines Produktes über Kennzahlen messbar zu machen [5].

Zur Entwicklung robuster Produktplattformen werden beispielsweise der Generational Variety Index (GVI) und der Coupling Index (CI) vorgeschlagen. Der GVI dient dabei der Bewertung des Aufwands zur Entwicklung folgender Produktgenerationen. Über den CI wird Kopplung (Wechselwirkung) zwischen den Modulen ermittelt, da eine geringe Kopplung zwischen den einzelnen Modulen die Variantenbildung durch Ersatz einzelner Module erleichtert.

Doch nicht nur die Bewertung dieser wichtigen Produkteigenschaften unterstützt die Entwicklung. Der komplexe Weg zur Ermittlung dieser Kennzahlen eröffnet dem Entwickler vielmehr eine neue abstrakte Sichtweise auf die Produktstruktur und deren Schwachpunkte [5]. Ähnliche Kennzahlen kommen auch im Modular Function Deployment (MFD) nach Erixson zur Anwendung.

In einem stark an der allgemeinen Produktentwicklungsmethodik angelehnten Vorgehen könnten diese oder ähnliche Kennzahlen die Bewertung der Lösungsalternativen um den Aspekt der variantengerechten Gestaltung erweitern.

### 2.4 Vergleich der vorgestellten Vorgehensweisen mit VDI-Richtlinie 2221

Aufgrund der ähnlichen Zielsetzung, der variantengerechten Gestaltung von kundenindividuellen oder Kleinserienprodukten, erscheint das Vorgehen nach Franke am besten geeignet zur Entwicklung eines speziell angepassten Vorgehens. Die Methodiken VMEA und DfV sind vor allem aufgrund einzelner Methoden wie beispielsweise den vorgestellten Kennzahlen von Interesse, auf einen Vergleich dieser Vorgehensweisen mit der VDI 2221 wird deshalb verzichtet. Der resultierende Vergleich des Vorgehens der variantenoptimierenden Produktgestaltung mit dem Vorgehen nach VDI 2221 zeigt die folgenden zwei wesentlichen Unterschiede.

Zum einen weist das Vorgehen der variantenoptimierenden Gestaltung keine explizit genannte Phase der Zieldefinition auf, wie sie sowohl das „generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren“ als auch der „systemtechnischen Problemlösungszyklus“ enthalten [6]. Um konkrete aus der Variantenvielfalt resultierende Probleme zu lösen, ist eine klare Zieldefinition jedoch erforderlich. Zum anderen weist das generelle Vorgehen nach VDI einen wesentlich geringeren Detaillierungsgrad auf. Die einzelnen Schritte stellen eher Phasen des Vorgehens als konkrete Handlungsanweisungen dar.

In beiden Punkten soll sich das nachfolgend vorgestellte Vorgehensmodell stark an der generellen Produktentwicklungsmethodik orientieren.

## 3 Angepasstes Vorgehen zur variantengerechten Produktgestaltung und -strukturierung

Aufgrund der dargestellten Diskrepanz und der besonderen Anforderungen von Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus wird ein angepasstes Vorgehen zur variantengerechten Produktgestaltung vorgestellt. Darauf basierend werden im Anschluss die einzelnen Phasen des Vorgehens am Beispiel einer Maschine zur Koronabehandlung von Kunststoffoffen detailliert erläutert.

### 3.1 Vorgehensmodell zur variantengerechten Produktgestaltung

Eine variantengerechte Produktgestaltung und –strukturierung ist in erster Linie als eine Produktentwicklung mit aufgrund der Variantenvielfalt erhöhter Komplexität zu betrachten. Deshalb sollte ein Vorgehen zur variantengerechten Produktentwicklung stark an den etablierten generellen Vorgehensmodellen ausgerichtet sein. Aufgrund des Ziels, konkrete auf der Variantenvielfalt basierende Probleme mit möglichst geringem Aufwand zu lösen, sind eine Erfassung dieser Probleme und eine Dokumentation der daraus resultierenden Entwicklungsziele unbedingt erforderlich.

Die Untersuchung eines Produkts des Maschinenbaus hinsichtlich der Variantenvielfalt der einzelnen Produktkomponenten und der effizienten Realisierung dieser Vielfalt führt häufig zu einem sehr heterogenen Bild. Oft wird ein großer Anteil der aus der Variantenvielfalt resultierenden Probleme einer Produktgruppe von nur wenigen Produktkomponenten verursacht. So kann beispielsweise ein komplexes kundenindividuelles Integralbauteil signifikanten Einfluss auf die Kosten einer gesamten Maschine haben. Deshalb sollte noch vor Beginn der konstruktiven Tätigkeiten eine Analyse durchgeführt werden, welche Produktkomponenten neu gestaltet werden müssen um die aus den erfassten Problemen abgeleiteten Ziele effizient zu erreichen.

Auf dieser Grundidee basiert das unten dargestellte Vorgehen (siehe Bild 1). Anschließend wird kurz das Produktbeispiel beschrieben und darauf folgend werden anhand des Beispiels die einzelnen Phasen des Vorgehens erläutert.

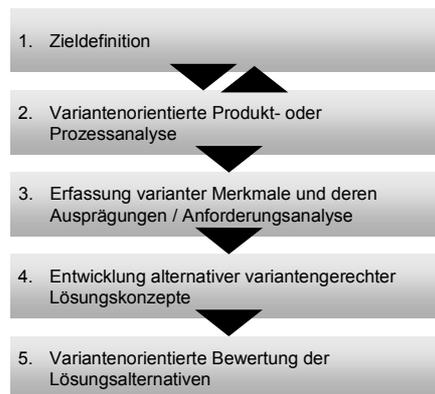


Bild 1: Vorgehen zur variantengerechten Produktgestaltung und -strukturierung

### 3.2 Beispiel zur Erläuterung des Vorgehens – Die Koronastation

Koronastationen dienen der Erhöhung der Haftfähigkeit von Tinten und Klebstoffen auf der Oberfläche von Kunststoff- und Metallfolien sowie vergleichbaren Materialien. Die Haftfähigkeit reicht aufgrund der geringen Oberflächenspannung normalerweise nur selten für ein Bedrucken, Verkleben oder Beschichten aus. Deshalb werden diese Materialien in Koronastationen einem elektrischen Plasma ausgesetzt (Korona), welches zwischen einer oder mehreren Trägerwalzen und Elektroden erzeugt wird. Durch diese Behandlung wird die Oberflächenspannung auf einen bis zu dreimal größeren Wert erhöht.

Die Baugruppen der Träger- und Führungswalzen und die der Elektroden werden in einem Maschinenrahmen bestehend aus zwei Seitenschilden und vier Quertraversen aufgehängt. Des Weiteren befinden sich außerhalb dieser Anordnung Transformatoren und Generatoren zur Versorgung der Koronafelder. Zur Absaugung des beim Bearbeitungsprozess entstehenden Ozons sind zusätzlich Gebläse angebracht. Optional können Antriebe der Trägerwalzen vorhanden sein.

Da die erzielte Wirkung dieser Behandlung innerhalb weniger Stunden bis Tage nachlässt, werden die Stationen fast ausschließlich als Komponenten größerer Anlagen wie Druckmaschinen, Blasfolienextrudern, Laminier- oder Kaschiermaschinen verbaut.



Bild 2: Koronastation der Firma Softal

### 3.3 Phase der Zieldefinition

In der Phase der Zieldefinition sind konkrete, realistische und quantifizierte Ziele zu definieren, welche eine Reduzierung der negativen Auswirkungen der Variantenvielfalt angestreben. Hierzu ist eine Untersuchung zweckmäßig, welche Auswirkungen der internen Vielfalt, wie beispielsweise

- hohe Kosten der Bauelemente aufgrund geringer Stückzahlen,
- lange Lieferzeit aufgrund kundenindividueller Gestaltung, oder
- eine große Bindung von Ressourcen durch individuelle Konstruktion

bei der neu zu gestaltenden Produktgruppe besonders deutlich zu Tage treten.

Das Beispiel der Maschine zur Koronabehandlung von Kunststofffolien zeigt, dass Initiativen zu einer variantengerechten Überarbeitung nicht immer von Kosten getrieben sein müssen. In diesem Fall war der Kundenwunsch nach deutlich reduzierten Lieferzeiten der Anstoß. Daraus abgeleitet wurde das quantifizierte Ziel einer Reduzierung der durchschnittlichen Dauer des Produktentstehungsprozesses von 12 auf 4 Wochen.

### 3.4 Variantenorientierte Produkt- oder Prozessanalyse

Orientiert an der vorhergehend definierten Zielsetzung, ist in diesem Schritt der Einfluss der Variantenvielfalt auf den Produktentstehungsprozess zu prüfen. Die Analyse wird dabei auf der Ebene der Hauptbaugruppen durchgeführt, gegebenenfalls ist im Anschluss eine Anpassung der Zielsetzung durchzuführen.

Um einen ersten Überblick zu gewinnen, welchen Einfluss die Varianz der jeweiligen Baugruppe auf die definierten Zielgrößen hat, bietet sich eine Portfolioanalyse an. Die erste der Dimensionen bildet hierbei ein Maß für die Variantenvielfalt der Baugruppe, beispielsweise der durchschnittliche anteilige Absatz entsprechend dem Stärkediagramm nach Franke [1]. Die zweite Dimension bildet ein Maß für den Einfluss der Baugruppe auf die Zielgröße.

Im konkreten Beispiel wurde als Ziel eine Reduzierung der Lieferzeit auf 4 Wochen festgelegt. Als Maß für den Einfluss der Baugruppe auf die Zielgröße wurde die Zeit zur Bereitstellung der einzelnen Baugruppe im Verhältnis zur gesamten Lieferzeit der Maschinen aufgetragen (siehe Bild 3).

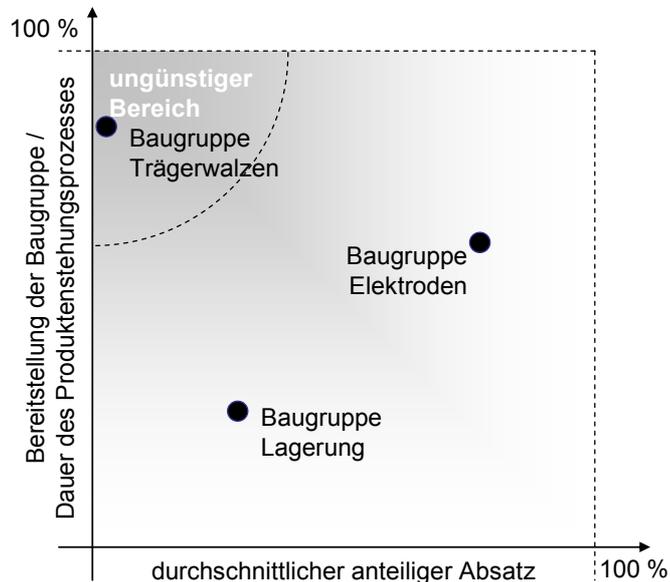


Bild 3: Portfolioanalyse zur Ermittlung von Handlungsschwerpunkten (qualitativ dargestellt)

Die Lieferzeit von Baugruppen im rechten hellen Bereich ist offensichtlich nicht durch deren Variantenvielfalt bestimmt. Hier bieten sich Maßnahmen wie beispielsweise eine Lagerhaltung an. Komponenten im unteren hellen Bereich stehen einer Reduzierung der Lieferzeiten nicht im Wege. Somit können die Komponenten im dunkel hinterlegten Bereich klar als Handlungsschwerpunkte identifiziert werden. Bezogen auf das Beispiel liegt in diesem Bereich ausschließlich die Baugruppe der Trägerwalze und ihrer Lagerung.

### 3.5 Phase zur Erfassung der varianten Merkmale

In dieser Phase werden ausschließlich die im Vorhergehenden als Handlungsschwerpunkte identifizierten Hauptbaugruppen betrachtet. Dadurch wird die Komplexität der folgenden Entwicklungsaufgabe erheblich reduziert.

Im ersten Schritt werden alle varianten Merkmale der Baugruppen und deren Ausprägungen erfasst und in einer Tabelle ähnlich der Baugruppenliste zur Produktstrukturierung dokumentiert (siehe Bild 4). Sie bilden die Spalten dieser Tabelle, die Zeilen bilden die einzelnen Produktvarianten. In der entstehenden Matrix werden den Produktvarianten die jeweiligen Ausprägungen der varianten Merkmale zugeordnet, folglich lässt sich einfach die Auftretenshäufigkeit einzelner Ausprägungen ermitteln.

 <p>Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik Prof. Dr.-Ing. D. Krause</p>	<b>Bereich</b>	Ausstattung							
	<b>Merkmal</b>	Lagerung			Elektrikum				An
	<b>Einheit</b>				lein	Stikon	Silikon-schlauch	Keramik	ja
	<b>Ausprägung</b>	leicht	mittel	schwer					
	<b>Ursache</b>	intern, vermeidbar	1						
		intern, unvermeidbar		1	1		1		
		extern				1	1		1
	<b>Reduktionspotential [%]</b>	30			10				
	<b>Bemerkung</b>								
	<b>Anteil [%]</b>	33	33	33	17	0	50	33	17

Auftragsnr.	Typenbezeichnung	Bemerkung
200042	01HD111-125-21111142	
200043	01HE111-211-211111	
200054	01HD111-125-21111154	
200057	01HE-150-111111	
200059	01HE-211-211111-111111	
200061	01HD111-150-21111161	

Bild 4: Auszug aus der Tabelle zur Erfassung der Variantenmerkmale der Arbeitswalzen

Im zweiten Schritt werden die Ursachen aller varianten Merkmale ermittelt, um zwischen intern verursachter und kundengetriebener Vielfalt zu differenzieren. Diese Unterscheidung ist von Nöten, da in der folgenden variantengerechten Gestaltung jegliche intern verursachte Varianz beseitigt werden soll, während die externe Vielfalt im gewünschten Maß beizubehalten ist. Auch diese Informationen werden in der Tabelle zur Erfassung der varianten Merkmale dokumentiert.

Im folgenden Bild sind die varianten Merkmale (kundenrelevante Merkmale sind eingekreist) der Trägerwalze und ihrer Lagerung dargestellt. Besonders hervorzuheben ist, dass die Walzenlänge in einem Bereich von weniger als einem bis über drei Meter in 50 mm Abstufung bereitgestellt wird. Der Antriebsanschluss, ein integraler Bestandteil der Walzen, wird individuell gestaltet.

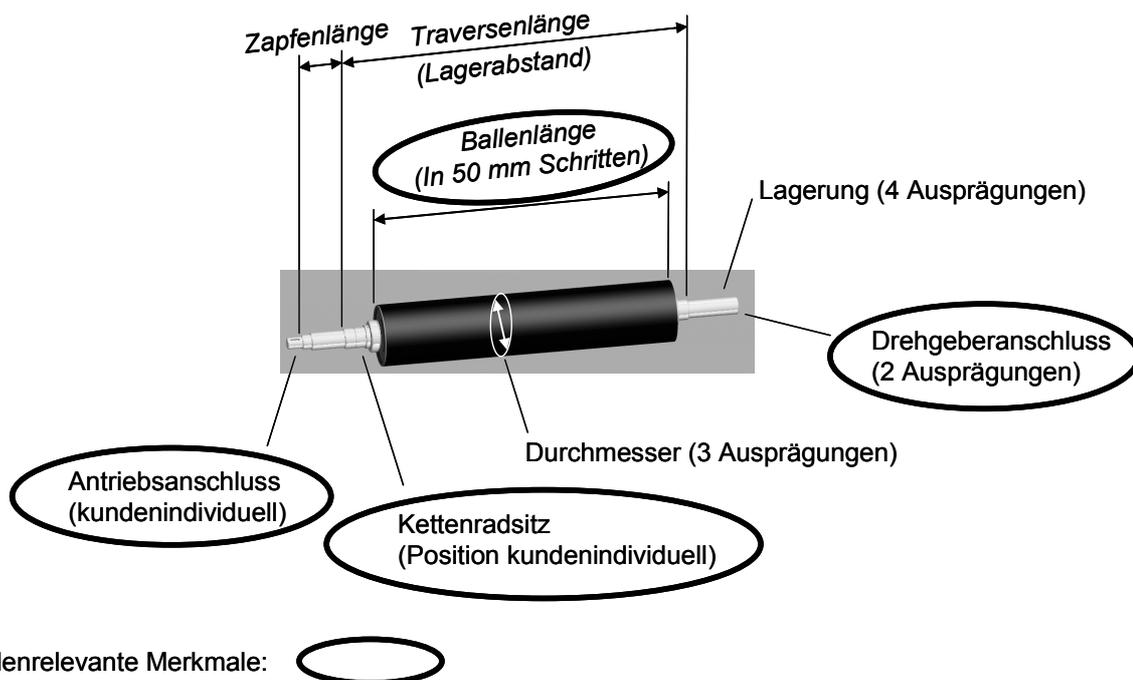


Bild 5: Visualisierung der varianten Merkmale der Arbeitswalzen (Integrales Bauteil)

### 3.6 Suche nach alternativen variantengerechten Lösungskonzepten

Das beschriebene Vorgehen unterscheidet sich bei der Suche nach alternativen Lösungskonzepten nicht von der etablierten Entwicklungsmethodik. Auch hier wird besonderer Wert auf das Grundprinzip des „Denkens in Varianten“ gelegt, um eine Vielzahl praktikabler Lösungen zu schaffen, um somit die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, eine innovative variantengerechte Lösung zu finden [7].

Die Kernaufgabe besteht darin die intern verursachte Varianz der Baugruppe zu beseitigen und eine besonders effiziente Realisierung der vom Kunden geforderten Varianz zu erreichen. Dabei wird der Konstrukteur durch explizit formulierte Richtlinien der variantengerechten Gestaltung unterstützt, wie sie von Pahl et al. [8] beispielsweise für die montagegerechte Gestaltung formuliert wurden. Inhaltlich fassen diese Richtlinien, wie im Beispiel dargestellt (siehe Bild 6), das vorhandene Wissen zur variantengerechten Produktgestaltung und Strukturierung zusammen.

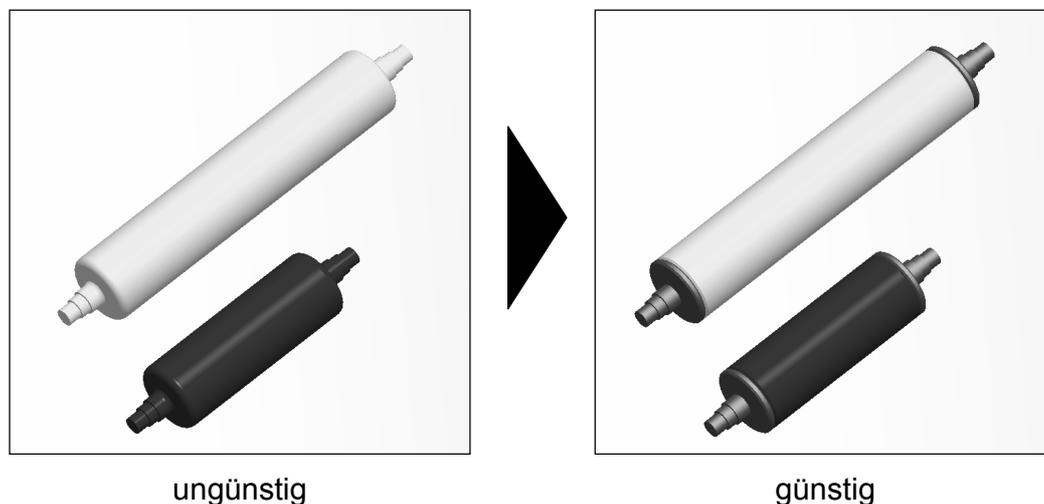


Bild 6: Cut-to-fit Modularität (Standardisierte Endmodule und Größenanpassung über Länge eines Profils) gegenüber integralen Lösungen bevorzugen - Gestaltungsrichtlinie auf Basis der sechs Arten der Modularität nach Pine [9]

Im Beispiel wurden auf Basis eines morphologischen Kastens drei konsistente, alternative Konzepte unter Beachtung der Gestaltungsrichtlinien erarbeitet. Diese werden in der folgenden Phase der variantengerechten Gestaltung bewertet.

### 3.7 Variantenorientierte Bewertung der Lösungsalternativen

Zur Bewertung der Lösungsalternativen werden im ersten Schritt relevante die Zielsetzung widerspiegelnde Kennzahlen zur Bewertung der Variantengerechtheit der Gestaltung ausgewählt. Dabei wird der Entwickler durch eine Liste wichtiger in den verschiedenen Methodiken zur variantengerechten Gestaltung vorgeschlagener Kennzahlen unterstützt. Als Beispiel sei hier nochmals der Coupling Index (CI) nach Martin und Ishii genannt. Ziel ist eine flexible, zielorientierte und situationsgerechte Nutzung dieser Kennzahlen.

Anschließend erfolgt eine konventionelle Punktbewertung, beispielsweise nach VDI-Richtlinie 2225, wobei die Aussage der gewählten und ermittelten Kennzahlen als weiteres Kriterium ergänzt wird. Der Wert der einzelnen Kennzahlen dient dabei als Basis für die Punktbewertung.

### 3.8 Ergebnis der variantengerechten Gestaltung der Koronastation

Das Ergebnis dieses Vorgehens, angewendet auf die Baugruppe der Trägerwalze inklusive der Lagerung, ist der unterhalb abgebildete variantengerechte Entwurf der Walzenbaugruppe (siehe Bild 7).

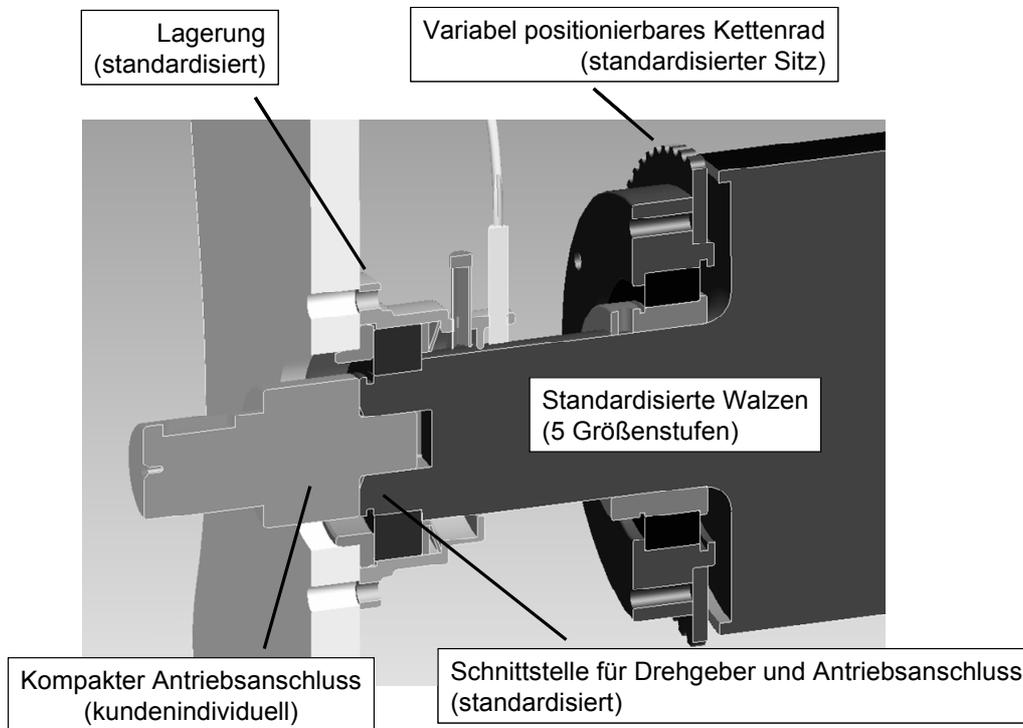


Bild 7: Grobentwurf zur variantengerechten Gestaltung der Trägerwalzenbaugruppe

Analog des Gestaltungsprinzips „der eindeutigen Zuordnung von Merkmalen zu Bauteilen“ [2] wurde der kundenindividuelle Antriebsanschluss als einzelnes, einfach zu fertigendes Bauteil mit standardisierter Schnittstelle zur Walze gestaltet. Zusammen mit der Vereinheitlichung der bisher vier unterschiedlichen Lagerungen und der bisher drei verschiedenen Walzendurchmesser erlaubt dies eine standardisierte Gestaltung der Walzenenden. Damit sind die Walzen nach dem Cut-to-fit Prinzip aufgebaut, dies senkt die Kosten und die Lieferzeit der Trägerwalzen erheblich.

Die vorgeschlagene gleichzeitige Einführung einer angepassten Vorzugsreihe der Walzenlängen führt dazu, dass bei einer akzeptablen Überdimensionierung mit nur 5 verschiedenen Trägerwalzen über 80% der Kundenaufträge abgedeckt werden können. Einer Bevorratung dieser Walzen steht nichts im Wege.

In der vorhergehenden variantenorientierten Produktanalyse wurden die Trägerwalzen aufgrund ihrer Varianz und langen Lieferzeiten klar als der limitierende Faktor hinsichtlich einer Reduzierung der Lieferzeiten identifiziert. Ihre Umgestaltung ermöglicht also direkt eine erhebliche Reduzierung der Lieferzeiten der Koronastationen.

## 4 Ausblick

Für den Anwendungsfall der Koronastation konnte gezeigt werden, dass das vorgestellte Vorgehen zur variantengerechten Gestaltung praktikabel ist und mit relativ geringem Aufwand eine erhebliche Reduzierung negativer Auswirkungen der Variantenvielfalt ermöglicht.

In Zukunft soll das Vorgehen an anderen komplexeren Beispielen erprobt und weiterentwickelt werden. Dabei sollen die einzelnen Phasen durch weitere Methoden und weiteres Wissen unterstützt werden.

Der Grundgedanke eines einfachen, stark an der generellen Entwicklungsmethodik orientierten Vorgehens soll jedoch erhalten bleiben.

## 5 Literatur

- [1] Franke H., Lippard S., Jeschke A., Feldhahn K.: Standardisierung der Produktstruktur zur Verbesserung der Ablauforganisation in einem Unternehmen des Spezialmaschinenbaus. VDI-Z 135, Nr. 10, 1993
- [2] Franke H., Hesselbach J., Burkhard H., Firchau N.: Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Hanser-Verlag, Karlsruhe 2002
- [3] Caesar C.: Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für Variantenreiche Serienprodukte – Variant Mode and Effects Analysis (VMEA). VDI Verlag, Düsseldorf 1991
- [4] Schuh G., Schwenk U.: Produktkomplexität managen. Hanser-Verlag, 2001
- [5] Martin M., Ishii K.: Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. Research in Engineering Design 13, 2002
- [6] VDI-Richtlinie 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte. VDI Verlag, Düsseldorf 1993
- [7] Daenzer W.F., Huber F.: Systems Engineering. Verlag Industrielle Organisation, Zürich 2002
- [8] Pahl G. Beitz W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin 1997
- [9] Pine B. J.: Maßgeschneiderte Massenfertigung, Neue Dimension im Wettbewerb. Wirtschaftsverlag Überreuter, Wien 1994

Dipl.-Ing. Thomas Kipp  
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik  
TU Hamburg-Harburg  
Denickestr. 17, D-21073 Hamburg  
Tel: +49-40-42878 2951  
Fax: +49-40-42878 2296  
Email: kipp@tu-harburg.de  
URL: <http://www.tuhh\pkt.de>