

GESTALTUNGSRICHTLINIEN ZUR ENTWICKLUNG FLEXIBLER PRODUKTE

Andreas Bischof, Lucienne Blessing

Zusammenfassung

Flexibilität wird oft als geeignetes Mittel vorgeschlagen, um Unternehmen in schnell wechselnden Märkten wettbewerbsfähig zu halten (z.B. [1]). Zur Flexibilität zählen neben flexiblen Produktionstechnologien und flexiblen Prozessen auch flexible Produkte, welche besonders geeignet sind die sich ständig ändernden und vielseitiger werdenden Anforderungen der Kunden zu erfüllen [2].

In diesem Beitrag werden Gestaltungsrichtlinien vorgestellt, welche die Entwicklung dieser flexiblen Produkte unterstützen sollen. Diese wurden unter anderem aus unterschiedlichen DfX Schwerpunkten, wie Design for Flexibility (DfF) [3], Design for Modularisation (DfM) [4] oder Design for Adaptability (DfA) [5] zusammengetragen, überarbeitet und grafisch umgesetzt.

1 Einleitung

Die Anforderungen an technische Produkte werden immer anspruchsvoller und vielseitiger. Die einzelnen Produkte müssen eine große Vielfalt an Anforderungen und Wünschen erfüllen, um wettbewerbsfähig zu sein. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Anforderungen im Laufe des Produktlebenszyklus schnell und mehrfach ändern. Unternehmen müssen geeignete Strategien finden, um diese Herausforderung zu bewältigen.

1.1 Problemstellung

Es existieren zahlreiche Ansätze, um die Entwicklung flexibler Produkte zu unterstützen, z.B. [3, 4, 5]. Die meisten basieren auf wenigen textlichen Richtlinien, die unterstützend zum methodischen Entwicklungsprozess herangezogen werden können, oder sie beschränken sich auf die Beschreibung einiger Eigenschaften flexibler Produkte. Eine umfassende Zusammenstellung ist in der Literatur nicht zu finden.

1.2 Ziel

In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Gestaltungsrichtlinien für die Entwicklung technischer Produkte verfasst, um den jeweiligen Anforderungen gerecht zu werden [6]. Dazu zählen beispielsweise die unter dem Begriff „Fertigungsgerechte Konstruktion“ zusammengefassten Richtlinien. Diese unterschiedlichen Richtlinien bzw. Schwerpunkte werden heute allgemein unter dem Begriff „Design for X“ (DfX) zusammengefasst [6].

Unter diesem Begriff finden sich auch zahlreiche Gestaltungsrichtlinien, welche bei der Entwicklung flexibler (DfF) [3], modularer (DfM) [4] oder anpassbarer (DfA) [5] Produkte angewendet werden sollen. Aus diesen zahlreichen, teils widersprüchlichen Richtlinien werden geeignete ausgewählt und zur besseren Übersicht in Gruppen zusammengefasst. Darüber hinaus werden die bisher nur in Textform vorliegenden Richtlinien visualisiert, um das Verständnis und die Einprägsamkeit zu erhöhen.

1.3 Vorgehen

Basis für die zusammengetragenen Richtlinien ist eine umfangreiche Literaturrecherche zum Thema „Entwicklung flexibler Produkte“. Dabei wurden neben „flexibel“ unter anderem auch „anpassbar“, „erweiterbar“, „vielseitig“, „modular“ oder auch das Plattformdesign in die Recherche eingeschlossen. Die Ergebnisse dieser Recherche wurden in einem Praxisprojekt [7] angewendet und so zum Teil validiert. Darüber hinaus konnten durch das Praxisprojekt weitere Ideen für Richtlinien zur Entwicklung flexibler Produkte generiert werden. Die zusammengetragenen Gestaltungsrichtlinien wurden anschließend in einem Versuch mit Studierenden getestet. Dieser Versuch zeigte jedoch, dass eine einfache schriftliche Auflistung der Richtlinien allein kein hinreichendes Werkzeug bei der Entwicklung flexibler Produkte darstellt [8].

Aus dem Instruktionsdesign ist bekannt, dass Bilder das Lernen besser unterstützen als rein textbasierte Information [9]. Bisher wurden die Gestaltungsrichtlinien zum DfF, DfM oder DfA rein textbasiert veröffentlicht (z.B. [3]). Wir erhoffen uns von der Idee, diese zu visualisieren, ein positives Feedback, ein besseres Verständnis und einen vereinfachten Wissenstransfer. Daher wurden die neu zusammengetragenen Richtlinien in grafische Darstellungen übersetzt, wie sie seit Jahrzehnten in der Ingenieursausbildung eingesetzt werden. Diese grafikbasierten Gestaltungsrichtlinien können nicht nur in der Lehre verwendet werden, sondern sie finden sich in dieser Form auch in Nachschlagewerken zur schnellen Wissensvermittlung (z.B. Richtlinien zur fertigungsgerechten Konstruktion in Pahl/Beitz [6]) wieder. Das DfX-Symposium soll genutzt werden, um die neu zusammengetragenen Richtlinien vorzustellen und zu diskutieren.

2 Flexible Produkte

2.1 Flexibilität und flexible Produkte

Viele unterschiedliche Begriffe, wie z.B. Flexibilität, Änderbarkeit, Vielseitigkeit oder Anpassbarkeit werden in der Literatur verwendet, um ähnliche aber nicht identische Aspekte des Produktentwicklungsprozesses (PEP) und von Produkten zu beschreiben. Im nachfolgenden werden „Flexibilität“ und „flexibel“ als Oberbegriffe verwendet, welche die oben genannten Begriffe und die dahinter stehenden Ideen zusammenfassen. Flexibilität kann definiert werden als das Maß der Kosten und Zeit, die benötigt werden, um ein Produkt in Folge prozessexterner Änderungen (z.B. durch veränderte Kundenbedürfnisse) und prozessinterner Änderungen (z.B. durch das Finden einer besseren Lösung) zu modifizieren [1].

Dieser Definition folgend werden hier flexible Produkte definiert, als Produkte, die während der Entwicklungsphase und während des restlichen Lebenszyklus mit geringem Zeit- und Kostenaufwand an geänderte Bedingungen bzw. Bedürfnisse angepasst werden können. Dem zu Folge besitzt ein Produkt die höchste Flexibilität, wenn es bei auftretenden Änderungen gar nicht angepasst werden muss, da die neuen Anforderungen schon mit dem ursprünglichen Produkt abgedeckt werden.

Die Bilder 1 und 2 zeigen beispielhaft zwei Produkte, die sich mit geringem Zeit- und Kostenaufwand an geänderte Bedingungen anpassen lassen. Diese wurden ausgewählt, um das breite Spektrum der hier als flexible angesehenen Produkte zu demonstrieren.

Das Regalsystem (Bild 1) wird hier als flexibles Produkt definiert, da es einfach an geänderte Anforderungen angepasst werden kann. Die damit verbundene Flexibilität wird durch spezielle Gestaltungsmerkmale erzielt, welche sich z.B. auch durch die Gestaltungsrichtlinien C2, F1, H1 beschreiben lassen (Tabelle 1).

Bild 2 zeigt eine Computer Desktopgehäuse. Diese kann einfach geöffnet werden, so dass zusätzliche Komponenten (Module) nachträglich eingebaut werden können, wenn sich die Anforderungen des Nutzers geändert haben. Die standardisierten Einbauschächte, Steckplätze und Steckverbindungen ermöglichen eine einfache Montage. Am Computergehäuse lassen sich insbesondere die Gestaltungsrichtlinien A1, B1, C1, C2 und F1 finden.

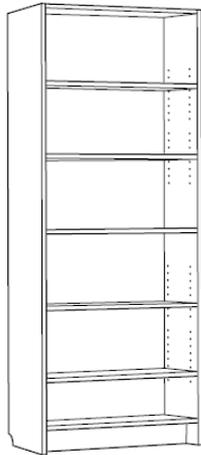


Bild 1: flexibles Regalsystem (Quelle: IKEA)

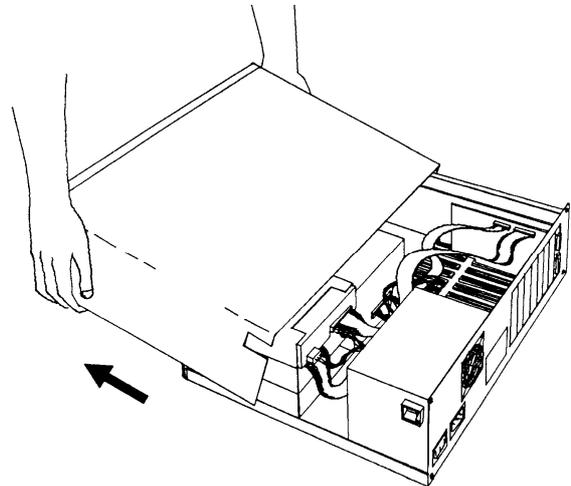


Bild 2: Computer Desktopgehäuse

2.2 Richtlinien im Kontext „flexibel“

Palani Rajan et al. definieren Flexibilität als Grad der Empfindlichkeit (oder Anpassbarkeit) an jede zukünftige Änderung im Produkt Design [3]. In ihrer Arbeit zu Design for Flexibility (DfF) präsentieren sie eine Methode um die Produktflexibilität zu messen. Analog zur FMEA demonstrieren sie die Change Mode and Effects Analysis (CMEA) als eine systematische Hilfe um zu verstehen, wie zukünftige Änderungen sich auf das Produkt auswirken können. Darüber hinaus stellen sie 6 Gestaltungsrichtlinien für flexible Produkte vor, um ein Produkt zu bewerten und dessen Gestalt entsprechend den Ergebnissen der CMEA anzupassen.

Modularität ist ein wichtiger Punkt im Zusammenhang mit flexiblen Produkten (z.B. [1], [3], [10], [11]). Das Modular Function Deployment (MFD), wie es z.B. von Erixon [11] beschrieben wird, wird eingesetzt, um Produkte in sinnvolle Module zu unterteilen. Die Aufteilung der Produkte in Module ermöglicht es, Änderungen einfacher durchzuführen, z.B. sie an neue Anforderungen anzupassen, weil Änderungen innerhalb des Moduls durchgeführt werden, und nicht das gesamte System betreffen. Design for Modularity gibt keine genauen Anweisungen, die einzelnen Module des Produkts auszugestalten, sondern wird eingesetzt, die Module und deren Schnittstellen zu definieren. Sosa et al. propagieren das modulare Design nicht nur auf Baugruppenebene, sondern ebenso auf Systemebene [12]. Eine sinnvolle Modularisierung der Produkte ist besonders wichtig, da diese die Basis für neue Produkte und alle Varianten darstellt.

Das Konzept von Produktplattform und Produktarchitektur ist eng mit der Modularisierung verbunden. Hölltä-Otto definiert modulare Produktplattformen als ein Set von gemeinsamen Modulen, die innerhalb einer Produktfamilie verwendet werden [13]. Design vor Variety (DfV) ist ein ähnlicher Ansatz, um Produkte auf viele Kunden und deren Anforderungen abzustimmen [14]. Die Idee ist eine Serie ähnlicher Produkte auf Basis der selben Produktarchitektur zu entwickeln. Martin und Ishii [14] zitieren Ulrich, welcher Produktarchitektur als Abbildung versteht, welche die Funktionen eines Produkts den physikalischen Komponenten zuordnet [15]. Mit dem DfV Ansatz ist es möglich eine große Zahl von Produkten mit minimalem Entwicklungs-/Gestaltungsaufwand zu realisieren. Van Wie beschreibt eine Methode, um eine

sinnvolle Produktarchitektur nach DfV-Konzept zu entwickeln [16]. Er unterscheidet dabei zwei Auslöser, welche zur Neugestaltung führen können: interne Auslöser (z.B. der Wechsel von einem Konzept auf ein anderes) und externe Auslöser (z.B. veränderte Kundenanforderungen). Um Neugestaltungen/-Konstruktionen zu vermeiden werden durch DfV Schritte und Heuristiken zur Entwicklung einer Produktarchitektur vorgeschlagen, welche weniger sensibel gegenüber zukünftigen Änderungen ist.

Zum Konzept Design for Changeability (DfC) existieren unterschiedliche Interpretationen. Während sich Schuh et al. [17] insbesondere auf die Flexibilität der Produktionsprozesse und –maschinen konzentrieren präsentieren, Fricke et al. unterschiedliche „Richtlinien zum Abändern eines Systems während seines gesamten Lebenszyklus“ [10]. Da Produkte hier als Teile von Systemen verstanden werden, wird an dieser Stelle die Unterscheidung von Systemen und Produkten vernachlässigt, und die Gestaltungsrichtlinien werden vom Systems-Engineering auf die Produktentwicklung übertragen. Fricke et al. entwickeln die Idee, die Änderbarkeit (changeability) in der Systemarchitektur zu verankern. Flexibilität, Agilität, Robustheit und Anpassungsfähigkeit werden als die vier Schlüsselfaktoren von Änderbarkeit definiert und beschrieben.

Hashemian präsentiert das Design for Adaptability (DfA) mit einem Fokus auf den erweiterten Nutzen von Produkten [5]. Er beschreibt mit seinem speziellen und dem allgemeinen Adaptable Design (AD) einen Weg Produkte so zu entwickeln, dass diese an unterschiedliche Anforderungen angepasst werden können. Das spezielle AD (specific AD) wird zunächst durchgeführt, um die vorhandenen Vorhersageninformationen zu nutzen. Das allgemeine AD (general AD) wird anschließend durchgeführt, um die Anpassbarkeit an unvorhersehbare Änderungen zu erhöhen.

Alle genannten Ansätze basieren auf der Idee, Produkte flexible zu gestalten, um eine große Vielfalt von Kundenanforderungen abzudecken (Individualisierung) oder um mit wechselnden Anforderungen im Lebenszyklus des Produkts umzugehen. Bei einigen Ansätzen werden genaue Instruktionen zur Entwicklung neuer Produkte gegeben. Andere sind allgemeiner/abstrakter formuliert und weniger unterstützend, wenn es um die Lösung konkreter Gestaltungsprobleme geht.

3 Grafische Darstellung und Instruktionsdesign

In der Literatur finden sich zahlreiche durch Abbildungen verdeutlichte Gestaltungsrichtlinien, z.B. zum Thema fertigungsgerechtes Konstruieren (z.B. [6]). Die oben vorgestellten Methoden und Richtlinien zur Gestaltung flexibler Produkte sind in erster Linie textbasiert und damit weniger verständlich [9]. Daher werden diese in Anlehnung an bekannte graphisch dargestellte Richtlinien in Bilder übersetzt (vgl. Kap. 4). Dazu werden die Grundlagen des Instruktionsdesigns beachtet, um eine gute Verständlichkeit zu gewährleisten.

Das Instruktionsdesign beschäftigt sich mit der Entwicklung von grafischen Darstellungen für Lernmaterialien. Im folgenden Kapitel wird ein kurzer Überblick über die Funktion und Gestaltung von Bildern gegeben.

3.1 Wirkung und Funktion von Textillustrationen/Bildern

Bilder in Kombination mit Texten können unterschiedliche Funktionen erfüllen [18]. Sie können das Lesen des Textes attraktiver machen, Dinge, Personen oder Handlungen vorstellen oder dem Leser dabei helfen sich Schlüsselinformationen besser zu merken. Darüber hinaus können Bilder die Funktion haben die zusammenhängenden Strukturen zu organisieren und das Verständnis eines Textes zu erleichtern.

Levie und Lentz weisen darauf hin, dass Bilder dabei unterstützen können, ein Verständnis oder eine Repräsentation des Lernmaterials zu erlangen und so Leser ohne und mit Vorwissen zum besseren Verstehen befähigen [19], [20].

Für das Lernen komplexer Zusammenhänge erweisen sich Bilder als hilfreiche Unterstützung. Zusammenhänge können durch graphische Unterstützung effektiver erlernt werden als mit dem reinem Text [20], [21].

Bei begrenzter Lernzeit erweisen sich einfache symbolische Darstellungen, wie sie z.B. auch in den Standardwerken zur Konstruktionstechnik eingesetzt werden (z.B. [6]), als hilfreichste Unterstützung beim Wissenserwerb. Nur bei erhöhter Lern- bzw. Betrachtungszeit der Bilder sind detaillierte oder realistische Visualisierungen effektiver [22].

Farbe kann sowohl positive als auch negative Effekte in Bildern hervorrufen. Sie erlaubt dem Betrachter, unterschiedliche Bestandteile des einzelnen Bildes zu identifizieren und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Abbildungen herzustellen. Allerdings kann sich die Verwendung von zu viel Farbe negativ auf die Verarbeitung und das Verständnis auswirken, da die Bilder zu komplex werden.

3.2 Ansätze zur Optimierung von Darstellungen

Aus der Studie von Mayer [20] lassen sich einige Bedingungen ableiten, die erfüllt sein müssen, um das Verstehen eines wissenschaftlichen Textes mit Hilfe von Illustrationen effektiv zu unterstützen:

- Text muss möglichst gut verständlich sein.
- Die unterstützende Funktion der Illustrationen sollte danach ausgerichtet werden, in welchem Ausmaß Lernende die im Text enthaltene Information verstehen.
- Die Illustrationen sollten erklärend sein, d.h. die Komponenten eines Systems benennen und ihr Verhalten zueinander darstellen.

3.3 Anwendung der Erkenntnisse bei der graphischen Umsetzung der Richtlinien

Bei der Visualisierung der Gestaltungsrichtlinien wurden zunächst die textlichen Formulierungen der Richtlinien erneut überarbeitet, um das Verständnis zu erhöhen. Die Bilder wurden nach Möglichkeit so gestaltet, dass sie selbsterklärend sind. Da die Lernzeit i.A. begrenzt ist, wurden einfache symbolische Darstellungen angefertigt, die bei eingeschränkter Zeit leichter verständlich sind. Außerdem sind alle Abbildungen schwarz-weiß, also ohne die unterstützende Wirkung von Farben angefertigt. So wird zu hohe Komplexität vermieden. Außerdem passen die Bilder so besser in den Kontext der bisher visualisierten Richtlinien. Beim Anwender wird ein gewisses technisches Vorwissen angenommen.

4 Gestaltungsrichtlinien zur Entwicklung flexibler Produkte

„Richtlinien sind von einer höheren Instanz ausgehende Anweisungen für jemandes Verhalten in einem bestimmten Einzelfall“ [23]. Ziel des Einsatzes von Richtlinien in der Produktentwicklung ist es, die Resultate der Aktivitäten der Produktentwickler vorhersehbarer und mutmaßlich besser zu machen. Die Gestaltungsrichtlinien, die hier vorgestellt werden, wurden aus bereits existierenden Ansätzen ausgewählt und durch im Rahmen eines Praxisprojekts selbst entwickelte Richtlinien ergänzt [7]. Zur besseren Übersicht sind sie in 8 Gruppen unterteilt, welche jeweils ähnliche Richtlinien zusammenfassen. Die Nummerierung der

Richtlinien besitzt keine Wertigkeit, da zurzeit alle Richtlinien als gleichwertig relevant für die Entwicklung flexibler Produkte angesehen werden müssen.

Bei der Wirkweise der Richtlinien werden drei Kategorien unterschieden, die in der zweiten Spalte vermerkt sind (vgl. Tabelle 1):

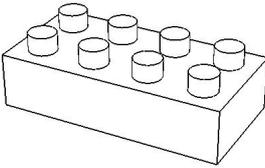
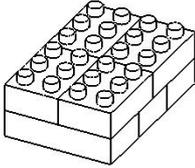
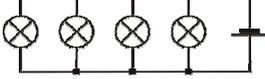
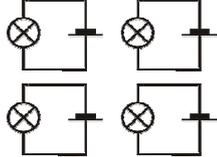
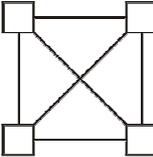
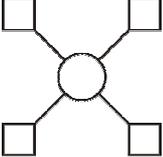
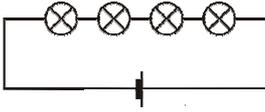
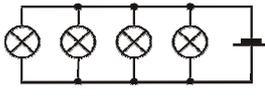
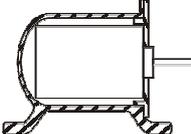
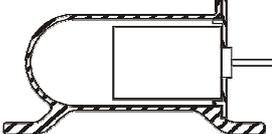
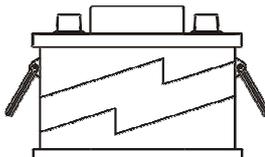
- As bedeutet, dass die Auswirkung einer Änderung reduziert wird. D.h. durch die flexible Gestaltung des Produkts wird erreicht, dass falls Änderungen an einem Bauteil, einer Baugruppe oder an einem Modul notwendig werden, andere Bauteile, -gruppen und Module davon nicht betroffen sind.
- Af bedeutet, dass der Aufwand, der bei/durch eine Änderung entsteht, reduziert wird. D.h. falls Änderungen am flexibel gestalteten Produkt auftreten, können dies mit geringerem Aufwand und geringeren Kosten durchgeführt werden, als bei herkömmlich gestalteten Produkten.
- Wa bedeutet, dass durch das Anwenden der Richtlinien die Auftrittswahrscheinlichkeit von Änderungen am Produkt reduziert wird. D.h. dass Produkt muss mit höherer Wahrscheinlichkeit beim Auftreten geänderter Anforderungen nicht angepasst werden, weil diese Anforderungen/Funktionen schon mit dem ursprünglichen Produkt abgedeckt werden

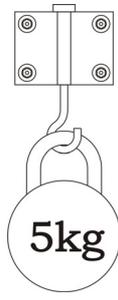
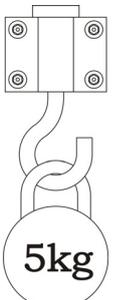
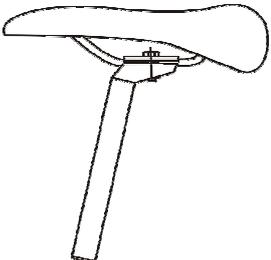
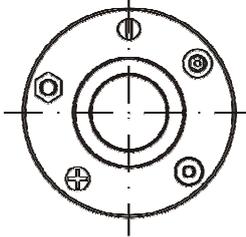
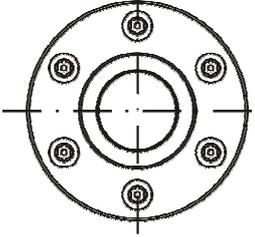
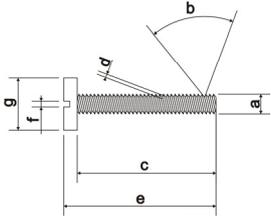
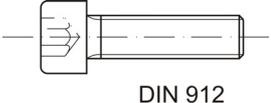
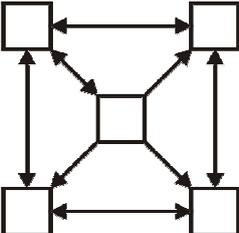
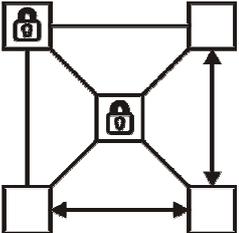
Die in Tabelle 1 aufgelisteten Gestaltungsrichtlinien sind selbsterklärend und durch die graphische Darstellung leicht verständlich. Trotzdem werden nachfolgend beispielhaft zwei Richtlinien genauer erläutert.

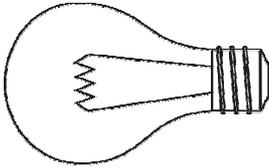
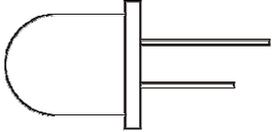
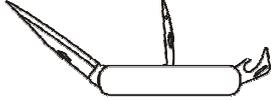
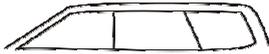
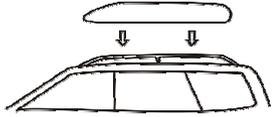
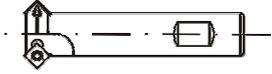
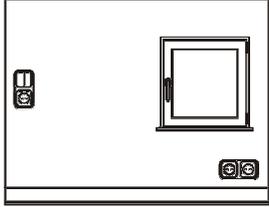
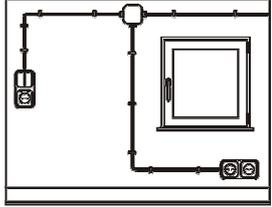
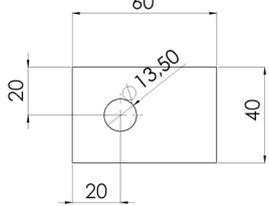
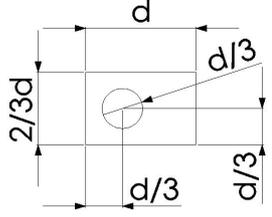
Richtlinie B1 lautet „Erzeugen von Pufferzonen“. D.h. um das Produkt flexibel zu gestalten, sollten möglichst Pufferzonen, also Hohlräume, mit eingeplant werden. Diese Puffer lassen Platz, um nachträglich zusätzliche Funktionen zu integrieren. Sollten, z.B. durch gestiegene Anforderungen, Teile des Produkts später größer dimensioniert werden müssen, passen sie in die Pufferzonen. Angrenzenden Teile des Produkts (z.B. Gehäuse) müssen nicht angepasst, sondern können ohne Überarbeitung weiter genutzt werden (Wirkweise As). Dadurch wird der gesamte Änderungsaufwand reduziert (Wirkweise Af).

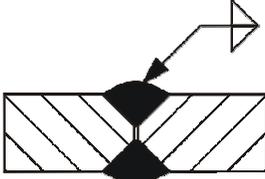
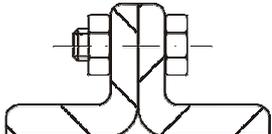
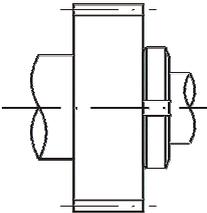
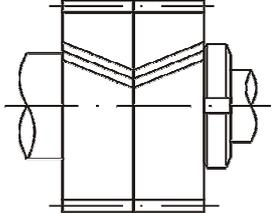
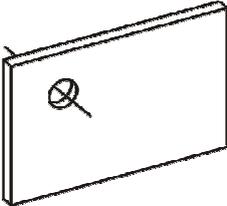
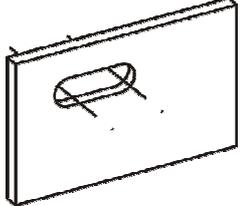
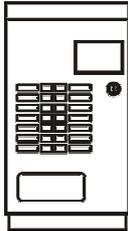
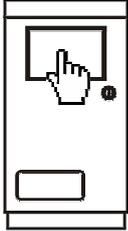
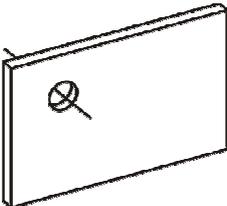
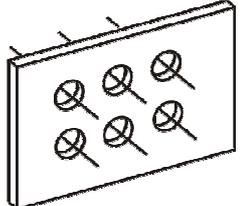
Richtlinie C3 lautet „Sperren bzw. Einfrieren von Bauteilen, -gruppen und Modulen“. D.h. die gesperrten bzw. eingefrorenen Teile dürfen während und nach der Entwicklungsphase nicht mehr geändert werden. Dadurch gehen von diesen selbst bei geänderten Anforderungen keine Änderungen aus, welche andere Bauteile oder -gruppen negativ beeinflussen könnten (Wirkweise As). Die Wahrscheinlichkeit, dass die gesperrten Teile geändert werden wird auf Null gesetzt (Wirkweise Wa). Dadurch müssen ggf. auftretende Änderungen durch die anderen Teile realisiert werden. Dies ist möglicherweise mit erhöhtem Aufwand verbunden (entgegen Wirkweise Af). Dennoch kann das Produkt aufgrund der erstgenannten positiven Effekte (As, Wa) als flexibel bezeichnet werden. Beispiel hierfür ist die Plattformstrategie im Automobilbau, die es erlaubt auf einer „gesperrten“ Plattform unterschiedliche Varianten zu entwickeln.

Tabelle 1: Gestaltungsrichtlinien zur Entwicklung flexibler Produkte

#	Wirkweise	Richtlinie	nicht flexibel	flexibel
A				
A1	As, Af	Unterteilen in Module und Unterteilungen/ Differentialbauweise statt Integralbauweise anwenden		
A2	Af	Vergrößern der Anzahl der Unterteilungen		
A3	As, Af, Wa	Planen autonomer Module		
A4	As, Af, Wa	Minimieren der internen Verknüpfungen/Bussysteme verwenden		
A5	As, Af, Wa	Reduzieren der internen Abhängigkeiten		
B				
B1	As, Af	Erzeugen von Pufferzonen		
B2	Wa, (As, Af)	Überdimensionieren in Bezug auf Energie		

#	Wirkweise	Richtlinie	nicht flexibel	flexibel
B3	Wa, (As, Af)	Überdimensionieren in Bezug auf Belastung		
B4	Wa, (As, Af)	Überdimensionieren in Bezug auf Geometrie bzw. Bauraum		
C				
C1	As, Af	Definieren einer begrenzten Anzahl an Schnittstellen und Schnittstellenvarianten		
C2	As, Af	Benutzen standardisierter Bauteile, setzen eigener Standards		
C3	Wa, (As)	Sperrern bzw. Einfrieren von Bauteilen, Baugruppen und Modulen falls möglich		

#	Wirkweise	Richtlinie	nicht flexibel	flexibel
D				
D1	Wa	Wählen von nicht zu schnell veraltenden Technologien		
D2	Wa	Einplanen zusätzlicher Funktionen und Ausstattungsmerkmale von Beginn an		
D3	Wa, Af	Festlegen von Zusatzfunktionen/add-ons		
D4	Af, (As)	Platzieren der auszuwechselnden Teile/Verschleißteile nach außen		
D5	Af, (As)	Einplanen von individueller Kundenausstattung an den Außenseiten des Produkts		
E				
E1	Af, (As)	Nutzen von parametrischem Design		

#	Wirkweise	Richtlinie	nicht flexibel	flexibel
F				
F1	As, Af	Planen von eindeutigen und einfache lösbaren Verbindungs-/ Trennmechanismen		
F2	As, Af	Anwendung selbstanpassender und selbstheilender Konstruktionen		
F3	As, Af, Wa	Benutzen von flexiblen/änderungs-toleranten Konstruktionsfeatures/ Maschinenelementen		
F4	Wa	Gestalten von universellen Konstruktionen		
G				
G1	As, Af	Implementieren von Software- statt Hardwarelösungen		
H				
H1	Wa, (As, Af)	Einplanen von Redundanzen		

5 Diskussion

Es wurde der Ansatz vorgestellt, Produkte mit einer flexiblen Architektur und Gestalt zu entwickeln, so dass das Produkt einfach an neue Funktionen adaptiert werden kann, wenn Anforderungen zunächst unbekannt sind oder sich während der Entwicklungsphase ändern.

Dazu wurden 24 Richtlinien aus der Literatur übernommen bzw. durch weitere, welche sich im Laufe eines Praxisprojekts ergeben haben, erweitert. Diese Richtlinien wurden im selben Praxisprojekt und in einem Versuch mit Studierenden evaluiert. Die detaillierten Ergebnisse wurden bereits auf der ICED07 vorgestellt [6]. Für das DfX-Symposium wurden die zusammengetragenen und bisher rein textbasierten Richtlinien durch Graphiken ergänzt. Wir erhoffen uns dadurch ein besseres Verständnis und eine erhöhte Akzeptanz.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Schnell verändernde Umgebungen fordern von der modernen Produktentwicklung teilweise ein erweitertes Vorgehen als der klassische methodische Ansatz, wie er z.B. von in der VDI 2221 [24] oder bei Ulrich [15] vorgeschlagen wird. Flexibilität wird oftmals als ein geeignetes Mittel beschrieben, um in diesem Umfeld wettbewerbsfähig zu bleiben. In diesem Artikel wurden daher Gestaltungsrichtlinien vorgestellt, die unterstützend zu klassischen Methodiken bei der Entwicklung flexibler Produkte herangezogen werden können.

Diese Richtlinien wurden bereits auf zwei unterschiedliche Arten evaluiert und haben sich als brauchbares Hilfsmittel erwiesen. Um das Verständnis zu erhöhen und die Anwendung zu erleichtern, wurden diese hier visualisiert. Es gilt jetzt abzuklären, ob diese Visualisierung den Produktentwickler bei seiner Arbeit unterstützt, ohne die Lösungssuche zu beeinflussen. Darüber hinaus besteht weiterhin Forschungsbedarf, ob es weitere Richtlinien zur Gestaltung flexibler Produkte gibt, und wie diese in die bestehenden integriert werden können. Da die Gestaltungsrichtlinien teilweise sehr unterschiedliche Schwerpunkte haben, wird es wichtig sein, zu definieren, wann welche Richtlinien eingesetzt werden sollten.

7 Literatur

- [1] Thomke S.H.: The role of flexibility in the development of new products: An empirical study, *Research Policy*, 26, 1997, pp 105-119
- [2] Singh N., Sushil: Flexibility in Product Development for Success in Dynamic Market Environment. *Global Journal of Flexible Systems Management* 2004, Vol.5 No.1. pp 23-34
- [3] Palani Rajan P.K., Van Wie M., Campbell M., Otto K., Wood K.: Design for flexibility – Measures and Guidelines. ICED 03, Stockholm 2003
- [4] Stone R.B.: Towards A Theory of Modular Design. PhD Thesis, University of Texas at Austin, Austin 1997
- [5] Hashemian M.: Design for Adaptability. PhD Thesis, University of Saskatchewan, Canada, Saskatchewan 2005
- [6] Pahl G., Beitz W.: *Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen*. Springer, Berlin 2003
- [7] Bischof A., Berthold A., Blessing L.: Geschäumte Keramikwerkstoffe: Neue Herausforderungen für den Produktentwicklungsprozess, 17. Symposium „Design for X“; Neukirchen 2006

- [8] Bischof A., Blessing L.: Design for Flexibility: Making provisions for requirement changes. ICED 07, Paris 2007
- [9] Weidenmann B.: Lernen mit Bildmedien. Psychologische und didaktische Grundlagen. Verlag Beltz, Basel 1991
- [10] Fricke E., Schulz A.P.: Design for changeability - Principles to enable changes in systems throughout their entire life cycle, *Systems Engineering* (8), pp 342-359, 2005
- [11] Erixon G.: Modular Function Deployment – A Method for Product Modularisation, Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm 1998
- [12] Sosa M.E., Eppinger S.D., Rowles C.M.: Designing modular and integrative systems, In *Proceedings ASME DETC 00 Baltimore*, 2000
- [13] Hölttä-Otto K. Modular Product Platform Design, Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology, Helsinki 2005
- [14] Martin M.V., Ishii K.: Design for Variety: developing standardized and modularized product platform architectures, *Research in Engineering Design* 13, 2002, pp 213-235
- [15] Ulrich K. *Product Design and Development*, McGraw-Hill, Columbus 2003
- [16] Van Wie M.J.: Designing Product Architecture: A systematic method, Doctoral Dissertation, University of Texas, Austin 2002
- [17] Schuh G., Harre J., Gottschalk S. Design for Changeability (DFC) in Product-Oriented Production, *CIRP Journal of Manufacturing Systems*, Vol 34, No 5, 2005
- [18] Levin J. R., Anglin G. J., Carney R. N.: On empirically validating functions of pictures in prose. In D. M. Willows & H. A. Houghton (Eds.), *The Psychology of illustration: Vol. I. Basic research* (pp. 51-85). Springer, New York 1987
- [19] Levie W. H., Lentz R.: Effects of text illustrations: A review of research. *Educational Kommunikation and Technology Journal*, 30, 195-232. 1982
- [20] Mayer R. E., Gallini J. K.: When is a illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726. 1990
- [21] Holliday W. G.: *Understanding the Movie*. Englewood Cliffs., Prentice-Hall 1976
- [22] Dwyer F. M.: *A guide to improving visualized instruction*. University Park, PA: State College, Pennsylvania State College, Learning Services Division, Old Main 1972
- [23] Duden, *Deutsches Universalwörterbuch*, 2. Auflage, Dudenverlag, Mannheim 1989
- [24] VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, VDI Verlag, Düsseldorf 1993

Acknowledgment

Die in diesem Artikel vorgestellte Arbeit wurde im Rahmen des Interdisziplinären Forschungsschwerpunktes (IFS) 3/2 realisiert und von der TU Berlin finanziert. Die Autoren möchten hiermit für diese Unterstützung ihren aufrichtigen Dank aussprechen.

Dipl.-Ing. Andreas Bischof
Konstruktionstechnik und Produktentwicklung
TU Berlin
Strasse des 17. Juni, 135, D-10623 Berlin
Tel: +49-30-314-214256
Fax: +49-30-314-26481
Email: andreas.bischof@fgktem.tu-berlin.de
URL: <http://www.ktem.tu-berlin.de>