

KONZEPT UND UMSETZUNG EINES SYSTEMS ZUR STRUKTURIERTEN SAMMLUNG UND BEREITSTELLUNG VON DfX-RICHTLINIEN

Stefan Bauer

Zusammenfassung

DfX-Richtlinien stellen für die Produktentwicklung eine wichtige Form der Repräsentation von Gestaltungswissen dar. Sie dienen als Wegweiser, die während des Produktentwicklungsprozesses den Weg zur Verwirklichung möglichst vieler erwünschter Eigenschaften des Produktes und der angeschlossenen Prozesse aufzeigen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist eine umfassende und ganzheitliche Nutzung des Angebots an Richtlinien jedoch mühsam, weil es keine einheitliche, strukturierte Sammlung derselben gibt. Das „Wissenssystem“ ist also verteilt auf verschiedenste Lehrbücher und Veröffentlichungen mit jeweils eigenen Darstellungsformen.

Im vorliegenden Beitrag wird daher ein Konzept für ein ganzheitliches Informationssystem vorgestellt, welches auf Basis geeigneter Strukturierungsansätze eine umfassende Recherche von DfX-Richtlinien erlaubt.

1 DfX-Richtlinien

1.1 Verfügbarkeit von Richtlinien

Die Erarbeitung von Richtlinien innerhalb der verschiedenen DfX-Teilaspekte ist unterschiedlich weit gediehen.

Beispiele für Teilaspekte, für die vergleichsweise viele Richtlinien erarbeitet wurden, finden sich vor allem in DESIGN FOR MANUFACTURE (Fertigungsgerechtes Konstruieren), DESIGN FOR ASSEMBLY (Montagegerechtes Konstruieren) und in DESIGN FOR COSTS (Kostengerechtes Konstruieren). Diese Aspekte sind Gegenstand vieler Lehrbücher und Veröffentlichungen (vgl. [1], [2], [3], [4], [5]). In den letzten Jahren hat aufgrund einer allgemeinen Sensibilisierung für Umweltthemen zudem das DESIGN FOR ENVIRONMENT (Umweltgerechtes Konstruieren) eine große Bedeutung erlangt (vgl. [6], [7], [8]).

Für andere Bereiche, z. B. DESIGN FOR LOGISTICS, das aufgrund der Globalisierung zunehmend an Bedeutung gewinnt, gibt es erste Ansätze (z. B. [9]). Das Aufgreifen neuer Teilaspekte ist dabei oft als eine logische Folge aus technischen oder gesellschaftlichen Entwicklungen zu verstehen.

1.2 Darstellung von Richtlinien

Eine Richtlinie muss hinreichend allgemeingültig sein, um als Regel für ein breites Anwendungsfeld zur Verfügung stehen zu können. Gleichzeitig sollte sie dabei so konkret wie möglich gefasst sein, damit die Identifikation mit dem zu bearbeitenden Problemfall möglichst eindeutig gelingen kann. Diese widersprüchlichen Anforderungen versucht man mit unterschiedlichen Darstellungsformen zu erfüllen.

Zunächst ist es gängige Praxis, Richtlinien unter Zuhilfenahme bildlicher Darstellungen auszudrücken (vgl. [10]). Diese Art der Darstellung findet vor allem im Teilaspekt des fertigungsgerechten Konstruierens (DESIGN FOR MANUFACTURE) Anwendung. Das Ziel einer derartigen Darstellung ist es stets, dem Entwickler die Möglichkeit zu geben, Aspekte seiner Produktentwicklungsaufgabe mit dem dargestellten Modellfall zu identifizieren und die vorgeschlagene Lösung auf das konkrete Problem zu übertragen. Bildlich dargestellt werden in diesem Sinne Gut-Schlecht-Beispiele, Realisierungsbeispiele aus der Praxis und auch fiktive Objekte, die möglichst viele zu vermittelnde Aspekte beinhalten.

Die Angabe semantischer Hinweise ist eine weitere Möglichkeit zur Darstellung von DfX-Richtlinien. Im Gegensatz zu der bildlichen Darstellung ist hier bei der Umsetzung auf das konkrete Problem ein großer Interpretationsspielraum gegeben. Semantische Richtlinien können für alle Produktentwicklungsphasen angewendet werden. Frühe Phasen können mit allgemeingültigen Richtlinien unterstützt werden („Konstruiere einfach, sicher, eindeutig“ [11]), während für späte Phasen konkrete, produkt- und prozessbezogene Hinweise („Freistiche bei Wellenschultern vorsehen“) angeboten werden.

In vielen Beiträgen werden Richtlinien in Kombination aus bildhafter und semantischer Information vermittelt. Beispiele hierfür sind in Bild 1 dargestellt.

Ist die Formteilungsebene festgelegt, dann ist darauf zu achten, daß die Außenflächen in Ausheberichtung schräg liegen. Sonst lassen sich die Modelle nicht aus der Form heben, ohne daß diese beschädigt wird.

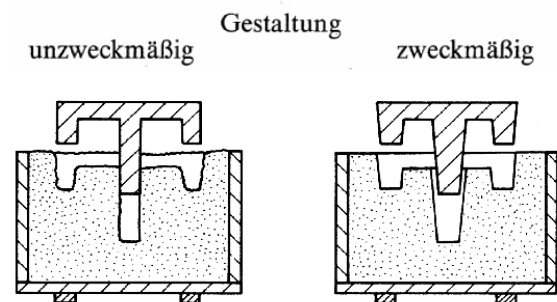


Bild 2-107

Bild 1: Bildhaft und semantisch dargestellte Richtlinie [10]

Der Einsatz moderner Rechnerwerkzeuge bietet eine Reihe weiterer Möglichkeiten zur anschaulichen Darstellung von Richtlinien. Interaktive Aufbereitungen, Videosequenzen und Animationen können hier geeignete Mittel sein, die Aussageabsicht einer Richtlinie verständlich zu kommunizieren.

2 Konzeption und Implementierung eines Informationssystems

Es sei vorangestellt, dass aufgrund der Fülle und Spezialisierung des verfügbaren Angebotes ein wie auch immer geartetes Informationssystem nur mit einer sehr eingeschränkten Tiefe und Breite an berücksichtigten Richtlinien realisiert werden kann.

2.1 Klassifizierung und Strukturierung

Grundlegende Voraussetzung für ein Informationssystem ist eine geeignete Strukturierung von DfX-Richtlinien (vgl. auch [16]). Hierfür gibt es mehrere Möglichkeiten, die im Folgenden diskutiert werden sollen.

2.1.1 Strukturierung nach Herkunft aus dem Produktlebenszyklus

Bild 2 verdeutlicht die Möglichkeit der Strukturierung von Richtlinien entsprechend ihrer Relevanz für die verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus [12].

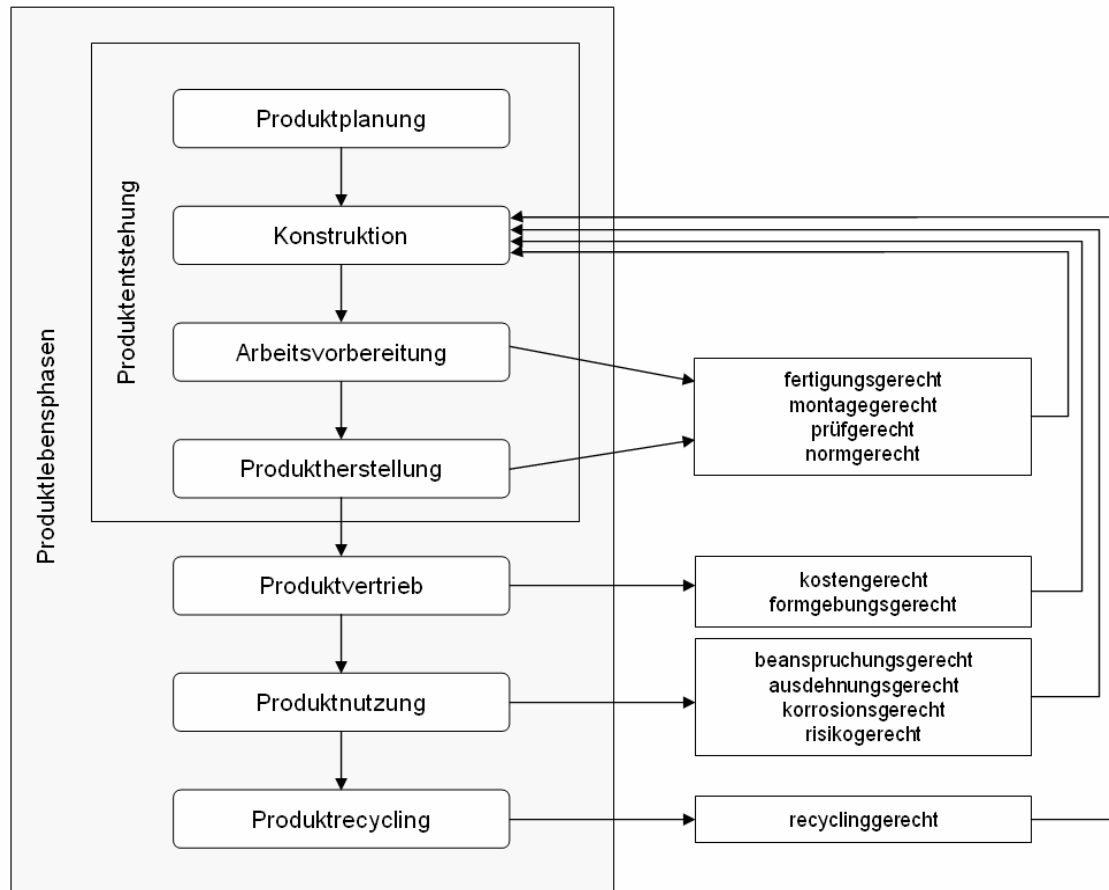


Bild 2: Strukturierung nach Herkunft aus dem Produktlebenszyklus [12]

Vorteilhaft an dieser Art der Strukturierung ist ihre Orientierung an Denkweisen aus der Praxis. Sie lässt sich problemlos auf die in vielen Unternehmen vorhandenen Bereichsstrukturen anwenden (Bereich Fertigung, Bereich Montage, Bereich Vertrieb, usw.). Als Nachteil erweist sich die fehlende Berücksichtigung von wechselseitigen und hierarchischen Beziehungen zwischen den einzelnen Aspekten. In der Praxis zeigt sich, dass es schwierig ist, übergeordneten Aspekten (z. B. „kostengerecht“) konkrete und fassbare Richtlinien zuzuordnen.

2.1.2 Hierarchische Strukturierung

Der DfX-Strukturierungsvorschlag nach [13] (Bild 3), der hier beispielhaft nur einen Bruchteil der Komplexität und des Umfangs der Gesamtstrukturierung aufzeigt, lässt sehr gut die hierarchischen Beziehungen zwischen den verschiedenen DfX-Aspekten unterschiedlicher Detaillierungsgrade erkennen. Hier wird dem Sachverhalt Rechnung getragen, dass die Untersuchung eines DfX-Aspektes automatisch die Beschäftigung mit einer Vielzahl untergeordneter Teilaspekte nach sich zieht.

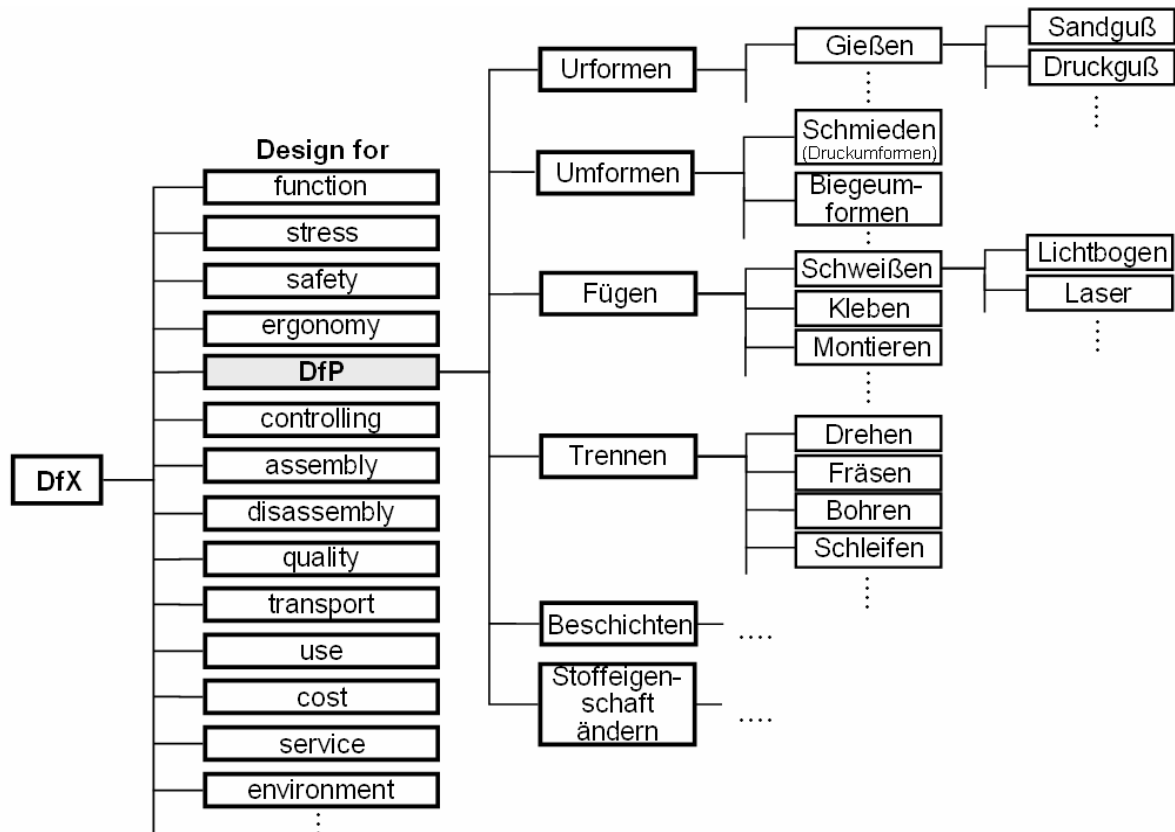


Bild 3: Hierarchische Strukturierung [13]

2.1.3 Strukturierung nach Merkmalen, Eigenschaften und Zielen

Grundlage für eine neue, ebenfalls hierarchische Strukturierung ist der in [14] und [15] vorgestellte Ansatz „Characteristics-Properties-Modelling (CPM)“. Demnach wird bei der Produktmodellierung zwischen Merkmalen und Eigenschaften unterschieden. Merkmale können vom Entwickler direkt festgelegt werden und definieren letztlich das Produkt. Die resultierenden Eigenschaften, welche das Verhalten des Produktes bestimmen, können hingegen nicht direkt vom Produktentwickler beeinflusst werden. Der Kunde wiederum ist vorwiegend an den Produkteigenschaften interessiert und erwartet, dass diese gemäß den Vorgaben der Anforderungsliste in seinem Sinne erfüllt sind.

DfX-Richtlinien sind dabei ein wichtiges Verbindungsglied zwischen Eigenschaften und Merkmalen bei Synthese-Vorgängen: Sie geben konkrete Hinweise darauf, welche Merkmale wie ausgeprägt werden müssen, um die jeweils erwünschte Eigenschaft zu erreichen.

Gliedert man nun eine erwünschte Produkteigenschaft hierarchisch weiter auf, so erhält man eine Struktur wie in Bild 4 dargestellt. Die direkt von den festlegbaren Merkmalen abhängigen Eigenschaften werden weiter zusammengefasst in entsprechende „Übereigenschaften“. In der obersten Ebene sind schließlich grundlegende Ziele abgebildet.

DfX-Richtlinien können in diese Struktur nun problemlos eingeordnet werden. Klassifiziert wird eine Richtlinie dabei nach

- **Merkmal(e):** Das oder die Merkmale, hinsichtlich deren oder deren Ausprägung in der betrachteten Richtlinie Aussagen gemacht werden

- **Eigenschaft(en)**: Die Eigenschaft(en), welche bei Beachtung der Richtlinie erfüllt werden sollen
- **Übereigenschaft(en)**: Die Übereigenschaft(en), auf deren Erfüllung die Beachtung der Richtlinie hinwirkt
- **Ziel(e)**: Die Ziel(e), auf deren Erfüllung die Beachtung der Richtlinie hinwirkt

Bild 4 zeigt den pragmatischen Ansatz für eine derartige Strukturierung, der für das Informationssystem entwickelt wurde.

Bei der hier gewählten Zusammenstellung der **Merkmale** wurde weitestgehend auf die Variationsmerkmale nach Ehrlenspiel [17] zurückgegriffen. Zudem wurden die vom Entwickler wählbaren „Stellschrauben“ Fertigungsverfahren und Montageverfahren aufgenommen. Eine weiterführende Aufgliederung der Merkmale in „Untermkmale“ erlaubt eine genauere Zuordnung von Richtlinien.

Die Auswahl der **Eigenschaften** und **Übereigenschaften** wurde pragmatisch unter dem Aspekt der Verwendbarkeit für die Einteilung der betrachteten Richtlinien getroffen.

Die übergeordneten **Ziele** schließlich stellen eine Teilmenge der in [18] vorgestellten universellen Kriterien dar.

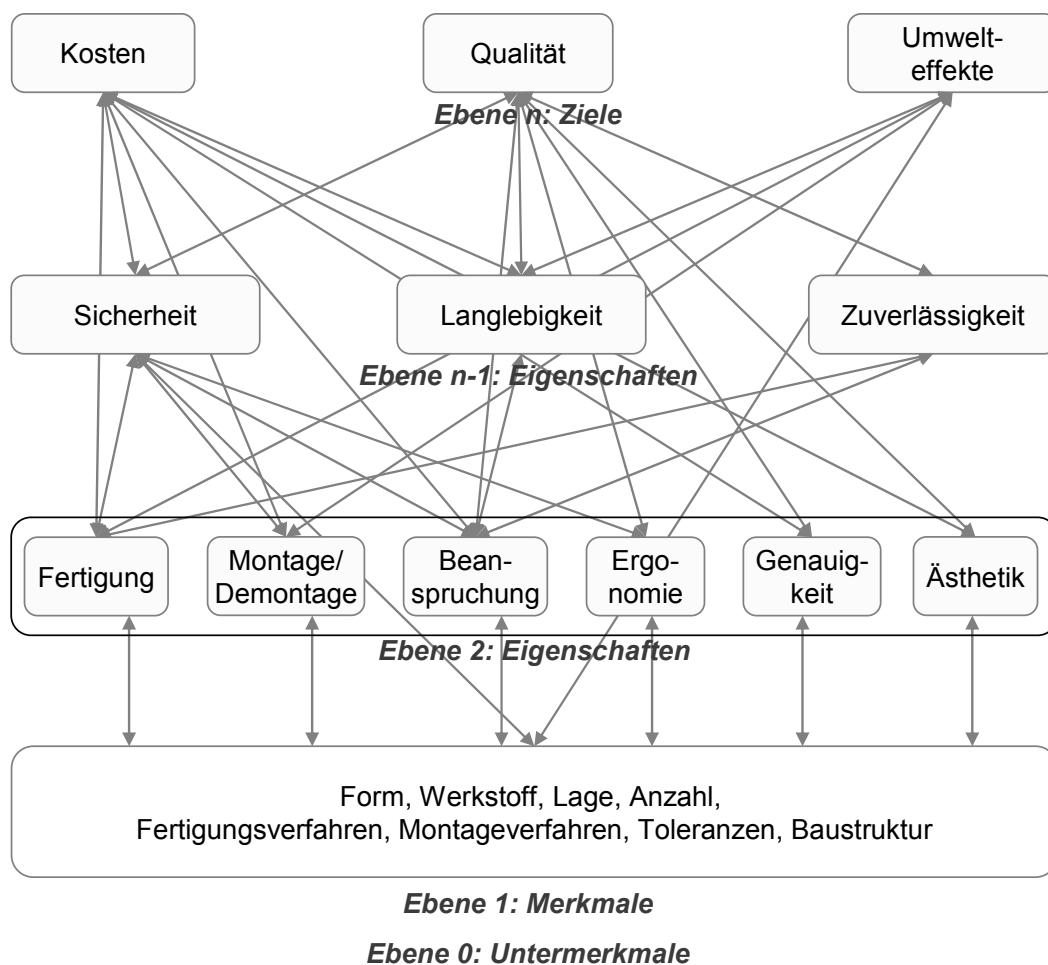


Bild 4: Strukturierung nach Merkmalen, Eigenschaften und Zielen

Der große Vorteil dieses Ansatzes liegt in der konsequenten Berücksichtigung hierarchischer Zusammenhänge im Sinne eines Zielsystems. Somit können hier auch (indirekt) eine Fülle von Richtlinien zu übergeordneten, „unscharfen“ Aspekten (z. B. Kosten, Qualität) abgelegt und gezielt recherchiert werden. Zudem erlaubt diese Art der Strukturierung neben der eigenschaftsbezogenen (montagegerecht, fertigungsgerecht, sicherheitsgerecht, usw.) Recherche auch eine merkmalsbezogene Suche nach Richtlinien. So könnte man sich beispielsweise alle Richtlinien anzeigen lassen, die auf das Merkmal „Form“, Untermerkmal „mit Krümmungsradius“ abzielen.

Weiterhin ist auf Basis dieses Ansatzes eine abstrakte Repräsentation von Richtlinien möglich. Hierfür wird eine Richtlinie in ihre elementaren Bestandteile

- Handlungsanweisung, angesprochenes Hauptmerkmal, zu erfüllende Haupteigenschaft, Forderung

eingeteilt. Die Richtlinie „Vermeide scharfe Biegekanten“ könnte z. B. auf die abstrakte Form „Wähle (Handlungsanweisung) Form (Merkmal) so, dass Qualität (Eigenschaft) optimal (Forderung) ist“ gebracht werden.

Dadurch wird ermöglicht, Aussagen der Richtlinien automatisiert zu vergleichen und insbesondere hinsichtlich möglicher Wechselwirkungen zu analysieren. Diese entstehen genau dann, wenn Richtlinien zur Erfüllung verschiedener Eigenschaften konkurrierende oder auch komplementäre Anweisungen für die Ausprägung desselben Merkmals enthalten.

2.2 Implementierung und Beispiel

Bei der prototypischen Implementierung des Informationssystems mit Microsoft Access wurden eine Kombination mehrerer Strukturierungsansätze gewählt, um alle Vorteile nutzen zu können.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind mehr als 300 Richtlinien aus den DfX-Bereichen

Beanspruchungsgerechtigkeit, Demontagegerechtigkeit, Ergonomiegerechtigkeit, Fertigungsgerechtigkeit, Instandhaltungsgerechtigkeit, Kostengerechtigkeit, Montagegerechtigkeit, Recyclinggerechtigkeit, Sicherheitsgerechtigkeit, Transportgerechtigkeit, Werkstoffgerechtigkeit

berücksichtigt.

Bild 5 verdeutlicht das beschriebene Konzept am Beispiel der Richtlinie „Vermeide scharfe Biegekanten“. Angesprochen ist hier das Merkmal „Form“ mit Untermerkmal „Radius“. Als direkt betroffene Eigenschaften wurden „Fertigungsgerechtigkeit“, „Ergonomie“, „Genauigkeit“ und das „Design“ identifiziert, wobei die erstgenannte Eigenschaft als die Wichtigste zu erachten ist. Die betroffene Übereigenschaft ist die „Sicherheit“. Als Ziele, deren Erreichen durch die Berücksichtigung der Richtlinie gefördert wird, sind schließlich „Qualität“ und „Kosten“ zu nennen. Somit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die Richtlinie neben ihrer ursprünglichen Herkunft aus dem Bereich des fertigungsgerechten Konstruierens z. B. auch hinsichtlich des Aspekts „Kosten“ Relevanz besitzt.

Wie Bild 5 erkennen lässt, wurden weitere Strukturierungsansätze, wie z. B. die Zuordnung zur entsprechenden Phase des Produktentwicklungsprozesses (hier: Ausarbeiten) oder die Herkunft aus dem Produktlebenszyklus (hier: Produktherstellung) berücksichtigt.

DfX-Richtlinien Eingabeformular

Eigenschaft E0-1 Qualität	Eigenschaft E0-2 Kosten	Eigenschaft E0-3		
Eigenschaft E1-1 Sicherheit	Eigenschaft E1-2	Eigenschaft E1-3		
Eigenschaft E2-1 Fertigung	Eigenschaft E2-2 Ergonomie	Eigenschaft E2-3 Genauigkeit	Eigenschaft E2-4 Design	Eigenschaft E2-5
Merkmal M1 Form	Merkmal M2 Fertigungsverfahren	Merkmal M3		
Merkmal V1 Radius	Merkmal V2 Biegen	Merkmal V3		
Merkmal H1 Wähle	Merkmal H2 Wähle	Merkmal H3		
Handlungsanweisung Wähle	Merkmal Form	so, dass	Eigenschaft Qualität	Forderung optimal ist.
Richtlinie Vermeiden Sie zu scharfe Biegekanten				
Zusatz Bei zu scharfkantig gebogenen Biegekanten besteht die Gefahr, daß das Material im Bereich der Biegekante durch die dort eingebrachten Kräfte beschädigt wird. Diese Schwächung führt zumeist zum Werkstückbruch. Zur Herstellung von scharfen Kanten werden weiche Werkstoffe, bei denen die Kaltverfestigung keine so große Rolle spielt, benötigt.				
ID 245	Datenbank- ID	Bilder Bilder\bildB1b.html	Quelle Hymis	
Planungszeitpunkt Ausarbeiten	Aspekt Herkunft Produktherstellung	DfX-Aspekt fertigungsgerecht	Hierarchie Ebene Kante, Kontur	Verbindlichkeit <input type="checkbox"/>

Bild 5: Eingabe einer Richtlinie

Auf Basis dieser Ablage von Richtlinien ist eine Fülle hilfreicher Recherchen möglich. So kann nach beliebigen Kombinationen der berücksichtigten Entitäten einer Richtlinie gesucht werden (vgl. Bild 6). Insbesondere ist es möglich, konkrete Richtlinien zu übergeordneten Aspekten (Zielen) oder auch zu bestimmten Merkmalen anzuzeigen.

DfX-Richtlinien Suchformular

Ziel wählen:

Eigenschaft E0-1
 Kosten

Verknüpfung der Ziele
 oder
 und

Eigenschaft wählen:

Eigenschaft
 Montage

Merkmal wählen:

Merkmal M1
 Geometrie

Kriterium wählen:

Planungszeitpunkt

Aspekt Herkunft

Hierarchie Ebene

DfX-Aspekt

Abfrage ausführen

Berichtsvorschau
(kurzer Bericht)

Berichtsvorschau
(langer Bericht)

Bild 6: Suche nach Richtlinien

Die jeweils gefundenen Richtlinien werden wie in Bild 7 (Auszug aus dem Rechercheergebnis zu der in Bild 6 abgebildeten Abfrage) dargestellt. Neben der gezeigten knappen Ergebnisdarstellung besteht noch die Möglichkeit, das Rechercheergebnis ausführlich unter Berücksichtigung aller verfügbaren Informationen anzuzeigen.

ID	DBID	DfX-Aspekt	Quelle
160		montagegerecht	Hesse MA S. 23
Richtlinie			
Gestalte genauso viele Fügeflächen, wie zu eindeutigen Lagebestimmung (Position und Orientierung) eines Bauelements nötig sind.			
Zusatz			
Überbestimmungen führen zu Montageschwierigkeiten, bei Unterschreitung wird das Funktionsziel nicht erreicht.			

ID	DBID	DfX-Aspekt	Quelle
163		montagegerecht	Hesse MA S. 23
Richtlinie			
Vermeide Luftpolster.			
Zusatz			
z.B.: Beim Fügen von Bolzen in Grundlöcher treten Luftpolster auf und so die Montage behindern. Entlüftungsbohrung oder -rille vorsehen			

ID	DBID	DfX-Aspekt	Quelle
181		montagegerecht	Hymis
Richtlinie			
Vermeiden von Verklebungen gleicher Fügeteile.			
Zusatz			
Verklebungsgefährdete Fügeteile müssen entweder geordnet für die Montage bereitgestellt werden oder so umgestaltet werden, dass an deren Kontaktflächen kein Freinandergreifen bzw. keine Verklebung ermöglicht werden.			

ID	DBID	DfX-Aspekt	Quelle
182		montagegerecht	Hymis
Richtlinie			
Bevorzugung rollfähiger Fügeteile.			
Zusatz			
Rollfähige Fügeteile sind dadurch gekennzeichnet, dass zu deren Beförderung der einfache physikalische Effekt der schiefen Ebene ausreicht. Ihre translatorische Fortbewegung ist gekoppelt mit einer rotatorischen Bewegung um die stabile Achse des Fügeteils. geringem Energieaufwand!			

Bild 7: Rechercheergebnis (Auszug)

3 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt einen Weg auf, das gesamte Feld unterschiedlichster DfX-Richtlinien in eine Struktur einzuordnen. Insbesondere Richtlinien zu übergeordneten, unscharfen Aspekten (z. B. Kosten, Qualität) können über Verknüpfungen mit entsprechenden dazwischenliegenden „konkreteren“ Eigenschaften sinnvoll abgelegt werden. Die durch die gezeigte Abstraktion auf die elementaren Bestandteile einer Richtlinie (Handlungsanweisung, Merkmal, Eigenschaft und Forderung) mögliche automatisierbare Vergleichbarkeit von Richtlinien erleichtert zudem eine ganzheitliche Recherche und Analyse wechselwirkender Forderungen.

Weiterentwicklungen des Informationssystems sind vor allem im Ausbau des Bestandes der Richtlinien und in einer Optimierung der Benutzungsschnittstelle mit weiterführenden Recherchemöglichkeiten gewinnbringend.

4 Literatur

- [1] Boothroyd, G.: DESIGN FOR Manufacture and Assembly: The Boothroyd-Dewhurst Experience in DESIGN FOR X, Concurrent Engineering Imperatives. Chapman & Hall, 1996
- [2] Corbett, J.; Dooner, M.; Meleka J.; Pym, C.: Design for Manufacture, Addison-Wesley Publishing Company, Wokingham, 1991
- [3] N. N.: Konstrukteure senken Herstellkosten – Methoden und Hilfen, VDI-Berichte 457, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1982
- [4] Ehrlenspiel, K.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, Springer-Verlag, Berlin, 2003
- [5] Andreasen, M. M.; Kähler, S.; Lund, T.: Montagegerechtes Konstruieren, Springer-Verlag, Berlin, 1985
- [6] Weege, R.-D. Recyclinggerechtes Konstruieren, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1981

- [7] Quella, F. (Hrsg.): Umweltverträgliche Produktgestaltung, Publicis MCD Verlag, Erlangen 1998
- [8] Meerkamm, H.: DESIGN FOR X – Vielfalt der Anforderungen versus Zielorientierung. Tagungsband WOIS-Symposium 1999, Coburg 1999
- [9] Becker: Mit logistikgerechtem Design Produkt- und Gemeinkosten senken. Tagung I²2004, 2004
- [10] Fritz, A. H. et al: Fertigungstechnik, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1985
- [11] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre, vierte Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1997
- [12] Rude, S.: Wissensbasiertes Konstruieren. Shaker Verlag, Aachen, 1998
- [13] Meerkamm, H.: Design for X – Vielfalt der Anforderungen versus Zielorientierung. Tagungsband WOIS-Symposium 1999, Coburg 1999
- [14] Weber, C.; Werner, H.: Klassifizierung von Cax-Werkzeugen für die Produktentwicklung auf der Basis eines neuartigen Produkt- und Prozessmodells, Beiträge zum 11. Symposium, H. Meerkamm (Hrsg.), Neukirchen, S. 126-143, 2000
- [15] Weber, C.: Looking at „DFX“ and „Product Maturity“ from the Perspective of a New Approach to Modelling Product and Product Development Processes, The Future of Product Development, Springer, Berlin, 2007
- [16] Bauer, S.: DESIGN FOR X – Ansätze zur Definition und Strukturierung in DESIGN FOR X, Beiträge zum 14. Symposium, H. Meerkamm (Hrsg.), Neukirchen, S. 1-8, 2003
- [17] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung – Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. Hanser Verlag, München/Wien, 1995
- [18] Andreasen, M. M.: Concurrent Engineering – effiziente Integration der Aufgaben im Entwicklungsprozess in Handbuch Produktentwicklung, Hanser-Verlag, München/Wien, 2005

Dipl.-Ing. Stefan Bauer
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
FAU Erlangen-Nürnberg
Martensstraße 9, D-91058 Erlangen
Tel: +49-9131-85-27987
Fax: +49-9131-85-27988
Email: bauer@mfk.uni-erlangen.de
URL: <http://www.mfk.uni-erlangen.de>