

DESIGN FOR X – ANSÄTZE ZUR DEFINITION UND STRUKTURIERUNG

Stefan Bauer

Kurzfassung

Angesichts einer merklich gestiegenen Komplexität im Bereich der Produktentwicklung setzt sich mehr und mehr die Auffassung durch, dass Entwicklungsaufgaben künftig nur ganzheitlich, also unter gleichzeitiger Berücksichtigung verschiedenster Aspekte, zu lösen sind. Methoden, Strategien und Werkzeuge, die von diesem Denkansatz inspiriert sind, werden allgemein mit dem Begriff „Design for X (DfX)“ in Verbindung gebracht. Die im Umfeld des Stichwortes „DfX“ auf diese Weise entstandene Begriffswelt ist derzeit noch unstrukturiert und zum Teil widersprüchlich. Der Versuch durchgängiger Definitionen soll eine semantische Grundlage für ein einheitliches Verständnis des Begriffskomplexes „DfX“ bilden. Ein weiterer Schritt hin zu einer besseren Fasslichkeit gelingt durch die Aufstellung einer Modellstruktur wesentlicher DfX-Richtlinien, anhand derer aufgezeigt werden kann, auf welche Weise das komplexe, nichtlineare Geflecht unterschiedlichster Einzelrichtlinien entsteht. Weiterhin sollen mögliche Ansätze der Navigation und Strategiebildung auf Basis einer derartigen Modellvorstellung umrissen werden. Schließlich soll herausgearbeitet werden, inwieweit die praktische Umsetzung eines derartigen Konzeptes als Hilfestellung für Produktentwickler von Nutzen sein kann.

1 Begriffsklärungen

1.1 Design for X (DfX)

Nach Hubka [4] ist unter DfX ein Wissenssystem zu verstehen, in dem die Erkenntnisse, wie einzelne Eigenschaften technischer Systeme beim Konstruieren zu erreichen sind, in geeigneter Form gesammelt und geordnet werden. Bei Huang [3], der den Term DfX mit „*making decisions in product development related to products, processes and plants*“ umschreibt, steht hingegen der Entscheidungsfindungsprozess im Vordergrund. DfX impliziert also, Entscheidungen im Produktentwicklungsprozess auf der Grundlage einer hinreichend dimensionierten und ganzheitlich angelegten Wissensbasis zu treffen.

1.2 DfX-Richtlinien

DfX-Richtlinien stellen eine Form der Repräsentation des bei Hubka erwähnten Wissenssystems dar. Sie dienen als Wegweiser, die während des Produktentwicklungsprozesses den Weg zur Verwirklichung möglichst vieler erwünschter Eigenschaften des Produktes und der angeschlossenen Prozesse aufzeigen. Das Wesen und der Exaktheitsgrad von DfX-Richtlinien sind von der jeweils betrachteten Produktentwicklungsphase abhängig.

1.3 DfX-Kriterien

Kriterien dienen allgemein der Definition des Sollzustandes und der Ermittlung des Istzustandes des Resultates eines Produktentwicklungsschrittes. Werden Kriterien von den in DfX-Richtlinien enthaltenen Ratschlägen abgeleitet, so werden diese als DfX-getriebene Kriterien (DfX-Kriterien) bezeichnet.

1.4 DfX-Strategie

Die Zielsetzungen bei der Entwicklung eines Produktes werden mithilfe der Auswahl und Gewichtung von geeigneten Kriterien formuliert. Diese Zielsetzungen sind stets Ausdrucksformen der der Entwicklung des Produktes zugrundeliegenden Strategie. Wird diese Strategie explizit auf der Grundlage geeigneter DfX-Kriterien formuliert, so wird sie hier DfX-Strategie genannt.

2 Strukturierung von DfX-Richtlinien

2.1 Grundlagen

Jeder Versuch, eine Gesamtstruktur aller denkbaren DfX-Richtlinien zu erschaffen, ist maßgeblich von der Subjektivität des Schöpfers geprägt und demzufolge angreifbar. Trotzdem ist es gewinnbringend, grundlegende Systematiken, die dieser Struktur zugrunde liegen, auszuarbeiten.

Eine systematische Analyse des Informationsbedarfs des Produktentwicklers in Abhängigkeit von den Produktentwicklungsphasen lässt deutlich erkennen, dass zwischen der Beschaffenheit von DfX-Richtlinien und den Phasen des Produktentwicklungsprozesses eine starke Abhängigkeit besteht. Während in frühen Phasen eher strategische Entscheidungen getroffen werden und mit passenden Richtlinien unterstützt werden müssen, so handelt es sich in späteren Phasen vorwiegend um konkrete Richtlinien zur erfolgreichen Durchführung der gewählten Prozesse. Damit wird deutlich, dass die Anzahl potentiell relevanter Richtlinien im Laufe des Produktentwicklungsprozesses zunimmt. Der hierarchische Aufbau des Produktentwicklungsprozesses (in späten Phasen erfolgt die Umsetzung der in frühen Phasen beschlossenen Konzepte) spiegelt sich in der Strukturierung der DfX-Richtlinienstruktur wieder (Bild 1).

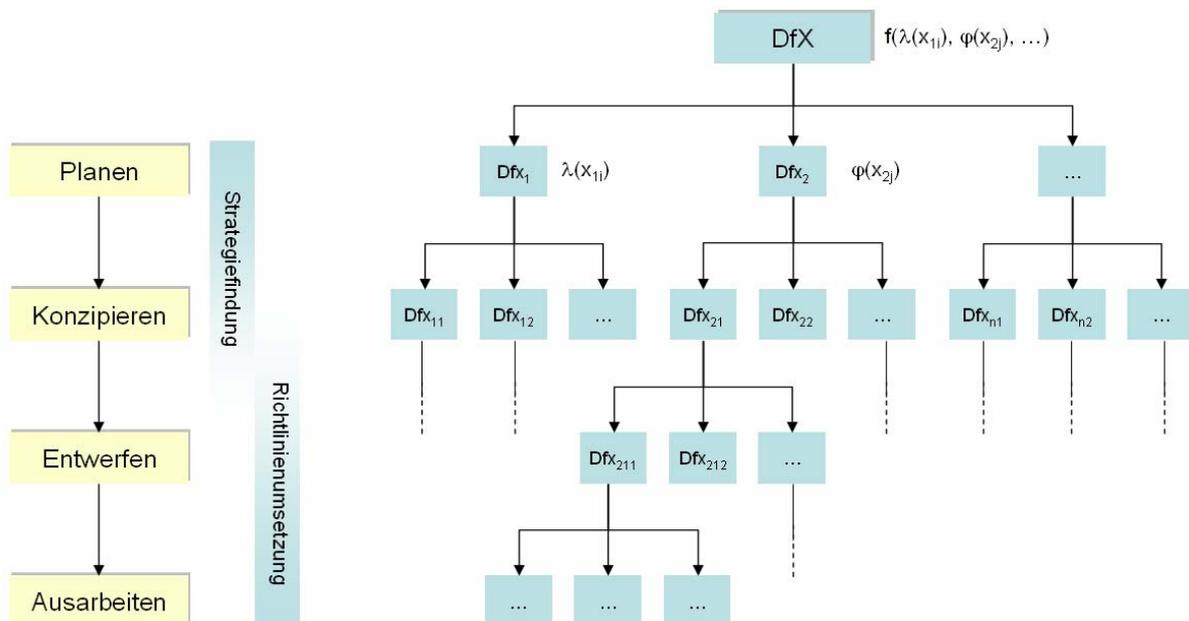


Bild 1: Korrelation zwischen Konstruktionsphasen und DfX-Hierarchie

2.2 Beispiel einer Strukturierung

Bild 2 soll eine Möglichkeit zeigen, wie sich grundlegende DfX-Richtlinien klassifizieren lassen.

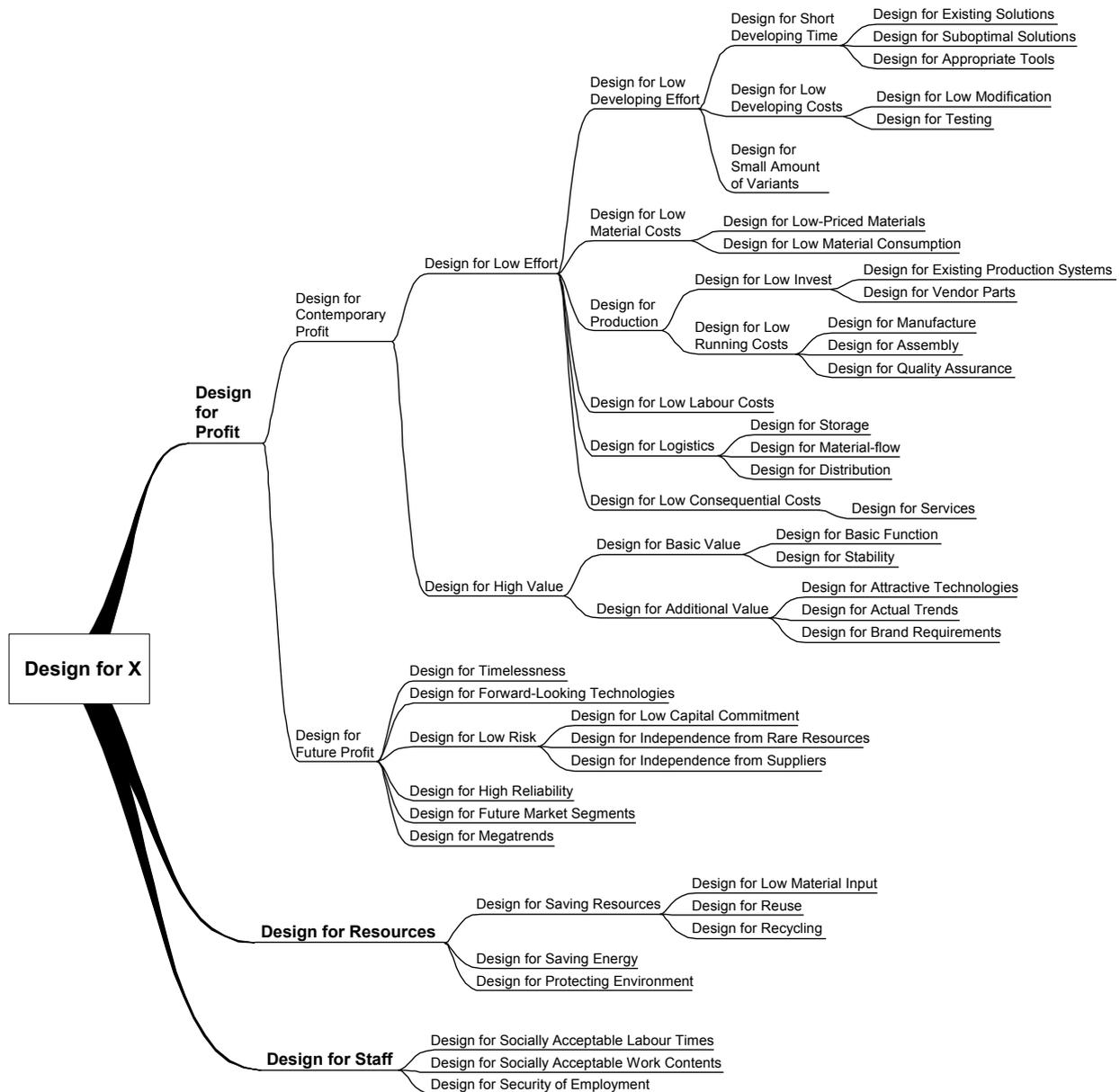


Bild 2: Beispiel einer Richtlinienstruktur

Bei dem dargestellten Beispiel handelt es sich um eine produktunabhängig formulierte Instanz einer Richtlinienstruktur. Aufgrund der sehr begrenzten Detailtiefe sind hier nur strategisch ausgerichtete Aspekte berücksichtigt. Die Entscheidungen, die in den dargestellten Hierarchieebenen getroffen werden, üben einen maßgeblichen Einfluss auf den gesamten Produktentwicklungsprozess und auf die späteren Eigenschaften des Produktes aus.

3 Strategiebildung und Entscheidungsfindung

3.1 Wahl der Hierarchieebene

Grundsätzlich hängen die spezifischen Anforderungen an den Entscheidungsträger maßgeblich von der zugrunde liegenden Hierarchieebene der zu berücksichtigenden Richtlinien ab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine starke Korrelation zwischen den Phasen des Produktentstehungsprozesses und der Hierarchie der DfX-Richtlinien besteht (Bild 1). Entscheidungen, die in der Produktplanungsphase getroffen werden, liegt grundsätzlich eine völlig andere Ebene an Richtlinien zugrunde als Entscheidungen in der Ausarbeitungsphase.

Die beschriebene Hierarchie verdeutlicht dabei einmal mehr, dass sich die übergeordneten Entscheidungen früher Phasen maßgeblich auf die Entscheidungsmöglichkeiten späterer Phasen auswirken: Während in frühen Phasen die dem Produktentwicklungsprozess zugrunde liegenden Strategien festgelegt werden, ist es die Aufgabe späterer Phasen, strategieinhärente Richtlinien zu identifizieren und umzusetzen.

Ziel ist es, eine validierbare Strategie in Form einer gewichteten Gruppe von Kriterien zu formulieren. Die betrachteten Kriterien sollen aus der für die aktuelle Produktentwicklungsphase geltende DfX-Hierarchieebene abgeleitet werden. Aus der Forderung, dass der Erfüllungsgrad einer Strategie feststellbar sein muss, lässt sich eine einfache Regel zur Wahl der korrekten Hierarchieebene ableiten: Für eine Produktentwicklungsphase ist genau die Hierarchieebene zu wählen, bei der zwischen dem Informationsbedarf zur Feststellung der Erfüllungsgrades der enthaltenen Richtlinien und dem Informationsangebot der betrachteten Produktentwicklungsphase eine größtmögliche Übereinstimmung herrscht.

3.2 Ableitung von Kriterien

Nachdem die korrekte Hierarchieebene in der DfX-Richtlinienstruktur identifiziert wurde, ist es nun die Aufgabe, aus den darin enthaltenen Richtlinien konkrete Kriterien abzuleiten. Dazu ist es zunächst erforderlich, den Effekt der einzelnen Richtlinien auf das konkret betrachtete Produkt und auf die zugehörigen Prozesse zu untersuchen. Ist grundsätzlich eine positive Auswirkung der Umsetzung der Richtlinie zu erwarten, so sind die darin enthaltenen Forderungen zu extrahieren und in Form geeigneter, dem Produkt angepasster Kriterien zu formulieren. Das beschriebene Problem ist in [1] anhand eines Beispiels dargestellt: Die DfX-Richtlinie „Benutze gleiche Verbindungselemente“ ist nicht auf jedes Produkt gleich anzuwenden. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten wird die Umsetzung dieser Richtlinie ausschließlich positive Auswirkungen haben. Denkbar ist beispielsweise jedoch auch, dass durch die Verwendung zweier verschiedener Schraubengrößen eine eindeutige Einbaulage geschaffen und damit ein Montagevorgang vereinfacht werden soll. Das Beispiel verdeutlicht zunächst, dass aus einer DfX-Richtlinie erst durch eine geeignete, produktabhängige Instanziierung ein verbindliches Kriterium entsteht. Darüberhinaus lässt sich an diesem Beispiel erkennen, dass verschiedene Richtlinien und die daraus abgeleiteten Kriterien in Beziehungen zueinander stehen können: Entscheidet man sich für das Prinzip eindeutiger Montageoperationen, so kann dies unter Umständen im Konflikt zu dem Prinzip der Verwendung gleicher Verbindungselemente stehen. Auf die Problematik der Wechselwirkungen wird im Folgenden näher eingegangen.

3.3 Untersuchung der Wechselwirkungen

DfX-Richtlinien und die daraus abgeleiteten Kriterien können sich prinzipiell fördern (komplementär), behindern (konkurrierend) oder nicht beeinflussen (indifferent). In einzelnen Fällen sind auch widersprüchliche Anforderungen denkbar, die sich gegenseitig ausschließen.

Besonders problematisch wirken sich diese Wechselwirkungen auf die direkte Gewichtung von Kriterien aus, die z.B. in der Nutzwertanalyse [5] notwendig ist. Werden komplementäre Relationen nicht beachtet, so führt die doppelte Gewichtung einzelner Aspekte zu einer Schwerpunktsverschiebung verglichen mit der ursprünglichen Zielsetzung. Bei einer Nichtbeachtung konkurrierender Relationen hingegen werden Zielkonflikte nicht als solche erkannt und können daher auch nicht gezielt aufgelöst werden. Ziel ist es, einen von dem Einfluss dieser Wechselwirkungen bereinigter Satz gewichteter Kriterien zum Zwecke der Strategieformulierung zu schaffen.

3.3.1 *Relationenprüfmatrix*

Ein einfach zu handhabendes Mittel zur Überprüfung der Wechselwirkungen der einzelnen Kriterien ist die Relationenprüfmatrix [2]. Zur Prüfung der Relationen wird jede Anforderung mit jeder anderen verglichen. Die Wechselwirkung der Kriterienpaare kann dabei mit einem der folgenden Arten beschrieben werden:

- unabhängig (indifferent)
- unterstützend
- gegenläufig
- widersprüchlich

Bei unabhängigen und unterstützenden Relationen wird in [2] kein Problem erkannt, während bei gegenläufigen und widersprüchlichen Relationen die Ergreifung von Maßnahmen gefordert wird. Dazu wird vorgeschlagen, im Falle widersprüchlicher Anforderungen die Unwichtigere Anforderung zu streichen und dem Problem gegenläufiger Anforderungen z.B. mit einer Aufteilung in je eine Festforderung und eine tolerierte Anforderung zu begegnen.

Mit diesem Verfahren ist es nicht möglich, das Maß der Abhängigkeit zu quantifizieren. Desweiteren wird keine Lösung des Gewichtungsproblems bei unterstützenden Kriterien angeboten.

Es soll daher ein neues Verfahren gesucht werden, welches allen Interaktionen und deren Grad gerecht wird. Die Gesamtheit aller Elementpaarungen ergibt ein komplexes System von Interaktionen, das auf eine möglichst einfache Art und Weise dargestellt werden soll. Basis für dieses Verfahren soll auch hier eine Matrix sein, in der die Relationen paarweise verglichen werden.

3.3.2 *Strukturendeckung durch Analogie von Wechselwirkungen und Kräften*

Ein möglicher Ansatz lässt sich aus der Bildung einer Analogie zwischen Kräften aus der Mechanik und Wechselwirkungen von Kriterien ableiten. Die Entstehung der Kräfte wird analog zu dem Gravitationsgesetz erklärt, wobei die Gravitationskonstante durch eine allgemeine Konstante K und das Produkt der Massen durch eine Größe w_{ij} ersetzt wird (Bild 3).

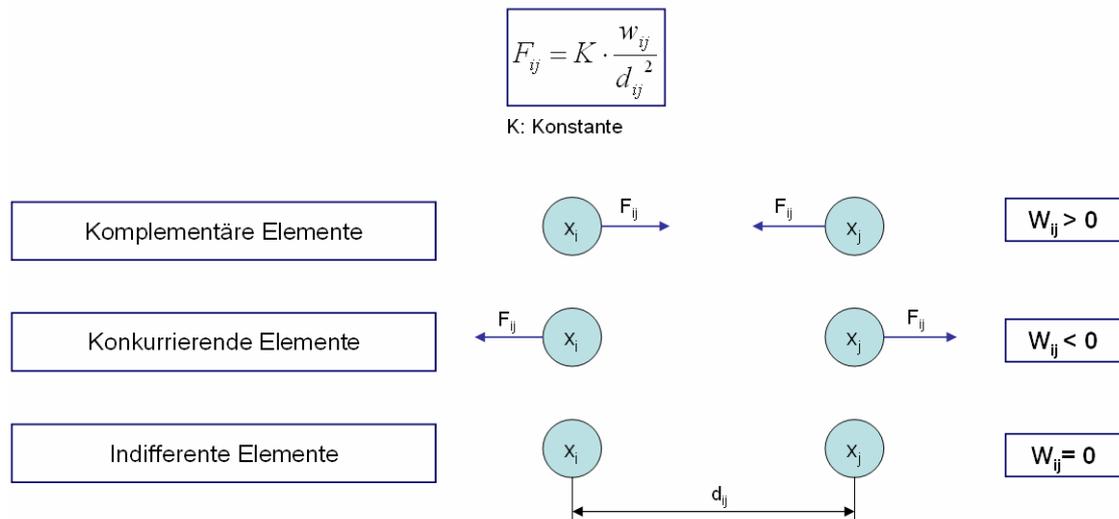


Bild 3: Analogie zwischen Kräften und Wechselwirkungen

Über die Größe w_{ij} wird das Expertenwissen über Relationen eingebracht. Notwendig hierzu ist die Angabe eines geeigneten Definitionsraums (z.B. $\{-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5\}$).

Anziehende Kräfte verkörpern komplementäre Kriterien während abstossende Kräfte das Verhalten konkurrierender Kriterien nachbilden. Zwischen indifferenten Kriterien tritt keine Kraftwirkung auf.

In einem nächsten Schritt werden alle Elemente in einer Ebene angeordnet und die auftretenden Kräfte eingetragen.

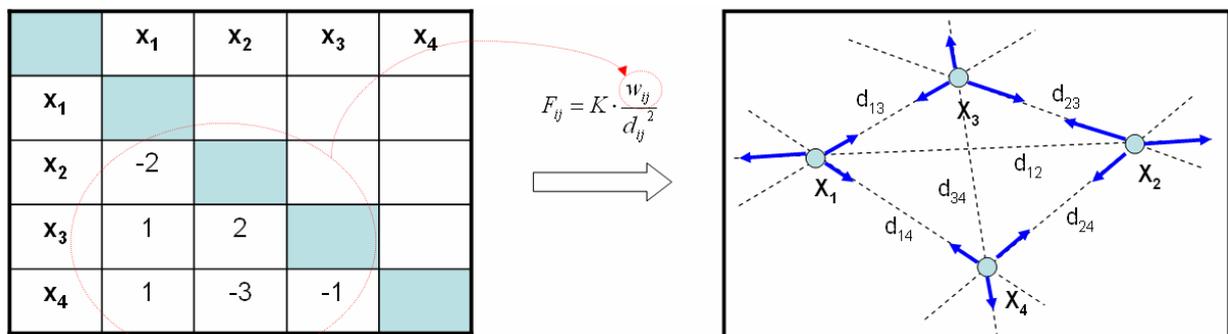


Bild 4: Strukturedeckendes Verfahren

Gesucht werden diejenigen Abstände d_{ij} , bei denen das entstehende Gesamtsystem im Gleichgewicht steht. Mit der Lösung dieser Aufgabe ist die Gesamtstruktur der Wechselwirkungen der einzelnen Kriterien beschrieben (Bild 4).

3.4 Strategiebildung

Auf Basis einer derartigen graphischen Strukturierung ist es nun möglich, die Produktstrategie visuell mit der Wahl eines Punktes in der Gesamtstruktur festzulegen (Bild 5).

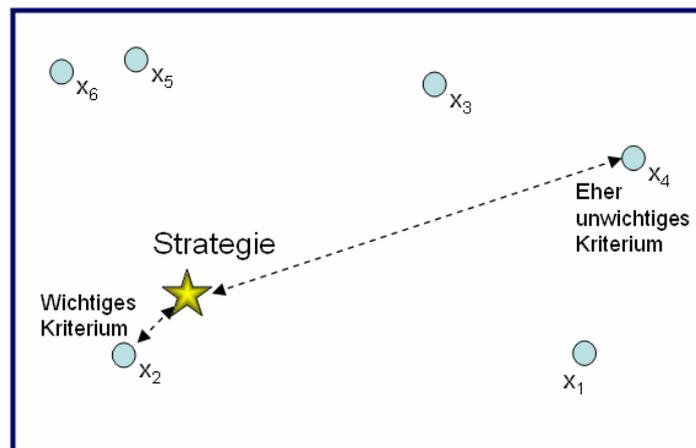


Bild 5: Wahl der Strategie

Die Entfernung eines Kriteriums von dem Strategiepunkt ist ein Maß für die ihm zugedachte Bedeutung. Zielkonflikte können bei diesem Vorgehen nicht mehr ausgewichen werden: Bewegt man sich auf ein Kriterium zu, so vergrößert sich automatisch die Entfernung zu allen konkurrierenden Kriterien. Somit entsteht implizit der Zwang, bei der Wahl der Strategie Zielkonflikte mit geeigneten Kompromissen zu begegnen.

In einem nächsten Schritt werden den Kriterien „Massen“ zugewiesen, so dass der Schwerpunkt des Massensystems mit der Lage der Strategie zusammenfällt (Bild 6). Die Masse eines Kriteriums ist identisch mit seiner Gewichtungszahl. Dieses Vorgehen beseitigt die Gefahr der doppelten Gewichtung komplementärer Elemente: Liegt in einem Bereich aufgrund der Wahl komplementärer Elemente eine Anhäufung von Kriterien vor, so schlägt sich dies bei der Ableitung der Gewichtungen nach dem Schwerpunktsverfahren in einer Verteilung des Gesamtgewichtes in dem lokalen Bereich auf die dort enthaltenen Kriterien nieder. Zwei prinzipiell als wichtig erachtete, aber stark komplementäre Elemente würden demnach für sich schwächer gewichtet, da das dem betrachteten Aspekt zugedachte Gewicht in der Summe der Gewichte beider Kriterien (korrekt) berücksichtigt ist.

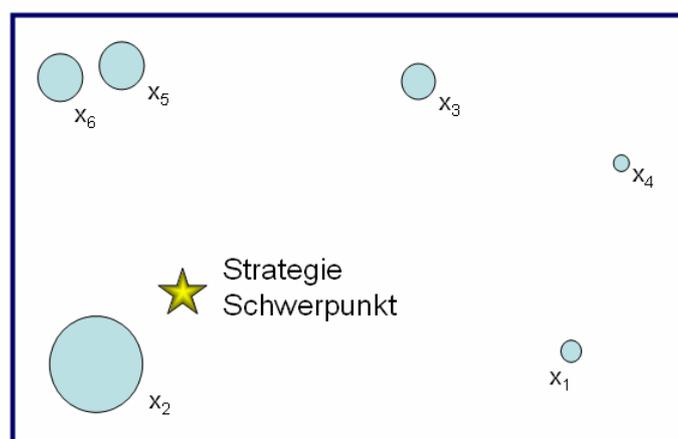


Bild 6: Zuweisung von Massen

Die Eignung verschiedener Konzepte im Hinblick auf die festgelegte Strategie kann mit geeigneten Bewertungsverfahren einfach festgestellt werden, da die Strategie mithilfe gewichteter Kriterien formuliert wurde. Mögliche Bewertungsverfahren und deren rechnerische Umsetzung sind in [1] vorgestellt.

3.5 Beispiel einer Strategiebildung

In Bild 7 ist anhand des Produktes „Küchenwaage“ dargestellt, wie sich verschiedene Produktstrategien als DfX-Strategien begreifen und demzufolge in einer DfX-Kriterienkarte festlegen lassen.

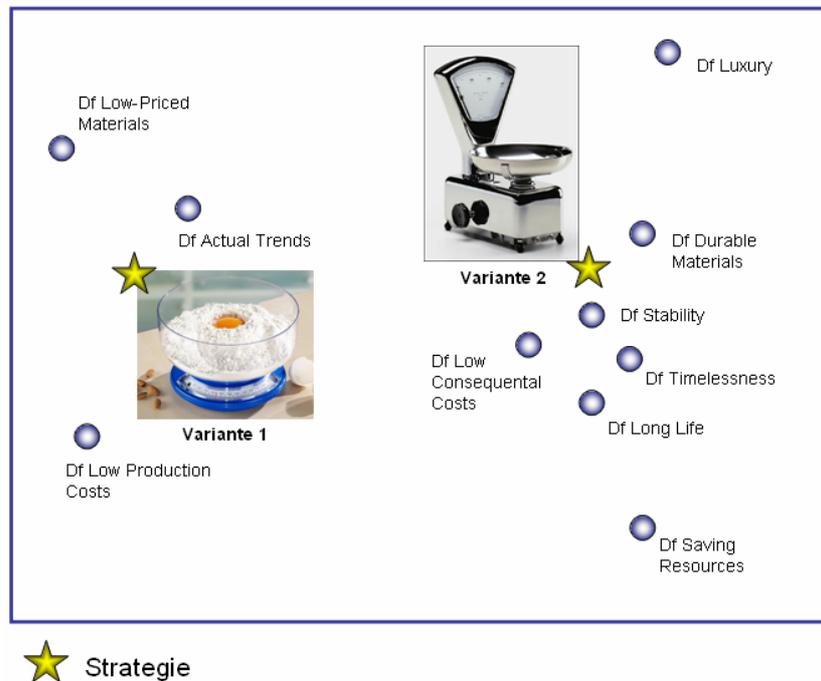


Bild 7: Beispiel einer Strategiebildung [Bildnachweis: Manufactum und Quelle]

4 Literatur

- [1] Adunka, R.: Rechnerunterstützter Bewertungsprozess im Umfeld methodischer Produktentwicklung, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe Konstruktionstechnik/Maschinenelemente, VDI Verlag, Düsseldorf, 2003
- [2] Breiing, A.; Knosala R.: Bewerten technischer Systeme, Springer-Verlag, Berlin, 1997
- [3] Huang, G. Q.: Design for X, Concurrent Engineering Imperatives. Chapman & Hall, 1996
- [4] Hubka, V.: Design For – DF. Fertigungsgerechtes Konstruieren, Report, Beiträge zum 6. Symposium, H. Meerkamm (Hrsg.), Erlangen
- [5] Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, Wittmannsche Buchhandlung, 1970

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>