

Multikriterielle Bewertung - Einsatz der Meta-Methodologie von Watson, Radcliffe, Dale im Sonderforschungsbereich 396

Dipl.-Ing. Sandro Wartzack

1 Einleitung

Im Zuge der Globalisierung der Märkte wird der weltweite Konkurrenzdruck auf die produzierenden Betriebe zunehmend stärker. Als Folge davon gewinnt die „Integrierte Produktentwicklung“ für die Industrie immer mehr an Bedeutung, wenn es darum geht, Produkte mit hoher Qualität zu einem konkurrenzfähigen Preis und in immer kürzerer Zeit auf den Markt zu bringen. Besonders das sequentielle Abarbeiten der Aufträge, bei dem Produkte konstruiert, gefertigt und danach montiert werden, verursacht durch eine Vielzahl von Iterationen einen Rücksprung von einem der Konstruktion nachgeschalteten Bereich zurück in die Konstruktion.

Concurrent Engineering als eine Form der interdisziplinären Teamarbeit bietet die Möglichkeit, bereits frühzeitig alle Produktlebensphasen zu betrachten und damit die Vielzahl der Iterationen zu reduzieren. Nach *Huang* ist Design for X eine der effektivsten Möglichkeiten, Concurrent Engineering computerunterstützt anzuwenden [HUANG96]. Design for X bedeutet, daß der Konstrukteur viele Konstruktionsrichtlinien während des gesamten Konstruktionsprozesses zu beachten hat. Von der Konzeptionsphase über die Entwurfsphase bis hin zur Detaillierung existieren Gestaltungsrichtlinien und –regeln, die den Konstrukteur zur optimalen konstruktiven Lösung führen. Da mit der Bestimmung der Baustruktur die Weichen für die weiteren Fertigungsverfahren, Montagetechniken und mechanischen Eigenschaften des Produktes gestellt werden, ist der Auswahl der bestgeeigneten Baustruktur ein hoher Stellenwert einzuräumen. Eine Betrachtung von DFX – Richtlinien bereits zu diesem frühen Zeitpunkt stellen ein sehr effektives Werkzeug zur Verkürzung der Prozeßkette dar.

Diese Problemstellung soll im Teilprojekt "Optimierung der Prozeßkette durch Auswählen der bestgeeigneten Baustruktur und fertigungsgerechte Gestaltung der Bauteile" des Sonderforschungsbereichs 396 „Robuste, verkürzte Prozeßketten für flächige Leichtbauteile“ aufgegriffen werden (vgl. Bild 1). In diesem Fall soll davon ausgegangen werden, daß ein flächiges Leichtbauteil – beispielhaft durch den Rohbau einer Fahrzeugtür repräsentiert – in verschiedenen Baustrukturen grob modelliert ist (Differentialbauweise als verschweißte Tiefziehteile, Integralbauweise als vergossener Aluminium Keramikverbund, Verbundbauweise als Mehrkomponenten Kunststoffverbund). Davon ausgehend wird die bestgeeignete Baustrukturvariante unter verschiedenen Aspekten ausgewählt, wie z.B. die bei Leichtbaukonstruktionen besonders wichtigen Steifigkeitsgesichtspunkte, der montagegerechten, demontagegerechten sowie fertigungsgerechten Gestaltung. Erst nachdem die optimale Baustruktur ausgewählt wurde, werden die Bauteile detailliert, wobei technologie-spezifische Gestaltungsregeln wissenschaftsbasiert angewendet werden.

Die Problematik, die sich allerdings bei einer solchen wissenschaftsbasierten Gestaltung ergibt, wird dadurch verursacht, daß mehrere, teilweise konkurrierender Gestaltungsregeln, berücksichtigt werden. Um die optimale Baustrukturvariante auswählen zu können, ist es wichtig, den Einfluß der verschiedenen Gestaltungsregeln gewichten zu können, d.h. es muß quantitativ gewertet werden können, wie stark der Einfluß beim Verstoß gegen eine bestimmte Gestaltungsregel ist, die bei der jeweiligen Konstruktion nicht berücksichtigt wurde. Einen Ansatz für eine „multikriterielle Bewertung“ bietet die Meta-Methodologie nach

Watson, Radcliffe, Dale [WATSON96], die im Rahmen dieses Beitrags auf ihre Anwendbarkeit im SFB 396 hin untersucht werden soll.

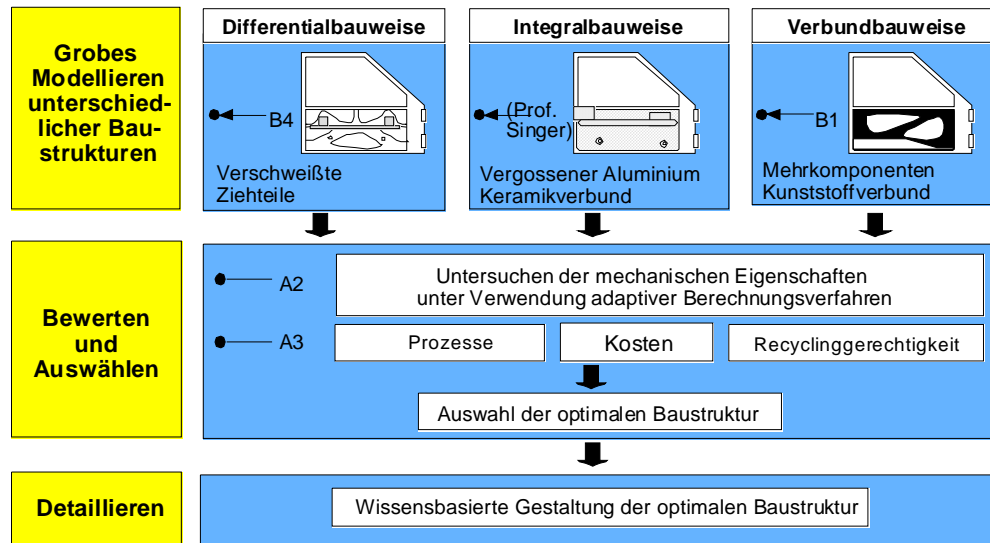


Bild 1: Wissensbasiertes Auswählen und Gestalten der optimalen Baustruktur

2 Anforderungen an Methoden zur multikriteriellen Bewertung von DFX-Gestaltungsrichtlinien

Da im betrachteten Projekt DFX-Gestaltungsrichtlinien zu zwei verschiedenen Zeitpunkten – zur Bestimmung der optimalen Baustruktur *und* während der Detaillierung der Bauteile – untersucht werden sollen und die Bedeutung der Gestaltungsrichtlinien abhängig von der Phase des Konstruktionsprozesses (vgl. [VDI2221]) ist, können folgende Anforderungen an Methoden zur multikriteriellen Bewertung gestellt werden:

- (1) Die Methodik zur Bewertung von Gestaltungsregeln muß gewährleisten, daß einzelne Phasen des Konstruktionsprozesses unabhängig voneinander untersucht werden können, d.h. daß die Gewichtung der Gestaltungsregel abhängig vom Zeitpunkt ist, zu dem sie angewandt wird.

Bei der Auswahl der optimalen Baustruktur werden drei verschiedene Varianten betrachtet, denen völlig unterschiedliche Fertigungsverfahren zugrunde gelegt werden. Hieraus ergibt sich folgende weitere Forderung:

- (2) Die Methodik muß gewährleisten, daß die verschiedenen DFX-Teilbereiche (DFX-Techniken, wie z.B. schweißgerechte / gußgerechte Gestaltung) auf die konstruktive Aufgabe ausgerichtet werden können, so daß trotz Verwendung unterschiedlicher DFX-Techniken eine wertmäßige Vergleichbarkeit zwischen den Baustrukturvarianten möglich ist.

Gerade bei der Anwendung mehrerer DFX-Techniken können konkurrierende Gestaltungsregeln auftreten (z.B.: DFA: „Minimiere die Teilezahl“ ↔ DFD: „Konstruiere das Bauteil modular“). Nur durch eine Berücksichtigung dieser Wechselwirkungen kann eine Bewertung von Gestaltungsregeln unterschiedlicher DFX-Techniken erfolgen. Es gilt also:

- (3) Die Wechselwirkungen konkurrierender Gestaltungsregeln müssen durch die Anwendung einer Methodik zur multikriteriellen Bewertung berücksichtigt werden.

3 Die Meta-Methodologie zur multikriteriellen Bewertung nach Watson, Radcliffe und Dale

Ziel der Meta-Methodologie ist es, eine Rangfolge zu bilden, mit deren Hilfe der Konstrukteur die Gestaltungsregeln berücksichtigen kann, die den stärksten Einfluß auf die aktuelle Konstruktionsaufgabe besitzen. Die Bestimmung dieser Rangfolge erfolgt in sechs Schritten, die in folgendem Text nur kurz erläutert werden sollen. Die ausführliche Vorgehensweise zur Bildung der Rangfolge ist in [WATSON96] enthalten.

Zu Beginn werden die DFX-Techniken ausgewählt, deren Anwendung auf die betrachtete Konstruktionsaufgabe eine Kosteneinsparnis bewirkt. Die ausgewählten DFX-Techniken werden anschließend gewichtet, wobei dazu die Wirkung geschätzt wird, die die jeweilige Technik besitzt, um eine Kostensenkung herbeizuführen. Der gewichtete Wert (W_{DFX}) liegt im Bereich zwischen 0 und 1, wobei die Technik, die das größte Einsparungspotential verursacht, den Wert 1 besitzt.

Im zweiten Schritt werden innerhalb der DFX-Techniken die Gestaltungsregeln in übergeordnete Konstruktionsregeln (K-regeln) und in untergeordnete Konstruktionsstrategien (K-strategien) kategorisiert. Diese Kategorisierung wird für jede Phase des Konstruktionsprozesses erstellt.

z.B.:

DFX-Technik: Design for Assembly

Phase	Konstruktionsregel	Konstruktionsstrategie
Entwerfen	Reduziere die Teilezahl	1. Eliminiere separate Verbindungselemente
		2. Eliminiere Elemente, die nicht vom Kunden gefordert werden

Tabelle 1: Kategorisierung der Gestaltungsregeln

Die kategorisierten Konstruktionsregeln und Konstruktionsstrategien werden daraufhin entsprechend ihrer Relevanz für die Konstruktionsaufgabe gewichtet. Die Bedeutung der Regeln (W_{rule}) werden mit Faktoren im Bereich von 1-10 *absolut*, die Strategien (P_{strat}) im Bereich von 0-1 *relativ* gewichtet, so daß die Summe der Strategien pro Regel „1“ ergibt. Der unmodifizierte Konstruktionsstrategiewert $W_{strategie}$ ist ein Maß für Bedeutung jeder einzelner Konstruktionsstrategie und wird gemäß der folgenden Formel gebildet:

$$W_{strategie} = W_{DFX} \times W_{rule} \times P_{strat}$$

Im weiteren Vorgehen wird nun die Wechselwirkung zwischen den Konstruktionsstrategien mittels der Vergleichsmatrix ermittelt. Dazu werden die kategorisierten Strategien zweier unterschiedlicher DFX-Techniken hinsichtlich ihrer Wechselwirkung untersucht. Das Maß für diese Wechselwirkung wird als Konflikt-Index C bezeichnet und mit Werten aus dem Intervall [-10,+10] beziffert, wobei „-10“ für eine stark negative, „0“ für keine und „+10“ für eine stark positive Beeinflussung der Strategien steht. Das o.a. Beispiel

„DFA: „Minimiere die Teilezahl“ ↔ DFD: „Konstruiere das Bauteil modular“

würde entsprechend dieser Konvention eine stark negative Wechselwirkung mit $C = -10$ verzeichnen.

Aus den unmodifizierten Konstruktionsstrategiewerten $W_{strategie}$ und dem Konflikt-Index C läßt sich dann der modifizierte Konstruktionsstrategiewert errechnen. Auf eine ausführlichere

Beschreibung dieses Zusammenhangs soll an dieser Stelle verzichtet werden, Informationen hierzu sind in [WATSON96] enthalten.

Aufgrund dieser modifizierte Konstruktionsstrategiewerte kann nun eine Rangfolge gebildet werden, die die Bedeutung der Strategien unter Berücksichtigung ihrer Wechselwirkung verkörpern. Bild 2 stellt das Layout der Vergleichsmatrix, sowie das Vorgehen bei Anwendung der Meta-Methodologie dar.

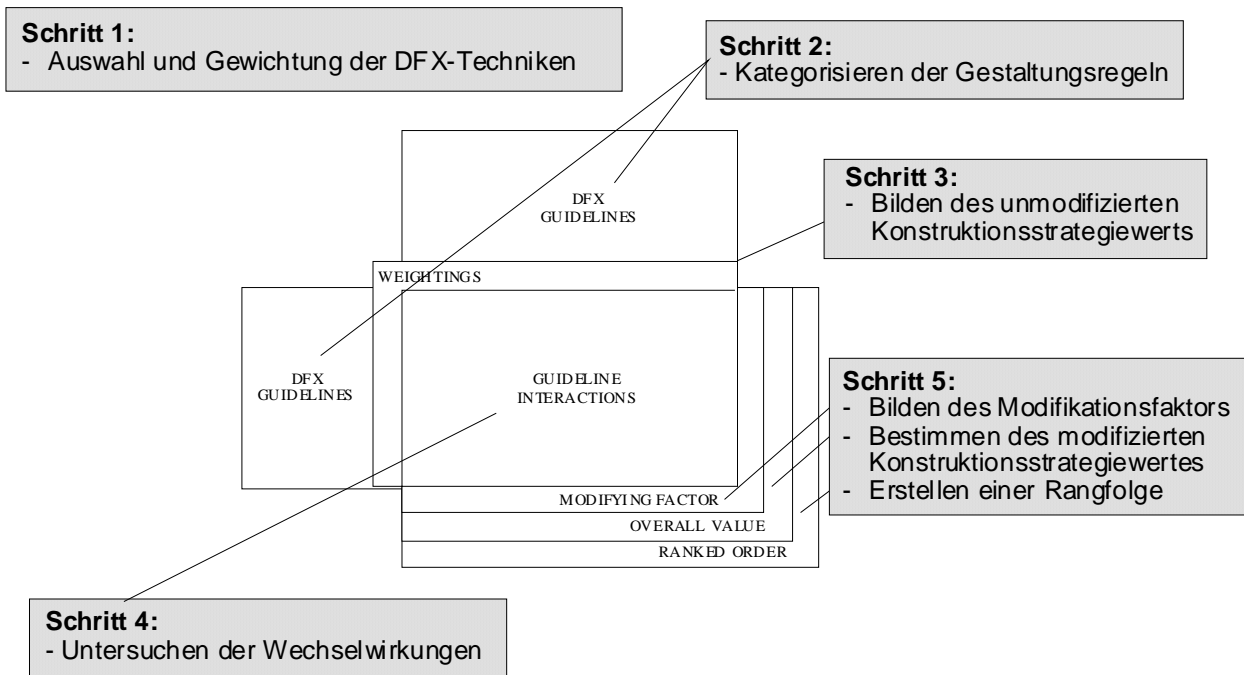


Bild 2: Layout der Vergleichs-Matrix

4 Anwendung der Meta-Methodologie im SFB 396

Die Untersuchung der Anwendbarkeit der Meta-Methodologie soll für die Baustrukturvariante „Differentialbauweise“ vorgenommen werden. Um diesen Fall untersuchen zu können, wurde ein Konzept für den Rohbau einer Fahrzeugtür, die aus verschweißten Tiefziehteilen besteht, entwickelt und mit einem CAD-System modelliert.

Hinsichtlich der Auswahl und Bewertung der DFX-Techniken wurden in diesem Fall folgende Festlegungen getroffen:

DFX – Technik	W_{DFX}
Design for Assembly (DFA)	0,4
Design for Disassembly (DFD)	0,1
Design for Production – Sheetmetal (DFSM)	0,25
Design for Welding (DFW)	0,25

Tabelle 2: Bewertung der DFX-Techniken

Dem Bereich DFA wurde dabei – da in diesem Falle durch Anwendung von DFA-Gestaltungsregeln vermutlich das höchste Einsparungspotential erreicht wird – der Montage der größte Stellenwert eingeräumt. Da bei einem Türrohbau, der aus verschweißten Tiefziehteilen besteht, nur wenig demontiert wird, ist der gewichtete Wert $W_{DFX} = 0,1$ sehr gering. Den Bereichen DFW und DFSM wurde mit $W_{DFX} = 0.25$ mittlere Bedeutung beigemessen. Es zeigte sich bei dieser Zuordnung der gewichteten Werte W_{DFX} , daß hierbei noch geeignete Methoden benötigt werden, um eine objektive Zuordnung durchführen zu können.

Durch Einführung der zusätzlichen Konvention

$$\sum W_{DFX} = 1$$

wird gewährleistet, daß die Summe der Konstruktionsstrategiewerte für jede Konstruktionsaufgabe konstant ist. Diese Vereinbarung wird durch die Forderung (2) nach wertmäßiger Vergleichbarkeit der Gestaltungsregeln (vgl. Kap. 2) erforderlich.

In den nächsten 2 Schritten wurden die Kategorisierung und Gewichtung der Gestaltungsregeln durchgeführt. Dazu wurden gemäß der Aufgabenstellung im SFB Baumdiagramme für Regeln, die zur Bestimmung der optimalen Baustruktur dienen (Entwurfsphase) und Regeln, die zur fertigungsgerechten Gestaltung der Bauteile (Phase der Detaillierung) verwendet werden können, erstellt. Die Gliederung der Konstruktionsregeln in Konstruktionsstrategien stellte einen sehr großen Aufwand dar. Diese Art der Kategorisierung, bei der der Einfluß der K-Strategien durch den Faktor P_{strat} reduziert wird, ist jedoch, da viele ähnliche K-strategien existieren, als sinnvoll zu betrachten. In Bild 3 ist ein Ausschnitt aus einem Regel-Baumdiagramm für die DFX-Technik DFD mit Gewichtungen dargestellt.

PHASE	DESIGN RULES	WEIGHTINGS W_{rule}	DESIGN STRATEGIES	WEIGHTINGS P_{strat}	TOT. WEIGHTINGS $W_{strategy}$
Konzeptphase	1. Verbessere die Produktstruktur hinsichtlich der Demontage	10	1. Teile das Produkt in handhabbare Unterbaugruppen	0,4	4
		10	2. Minimiere die Anzahl der Komponenten	0,4	4
10		3. Gleiche Demontageoperationen an verschiedenen Produkten lassen sich eventuell standardisieren. Als Hilfe zur Standardisierung kann der spätere Montageplan herangezogen werden	0,2	2	
	2. Verbessere die Demontageplanung	2	1. Vermeide lange Demontagewege	1	2
Entwurfsphase	1. Verbessern der Produktstruktur hinsichtlich der Demontage	10	1. Teile das Produkt in handhabbare Unterbaugruppen	0,1	1
		10	2. Minimiere die Anzahl der Verbindungen zwischen den Unterbaugruppen	0,1	1
		10	3. Minimiere die Komponentenanzahl	0,2	2
		10	4. Vereinheitliche die Produktbauart	0,1	1
		10	5. Verwende leicht demontierbare / zerstörbare Verbindungen und Sicherungselemente	0,1	1
		10	6. Verwende gleiche Verbindungselemente	0,15	1,5
		10	7. Gewährleiste die Verwendung von Standardwerkzeugen	0,05	0,5
		10	8. Strebe einheitliche Demontagerichtungen an	0,1	1
		10	9. Einbauten aus verschiedenen Materialien müssen demontierbar sein	0,1	1
		2. Verbessere den Zugang	6	1. Stelle sicher, daß Komponenten zugänglich sind	0,6
		6	2. Strebe gleiche Montage- / Demontageoperationen an	0,4	2,4

Bild 3: Regel – Baumdiagramm für DFD mit Gewichtungen

Dieses Baumdiagramm läßt sogleich eine deutliche Schwäche der Meta-Methodologie erkennen: Existieren für eine Konstruktionsregel zahlreiche K-strategien, ist der unmodifizierte Wert der einzelnen Regel $W_{\text{strategie}}$ relativ gering. Sind hingegen nur wenige K-strategien einer K-regel zugeordnet, besitzen diese einen wesentlich größeren Wert für $W_{\text{strategie}}$. Obwohl einer K-regel eine hohe Bedeutung zugebilligt wird, kann die hohe Anzahl entsprechender K-strategien dazu führen, daß dieselben aufgrund ihres geringen Wertes für $W_{\text{strategie}}$ nicht im Konstruktionsprozeß berücksichtigt werden (im Beisp. ist für die Regel „Verbesserung der Produktstruktur“ $W_{\text{rule}} = 10$, $W_{\text{strategie}} = 0,5 - 2$; dagegen sind bei der Regel „Verbesserung der Zugänglichkeit“ mit einem geringeren $W_{\text{rule}} = 6$ die Werte für $W_{\text{strategie}} = 2,4 - 3,6$).

Die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen den Konstruktionsstrategien und die sich daraus ergebende Bildung des modifizierten Konstruktionsstrategiewertes V_{TOT} sowie der Rangfolge beinhalten im weiteren Ablauf einen erheblichen Aufwand. Nachdem die Anzahl der aufzustellenden Vergleichs-Matrizen mit steigender Anzahl betrachteter DFX-Techniken wächst, sind in diesem Falle bei 4 DFX-Techniken und 2 betrachteten Phasen 12 Matrizen zu erstellen. Abbildung 4 stellt einen Ausschnitt einer Vergleichsmatrix aus der Entwurfsphase dar, in mit der die DFX-Techniken DFW und DFSM hinsichtlich ihrer Wechselwirkung untersucht werden.

Entwurfsphase	DFSM STRATEGIES	Halte Verschnitt gering, ...	Ausschnitte mit geschlossener Linie (Durchbrüche) sparen Gewicht	Mindestbiegeradius	Biegeschenkelbreiten so groß gestalten, daß dem Biegezw. genügend Angriffsfläche geboten wird	Bei unterschrittenen Biegungen Abstand e der Blechenden so groß wie möglich halten	Bei sehr komplexen Biegeteilen evtl. aus Einzelkomponenten gefügte Lösung vorziehen	Vermeide spitze Ausläufe und schräge Übergänge	Gestalte beide Randprofile gleichförmig	...			
DFW STRATEGIES	Wstrat	2	0,5	0,25	0,3125	0,125	0,3125	0,25	1,125	...			
Durch eine Verringerung der Anzahl der Nähte können zu lange und häufige Wärmebringvorgänge auf den Werkstoff vermieden werden	0,8	0	0	5	0	0	-5	0	0	...	1,02	0,77	9
Die Verwendung vorgefertigter Komponenten hilft bei der Vermeidung von Nähten am Bauteil	0,4	5	-5	0	-5	0	10	0	0	...	-0,46	-0,17	28
Vermeide Sonderverfahren, wenn konventionelle kostengünstiger sind (Weld & Cut)	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	...	1,04	0,26	17
Verwende bei geringen Flanschbreiten Steppnähte statt durchgezogene, um einen Verzug der Flanschschenkel zu vermeiden	0,3	0	0	0	5	0	-5	0	0	...	0,71	0,18	22
Verringere Nahtvorbereitungsaufwand durch Wahl möglichst einfacher Nahtformen	0,4	0	0	0	0	0	0	0	5	...	1,03	0,39	14
...
		0,98	0,66	-1,50	0,72	1,03	-1,30	1,01	1,03	..	$I + del V$		
		1,96	0,33	-0,40	0,22	0,13	-0,4	0,25	1,16	...		V_{tot}	
		1	16	29	21	24	30	19	4	...			Ranking

Bild 4: Ausschnitt einer Vergleichsmatrix DFW / DFSM – Entwurfsphase

Der Grad der Modifikation der Konstruktionsstrategiewerte ($W_{\text{strategie}} \rightarrow V_{\text{TOT}}$) wird durch den Term $1 + del V$ ausgedrückt. Während überwiegend positive Konflikt-Indizes C den unmod. K-strategiewert $W_{\text{strategie}}$ erhöhen ($(1 + del V) > 1$), verringern negative Wechselwirkungen ($(1 + del V) < 1$) den Wert $W_{\text{strategie}}$ gerade dann, wenn der K-strategiewert der K-strategie, deren Wechselwirkung verglichen wird, größer ist.

Als Ergebnis der 4 betrachteten DFX-Techniken liegen nun zu jeder K-strategie 3 Werte für V_{TOT} vor. Die Bildung des Mittelwerts dieser Werte liefert das Ergebnis, wie groß die Bedeutung der einzelnen Konstruktionsstrategien für die Konstruktionsaufgabe in der jeweiligen Phase des Konstruktionsprozesses ist (vgl. Bild 5).

Rang	Strategy	DFX-Technik	DFA	DFD	DFSM	DFW	$\varnothing V_{TOT}$
1	Halte Verschnitt gering, indem Durchbruchgeometrien so entworfen sind, daß aus Ausschnitt weiteres Bauteil entstehen kann	DFSM	2,00	1,98	-	1,96	1,98
2	Stelle sicher, daß Komponenten zugänglich sind	DFA	-	1,33	1,37	1,32	1,34
3	Beachten der Anisotropie beim Tiefziehen	DFSM	1,25	1,25	-	1,27	1,25
3	Beachte geometr. Verhältnisse beim Tiefziehen (Breite, Länge, Tiefziehverhältnis)	DFSM	1,24	1,25	-	1,27	1,25
5	Gestalte Randprofile gleichförmig (Verwendung gleicher Abkantwerkzeuge)	DFSM	1,14	1,14	-	1,16	1,15
...

Bild 5: Wichtigste 5 Gestaltungsregeln nach Anwendung der Meta - Methodologie

In Bild 5 sind die fünf für die betrachtete Konstruktionsaufgabe wichtigsten Gestaltungsregeln dargestellt. Dabei ist der starke Einfluß der Anzahl der K-strategien, die einer K-regel zugeordnet sind, auf den Wert für V_{TOT} offensichtlich. Um die Meta-Methodologie sinnvoll anwenden zu können, muß also dieser unverhältnismäßig starke Einfluß bereinigt werden.

5 Ergebnisse

Die dargestellte Meta-Methodologie nach WATSON, RADCLIFFE und DALE bietet eine gute Ausgangsbasis, um DFX-Gestaltungsregeln verschiedener DFX-Teilbereiche (DFX-Techniken) unter Einbeziehung ihrer gegenseitigen Wechselwirkung zu bewerten und eine Rangfolge zu bilden, nach der diese DFX-Regeln je nach Phase der Konstruktionsprozesses berücksichtigt werden können.

Um eine Methodik zur multikriteriellen Bewertung im Teilprojekt A1 des SFB 396 "Optimierung der Prozeßkette durch Auswählen der bestgeeigneten Baustruktur und fertigungsgerechte Gestaltung der Bauteile" einsetzen zu können, müssen bestimmten Anforderungen (vgl. Kap.2) erfüllt werden. Diese Anforderungen werden durch eine zusätzliche Konvention (vgl. Kap. 3) erfüllt.

Bei der Anwendung der Meta-Methodologie ergeben sich folgende Schwierigkeiten:

- Bei der Bewertung der ausgewählten DFX-Techniken, die einer Ausrichtung auf die aktuelle Konstruktionsaufgabe dient, zeigte sich, daß noch Methoden nötig sind, um eine objektive Wertzuweisung durchzuführen.
- Die Kategorisierung der Konstruktionsregeln in Konstruktionsstrategien ist sehr aufwendig und erfordert profunde Kenntnisse des DFX. Da diese Aufteilung unabhängig von der aktuellen Aufgabe ist, kann dies von einem Expertenteam einmal allgemeingültig vorgenommen werden. Die Bewertung von K-regeln und K-strategien muß dann in Abhängigkeit von der Konstruktionsaufgabe erfolgen.

- Während eine *relative* (prozentuale) Bewertung der K-strategien verhältnismäßig objektiv vorgenommen werden kann, ist eine *absolute* Bewertung der K-regeln mit Werten zwischen 1 und 10 schwierig und führt zu einer stark subjektiven Bewertung. Hierbei muß geprüft werden, ob es sinnvoll wäre, diese Bewertung auch prozentual durchzuführen.
- Der relative Bewertung der K-strategien durch den Wert P_{strat} verursacht Probleme hinsichtlich der Vergabe des Konstruktionstrategiewertes $W_{\text{strategie}}$: Während diese Art der Bewertung einerseits sinnvoll erscheint, erhält $W_{\text{strategie}}$, für den Fall daß einer K-regel viele K-strategien zugeordnet sind, einen sehr geringen Wert. Dies hat zur Folge, daß die Regel im Konstruktionsprozeß nur geringe Bedeutung besitzt (vgl. Kap. 4).
- Damit Konstruktionsstrategien, die vom Bewerter favorisiert werden, bei der Vergabe des Konflikt-Index C nicht bevorzugt werden, sollten die unmodifizierte Konstruktionsstrategiewerte $W_{\text{strategie}}$ in der Vergleichsmatrix nicht sichtbar sein.
- Der hohe Aufwand, den die Erstellung der Vergleichsmatrizen erfordert (bei 4 betrachteten DFX-Techniken und 3 betrachteten Phasen sind es 18 Vergleichsmatrizen!) kann dadurch reduziert werden, daß einerseits die Berechnung von V_{TOT} computerunterstützt wird, andererseits dadurch, daß der einmal für zwei K-strategien ermittelte Konflikt-Index C in einer Datenbank gespeichert wird und für spätere Verwendungen zur Verfügung steht.

6 Literatur

- [HUANG] Huang, G.Q.: Design for X, London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Chapman&Hall, 1996
- [WATSON] Watson, B., Radcliffe, D., Dale, P.: A Meta-Methodology for the Application of DFX Guidelines in: Huang, G.O.: Design for X, London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Chapman&Hall, 1996, S. 441-462
- [VDI2221] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte; VDI-Handbuch Konstruktion, Beuth-Verlag, Berlin, 1985

Autor

Dipl.-Ing. Sandro Wartzack
 Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
 Prof.-Dr.-Ing. H. Meerkamm
 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
 Martensstr.9
 D-91058 Erlangen
 Tel.: + 49 9131 / 85-7290, Fax: + 49 9131 85-7988
 e-mail: wartzack@mfk.uni-erlangen.de
<http://www.mfk.uni-erlangen.de/personen/wartzack.html>