

Wissensbasierte Systeme in der Produkterstellung
3.1 Wissensbasierte Systeme im Konstruktionsprozeß

3.1.4.2 EINSATZ WISSENSBASIERTER SYSTEME BEIM BEURTEILEN

Prof.Dr.-Ing. H.Birkhofer

Dipl.Ing.M.Göker

Dr.-Ing. K.H.Beelich

Technische Hochschule Darmstadt
Maschinenelemente und Konstruktionslehre

1. Beurteilen im Konstruktionsprozeß

Konstruieren ist durch ein permanentes Erzeugen und nachfolgendes Beurteilen von Lösungsvorschlägen gekennzeichnet. Dieses Vorgehen tritt in allen Konstruktionsphasen vom Konzipieren bis zum Ausarbeiten auf und wird in /PaBe-86/ als kreativ-korrektives Arbeiten bezeichnet.

Während sich beim "konventionellen" Konstruieren das Erstellen und Beurteilen von Lösungsvorschlägen oft intuitiv vollzieht, setzt die Konstruktionsmethodik einen Schwerpunkt auf das systematische Erstellen von Lösungsvorschlägen und deren nachgeschalteter Beurteilung durch Anwenden von Auswahl- und Bewertungsverfahren. Methodisches Beurteilen von Lösungsvorschlägen soll dazu dienen, den aussichtsreichste Lösungsvorschlag zu ermitteln, die Beurteilung nachvollziehbar zu gestalten und zu optimieren.

2. Grundlagen der Beurteilung

2.1 Eigenschaften technischer Objekte

Lösungsvorschläge im Konstruktionsprozeß können, wie reale technische Produkte oder deren Vorstufen (Wirkprinzipien, Grobentwürfe usw.), als technische Objekte aufgefaßt werden. Technische Objekte werden durch die Angabe ihrer Eigenschaften beschrieben und identifiziert.

Das Beurteilen technischer Objekte besteht aus dem Vergleich der Ist-Eigenschaften dieser Objekte mit angestrebten Eigenschaften (Soll-Eigenschaften) eines idealen und deshalb fiktiven Objekts. Aus dem Vergleich kann eine Rangfolge unterschiedlicher technischer Objekte abgeleitet werden, die ihre "Nähe" zum Idealzustand kennzeichnet.

Grundlage jeder Beurteilung ist daher der Vergleich von Eigenschaften, die sich nach /Bi-80/ aus einem Merkmal und einem zugeordneten Wert zusammensetzen, der aus einem Wertebereich stammt.

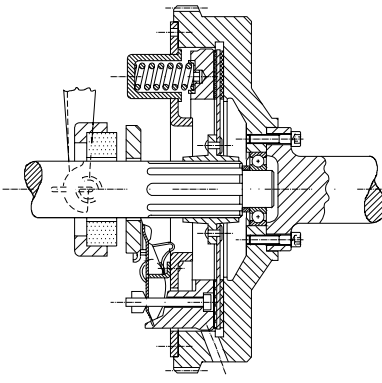
Technisches Objekt	Eigenschaft	
	Merkmal + Wert	Wertebereich
Einscheiben-Trockenkupplung 	Eigenschaft 1 Übertragbares Drehmoment 75 Nm	0-x [Nm]
	Eigenschaft 2 Anzahl der Anpreßfedern 5 Stück	0-n
	Eigenschaft 3 Form der Kupplungsscheibe plan	plan, gewellt, gelocht,...

Bild 1: Eigenschaften technischer Objekte /Bi-80/

2.2 Anforderungen an technische Objekte

Soll-Eigenschaften werden im konstruktionsmethodischen Schrifttum als Anforderungen bezeichnet. Sie werden zu Beginn des Konstruktionsprozesses in einer Anforderungsliste formuliert und während der Konstruktion ergänzt und gegebenenfalls modifiziert. Die Definition von realistischen Anforderungen ist für die Produktentstehung außerordentlich wichtig, da sie den Konstruktionsablauf und das Konstruktionsergebnis entscheidend beeinflusst.

Anforderungen lassen sich nach Anforderungsarten klassifizieren /Fr-76/, /Ro-82/, /VDI2222/. Bild 2 zeigt eine zusammenfassende Darstellung.

2.3 Auswählen und Bewerten

Mit Auswahl- und Bewertungsverfahren werden Lösungsvorschläge im Konstruktionsprozeß beurteilt. Ausgehend von der Einteilung der Anforderungen lassen sich Auswahl- und Bewertungsverfahren entsprechend /Bi-90/ unterscheiden.

Auswählen : Verfahren zur Beurteilung der generellen Eignung eines Lösungsvorschlags. Ausscheiden des Lösungsvorschlags, wenn eine oder mehrere Eigenschaften den Fest- oder Mindestforderungen nicht entsprechen.

Bewerten : Verfahren zur Beurteilung der Qualität von grundsätzlich geeigneten Lösungsvorschlägen (=Lösungen). Ermitteln einer Rangfolge der Lösungen entsprechend dem Grad der Anforderungserfüllung als Entscheidungshilfe.

Aus logischen und arbeitsökonomischen Gründen folgt : Erst auswählen, dann bewerten, d.h. keine Bewertung ungeeigneter Lösungsvorschläge.

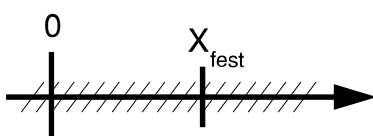
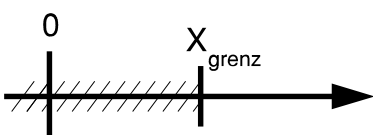
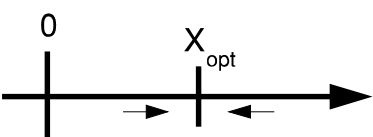
Anforderungsart	Darstellung auf der Zahlengeraden (/// = unzul. Bereich)	Erläuterung
FF Fest- forderung		Muß immer voll eingehalten werden, sonst Ausschluß des Lösungsvorschlags.
MF Mindest- forderung		Definiert unzulässigen Wertebereich.
ZF Ziel- forderung		Kennzeichnet optimalen Wert. Abweichung möglich.
W Wunsch	Formulierung analog allen Anforderungsarten	Nicht zwingend notwendig, aber erstrebenswert.

Bild 2 : Einteilung der Anforderungen nach Anforderungsarten

3. Einsatz wissensbasierter Systeme beim Auswählen

Das Ausscheiden ungeeigneter Lösungsvorschläge wird als Auswählen bezeichnet und stellt eine binäre Entscheidung dar. Die Kriterien anhand derer ausgewählt werden kann, sind nach /PaBe-86/ :

- A) Verträglich mit der Aufgabenstellung und/oder untereinander
- B) Forderungen der Anforderungsliste erfüllt
- C) Grundsätzlich realisierbar
- D) Aufwand zulässig
- E) Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben
- F) Im eigenen Bereich bevorzugt.

Andere oder zusätzliche, z.B. unternehmensspezifische Kriterien sind im allgemeinen zu berücksichtigen. Die nach dem Ausscheiden verbliebenen Lösungsvorschläge sind grundsätzlich realisierbar und werden deshalb als Lösungen bezeichnet.

Eine Rechnerunterstützung für das Ausscheiden von Lösungsvorschlägen ist nicht ohne weiteres mit herkömmlichen, algorithmischen Methoden realisierbar. Für die Realisierung einer Rechnerunterstützung ist die Formulierung der Ist-Eigenschaften der Lösungsvorschläge, d.h. deren Merkmale und Werte, in einer expliziten, vom Rechner verwertbaren Form erforderlich. Dies gilt auch für die Formulierung der Anforderungen (Soll-Eigenschaften).

Alle Kriterien erfordern ausführliche Kenntnisse über das Unternehmen, das Produkt, den Kunden, die Fertigungsumgebung u.ä. Es ist denkbar, domänen- und unternehmensspezifische Basisdateien mit Teilfunktionen, dazugehörigen Teillösungen, deren Eigenschaften und Unverträglichkeiten zu erstellen. Der Konstrukteur kann somit beim Erstellen eines Lösungsvorschlags auf diese Basisdateien zurückgreifen, wobei die verwendeten Teillösungen untereinander auf Unverträglichkeiten kontrolliert werden. Es ist offensichtlich, daß ein solches Vorhaben nicht ohne größeren programmier-, wissens- und wartungstechnischen Aufwand zu realisieren ist. Die Rechnerunterstützung kann durch die Erfassung der Auswahlkriterien in der Anforderungsliste vereinfacht werden.

4. Einsatz wissensbasierter Systeme beim Bewerten

Während das Auswahlverfahren methodisch vergleichsweise einfach strukturiert und durchführbar ist, kann die Bewertung mit unterschiedlich aufwendigen Bewertungsverfahren durchgeführt werden, die sich jedoch im Grunde alle auf die gleiche Grundstruktur reduzieren lassen /Bi-90/.

Die Anforderungsliste enthält die Soll-Eigenschaften der Lösung. Davon ausgehend, daß eine Eigenschaft als Merkmal und dazugehöriger Wert definiert ist, können aus der Anforderungsliste die Merkmale, anhand deren die Lösung bewertet werden soll, als Bewertungskriterien abgeleitet werden. Indem man den zulässigen Wertebereich des relevanten Merkmals auf eine Werteskala projiziert, erhält man eine Skala, auf der die Qualität der Lösung als Funktion ihres Wertes für dieses Merkmal abgelesen werden kann. Durch die Summierung dieser Werte für alle Merkmale und den Vergleich der Wertesummen für alle Lösungen, erhält man die Rangfolge der Lösungen. Eine vollständige, analytische Bewertung erfordert die Durchführung nachfolgender Arbeitsschritte :

- a. Bewertungskriterien von den Soll-Eigenschaften ableiten, Wertebereiche definieren
- b. Bedeutung der Bewertungskriterien untersuchen, Gewichtungsfaktoren festlegen
- c. Ist-Eigenschaften einzelner Lösungen zusammenstellen
- d. Werteskala auswählen und Wertebereiche zuordnen
- e. Ist-Eigenschaften in die Werteskala einordnen und Gesamtwert bilden
- f. Lösungen vergleichen
- g. Bewertungsunsicherheiten abschätzen
- h. Schwachstellen der Lösungen beschreiben und eliminieren

Im folgenden werden die Arbeitsschritte beim Bewerten erläutert und das jeweilige Potential von wissensbasierten Systemen abgeschätzt.

- a. Bewertungskriterien von den Soll-Eigenschaften ableiten, Wertebereiche definieren

Die Rechnerunterstützung in diesem Arbeitsschritt hängt von der Vollständigkeit und der Formulierung der Anforderungen ab. Falls die Anforderungen den Hinweisen im Abschnitt 3 entsprechend formuliert wurden, ist dieser Schritt einfach mit dem Rechner zu unterstützen, indem die Merkmale aus der Anforderungsliste abgelesen und als Bewertungskriterien genutzt werden. Die weitgehende Vollständigkeit der Anforderungen und die Formulierung der Eigenschaften kann mit Hilfe von Leitlinien /PaBe-86/, Verzeichnissen technischer Eigenschaften /VDI2225/ oder unternehmensinternen Unterlagen

kontrolliert werden. Es ist wiederum zu beachten, daß die zulässigen Wertebereiche für die einzelnen Merkmale sehr aufgabenspezifisch sind.

b. Bedeutung der Bewertungskriterien untersuchen, Gewichtungsfaktoren festlegen

Es ist offensichtlich, daß Bewertungskriterien für die Beurteilung einer Lösung eine unterschiedliche Priorität haben. Die Bedeutung der Bewertungskriterien geht über Gewichtungsfaktoren in die Bewertung ein. Die Festlegung von Gewichtungsfaktoren ist jedoch keineswegs eine triviale Aufgabe und erfordert i.allg. Erfahrung und Wissen (Technik, Markt,...). Hier kann ein lernfähiges wissensbasiertes System zum Einsatz kommen, das anhand früherer Bewertungen und "vergleichbarer" Fälle Vorschläge für die Gewichtungsfaktoren macht.

c. Ist-Eigenschaften der einzelnen Lösungen zusammenstellen

Für die Bewertung müssen die Ist-Eigenschaften der Lösungen ermittelt werden. Im Falle eines fertigen Produkts oder einer Lösung, bei der die Eigenschaften nicht bereits während der rechnerunterstützten Konstruktion explizit abgelegt wurden, muß das Vorhandensein der in der Anforderungsliste geforderten Merkmale und deren Werte kontrolliert werden. Die bereits beim Überprüfen der Anforderungsliste angewandten Leitlinien und Verzeichnisse, sowie unternehmens- und aufgabenspezifische Checklisten können hierbei genutzt werden.

d. Werteskala auswählen und Wertebereiche zuordnen

Für jede Bewertung muß, in Abhängigkeit von den Bewertungskriterien, eine geeignete Werteskala ausgewählt werden (z.B. 0 ...4 nach /VDI2225/, 0,0 ... 1,0 nach /VDI2212/, unbefriedigend ... sehr gut nach Stiftung Warentest, oder unternehmensspezifische Werteskalen). Die Auswahl erfolgt nach der Art der Wertebereiche der Bewertungskriterien (ordinal, nominal, kardinal, oder absolut /Dr-91/), der erwünschten, erreichbaren und sinnvollen Genauigkeit und unternehmensspezifischen Gesichtspunkten. Nachdem die Werteskala festgelegt wurde, müssen die Wertebereiche der Bewertungskriterien auf diese Skala durch Zuordnen oder rechnerisch /VDI2212/ projiziert werden.

Die Auswahl der Werteskala stellt immer einen Kompromiss dar, da meistens die Wertebereiche der Bewertungskriterien unterschiedlicher Natur sind und somit verschiedene Werteskalen erfordern. Da das Spektrum der möglichen Wertebereich- und Werteskalenarten begrenzt ist, kann die Auswahl der Werteskala, die Transformation und die Projizierung der Wertebereiche auf diese Skalen

rechnerunterstützt realisiert werden. Der Einsatz wissensbasierter Systeme ist möglich, aber nicht zwingend.

e. Ist-Eigenschaften in die Werteskala einordnen und Gesamtwert bilden

Nachdem in dem vorhergegangenen Schritt die Wertebereiche auf die Werteskala projiziert wurden, werden nun die Ist-Eigenschaften der Lösungen für jedes Bewertungskriterium in diese Skala eingeordnet und so die Teilwerte der Lösungen bezüglich des jeweiligen Kriteriums erhalten. Ziel der Transformation einzelner, i.allg. nicht miteinander vergleichbarer Eigenschaften in normierte Teilwerte ist deren Zusammenfassung zu einem Gesamtwert, der die Qualität der Lösung bezüglich der Anforderung repräsentiert. Dies wird anhand einer Summation der evtl. gewichteten Teilwerte für jede Lösung erzielt und ist mit algorithmischen Methoden realisierbar. Deshalb besteht hierzu kaum Bedarf an Unterstützung durch wissensbasierte Systeme.

f. Lösungen vergleichen

Durch einen Vergleich der Gesamtwerte untereinander, mit einem vorher definierten Idealwert oder durch getrenntes Ermitteln der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeit nach /VDI 2225/ und geeigneter Darstellung wird die Ermittlung der Rangfolge abgeschlossen. Die Auswahl einer geeigneten Vergleichs- und Darstellungsmethode kann auch anhand eines wissensbasierten Systems unterstützt werden, wobei sowohl semantische Aspekte wie die Koordination zwischen Inhalt und Darstellungsform, als auch pragmatische Gesichtspunkte hinsichtlich der Wirkung auf den/die Betrachter zu berücksichtigen sind.

g. Bewertungsunsicherheiten abschätzen

Bewertungsunsicherheiten werden durch personenbedingte und methodenbedingte Fehler verursacht. Personenbedingte Fehler resultieren u.a. aus der Subjektivität des Bewertenden, unvollständiger Bearbeitung und/oder ungeeigneter Gewichtung. Diese werden durch die in den oberen Schritten vorgeschlagene Rechnerunterstützung weitgehend eliminiert. Die Subjektivität der Bewertung kann durch Teambildung und gemeinsame Bewertung im Team oder durch Mittelung mehrerer Einzelbewertungen vermindert werden. Die Auswahl von Gewichtungsfaktoren kann auch im Team und anhand im Rechner gespeicherter Beispiele vollzogen werden.

Methodenbedingte Fehler werden zum Teil von der Skalierung der Wertebereiche, der Ungeeignetheit der Kriterien und der Abhängigkeit der Kriterien voneinander hervorgerufen. Die Einordnung einer Lösung im Wertebereich relativ zu anderen Lösungen muß, besonders bei unscharf definierten Werteskalen, im

allgemeinen wiederholt überprüft werden. Methoden der unscharfen Logik anzuwenden, ist denkbar. Aufgaben- und unternehmensspezifische Anleitungen zur Auswahl von Bewertungskriterien zu erstellen und diese in einem wissensbasierten System abzuspeichern, erscheint ebenfalls realisierbar. Es sollte jedoch kontrolliert werden, ob der Nutzen den Aufwand rechtfertigt.

h. Schwachstellen der Lösungen beschreiben und eliminieren

Nachdem eine Bewertung der Lösungen vollzogen worden ist, können die Lösungen einzeln auf ihre Schwächen hin analysiert und verbessert werden. Alle Lösungen sollten danach zusammen noch einmal beurteilt werden. Diese Beurteilung sollte separat zu der vorhergegangenen gehandhabt werden, d.h. Teil-Ergebnisse sollten nicht übernommen werden, da der Informationsstand bezüglich der Lösungen nicht mehr derselbe ist.

Eine Rechnerunterstützung zu der Analyse der Schwachstellen ist auf die Feststellung der Schwachstellen beschränkt. Hierfür wird der Durchschnittswert aller in die Bewertung einbezogenen Lösungen gebildet. Die Eigenschaften der Lösung, die schlechter als dieser Durchschnittswert bewertet worden sind, stellen die Schwachstellen der Lösung dar.

5. Entscheiden

Die Durchführung einer Bewertung ist eine Grundlage für das darauffolgende Entscheiden, das die Freigabe für die nächste Konstruktionsphase ermöglicht. Diese Entscheidung hängt nicht nur von der Bewertung der Lösung, sondern auch von anderen Faktoren wie unternehmenspolitischen Entscheidungen, investitionstechnischen Problemen und Trendanalysen ab. Eine Rechnerunterstützung dieses Schrittes durch wissensbasierte Systeme erfordert eine Erfassung dieser Faktoren und der für diese Faktoren gültigen Regeln. Die Zweckmäßigkeit einer Rechnerunterstützung ist vom hierfür notwendigen Aufwand abhängig und von Fall zu Fall zu unterscheiden.

Literatur

- /Bi-80/ Birkhofer,H., Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte, Fortschrittsberichte der VDI-Z, Reihe 1, Nr 70, 1980
- /Bi-90/ Birkhofer,H., Von der Produktidee zum Produkt- Eine kritische Betrachtung zur Auswahl und Bewertung in der Konstruktion, Festschrift Prof.Dr.-Ing Pahl, 1990
- /Dr-91/ Drebing,U., Zur Metrik der Merkmalsbeschreibung für Produktdarstellende Modelle beim Konstruieren, Diss., Institut für Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente, TU Braunschweig, Bericht Nr. 38, Braunschweig, 1991
- /Fr-76/ Franke,H., Untersuchungen zur Algorithmisierbarkeit des Konstruktionsprozesses, Fortschrittsberichte VDI-Z, Reihe 1, Nr.46, 1976
- /PaBe-86/ Pahl,G., Beitz, W., Konstruktionslehre, 2.Auflage, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg..., 1986
- /Ro-82/ Roth, K., Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg...,1982
- /VDI 2212/ VDI-Richtlinie 2212, Datenverarbeitung in der Konstruktion, Systematisches Suchen und Optimieren konstruktiver Lösungen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1981
- /VDI 2222/ VDI-Richtlinie 2222, Blatt1/2: Konstruktionsmethodik, Konzipieren technischer Produkte, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1982
- /VDI 2225/ VDI-Richtlinie 2225, Technisch-Wirtschaftliches Konstruieren, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1977