

Rechnerunterstützung für die Suche nach verarbeitungstechnischen Prinziplösungen

Der Fakultät Maschinenwesen
der
Technischen Universität Dresden

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegte Dissertation

Dipl.-Ing. Majschak, Jens-Peter

geb. am: 20.08.1962 in: Pirna

Tag der Einreichung: 21.10.1996

Inhalt

ABKÜRZUNGEN UND FORMELZEICHEN	5
1. EINLEITUNG	7
2. UNTERSTÜTZUNGSMITTEL FÜR DIE KONZEPTPHASE IN DER VERARBEITUNGSMASCHINEN-KONSTRUKTION - ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN, ENTWICKLUNGSSTAND	9
2.1. DIE BEDEUTUNG DER KONZEPTPHASE IN DER VERARBEITUNGSMASCHINENKONSTRUKTION	9
2.2. ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN AN UNTERSTÜTZUNGSMITTEL FÜR DEN KONSTRUKTEUR ALS PROBLEMLÖSER.....	13
2.3. SPEZIFIK VERARBEITUNGSTECHNISCHER PROBLEMSTELLUNGEN.....	17
2.3.1. <i>Verarbeitungstechnische Informationen im Konstruktionsprozeß von Verarbeitungsmaschinen</i>	17
2.3.2. <i>Komplexität verarbeitungstechnischer Probleme</i>	19
2.3.3. <i>Unbestimmtheit verarbeitungstechnischer Probleme</i>	21
2.3.4. <i>Beschreibungsspezifik verarbeitungstechnischer Problemstellungen</i>	22
2.4. UNTERSTÜTZUNGSMITTEL FÜR DIE KONZEPTPHASE UND IHRE EIGNUNG FÜR DIE VERARBEITUNGSMASCHINENKONSTRUKTION	24
2.4.1. <i>Traditionelle Unterstützungsmittel für die Lösungssuche</i>	24
2.4.1.1. Lösungskataloge	24
2.4.1.2. Konstruktionsmethodik in der Prinzipphase	25
2.4.2. <i>Rechnerunterstützung für die Konstruktion mit Relevanz für die Konzeptphase</i>	28
2.4.2.1. Kurzüberblick über Konstruktionsunterstützungssysteme und ihre Einbindung in übergeordnete Systeme.....	28
2.4.2.2. Rechnerunterstützung zum Analysieren.....	31
2.4.2.3. Rechnerunterstützung zum Informieren.....	32
2.4.2.4. Rechnerunterstützung zum Synthetisieren	34
2.4.2.5. Rechnerunterstützung zum Bewerten und Auswählen.....	39
2.4.2.6. Integrierende Systeme mit Unterstützung für die Konzeptphase	41
2.4.3. <i>Der Wissensspeicher Verarbeitungstechnik</i>	43
2.5. SCHLUBFOLGERUNGEN AUS DER ANALYSE DES IST-STANDES.....	46
3. ANFORDERUNGEN AN EINE RECHNERUNTERSTÜTZUNG DER PRINZIPPHASE DER VERARBEITUNGSMASCHINENKONSTRUKTION	47
3.1. FUNKTIONSBESTIMMUNG.....	47
3.1.1. <i>Typisierung der mit dem System zu lösenden Fragestellungen</i>	47
3.1.2. <i>Anforderungen an Funktionalität und Dialoggestaltung</i>	50
3.2. INHALTLICHE ABGRENZUNG	54
3.3. ANFORDERUNGEN AN DIE WISSENSREPRÄSENTATION	57
4. INFORMATIONSMODELL DES VERARBEITUNGSTECHNISCHEN PROBLEMRAUMES	61
4.1. ÜBERBLICK ÜBER MÖGLICHE DARSTELLUNGSARTEN	61
4.1.1. <i>Allgemeiner Überblick</i>	61

4.1.1.1. Unterschiede zwischen wissensbasierten Systemen und anderen Wissensrepräsentationsformen	61
4.1.1.2. Algorithmische Modellierung	62
4.1.1.3. Relationale Modellierung.....	63
4.1.1.4. Darstellungsformen in wissensbasierten Systemen	64
4.1.2. <i>Die verwendete Software und ihre Möglichkeiten</i>	71
4.2. ÜBERBLICK ÜBER DEN SYSTEMAUFBAU.....	74
4.2.1. <i>Gesamtüberblick</i>	74
4.2.2. <i>Sichtenmodell</i>	78
4.2.3. <i>Relationale Darstellung von Prinzipinformationen, Kennwerten und Kenngrößen</i>	83
4.2.4. <i>Bildinformationen</i>	85
4.2.5. <i>Ergänzende Informationen in der Benutzeroberfläche</i>	86
4.3. MODELLIERUNG VON WISSENSKOMPONENTEN DER DOMÄNE VERARBEITUNGSTECHNIK.....	87
4.3.1. <i>Abbildung verarbeitungstechnischer Funktionen</i>	87
4.3.1.1. Darstellungsarten für verarbeitungstechnische Funktionen - Bedeutung, Verwendung, Probleme.....	87
4.3.1.2. Die Sicht "Verarbeitungstechnische Funktion".....	89
4.3.1.3. Die Sicht "Eigenschaftsänderung"	90
4.3.2. <i>Abbildung von Informationen über Verarbeitungsgüter</i>	93
4.3.2.1. Beschreibungskomponenten und ihre Verwendung bei der Lösungssuche.....	93
4.3.2.2. Die Sicht "Verarbeitungsgut".....	94
4.3.2.3. Abbildung von Verarbeitungsguteigenschaften	94
4.3.3. <i>Abbildung verarbeitungstechnischer Prinzipie</i>	96
4.3.3.1. Die Sicht "Verarbeitungstechnisches Prinzip"	96
4.3.3.2. Die Detailbeschreibung verarbeitungstechnischer Prinzipie	97
4.3.4. <i>Verarbeitungstechnische Kenngrößen</i>	99
4.3.5. <i>Darstellung von Zusammenhängen mittels Regeln</i>	100
4.3.6. <i>Unterstützung der Feinauswahl</i>	102
5. PROBLEMLÖSEN MIT DEM BERATUNGSSYSTEM VERARBEITUNGSTECHNIK	104
5.1. INTERAKTIVE PROBLEMAUFBEREITUNG.....	104
5.2. BESTIMMUNG DER LÖSUNGSMENGE - GROBAUSWAHL	109
5.3. FEINAUSWAHL	110
5.4. VERARBEITUNG DER ERGEBNISSE	112
6. WISSENSAKQUISITION	113
6.1. PROBLEME BEI DER WISSENSAKQUISITION	113
6.2. VORSCHLÄGE ZUR UNTERSTÜTZUNG UND ORGANISATION DER AKQUISITION FÜR DAS BERATUNGSSYSTEM VERARBEITUNGSTECHNIK	115
7. GEDANKEN ZUR WEITERENTWICKLUNG.....	116
7.1. INHALTLICHER UND FUNKTIONALER AUSBAU DES BERATUNGSSYSTEMS VERARBEITUNGSTECHNIK.....	116
7.1.1. <i>Ergänzung der Sichtenbeschreibung durch weitere Sichten</i>	116
7.1.2. <i>Andere Erweiterungsmöglichkeiten</i>	117
7.2. EINBINDUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR DAS BERATUNGSSYSTEMS VERARBEITUNGSTECHNIK.....	118

8. ZUSAMMENFASSUNG	120
LITERATURVERZEICHNIS	123
<i>Anhang 1: Beispiele für phasenübergreifende Rechnerunterstützung der Konstruktion.....</i>	<i>134</i>
<i>Anhang 2: Inhalt der Kerntabelle "Prinzip".....</i>	<i>138</i>
<i>Anhang 3: Begriffshierarchie "verarbeitungstechnische Funktion"</i>	<i>141</i>
<i>Anhang 4: Begriffshierarchie "Eigenschaftsänderung"</i>	<i>144</i>
<i>Anhang 5: Begriffshierarchie "Verarbeitungsgut"</i>	<i>149</i>
<i>Anhang 6: Begriffshierarchie "Verarbeitungstechnisches Prinzip"</i>	<i>151</i>
<i>Anhang 7: Implementierung einer umstellbaren Formel am Beispiel Dichteberechnung</i>	<i>158</i>

Abkürzungen und Formelzeichen

->	... Implikation
-	... Negation
\	... Schnittmenge
\forall	... Allquantor
ΔVG	... Eigenschaftsänderungen
\in	... "ist Element von"
\exists	... Existenzquantor
\cap, \wedge	... logisches UND
\cup, \vee	... logisches ODER
AK	... Anpassungskonstruktion
AS	... Ausgangsgröße Signal
ASt	... Ausgangsgröße Stoff
B	... Begriffe
Bild_ID	... Bild-Identifikationsnummer
CAD	... Computer Aided Design
CAE	... Computer Aided Engineering
CAM	... Computer Aided Manufacturing
CD-ROM	... compact disk read only memory
D	... Diagramme
DV	... Datenverarbeitung
EE	... Eingangsgröße Energie
EPS	... Encapsulated PostScript
ES	... Eingangsgröße Signal
ESt	... Eingangsgröße Stoff
F	... Formeln
FE	... Finite Elemente
FEM	... Finite-Elemente-Methode
Fkt.	... Funktion (verarbeitungstechnische)
FS	... Funktionsbereich Stoff
K	... Konturbeschreibende Bilder
L_ID	... Literaturstellen-Identifikationsnummer
M	... Texte
n	... natürliche Zahl
N	... Zahlen
NK	... Neukonstruktion

P	... Prinzipbilder
P_ID	... Prinzip-Identifikationsnummer
RDBMS	... relational database management system
S	... Bilder, die den inneren geometrischen Aufbau beschreiben
SFM	... solid freeform modelling
T	... Tabellen
U	... Umgangssprache
vat.	verarbeitungstechnisch
VG	... Verarbeitungsgut
VK	... Variantenkonstruktion
WAN	... worldwide area network
Z	... Skizzen, Zeichnungen

1. Einleitung

Als Technikdisziplin, die sich überwiegend mit der Produktion (und zum Teil auch mit der Entsorgung) von Verbrauchsgütern beschäftigt, ist die Verarbeitungstechnik /149/ den Entwicklungseinflüssen, die heute insgesamt auf die Volkswirtschaft wirken, von mehreren Seiten her ausgesetzt: Zum einen unterliegt der Verarbeitungsmaschinen- und -anlagenbau /149/ den allgemeinen Entwicklungen auf dem Gebiet des Maschinenbaus, zum anderen ist er der Dynamik des Marktes für die Verbrauchsgüter unterworfen, die auf den Maschinen und Anlagen produziert werden sollen.

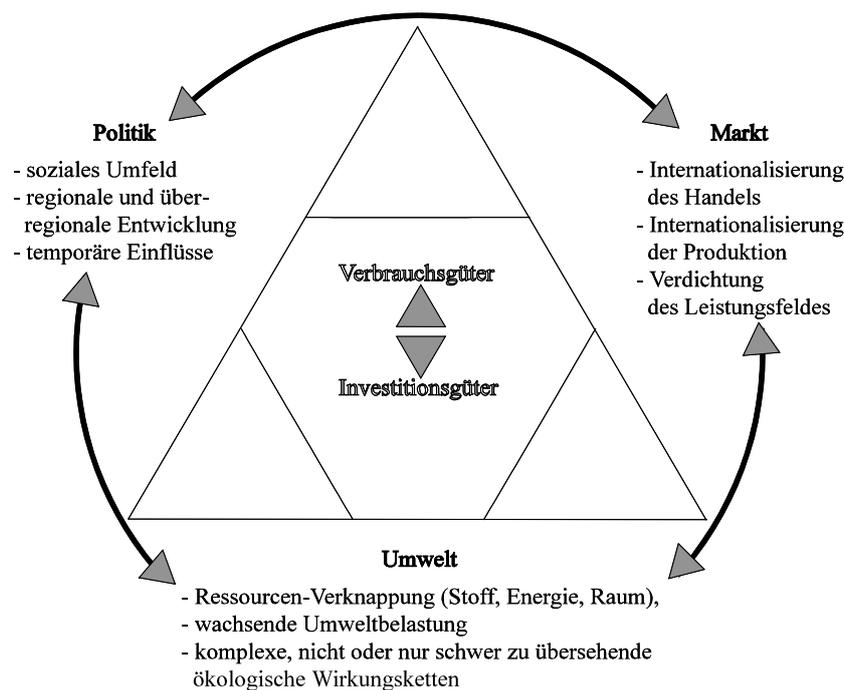


Abbildung 1: Allgemeine Einflußfaktoren auf die Investitionsgüterentwicklung

Im Gegensatz zu anderen Zweigen der Investitionsgüterindustrie handelt es sich bei einem großen Teil der Produkte des Verarbeitungsmaschinenbaus nicht um Universal-, sondern um Spezialmaschinen, deren Entwicklung eng mit der Entwicklung der auf ihnen produzierten Verarbeitungsgüter /149/ verbunden ist /66, 67/. Die Entwicklungsdynamik der Verarbeitungsgüter ist heute z.B. geprägt von:

- immer neuen Formen und Formvarianten, die verschiedensten Trends unterliegen;
- neuen oder bisher unüblichen Materialien, die aus unterschiedlichen Gründen eingeführt werden (funktionellen, technologischen, wirtschaftlichen, ökologischen);
- verringertem Materialeinsatz.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Eigenschaftsparameter der Verarbeitungsgüter in verschiedenen Bereichen (z.B. Lebensmittel)

- zum großen Teil unbekannt,
- schwer zu ermitteln,
- in ihrem Verhalten mathematisch schwer zu modellieren und
- mehr oder weniger stark schwankend sind.

Damit ist der komplexe Einfluß der Verarbeitungsgüter auf den Verarbeitungsvorgang kaum geschlossen beschreibbar und Erfahrung und Experiment spielen bei seiner Vorausbestimmung für die Gestaltung und technische Umsetzung des technologischen Prozesses eine große Rolle.

Entwicklungsaufgaben für Verarbeitungstechnik dienen unterschiedlichen Zielen, die je nach Entwicklungsumfang auch verschieden kombiniert vorliegen:

- Verarbeitung eines gänzlich neuen oder stark modifizierten Verarbeitungsgutes;
- Steigerung der Ausbringung;
- Senkung des Arbeitskräfteaufwandes;
- Verringerung des Ressourcenverbrauchs (Energie, Stoff, Raum);
- Erhöhung der Zuverlässigkeit /16/;
- Erhöhung der Flexibilität hinsichtlich Art und Qualität des Verarbeitungsgutes an Ein- bzw. Ausgang;
- Erhöhung der Flexibilität hinsichtlich Ausbringung und Integrierbarkeit in bestehende Prozesse und Anlagen;
- Anpassung an andere Anlagenkomponenten;
- Anpassung an modifiziertes Verarbeitungsgut;
- Anpassung an Umgebungsbedingungen beim Anwender und nicht zuletzt
- Senkung des Herstellungsaufwandes für die Maschine bzw. Anlage.

Zur Erreichung dieser Ziele sind in der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion aufgrund der geschilderten Bedingungen wesentlich häufiger prinzipielle Überlegungen notwendig. Die eingangs geschilderte Dynamik führt den Entwicklungsfortschritt immer wieder an die Grenze, an der die neue Zielstellung mit dem bisherigen verarbeitungstechnischen Prinzip /66/ nicht mehr erreichbar ist. Die Konzeptphase /8/ hat damit für die Verarbeitungsmaschinenkonstruktion eine besondere Bedeutung, zumal bereits dort der Aufwand für die Produktion der Güter, die später auf der Maschine produziert werden sollen, wesentlich beeinflußt wird. Jedoch wird die Lösungssuche in der Konzeptphase bisher im Gegensatz zu den nachfolgenden Phasen des Konstruktionsprozesses nur wenig durch entsprechende Hilfsmittel unterstützt. Eine branchenübergreifende Lösungssuche nach verarbeitungstechnischen Prinziplösungen ist bisher sehr aufwendig, obwohl gerade sie oft

den erforderlichen Innovationszuwachs bringen kann. Jedoch steht dem wachsenden Innovationsdruck ein immer engerer Zeitrahmen für Entwicklung und Konstruktion gegenüber. Es besteht die Gefahr, daß dadurch an konzeptionellen Überlegungen gespart wird. Die Folge sind nicht optimale konstruktive Lösungen. Die Verbreiterung und Rationalisierung der Informationsmöglichkeiten zu Prinziplösungen ist daher eine Notwendigkeit, um dem wachsenden Innovationsdruck standhalten zu können.

Die für die Sammlung und Speicherung verarbeitungstechnischer Prinzipie erforderliche Systematisierung verarbeitungstechnischen Wissens ist in der Vergangenheit entwickelt worden (/65, 84, 87, 149/). Der Grundstock einer Lösungssammlung existiert ebenfalls (/12/). Damit sind die Grundlagen für die Konzeption einer Rechnerunterstützung für die Konzeptphase der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion gegeben. Diese Konzeption ist das Ziel der zu lösenden wissenschaftlichen Aufgabenstellung, die Gegenstand dieser Arbeit ist.

2. Unterstützungsmittel für die Konzeptphase in der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion **- allgemeine Anforderungen, Entwicklungsstand**

2.1. Die Bedeutung der Konzeptphase in der Verarbeitungsmaschinen- konstruktion

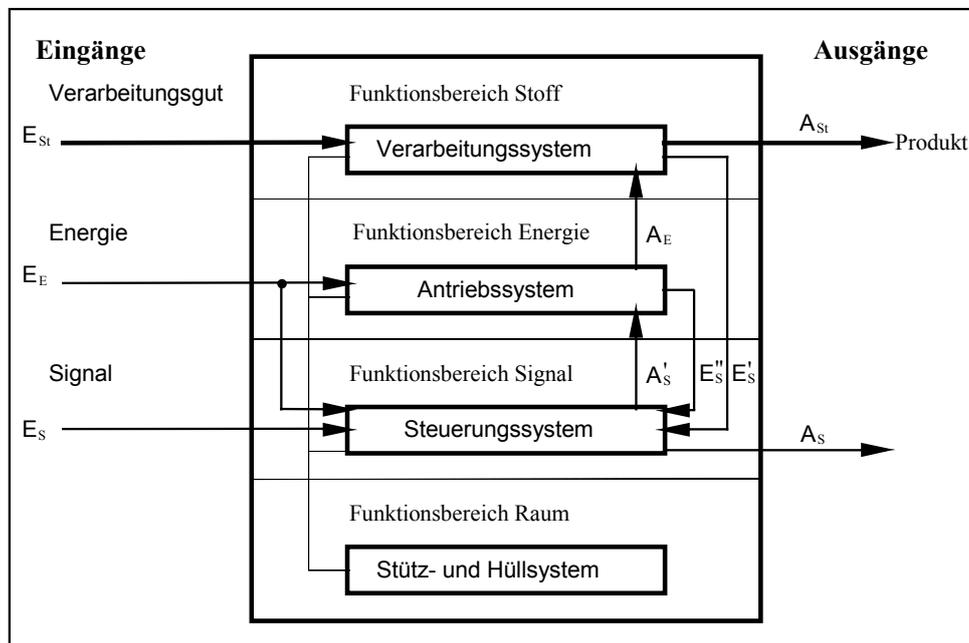
Der Begriff "Konzeptphase" wird im Folgenden im Sinne /8/ verwendet und beinhaltet danach die Arbeitsschritte

- Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen,
- Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen.

In /84, 149/ wurde der Inhalt des konstruktiven Entwicklungsprozesses für Verarbeitungsmaschinen präzisiert (siehe Abbildung 4, Seite 18). Die Prinzipphase entspricht dabei der Konzeptphase nach /8/.

Da die erfolgreiche Funktions- und Prinzipfindung in erheblichem Maße von einer klar und vollständig formulierten und richtig abstrahierten Aufgabenstellung abhängen, werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit auch Probleme der Aufbereitungsphase /149/, also des Klärens und Präzisierens der Aufgabenstellung in die Überlegungen zur Unterstützung der Konzeptphase einbezogen (vgl. Abschnitt 2.4.2.2.).

Die in der Einleitung aufgeführten Entwicklungsziele werden in Konstruktionsaufgaben unterschiedlicher Art und Komplexität umgesetzt. Sie betreffen meist mehrere Funktionsbereiche der Verarbeitungsmaschine (vgl. Abbildung 2).



E_{St} ... Eingangsgröße Stoff; E_E ... Eingangsgröße Energie; E_S, E'_S, E''_S ... Eingangsgröße Signal;
 A_S, A'_S ... Ausgangsgröße Signal; A_E ... Ausgangsgröße Energie; A_{St} ... Ausgangsgröße Stoff

Abbildung 2: Teilsysteme der Verarbeitungsmaschine (nach /149/)

Tabelle 1 zeigt, daß der Funktionsbereich Stoff bei jeder Aufgabenklasse von Veränderungen betroffen sein kann. Auch Anpassungskonstruktionen bezogen auf die Gesamtmaschine beinhalten oft Neukonstruktionen von einzelnen Baugruppen oder Teilen dieses Funktionsbereichs. Neukonstruktionen zumindest von Teilen der Verarbeitungsmaschine sind insgesamt häufiger Gegenstand der Aufgabenstellung als in anderen Branchen des Maschinenbaus. Gründe dafür wurden bereits in der Einleitung aufgeführt.

Die Dynamik der Entwicklung der Verarbeitungsgüter stellt dabei eine der wesentlichsten Triebkräfte für technische Innovationen dar. Wenn insgesamt im Maschinenbau 22% des Umsatzes mit Erzeugnissen erzielt werden, die vor drei Jahren so noch nicht bekannt waren, und wenn man den Neukonstruktionen auch die Anpassungskonstruktionen an innovative Bedingungen (z.B. neuartige oder weiterentwickelte Verarbeitungsgüter) zuordnet /45/, dann beinhalten diese Konstruktionen bei Verarbeitungsmaschinen überwiegend auch prinzipielle Überlegungen zumindest von Teilen des Funktionsbereiches Stoff.

Entwicklungsziel	### betrifft der Regel in		### erfordert		
	Baugruppen außerhalb FS	Baugruppen im FS	VK	AK	NK

Verarbeitung neues Verarbeitungsgut	###	###	■■■■ ■	■■■■■ ■	■■■■■ ■■■■■
Steigerung der Ausbringung Verfüg- barkeit, Senk. Arbeitskräfteaufwand	###	###	■■■ ■■■■■	■■■■■ ■■■■■	■■■■■ ■■■■■
Verringerung des Ressourcen- verbrauchs	###	###	■■■■■ ■■■■■	■■■■■ ■■■■■	■■■■■ ■■■■■
Erhöhung der Flexibilität	###	###	■ ■	■■■■■ ■■■■■	■■■■■ ■■■■■
Anpassung an andere Anlagenkomponenten	###	###	■■■■■ ■■■	■■■■■ ■	■■■■■
Anpassung an (leicht) modifiziertes Verarbeitungsgut	###	###	■■■ ■■■■■	■ ■■■■■	
Anpassung an Umgebungs- bedingungen	###	###	■■■■■ ■■■■■	■■■ ■■■	■
Senkung Herstellungsaufwandes für die Verarbeitungsmaschine/-anlage	###	###	■■■■■ ■■■■■	■■■■■ ■■■■■	■■■■■ ■■■■■

Abkürzungen: FS...Funktionsbereich Stoff; VK...Variantenkonstruktion; AK...Anpassungskonstruktion; NK...Neukonstruktion

Tabelle 1: Umsetzung der verschiedenen Entwicklungsziele für Verarbeitungsmaschinen in Konstruktionsaufgaben verschiedener Konstruktionsarten

Die je nach Konstruktionsart auftretenden Tätigkeitsklassen nach /121/ zeigt Tabelle 2.

Konstruktionsarten	Konstruktionsphasen			
	Konzipieren		Entwerfen	Ausarbeiten
	Funktions- findung	Prinzip- erarbeitung	Gestaltung	Detaillierung
Neukonstruktion	■■■■■■■	■■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■■
Anpassungskonstruktion		■	■■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■■
Variantenkonstruktion			■	■■■■■■■■■■■

Tabelle 2: Zuordnung von Konstruktionsarten zu den Konstruktionsphasen (nach /7/)

Neukonstruktionen von Baugruppen im Funktionsbereich Stoff beinhalten immer das Finden und Kombinieren verarbeitungstechnischer Prinzipie /66, 84, 149/ und ihrer technischen Umsetzung. Damit dürfte der Anteil der Arbeiten in der Konzeptphase an der gesamten Konstrukteursarbeit, der von Ehrlenspiel in /45/ für den gesamten Maschinenbau auf 10% geschätzt wird, im Verarbeitungsmaschinenbau höher liegen.

Nach /100/ werden 60-70% der Herstellkosten in der Produktplanung und Konstruktion festgelegt. Laut /43/ hat dabei die Konzeptphase entscheidenden Einfluß. Bei der Verarbeitungsmaschine kommt hinzu, daß mit der Festlegung des innermaschinellen Verfahrens wesentliche Teile der Herstellungskosten für das Produkt vorbestimmt werden, welches später

auf dieser Maschine erzeugt werden soll. Der Konstrukteur trägt damit besonders in der Konzeptphase eine hohe Verantwortung für Entwicklungs-, Herstell- und Betriebskosten der Maschine und damit für die Kosten des auf ihr herzustellenden Produktes. Dabei sieht er sich einer großen Aufgabenkomplexität mit wechselnden Anforderungen gegenüber, die, obwohl oft nur ungenau beschrieben, in immer kürzer werdender Zeit in technischen Lösungen umzusetzen sind.

Die Senkung der "Innovationszeiten" wird in /100/ als entscheidender Bestandteil des "Kernerfolgsfaktors Zeit" gekennzeichnet, der über die Entwicklungskosten mit dem "Kernerfolgsfaktor Kosten" verbunden ist, darüber hinaus aber entscheidende Bedeutung für den Markterfolg des Produktes hat. Als Maßnahmen zur Reduzierung der Innovationszeiten wird in /100/ für Konzipierung und Produkt- und Verfahrensentwicklung u.a. EDV-Einsatz, Nutzung abrufbaren Know-hows, Routinisierung (Methodisierung) und Parallelbearbeitung alternativer Lösungswege empfohlen.

Die hier beschriebenen Spezifika der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion betreffen nach /4/ rund 23% des deutschen Maschinenbaus, denn so hoch ist der Anteil des Verarbeitungsmaschinenbaus am Gesamtvolumen des Maschinenbaus in Deutschland (Stand 1992). Die Schaffung einer adäquaten Rechnerunterstützung für die Lösungsfindung in der Konzeptphase der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion ist somit ein relevantes Problem.

2.2. Allgemeine Anforderungen an Unterstützungsmittel für den Konstrukteur als Problemlöser

Entwurfsprozesse sind Problemlöseprozesse /49, 117/. Ein Problem zeichnet sich dadurch aus, daß Mittel und Wege, um von einem gegebenen Anfangszustand zu einem angestrebten Endzustand zu gelangen, nicht vollständig determiniert sind. Die zu ziehenden Schlüsse sind reduktiv, d.h. logisch nicht allgemeingültig (unsicher) und die Anzahl der möglichen Folgerungen ist in der Regel größer 1 (mehrdeutig). /117/

Dies trifft insbesondere auf die Konzeptphase zu und wird durch die Spezifik verarbeitungstechnischer Probleme noch verstärkt (vgl. Abschnitt 2.3.).

Nach /117/ lassen sich positive Wirkungen auf das Problemlösen erzielen durch:

1. Dekomposition (Auflösen von Komplexem);
2. Rückgriff auf bekannte Lösungen;
3. Aufsteigendes Vorgehen vom Abstrakten zum Konkreten, vom Teil zum Ganzen, von der Primärwirkung zu den nachfolgenden, von der Wirkstelle zum Antrieb, Gestell, Steuerung usw. /84/;
4. Adaptives Vorgehen (paralleles/ oszillierendes Denken in verschiedenen Ebenen /42/;
5. Clusterbildung über mehrere Abstraktionsstufen, d.h. komplexe Betrachtung überschaubarer Teilsysteme.

In Unterstützungsmitteln für konstruktive Entwicklungsprozesse lassen sich diese Methoden umsetzen durch:

- Bereitstellung von Informationen geeigneter Art in geeigneter Form,
- Bereitstellung von Methoden und Werkzeugen,
- Ermöglichung/ Begünstigung kreativen Denkens durch die Arbeit mit den Unterstützungsmitteln.

Nachfolgend sollen diese drei Schwerpunkte weiter untersetzt werden.

Information

Nach /9/ werden 8% bis 15% des Zeitaufwandes in der Konstruktion für die Tätigkeit "sich informieren" aufgewandt. In /94/ wird der zeitliche Aufwand für Tätigkeiten zur Informationsbeschaffung aus der eigenen Abteilung, anderen Abteilungen, Besprechungen mit Externen, "alten Unterlagen", Literatur oder Prospekten usw. sogar mit 25% der Arbeitszeit des Konstrukteurs beziffert.

Nicht zuletzt deshalb gewinnen Informationssysteme auch in der Konstruktion zunehmend an Bedeutung, zumal der zu verarbeitende Informationsstrom ständig zunimmt. Dabei ist allerdings die Qualität und Quantität der Informationsbeschaffung und -auswertung bei weitem noch nicht als optimal anzusehen. Laut /5/ gibt es vor allem für kleinere und mittlere Unternehmen erhebliche Probleme, "angesichts der ungeheuren Breite des heutigen Informationsangebotes und der Vielzahl der Anbieter" aus dem breit verstreuten Wissen die für sie relevanten Informationen zu selektieren "bzw. überhaupt zu erkennen, daß das dort vorliegende Know-how für ihre Arbeit relevant ist". Hinzu kommt bei starker Spezialisierung, daß einerseits das Informationsangebot externer Quellen in der Wissenstiefe nicht mithalten kann /5/ und daß andererseits problemrelevantes Wissen aus anderen Branchen schwer lokalisierbar bzw. beschaffbar ist.

An die Bereitstellung von Informationen für den Konstrukteur (Problemlöser) ergeben sich daraus folgende allgemeine Anforderungen:

- Problemrelevanz durch möglichst umfassende Abschätzung der zu erwartenden Problembereiche und darauf zugeschnittene Festlegung des Informationsumfangs (Eingrenzung der relevanten Domänen);
- angepaßte Darstellungsformen (vgl. Abschnitt 3.2.2.);
- eine Wissensbreite und -tiefe, die für ihn einen genügend großen Anteil an neuen Informationen zur Problemlösung beinhalten;
- genügend großer inhaltlicher Bezug zum Wissens- und Erfahrungspotential des Konstrukteurs;
- genügend feine und dem Anforderungsprofil entsprechende Gliederung der Informationen zwecks Ermöglichung
 - * einer flexiblen, problemrelevanten Recherche und Selektion gleicher Sachverhalte nach verschiedenen Aspekten und
 - * der Zusammenfassung verschiedener Sachverhalte unter einem Aspekt.

Methoden und Werkzeuge

Methoden sind Mengen von Vorschriften, deren Ausführung den Vollzug einer als zweckmäßig erachteten Operationsfolge unter gegebenen Bedingungen hinreichend sicherstellt /110/. Dabei spielt es zunächst keine Rolle, ob diese Vorschriften dem Ausführenden als solche bewußt sind, oder ob sie unbewußt angewendet werden. Zwischen stereotyp angewendeten Methoden aus dem Randbewußtsein und explizit formulierten externen

Vorschriften gibt es ein Spektrum von fragmentarisch vorliegenden bis hin zu komplexen "Programmen" zum Erreichen eines Zieles (vgl. /117/).

Quellen für Methoden sind Erfahrungen und Schlußfolgerungen. Zur Weitergabe im Rahmen einer Methodik /117/ müssen sie jedoch bewußt gemacht und formuliert werden. Methodik kann daher nur den formalisierbaren Teil aller angewandten Methoden erschließen. Diese werden ergänzt durch aus logischen Schlüssen gewonnene, ebenfalls formalisierte Ablaufpläne. Das bedeutet für solche komplexen geistigen Tätigkeiten wie Konstruieren und insbesondere für die Lösungssuche in der Prinzipphase, daß die Menge der von der Methodik bereitgestellten Regeln nicht die gesamte Menge der beim Konstruieren angewendeten Methoden abdecken kann. Es verbleibt ein individuell geprägter Anteil, der

- aufgrund seiner Komplexität nicht formalisierbar,
- eng mit den persönlichen Fertigkeiten (unbewußt angewandte Methoden) verbunden und
- mit dem ebenfalls individuell geprägten Hintergrundwissen vernetzt ist.

Wie Analysen praktischer Konstruktorsarbeit zeigen /40, 46, 49, 61, 117, 118, 120/, widersetzen sich sowohl einzelne Komponenten (vor allem in Lösungssuche, Lösungsauswahl, alternativer Lösungsentwicklung) als auch das Konstruieren als Gesamtprozeß einer vollständigen präskriptiven Erschließung. Während die Handlungen und bis zu einem gewissen Teil auch deren unmittelbare Motivation noch beschreibbar sind, entzieht sich ein Großteil der zugrundeliegenden geistigen Prozesse einer genauen und vollständigen Beschreibung.

Diskursiv betonte Methoden haben daher in der Konstruktionspraxis, in der man vom Vorhandensein entsprechender Erfahrungen, Fähigkeiten und Fertigkeiten beim Konstrukteur als Problemlöser ausgehen kann, offenbar nicht den Stellenwert wie in der Konstruktionswissenschaft und in der Ausbildung. Aber auch intuitiv betonte Methoden der Lösungsfindung, welche ebenfalls von der Konstruktionsmethodik bereitgestellt werden /121/, finden in der Praxis weit weniger Anwendung, als bislang erwartet wurde. /24, 29, 31, 46, 118, 130, 154/

Eine Begründung dafür ist der Widerspruch zwischen universell einsetzbaren Methoden (z.B. intuitiv betonte Methoden), die eine gewisse Neutralität gegenüber fachspezifischen Wissen haben müssen und spezifischen Methoden für bestimmte Branchen, Teildisziplinen bzw. Teiltätigkeiten:

1. Die Verbindung von universellen Methoden mit der Fachproblematik bereitet offenbar Probleme, da sie viele Abstraktions- und Anpassungsschritte erfordert, für deren sichere Beherrschung Training notwendig ist. Häufig fehlt unter den eingangs geschilderten

Bedingungen aber die Zeit für dieses Training oder sogar für die Anwendung der Methoden, Erfahrungswissen ist oft schneller verfügbar.

2. Domänenspezifische Methoden haben eine begrenzte Relevanz, werden innerhalb der Domänen zwar erfolgreich angewandt, häufig mangelt es aber an geeigneten Mitteln für eine effiziente Verknüpfung der einzelnen Teilabläufe verschiedener Domänen. Ihre Anwendung ist nur effizient, wenn sich ihre Aneignung und das nötige Training durch entsprechend häufige Anwendung lohnt.

Beide Klassen von Methoden sind außerdem mehr oder weniger stark abhängig von den Randbedingungen für die sie konzipiert sind: Je spezifischer sie zugeschnitten sind, desto effizienter sind sie im entsprechenden Fall einsetzbar und um so treffsicherer sind die Ergebnisse. Wird jedoch der enge Rahmen verlassen, Randbedingungen verletzt, geht die Ergebnissicherheit verloren. Sind die Methoden allgemein, berücksichtigen ein breites Spektrum möglicher Voraussetzungen und Randbedingungen, ist der Adaptionaufwand für den konkreten Fall häufig sehr hoch, die Anwendung wird unübersichtlich, die Ergebnisse bedürfen möglicherweise einer Interpretation. Typisches Beispiel für diesen Zielkonflikt sind Berechnungsmethoden.

Dementsprechend differenziert sind auch die Anforderung an einen wirksamen Einsatz von Methodik in Form von entsprechenden Werkzeugen:

Allgemeine Methoden

- müssen in Werkzeugen (z.B. in Konstruktionsunterstützungsprogrammen) so angeboten werden, daß sie von störenden Formalismen frei sind;
- können nicht in restriktiver Form eingeführt werden, da äußerer Zwang die Kreativität des Bearbeiters eher hemmt als fördert;
- sollten daher *problemabhängig* (nicht pauschal) und in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsgrad des Problems auch nur *mehr oder weniger vollständig* eingesetzt werden, wobei die Entscheidung beim Problemlöser liegen sollte (siehe oben);
- sollten in einer Form angeboten werden, die die Motivation zu ihrem Einsatz erhöht (Effizienz, Erwecken von Neugier, Verbesserung der Argumentationsfähigkeit usw.).

Spezifische Methoden:

- sollten ebenfalls nicht durch eine umständliche Handhabung eingeschränkt sein;
- müssen mit Informationen versehen sein, die es gestatten, schnell und sicher ihre Relevanz für das vorliegende Problem zu verifizieren,
- sollten eine Beurteilung der Ergebnissicherheit ermöglichen;

- sollten soweit wie möglich Standards berücksichtigen, um eine effiziente Informationsein-, -aus- und -weitergabe zu unterstützen.

2.3. Spezifik verarbeitungstechnischer Problemstellungen

2.3.1. Verarbeitungstechnische Informationen im Konstruktionsprozeß von Verarbeitungsmaschinen

Unter "verarbeitungstechnischen Informationen" sollen im Folgenden Informationen verstanden werden, die die Aufgabe (Funktion), die Komponenten und deren prozeßrelevante Parameter sowie das prozeßrelevante Verhalten der Wirkpaarung /66/ beschreiben.

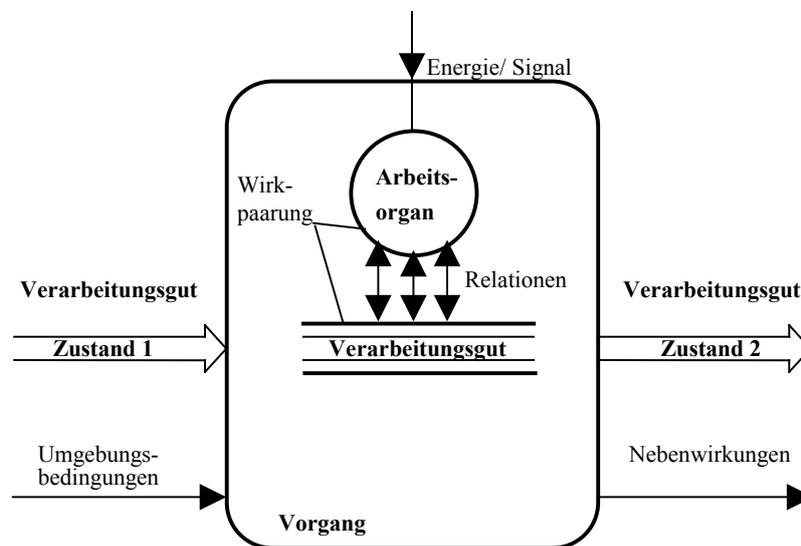


Abbildung 3: Schema der Wirkpaarung nach /149/

Ihre Rolle in der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion wurde in der Literatur bereits ausführlich dargelegt (z.B. /66, 84, 87/). Da die Wirkpaarungen die Hauptfunktionen der Verarbeitungsmaschinen umsetzen, bestimmen sie maßgeblich Konzept und Gestaltung aller Funktionsbereiche (Abbildung 2) und ihrer Elemente. Dementsprechendes Gewicht haben verarbeitungstechnische Informationen in der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion (vgl. Abschnitt 2.1.). Dies gilt nicht nur für die Konzeptphase.

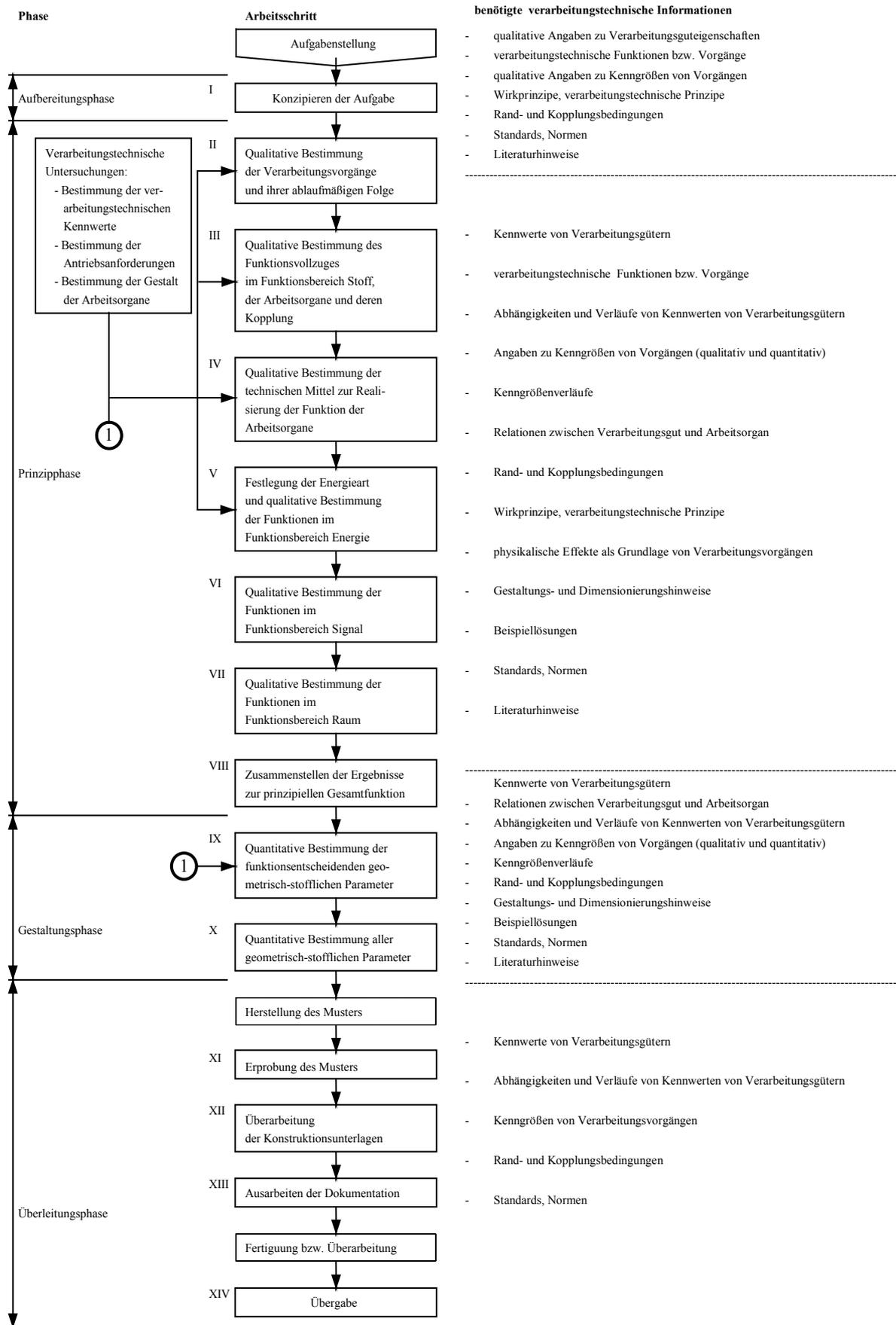


Abbildung 4: Arbeitsschritte des Konstruktions- und Entwicklungsprozesses von Verarbeitungsmaschinen nach /149/ und dabei benötigte verarbeitungstechnische Informationen

Abbildung 4 zeigt, in welchen Konstruktions- und Entwicklungsphasen welche verarbeitungstechnischen Informationen benötigt werden können. Die dargestellten Arbeitsschritte innerhalb der Aufbereitungs- und Konzeptphase nach /149/ entsprechen dabei den Schritten innerhalb des Klärens und Präzisierens der Aufgabenstellung und der Konzeptphase nach /8/. Zur Relevanz des zugrundegelegten Ablaufmodells für den konstruktiven Entwicklungsprozeß sei auf Abschnitt 2.4.1.2. verwiesen.

Ein verarbeitungstechnisches Informationssystem sollte demnach so aufgebaut sein, daß dessen effiziente Verwendung nicht an eine bestimmte Konstruktionsphase gebunden ist. Das hat Konsequenzen für Art und Strukturierung der Informationen sowie für das Benutzungskonzept. Letzteres determiniert die Informationsrepräsentation, Informationsverarbeitungsmechanismen und die Benutzeroberfläche.

Gemäß dem Anliegen dieser Arbeit, der Unterstützung der Konzeptphase, werden nachfolgend vor allem die Informationen betrachtet, die die Funktion(en) der Verarbeitungsmaschine beschreiben.

Dabei stehen die Anforderungen aus dem Funktionsbereich Stoff an die übrigen Funktionsbereiche mehr im Vordergrund als die entsprechenden Rückwirkungen. Obwohl die gewollten und ungewollten Rückwirkungen der anderen Funktionsbereiche auf den Funktionsbereich Stoff in der Regel sehr vielfältig und für die technische Umsetzung von großem Einfluß sind, spielen sie hier nur in soweit eine Rolle, wie sie Auswirkungen auf die *prinzipielle* Gestaltung der Wirkpaarung haben. Der Grund für diese Einschränkung liegt in der Notwendigkeit einer gegenüber der technischen Umsetzung relativ neutralen Darstellung von Wirkpaarungsbeschreibungen für die Lösungssuche, die in /66/ umfassend begründet wurde. Diesem Prinzip muß auch ein verarbeitungstechnisches Informationssystem genügen, um eine effiziente Lösungssuche zu ermöglichen und eine Explosion des Informationsumfanges zu vermeiden.

2.3.2. Komplexität verarbeitungstechnischer Probleme

Die Mehrzahl verarbeitungstechnischer Probleme zeichnet sich durch eine hohe Komplexität aus. Sie drückt sich sowohl in einer großen Anzahl von relevanten Parametern als auch durch deren komplexe Vernetzung aus. Dafür gibt es mehrere Ursachen:

1. "Während in einem Apparat oder in einer Maschine der Verfahrenstechnik und in herkömmlichen Werkzeugmaschinen meist nur eine charakteristische Veränderung am Stoff

erfolgt, wird in einer Verarbeitungsmaschine häufig eine größere, nach bestimmter Vorschrift ablaufende Anzahl von verschiedenen Zustandsänderungen nacheinander oder gleichzeitig ausgeführt."/66/ Das bedeutet, daß das Verarbeitungsgut nacheinander oder gleichzeitig verschiedene Wirkstellen mit unterschiedlichen Arbeitsorganen durchläuft, deren Wirkung in zeitlicher, stofflich-energetischer und kinematischer Hinsicht aufeinander abgestimmt sein muß.

2. Eine große Anzahl von Verarbeitungsmaschinen verarbeitet nicht nur ein Verarbeitungsgut, sondern mehrere Verarbeitungsgüter zu einem End- oder Zwischenprodukt. Ein repräsentatives Beispiel hierfür ist die Verpackungstechnik. Aus z.T. verschiedenen Packmitteln und Packhilfsmitteln wird mit dem Packgut die Packung gebildet. Dabei treten die Komponenten nicht nur mit den jeweiligen Arbeitsorganen, sondern auch untereinander in Wechselwirkung.
3. Da die zu verarbeitenden Güter Repräsentanten unterschiedlicher Gutgruppen /66/ sind (auch ungeformte wie Gase, Flüssigkeiten, Pasten und Schüttgüter), ist zur Beschreibung ihres verarbeitungsrelevanten Verhaltens eine größere Anzahl von Parametern notwendig, als dies bei geformten Werkstücken der Fall ist, die bezüglich Form und Werkstoff jeweils nur bestimmten, gut beschreibbaren Klassen zuordenbar sind. Vielfach ist die Berücksichtigung bzw. Ausnutzung des *rheologischen Verhaltens* der Verarbeitungsgüter für den Verarbeitungsvorgang von entscheidender Bedeutung.
4. Die Menge aller Verarbeitungsvorgänge umfaßt neben solchen mit örtlich eng begrenzter Wirkstelle und Arbeitsorganen mit *einer* Funktion auch komplexe Zustandsänderungen, bei denen ein Arbeitsorgan *mehrere* Wirkungen gleichzeitig (gewollt oder ungewollt) auf das Verarbeitungsgut ausübt (z.B. strukturelle Veränderungen beim Kneten von Teig oder Wärmeaustauschprozesse und Strukturveränderungen beim Gießen von Schokoladenmasse). Das führt ebenfalls zu einer großen Anzahl komplex vernetzter Parameter.
5. Wegen der gewünschten Zustandsänderung, aber auch wegen dem bereits geschilderten Zusammenwirken verschiedener Arbeitsorgane und Verarbeitungsgüter sind zur Realisierung der Verarbeitungsvorgänge oft komplexe Bewegungen des Verarbeitungsgutes und/oder der Arbeitsorgane notwendig. Das führt zu einer komplexen Beschreibung der zeitlichen und räumlichen Zusammenhänge.
6. Verarbeitungsvorgänge sind nicht nur für verschiedenste Verarbeitungsgüter, sondern auch unter verschiedenen Bedingungen zu realisieren (Lebensmittel-, Arzneimittel-, Getränke-, Süßwaren-, Glas-, Leder-, Textilverarbeitung usw.). Dadurch kommen zu den komplexen

und nur teilweise bekannten Wechselwirkungen zwischen einzelnen Eigenschaften der Verarbeitungsgüter und zwischen Verarbeitungsgut und Arbeitsorgan noch umfangreiche Einflüsse aus den Umgebungsbedingungen. Beispiele hierfür sind Wassergehalt und Temperatur, die in vielen Fällen von der Umgebung beeinflusst werden und großen Einfluß auf das Verarbeitungsverhalten haben können.

7. Die in den vorangegangenen Punkten dargestellten Wechselwirkungen zwischen Verarbeitungsgütern, Arbeitsorganen und Umgebung müssen insgesamt auch in die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Funktionsbereichen der Verarbeitungsmaschine einbezogen werden. Die Gestaltung der Funktionsbereiche Energie, Signal und Raum (Gestell) muß letztlich so erfolgen, daß im Funktionsbereich Stoff optimale Verarbeitungsbedingungen realisiert werden. Dazu gehört nicht nur die Berücksichtigung der Anforderungen aus dem Funktionsbereich Stoff an die übrigen, sondern auch die Berücksichtigung von deren Rückwirkungen auf den Verarbeitungsvorgang (z.B. Schwingungen, Temperatur, elektrostatische Aufladung).

2.3.3. Unbestimmtheit verarbeitungstechnischer Probleme

Die Unbestimmtheit verarbeitungstechnischer Probleme wird größtenteils hervorgerufen durch das nur unscharf beschreibbare Verhalten der Verarbeitungsgüter.

Aufgrund der im vorigen Punkt beschriebenen Komplexität des Gutverhaltens, der Einflüsse auf dieses und der häufig komplexen Zustandsänderungen, die am Verarbeitungsgut zu vollziehen ist, gelingt es nur schwer und fast nie vollständig, *alle verarbeitungsrelevanten Parameter* unter den Verarbeitungseigenschaften und ihre *gegenseitige Beeinflussung* herauszufinden. Meist handelt es sich bei den Verarbeitungsgütern um biologisch erzeugte Materialien, um Materialien, die biologische Stoffe enthalten, in vielen Fällen auch um komplexe Stoffgemische. Das hat zur Folge, daß ihre *Eigenschaften stark schwanken* (von Stück zu Stück, von Charge zu Charge) und zum großen Teil vom Verarbeiter nicht beeinflussbar sind. Die Bereitstellung zuverlässiger Kennwerte (verarbeitungsrelevante Eigenschaften von Verarbeitungsgütern, unabhängig vom jeweiligen Vorgang und Arbeitsorgan) und Kenngrößen ("quantitative Angaben, die den Vorgang unter definierten Bedingungen kennzeichnen")/149/ erfordert meist einen sehr hohen meßtechnischen Aufwand und ist (wenn überhaupt) oft auch nur für einen schmalen Bereich genau festgelegter Randbedingungen möglich.

2.3.4. Beschreibungsspezifik verarbeitungstechnischer Problemstellungen

Bei der Formulierung des verarbeitungstechnischen Problems, der Ableitung der Aufgabe, bei der Analyse, Synthese, Auswahl und Bewertung im Verlauf der Problemlösung, bei der dazu notwendigen Kommunikation und bei der Ergebnisdarstellung muß mit der in den vorangegangenen Punkten dargestellten Komplexität und Unschärfe umgegangen werden.

Dies führt zu folgenden Merkmalen der Darstellung verarbeitungstechnischer Informationen:

- vielfältige Darstellungsformen (siehe Tabelle 3),
- hoher Anteil qualitativer Angaben (begriffliche Umschreibung bestimmter Eigenschaften und Verhaltensmerkmale des Verarbeitungsgutes),
- große Bedeutung grafischer Informationen wegen ihrer Eigenschaft, eine hohe Informationsdichte und Komplexität abbilden zu können und wegen ihrer hohen Assoziativität,
- gemischte Beschreibungsformen anstelle durchgängig verbaler, grafischer oder numerischer Darstellungen.

Komplexität und Unbestimmtheit verarbeitungstechnischer Problemstellungen und das damit verbundene Fehlen umfassender analytischer Beschreibungsmöglichkeiten für die meisten Fälle führen zu einem hohen Stellenwert des Erfahrungswissens von Spezialisten. Dieses Wissen kann nur unvollständig formalisiert und dokumentiert werden. Statt dessen muß für die Darstellung vieler komplexer Sachverhalte auf eine axiomatische Verkürzung zurückgegriffen werden. Diese drückt sich in Skizzen, Regeln und Heuristiken aus. Sie unterscheidet sich von verallgemeinerten und universell anwendbaren Aussagen (z.B. der Beschreibung physikalischer Effekte) durch ihren Gehalt an spezifischen Informationen, die für ihre Anwendbarkeit nötig sind, da es sich ja nicht um die Essenz *vollständig* bekannter und beschriebener Sachverhalte handelt.

Dadurch entsteht ein Hauptproblem bei der Informationsverarbeitung: die Übereinstimmung der Voraussetzungen und Randbedingungen für die Gültigkeit der jeweiligen Information mit dem konkret vorliegenden Problemfall. Der Spezialist kennt diese Gültigkeitsbereiche und ist in der Lage, die gesammelten Informationen entsprechend zuzuordnen und auf der Basis von Analogieschlüssen auch bekannte Lösungen auf neue Probleme anzuwenden. Die Faktensammlung allein nützt also wenig ohne Kenntnisse und Fähigkeiten zum Erkennen von Anwendungskriterien und Analogien.

verarbeitungstechnische Informationen	Darstellung
---------------------------------------	-------------

	B	M	Z	T	F	D	S
Bezeichnungen/ Beschreibungen von Verarbeitungsgütern	X	X					
qualitative Beschreibung des Verarbeitungsverhaltens d. VG	X	X					
Kennwerte von Verarbeitungsgütern			X	X			
Abhängigkeiten von Kennwerten der Verarbeitungsgüter	X	X		X	X	X	
verarbeitungstechnische Funktionen bzw. Vorgänge (atomare und komplexe)	X	X					
Wirkprinzipie, verarbeitungstechnische Prinzipie	X	X					X
physikalische Effekte als Grundlage von verarbeitungstechn. Prinzipien	X	X			X		
Kopplung von Funktionen/ Prinzipien		(X)					X
Beispiellösungen		(X)					X
Randbedingungen, Kopplungsbedingungen	X	X	X	X	X		
Relationen zwischen Verarbeitungsgut und Arbeitsorgan	X	X	X	X	X	X	X
Kenngrößen von Vorgängen			X	X	X		
Kenngrößenverläufe von Vorgängen		X		X	X	X	
Gestaltungs- und Dimensionierungshinweise		X	X	X	X	X	X
Normen	X	X	X	X	X	X	X
qualitative Angaben zu Kenngrößen von Vorgängen	X	X			(X)		
Literaturhinweise	X	(X)					
Anwendungseinschränkungen, -hinweise für bestimmte verarbeitungstechnische Informationen		X			X		

B...Begriffe/ Bezeichnungen/ Zuordnungen, M...Text, N...einzelne Zahlenwerte, T...Tabellen, F...Formeln, D...Diagramme, Z...Skizzen/ Zeichnungen

Tabelle 3: Darstellung verarbeitungstechnischer Informationen

Obwohl Spezialisten diese Voraussetzungen besitzen und durch ihre umfassenden Fachkenntnisse besser als Fachlaien in der Lage sind, Analogien zu erkennen und unzulässige Analogieschlüsse und Verallgemeinerungen zu vermeiden, ist damit noch kein branchenübergreifender Wissenstransfer gewährleistet. Dazu ist eine übergreifende Systematik nötig, die einerseits Fehlentscheidungen durch falsche Analogieschlüsse vermeidet (Entscheidungshilfen durch Berücksichtigung wesentlicher Details), andererseits aber soweit branchenunabhängig ist, daß fachwissenschaftliche Denkbarrieren überwunden werden können. Die Grundlagen dazu wurden in /66/ gelegt und sollen im Rahmen dieser Arbeit vertieft und erweitert werden.

2.4. Unterstützungsmittel für die Konzeptphase und ihre Eignung für die Verarbeitungsmaschinenkonstruktion

2.4.1. Traditionelle Unterstützungsmittel für die Lösungssuche

2.4.1.1. Lösungskataloge

Für die Unterstützung der Konzeptphase des konstruktiven Entwicklungsprozesses existieren folgende Arten von Lösungssammlungen:

1. Sammlungen physikalischer Effekte (z.B. /89, 123, 152/),
2. Konstruktionskataloge mit Prinziplösungen für unterschiedlich definierte technisch allgemeingültige elementare Funktionen (z.B. /3, 25, 54, 99, 131/),
3. Sammlungen konkreter technischer Lösungen unterschiedlicher Komplexität für Elementarfunktionen (/96/) und zusammengesetzte Funktionen (Normteilsammlungen, Baugruppensammlungen wie z.B. Kupplungen, Hubmagneten, Hydraulikzylinder),
4. der Wissenspeicher Verarbeitungstechnik mit zugeschnittenen Wirkprinzipien (verarbeitungstechnischen Prinziplösungen).

Die Kategorien 1-3 orientieren sich an elementaren Funktionen (Grundoperationen auf drei allgemeinen Größen: Stoff, Energie, Signal). Sie sind z.B. in /96/, /131/ oder /129/ ("logischer Wirkzusammenhang") in unterschiedlicher Weise definiert. Ihr Zweck ist, eine allgemeingültige Systematik zur Ordnung technischer Elemente und Systeme zu schaffen, die zum einen als Ordnungsgrundlage für Lösungssammlungen dienen und zum anderen die formale Beschreibung auch komplexer Funktionen durch Kombination der Elementarfunktionen gestatten soll. Es sind demnach Funktionen, die in allen Branchen des Maschinenbaus vorkommen. Bei der Suche in den entsprechenden Informationsspeichern nach Lösungen für nicht komplexe Funktionen ist der Abstraktionsweg kurz genug, um in angemessener Zeit die funktionelle Seite der Aufgabenstellung mittels Elementarfunktionen abzubilden und so bereits im Lösungsspeicher eine Grobauswahl vornehmen zu können.

Anders verhält es sich mit verarbeitungstechnischen Funktionen und Vorgängen. Zwar lassen sich auch die Funktionen einer verarbeitungstechnischen Wirkpaarung auf Elementarfunktionen zurückführen, nur ist dies allein für eine praktische Anwendung bei der Arbeit mit einem Lösungsspeicher wenig hilfreich. Die Abstraktionshöhe von der konkreten Aufgabe aus ist in der Regel zu groß, so daß sich der Konstrukteur nicht der Mühe unterzieht, die Verarbeitungsaufgabe in diese kleinsten Scheiben zu zerlegen. Aber selbst wenn er so vorginge, wäre bei einem Speicher mit Lösungen für allgemeine Elementarfunktionen der Anteil an für sein

Problem irrelevanten Lösungen zu groß, da nicht alle notwendigen Randbedingungen auf dieses allgemeine Modell abbildbar sind.

2.4.1.2. Konstruktionsmethodik in der Prinzipphase

In Abbildung 4 (Seite 18) wurde bereits das methodische Vorgehen bei der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion nach /149/ dargestellt, das verallgemeinert den heute in der Konstruktionswissenschaft anerkannten Abläufen ähnelt, wie sie z.B. in /121/ oder /96/ dargestellt werden und wie auch die VDI-Richtlinie 2221 (/8/) den prinzipiellen methodischen Ablauf des Konstruktionsprozesses beschreibt bzw. empfiehlt. All diese Darstellungen ähneln sich in ihren Hauptabschnitten (Phasen) und in ihrer sequentiellen Grundform. Auch in der vorliegenden Darstellung wurde bisher bereits auf Elemente dieser Handlungspläne zurückgegriffen.

individuelle Einflüsse	äußere Einflüsse
Faktenwissen	Aufgabenstellung
Operationswissen	verfügbare Informationen
Fähigkeiten	verfügbare Arbeitsmittel
Denk- und Handlungsstile	Arbeitsumgebung
Wertsystem	zur Verfügung stehende Zeit
Emotionen	soziale und organisatorische Einbindung
Motivation und Leistungsfähigkeit	externe Entscheidungen

Tabelle 4: Einflußgrößen, die auf den Konstruktionsprozeß wirken /46/

Untersuchungen praktischer Konstruktionsmethodik (siehe z.B. /46, 118/) haben gezeigt, daß zwar Elemente dieser Handlungspläne beim praktischen Konstruieren vorkommen, daß sie aber meist weder vollständig noch streng geordnet ausgeführt werden. Das Vorgehen des Konstrukteurs ist geprägt von in Tabelle 4 aufgeführten individuellen und äußeren Einflüssen auf den Konstruktionsprozeß nach /46/.

Problematisch sind jene Konstruktionsphasen, in denen die Anwendung bestimmter Methoden qualitative Vorteile bringen würde, diese jedoch aus Aufwandsgründen und wegen mangelnder Vertrautheit des Bearbeiters mit diesen Methoden nicht angewendet werden. Die hier im Mittelpunkt stehende Phase der Lösungssuche ist ein typisches Beispiel für diese Problematik. Methodisches Vorgehen unterstützt bei der Lösungssuche vor allem die systematische Erschließung des Lösungsraumes.

Untersuchungen des individuellen Vorgehens beim Konstruieren ergaben zwei grundlegende Handlungsstrategien:

- stufenweise-ablauorientiertes Vorgehen vom Abstrakten zum Konkreten, wobei die Bearbeitung aller relevanten Problembereiche (Funktionen) parallel vorangetrieben wird;
- bereichsorientiertes Vorgehen, bei dem zunächst ein Problembereich (Funktion) betrachtet und schrittweise konkretisiert und verfeinert und danach zum nächsten übergegangen wird

(vgl. u.a. /15, 46/).

Nach /60/ führt die erste Strategie zu einer ausgeglichenen Qualität und Kompatibilität von Teillösungen und somit zu einer homogenen Gesamtlösung und ist bei Vorliegen von mehreren voneinander abhängigen Hauptfunktionen zu bevorzugen. Diese Funktionskomplexität ist bei Verarbeitungsmaschinen typisch (vgl. Abschnitt 2.3.2.), weshalb das methodische Vorgehen in der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion dieser ersten Handlungsstrategie entspricht. Dabei sind aber für die Bewertung und Auswahl von Teillösungen gedankliche "Sprünge" zwischen verschiedenen Abstraktionsniveaus, Bewertungsaspekten und den verschiedenen Problembereichen (Funktionen) nötig, um sowohl die Erfüllung aller Anforderungen an die Teillösung als auch die Kompatibilität der Teillösungen zu gewährleisten (vgl. auch /68/).

Diese "Sprünge" sind verbunden mit schnellen und häufigen Wechseln zwischen den verschiedenen Tätigkeiten Aufgabe klären, Konzipieren und Entwerfen, wie sie in /40/, /46/ und /118/ beschrieben werden.

Sinnvoll sind demnach "Methodenbaukästen" (z.B. /18, 44, 45, 92, 93, 156/), die einen Vorrat methodischer Werkzeuge bereitstellen, welche bei Bedarf benutzt werden können. Klose stellt z.B. in /93/ ein System aus Methoden und Informationsspeichern für die Maschinenkonstruktion vor. Es basiert auf dem Gedanken, daß sich der Konstrukteur beim Konstruieren in drei Dimensionen in wechselnde Richtungen bewegt: zwischen den technischen Super- und Subsystemen, zwischen den Funktionsbereichen Stoff, Energie, Information und Raum und zwischen den Tätigkeitsklassen Anforderungen finden, Prinzip finden und Gestalten. Dementsprechend modular ist das System konzipiert.

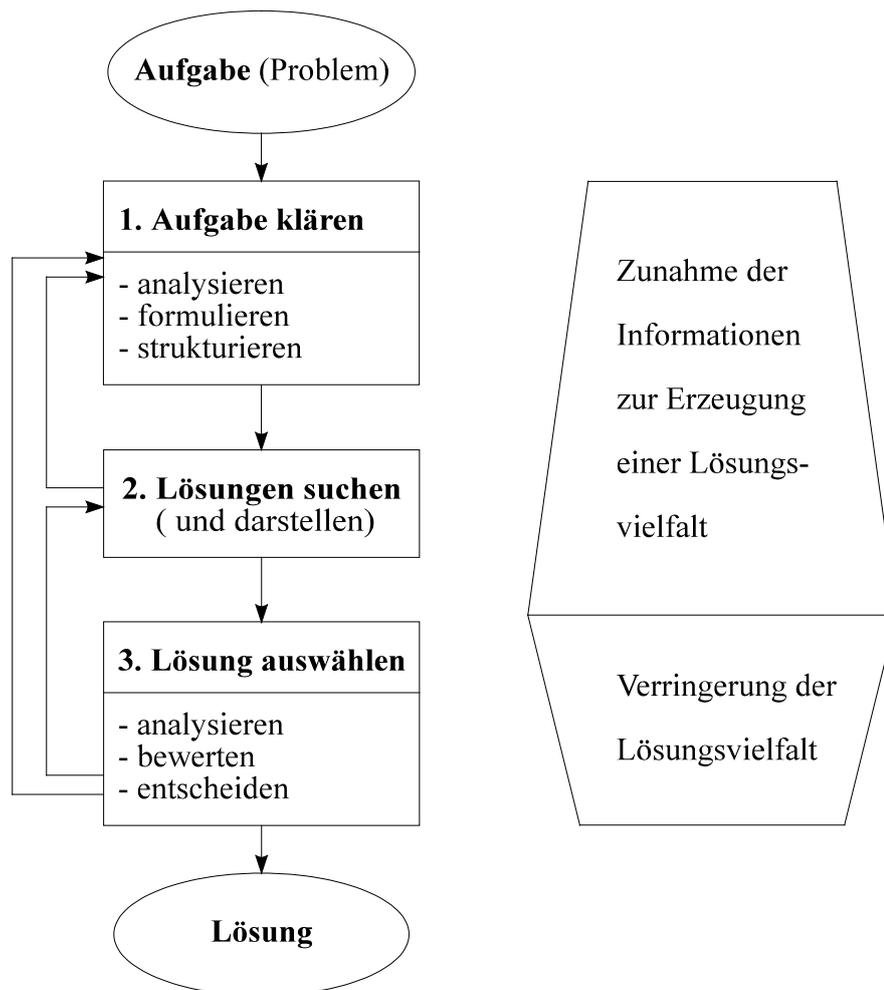


Abbildung 5: Handlungsschema für die Lösungssuche nach /45/

Allgemeine methodische Grundmuster, die für die einzelnen Arbeitsschritte beim Konstruieren jeweils angepaßt und zur Unterstützung dieser Schritte angeboten werden, bilden den Kern der in /45/ vorgeschlagenen Methodik. Durch das Prinzip der Anpassung allgemeiner Methoden auf die jeweilige Problemklasse und durch ihre Modularität hat sie den Vorteil, daß sie weniger ablauforientiert, dadurch flexibel und auch auf die übrigen Phasen geistiger Tätigkeit bei der Produktentstehung übertragbar ist. Ziel ist eine gemeinsame Handlungs- und Kommunikationsbasis innerhalb der Konstruktion und darüber hinaus im Sinne einer "integrierten Produktentwicklung". Das entsprechende Grundmuster für die Tätigkeiten bei der Lösungssuche zeigt Abbildung 5.

Methodisches Vorgehen verringert die Gefahr des Verfolgens falscher oder nichtoptimaler Lösungsansätze und erhöht die Wahrscheinlichkeit für das Finden innovativer Lösungen. Da eine methodische Lösungssuche aber in der Regel aufwendiger ist, als der Rückgriff auf dem Konstrukteur bekannte Lösungen, muß versucht werden, Methodik zu "transportieren" durch

- eine Aufbereitung, die die Methodenanwendung erleichtert und den Aufwand auf ein Minimum reduziert,
- die Integration von Methodik in ohnehin notwendige Abläufe, die durch Werkzeuge unterstützt werden, wie z.B. das Informieren,
- die Verknüpfung von Methodik mit Inhalten (Fakten), die für den Benutzer wesentlich, notwendig bzw. interessant sind.

Das Bemühen um methodische Unterstützung des Konstrukteurs sollte deshalb bei jeglicher Entwicklung von Unterstützungsmitteln für die Konstruktion eine Rolle spielen, was auch einem Anliegen der Konstruktionsmethodik entspricht /24/. Methodik kann dabei aber nicht formalistisch und produktneutral vorgegeben werden, sondern muß der Produkt- und der Problemspezifik angepaßt werden /45/. Flexible methodische Bausteine müssen an moderne Strategien der Lösungsfindung anpaßbar sein /107, 108, 115/.

2.4.2. Rechnerunterstützung für die Konstruktion mit Relevanz für die Konzeptphase

2.4.2.1. Kurzüberblick über Konstruktionsunterstützungssysteme und ihre Einbindung in übergeordnete Systeme

In den Bemühungen um Rechnerunterstützung für den Konstrukteur erkennt man folgende Entwicklungsrichtungen, die auch kombiniert auftreten:

1. Automatisierung formalisierbarer Arbeitsschritte beim Konstruieren und dadurch Entlastung des Konstrukteurs, Zeiteinsparung, Erhöhung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse;
2. Qualitative und quantitative Verbesserung der Informationsbereitstellung und -verarbeitung hinsichtlich Informationsbreite, Komfort und Geschwindigkeit.

Konstruktionsunterstützungssysteme, die dem erstgenannten Ziel dienen, sind CAE-Systeme mit jeweils spezieller Funktion: Dimensionierungsprogramme, Simulationssysteme, FE-Analyse-Programme u.ä.. Während sie in der Vergangenheit zunächst als *Stand-alone*-Programme entwickelt und betrieben wurden, dienten zunehmend Zeichen-Systeme als Kristallisationskerne, an die im Rahmen des CAD immer mehr Funktionen angelagert wurden.

Die ursprünglichen Zeichensysteme dienten überwiegend den unter 2.) genannten Zielen, denn die Zeichnungserstellung selbst mit CAD war und ist zum großen Teil nicht oder nur wenig effizienter als manuelles Zeichnen. Erst eine CAD-angepaßte Konstruktionsmethodik bringt die Vorteile zum Tragen (/20, 23, 75, 90, 126, 139/). Diese liegen aber weniger in einer

Erleichterung der Tätigkeit des *Zeichnens*, als in der multivalenten Nutzung der einmal eingegebenen Informationen. Die Erweiterung der Modelle um immer neue Produktdaten zu komplexen *Produktmodellen* ermöglichte die zunehmende Einbeziehung der zuvor separat existierenden Komponenten (Berechnungs- und Auswahlprogramme, Simulation usw.). /18, 27, 101, 113, 141/

So gibt es heute neben den weiterentwickelten Systemen für spezielle Aufgaben (FEM, kinematische und Prozeßsimulation oder komplexe Berechnungsprogramme) große CAD-Systeme, die zunehmend solche komplexen Funktionen integrieren (z.B. FEM-Module, Maschinenelemente-Berechnungsmodule, Kinematikmodule u.ä.).

Beitz unterscheidet darüber hinaus in /19/ zwei grundlegend verschiedene Konzepte der Rechnerunterstützung für die Konstruktion und der zugrundegelegten Produktmodelle:

- *Integralstrategie*: Verwendung komplexer Modellkomponenten, Konkretisierung durch Abruf, Variation und Weiterentwicklung bekannter Lösungen;
- *Elementarstrategie*: Modellbildung aus möglichst atomaren Elementen zwecks flexibler Verwendungsmöglichkeiten und der Möglichkeit der Darstellung komplexer Zusammenhänge mit dem Ziel der Automatisierung von Konstruktionstätigkeiten.

Beide Strategien sind in existenten Systemen repräsentiert. Die Erfolge im Bemühen um Automatisierung des Konstruktionsprozesses beschränken sich jedoch bisher auf wenige, gut beschreibbare Aufgabenklassen bzw. auf gut algorithmierbare Teilschritte des Konstruktionsprozesses. Merkmale der Integralstrategie finden sich in Archivierungssystemen, Wiederholteilsuchsystemen und objektorientierten Ansätzen für Expertensysteme in Konstruktion und Vertrieb (vgl. /74/). Es ist aber auch eine Fusion beider Strategien zu beobachten, indem mit offenen Systemen Werkzeuge zur Verfügung gestellt werden, mit denen der Nutzer je nach Erfordernis den Komplexitätsgrad seiner Abbildung des Produkts selbst festlegen kann und dennoch in der Lage ist entsprechende Zusammenhänge zu formulieren (z.B. /57/).

Softwareseitig führt diese Entwicklung zur Verschmelzung von unterschiedlichen Softwaretechnologien, die sich zuvor relativ separat entwickelt haben. Das wurde bereits am Beispiel von CAD und CAE-Werkzeugen beschrieben, betrifft aber auch andere Systeme: Datenbank-anwendungen und Expertensysteme treten immer seltener als Stand-alone-Systeme auf, sondern werden zunehmend in übergeordnete Systeme (CAD- oder ganze Konstruktionsleitsysteme) integriert (z.B. /28, 83, 114, 158/). Ziel ist die Durchgängigkeit der Rechnerunterstützung, die dem Konstrukteur Einarbeitung und Handhabung erleichtern, ihm die

unterschiedlichen Werkzeuge leicht zugänglich machen und manuellen Datentransfer minimieren soll.

Die Bestrebungen bei solchen integrierenden Systemen gehen in Richtung einer Zusammenführung von Informationen und Informationsverarbeitungsprozessen, die während des Konstruktionsprozesses selbst anfallen bzw. die in den anderen Entstehungsphasen des Produktes eine Rolle spielen (z.B. Randbedingungen bezüglich Fertigung, Abstimmung der Arbeitsabläufe usw.). Auch die Arbeitsteilung in der Konstruktion selbst, wie sie Bestandteil von Überlegungen zu Simultaneous Engineering ist, spiegelt sich in neueren Systemkonzepten wider /26/. Für die Unterstützung der Konzeptphase spielen diese Integrationsaspekte nicht so eine große Rolle wie für Unterstützungsmittel in späteren Konstruktionsphasen, da der Umfang an Informationen über das zu konstruierende Produkt noch gering ist. Eine ausreichende Aufgabenformulierung und -präzisierung vorausgesetzt, werden diese Informationen während der Bearbeitung (Konzeptphase) auch nicht mehr beeinflusst, sondern höchstens punktuell ergänzt oder präzisiert. Parallele Arbeitsabläufe sind in dieser Phase in der Regel kaum möglich, da die zu fällenden Entscheidungen überwiegend so grundsätzlich sind, daß sie entscheidenden Einfluß auf den Inhalt der nachfolgenden Schritte (Gestaltung, Dimensionierung usw.) haben, die damit tatsächlich erst nach Abschluß dieser Phase beginnen können. Dies gilt insbesondere für das Finden und Konfigurieren von verarbeitungstechnischen Prinzipien zum innermaschinellen Verfahren, die erst die Entscheidungsgrundlage für die Konzipierung, Gestaltung und Dimensionierung der Elemente der anderen Teilsysteme der Verarbeitungsmaschine liefern (vgl. Abschnitt 2.1.). Da außerdem für die einzelnen Teilaspekte des Konzipierens von Verarbeitungsmaschinen wie z.B. für die Funktionsfindung, Synthese der Funktionsstruktur, Prinzipsuche usw. bisher kaum geeignete Einzelwerkzeuge zur Verfügung stehen und auch die übrigen Komponenten noch auf dem Weg zu ausreichender Effizienz und Leistungsfähigkeit sind, was nachfolgend noch belegt wird, steht Integration in dieser Arbeit nicht im Vordergrund.

Tätigkeitsklassen beim Konzipieren	allgemeine Lösungsschritte für konstruktive Teilaufgaben nach /73, 121/	Teiltätigkeiten in der Konzeptphase nach /121/	CAD-Einsatzmöglichkeiten nach /121, 146/
Analysieren der Aufgabenstellung/ des Problems	Konfrontation mit dem Problem	Erkennen der wesentlichen Funktionen Ordnen nach Haupt- und Nebenfunktionen Verknüpfen zu Funktionsstrukturen	Dateien mit Standardprod. und alten Entwicklungen, Kombinationsprogramme für logische und Grundfunkt.

Informieren über Randbedingungen und Lösungsmöglichkeiten/ mögliche Lösungskomponenten	Finden von Lösungen/	Suchen nach physikalischen Wirkprinzipien, Prinzipielles Realisieren	Dateien mit Lösungskatalogen, Dateien mit Standardprodukten und alten Lösungen,
Synthetisieren angepasster Lösungsvarianten aus ausgewählten Teillösungen und schöpferischen Eigenanteilen	Lösungsvarianten Lösungsdarstellung	der Wirkprinzipien, Anpassen und Verknüpfen,	Zeichnungsprogramme , Variations- und Kombinationsprogramme, Auslegungs- und Nachrechnungsprogramme,
Bewerten der Varianten und Auswählen der optimalen Variante	Lösungsbewertung Entscheidung	Ordnen der Lösungsvarianten, Prüfen der techn.-wirtsch. Verträglichkeit	Modellierungsprogramme, Simulations- und Optimierungsprogramme, Programme zur Kostenfrüherkennung

Tabelle 5: Haupttätigkeiten beim Konzipieren in Zuordnung zu allgemeinen Lösungsschritten für konstruktive Teilaufgaben und möglicher Rechnerunterstützung

2.4.2.2. Rechnerunterstützung zum Analysieren

Die Anzahl von Systemen zur Unterstützung der Aufgabenanalyse ist vergleichsweise gering. Zwar gibt es einige Konzepte und prototypische Umsetzungen für die Unterstützung der Konzeptphase, die auch Analyse-Komponenten enthalten, allerdings sind diese kaum auf die Verarbeitungstechnik übertragbar. Sie lassen sich in folgende Hauptgruppen einteilen:

A) Systeme zur automatischen Analyse

B) Systeme zur strukturierten Erfassung der Aufgabenstellung, die durch Vollständigkeit und Strukturierung eine gründliche Aufgabenanalyse bewirken sollen.

Unter "automatischer Analyse" ist nicht die automatische Extraktion von Anforderungen aus einer verbalen Aufgabenstellung zu verstehen, sondern die automatische Ableitung von Funktionen, Funktionsstrukturen und eventuell weitergehend von physikalischen Effekten, Wirkprinzipien und konkreten Lösungselementen (prinzipiellen oder bereits gestalteten konstruktiven Lösungen) aus in bestimmter Form vorgegebenen Anforderungen. Das schließt die Notwendigkeit der vorangegangenen Extraktion der einzelnen Anforderungen aus der Aufgabenstellung durch den Nutzer ein. Werkzeuge der Kategorie A enthalten demnach auch Merkmale von Werkzeugen der Kategorie B und haben außerdem z.T. Informations- und Synthesefunktion.

Einige Beispiele sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Automatische Analyse (A)	Unterstützung der Analyse durch den Nutzer (B)
--------------------------	--

Finden und Koppeln physikalischer Effekte aufgrund vorgegebener (physik.) Ein- und Ausgangsgrößen /35, 77, 143/	rechnergestützte strukturierte Erfassung der Anforderungen in einer Anforderungsliste, von wo aus die erfaßten Daten für nachfolgende Konstruktionsschritte bereitgestellt werden /76/*
RELKO - Finden und Koppeln physikalischer Effekte (Funktionen) und Wirkprinzipie in Form von Blackbox-Darstellungen, Ein- und Ausgangsgrößen als qualitative Angaben in Form von Zugehörigkeiten zu Größenklassen (Intervallen) /102/	Editor zur interaktiven Eingabe der Funktionsstruktur, arbeitet auf einem komplexen Produktmodell für die phasenübergreifende Rechnerunterstützung der Konstruktion (unterstützt Analyse- und Synthese) /146/*
LERKON - Finden und Verknüpfen elektronischer und elektromechanischer Bauteile /62/	

*Bestandteil eines übergreifenden Systemansatzes zur durchgängigen Rechnerunterstützung der Konstruktion

Tabelle 6: Beispiele für Rechnerunterstützung des Analysierens

2.4.2.3. Rechnerunterstützung zum Informieren

Eine erste Gruppe rechnergestützter Informationswerkzeuge stellt die moderne Umsetzung der unter 2.4.1.1. beschriebenen Kataloge dar, die dadurch flexibler nutzbar und einfacher wartbar wurden (z.B. /1, 3, 17, 37, 79/). Eine sehr große Anzahl von Online-Datenbanken für Naturwissenschaften und Technik stehen zur Verfügung (vgl. /138, 140/). Für viele von ihnen gibt es PC-Varianten oder Auszüge auf CD-ROM.

Neben der Verfügbarmachung externer Informationen werden Datenbanken zur Verwaltung interner Informationen genutzt und sind z.T. Bestandteil interner Informationssysteme /78, 91, 153/.

Im Rahmen der Integration der Informationsflüsse sind Datenbanken Bestandteil von CAD-Lösungen (z.B. /91, 141, 155, 157, 158/) oder sie bilden den Kern komplexer Informationssysteme, in die CAD als eine Komponente eingebunden ist (z.B. /109/).

Für die Lösung der oben beschriebenen Probleme in der Konzeptphase der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion gibt es bisher jedoch kaum geeignete Ansätze. Technologisches Wissen über den zu realisierenden Funktionsvollzug im Bereich Stoff, verbunden mit konstruktiven Lösungsansätzen, ist in geeigneter Form nicht verfügbar. Die Beschaffung dieser Informationen ist nach wie vor aufwendig und schwierig, die Erfolgchancen entsprechender Recherchen sind gering /68/. Dies hat unter anderem folgenden Grund:

Nach /46/ erfolgt die Suche nach Lösungen meist anhand nur weniger relativ konkreter Suchbegriffe. Diese Begriffe müssen demzufolge möglichst viele Merkmale der Lösung impli-

zieren, sei es per Definition oder per Assoziation. Je komplexer die gesuchte Lösung bzw. deren Funktion, um so schwieriger ist die Charakterisierung mittels eines Begriffes. Die Folge sind branchenspezifische Bezeichnungen, die für den jeweiligen Spezialisten eindeutig, für Branchenfremde aber unbekannt, indifferent oder gar mißdeutbar sind. Das erschwert eine branchenübergreifende Lösungssuche. Gleichzeitig ist für die Suche in allgemein zugänglichen Informationssystemen die notwendige Abstraktionshöhe vom fachsprachlich formulierten Problem zum genormten, allgemeingültigen Suchbegriff sehr hoch und es gehen viele signifikante Lösungsmerkmale verloren. Die Folge ist entweder eine erfolglose Suche oder eine unüberschaubare Informationsmenge, die in mühevoller Kleinarbeit analysiert werden muß, um mit ungewissen Erfolgsaussichten die relevanten Informationen herauszufiltern. Im Wesentlichen ähnelt die Problematik der bei der Benutzung von Lösungskatalogen (siehe Abschnitt 2.4.1.1.). Allerdings bietet das computerbasierte Handling großer Informationsmengen u.a. bessere Möglichkeiten zur Verknüpfung verschiedener Suchkriterien. Diese komplexen Suchfragen beginnen aber erst in jüngster Zeit durch entsprechende Benutzeroberflächen für den ungeübten Nutzer einfach und schnell formulierbar und ebenso einfach und schnell änderbar zu werden. Die Mehrzahl heute existierender Datenbanken verstärkt jedoch noch diesbezügliche Schwellenängste für ungeübte Benutzer. Daher wird oft auf eigene oder in der unmittelbaren Umgebung vorhandene Erfahrungen zurückgegriffen.

Für die projektierende Arbeitsweise, bei der bereits in den frühen Phasen auf komplette Teillösungen zurückgegriffen und die Gesamtlösung aus diesen zusammengesetzt wird, gibt es allerdings einen verstärkten Trend zu sehr benutzerfreundlichen Produktinformationssystemen. Diese werden immer flexibler nutzbar, sind leicht zu bedienen und die Resultate lassen sich vielfach sofort in CAD-Systeme übernehmen /127/. Sie sind jedoch produktgruppen- (meist hersteller-)bezogen, erfordern also zuvor eigene prinzipielle Überlegungen. Auf diesem Informationssektor deutet sich eine rasante Entwicklung durch die Etablierung und Ausweitung von multimedialen Netzdiensten an. In /32/ wird die Entstehung sogenannter "virtueller Marktplätze" beschrieben, die durch verteilte Informationssysteme geschaffen werden, welche den immer breiteren und komfortableren Informationsaustausch zwischen Anbietern und Kunden in internationalen Datennetzen ermöglichen. Das betrifft auch den Konstrukteur auf der Suche nach kaufbaren Teillösungen. Die wachsende Verfügbarkeit internationaler Angebote an solchen Lösungen direkt auf dem Arbeitsplatzrechner des Konstrukteurs wird dessen Arbeitsweise sicherlich zukünftig stärker beeinflussen. Ein Ersatz für prinzipielle Vorüberlegungen ist dadurch jedoch nach wie vor nicht gegeben.

In /74/ wird speziell auf wissensbasierte Systeme eingegangen, die "Lösungsmuster" für "fallbasiertes Konstruieren" verfügbar machen sollen. "Ein *Lösungsmuster* ist eine anwendungsneutrale Beschreibung einer Lösung, die an bestimmte Problemstellungen anpaßbar ist" /85/. Alle in Abschnitt 2.4.1.1. beschriebenen Informationssammlungen, in diesem Abschnitt genannte Informationssysteme und auch der Wissensspeicher Verarbeitungstechnik sind Sammlungen von Lösungsmustern. "Lösungsmuster unterstützen ... den Problemlösungsprozeß in allen Konstruktionsphasen" /74/. Als Mangel bisheriger Sammlungen wird in /74/ die unzureichende Wissensstrukturierung für eine flexible Nutzung, Problemanpaßbarkeit, Änderbarkeit und Erweiterbarkeit genannt. Die Definition von Strukturierungen für Lösungsmuster sei daher neben der Konstruktionsmethodik zusätzlich nötig. Diesem Anliegen ist ein wesentlicher Teil der vorliegenden Arbeit gewidmet.

2.4.2.4. Rechnerunterstützung zum Synthetisieren

Koller unterscheidet in /97/ drei Schritte innerhalb konstruktiver Syntheseprozesse

- *Funktionsstruktursynthese*,
- *Prinzipialsynthese* (Konkretisierung der Funktionsstruktur),
- *Gestaltsynthese* zur Umsetzung der Elemente der Funktionsstruktur in Bauteilen oder Baugruppen.

Bei der Ermittlung der zu realisierenden Funktionen handelt es sich überwiegend um Analysetätigkeit. Die komplex, unvollständig oder indirekt beschriebene Aufgabe ist in Teilfunktionen zu zerlegen, die sich durch entsprechende Funktionsträger untersetzen lassen. Erst wenn diese Teilfunktionen gefunden sind, lassen sich aus ihnen meist verschiedene Topologievarianten für die Realisierung der Gesamtfunktion synthetisieren. Einige der im Abschnitt 2.4.2.2. genannten Werkzeuge zur Unterstützung der Analyse erstrecken sich auch auf diesen ersten Syntheseschritt. Auf diese Beispiele soll hier nicht noch einmal eingegangen werden.

Neben den gerade erwähnten Werkzeugen gibt es Kombinationsprogramme, die mittels bereitgestellter Funktionsbausteine oder einzelner Prinzipiallösungen kombinatorische Varianten zur Realisierung der Gesamtfunktion synthetisieren. Dazu sind aber entsprechende Informationen über Rand- und Kopplungsbedingungen erforderlich, die in den Modellen der Komponenten enthalten sein müssen. Außerdem werden Kombinationsregeln benötigt, die z.B. unsinnige Kombinationen ausschließen bzw. am Ende die Gewährleistung der Gesamtfunktion sichern müssen. Die Rand- und Kopplungsbedingungen sind überwiegend problem-, lösungs- oder branchenspezifische Informationen, die zum Teil die prinzipielle

Ebene verlassen, für das Finden brauchbarer Lösungen aber notwendig sind. Auch der Konstrukteur zieht bei der Auswahl geeigneter Funktionsstrukturen sofort technologische, energetische, kinematische, gestalterische und andere (vorgreifende) Kriterien heran (leider auch unnötige, so daß sinnvolle innovative Alternativen ausgeschlossen werden). Je weniger Kriterien aber einbezogen werden, um so größer ist die Gefahr, daß der Anteil unbrauchbarer Lösungen überwiegt. Allgemeine Kombinationsprogramme, die alle entscheidenden Spezifika berücksichtigen, sind wegen der Vielzahl der zu berücksichtigenden Bedingungen sehr schwierig zu realisieren.

Variante	1	2	3	4	5	6
Verfahrensschritt 1	Trennen	Formen	Beschichten	Trennen	Formen	Beschichten
Verfahrensschritt 2	Formen	Beschichten	Trennen	Beschichten	Trennen	Formen
Verfahrensschritt 3	Beschichten	Trennen	Formen	Formen	Beschichten	Trennen
Gesamtfunktion	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	u.U. erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt

Tabelle 7: Mögliche Varianten von Funktionsstrukturen zur Herstellung zylindrischer Teile aus einem unregelmäßig geformten Strang, die mit einer Beschichtung vollst. umgeben werden sollen

Das Beispiel in Tabelle 7 zeigt, daß bereits bei einer relativ einfachen Aufgabe mit wenigen Funktionen einige Regeln zum Ausschließen unsinniger Lösungen nötig sind. Sollen diese noch verallgemeinerbar sein, wächst ihr Bedingungsteil schnell an. Ändert sich beispielsweise die Form des herzustellenden Gutes von einer Zylinderform zu einer Kugel, scheiden auch die Varianten aus, bei denen das Formen vor dem Trennen erfolgt. Umgekehrt erhöht die Lockerung der Anforderungen hinsichtlich der Beschichtung von vollständiger Umhüllung zu einer Umhüllung der Mantelfläche des Zylinders die Anzahl möglicher Varianten. Beim Formulieren entsprechender formaler Regeln hat man die Wahl zwischen einer bald unüberschaubaren Menge von Regeln für Spezialfälle oder "wenigen" Universalregeln mit aufgeblähtem Bedingungsteil.

Bei den bekannten Beispielen für Rechnerunterstützung zum Synthetisieren in der Konzeptphase handelt es sich daher entweder um branchenspezifische oder produktgruppenspezifische Werkzeuge (siehe z.B. /62/) oder um Werkzeuge, die auf einem sehr hohen Abstraktionsniveau arbeiten (z.B. /35, 77, 102, 143/).

Gegenstand des Konzipierens sind überwiegend Funktionsstruktur- und Prinzipsynthese. Gestaltsynthese findet in individuell unterschiedlichem Maße statt, um die Anwendbarkeit des gerade betrachteten Prinzips unter den gegebenen Randbedingungen und den nötigen Aufwand abschätzen zu können (vgl. /40, 46/). Dennoch soll auf Mittel zur *Gestaltsynthese*

hier kurz eingegangen werden, da der Konstrukteur ja in der Regel das Ergebnis der Prinzipsynthese in geeigneter Weise darstellt. Für Plausibilität, Bewertbarkeit, Kommunikationstauglichkeit und Weiterverarbeitbarkeit dieses Ergebnisses sollte seine Darstellung bereits einen Mindestumfang an Gestaltinformationen beinhalten (vgl. auch Abschnitt 2.3.4.). Die einfachsten Schritte der Gestaltsynthese müssen also bereits absolviert werden. Bei der Gestaltsynthese für Prinziplösungen und Prinzipstrukturen lassen sich drei Methoden und dazugehörige Klassen von Werkzeugen unterscheiden:

1. automatische Generierung von (Wirk-) Geometrien zu gefundenen Prinziplösungen aus bereitgestellten Elementen nach vorgegebenen Regeln (je nach Komplexitätsgrad der Elemente Bestandteil der Integral- oder Elementarstrategie nach /19/);
2. automatische Zuordnung entsprechender Geometrien (Beispiellösungen) zu Funktionen bzw. Wirkprinzipien aus vorgefertigten Bibliotheken (Katalogen), die als Ausgangspunkt für weitere Anpassungen/ Weiterentwicklungen durch den Konstrukteur dienen (Integralstrategie nach /19/), z.T. sind die Gestaltinformationen Bestandteil der gespeicherten Modelle der Prinziplösungen);
3. Generierung der entsprechenden Geometrien durch den Nutzer, wobei er durch entsprechende Werkzeuge so gut unterstützt wird, daß die rechnergestützte Gestaltsynthese in der Konzeptphase zu einer wirklichen Hilfe bei der Verifizierung der gefundenen Lösungen wird.

Werkzeuge der Klasse 1 erfordern umfangreiche Informationen über die Zuordnung von Wirkgeometrien zu physikalischen Effekten bzw. Wirkprinzipien, jeweils entsprechende Algorithmen bzw. Regeln über die Anordnung und Anpassung dieser Geometrien in bestimmten Konfigurationen (z.T. problemspezifisch und abhängig von der gefundenen bzw. gewählten Prinzipstruktur) und letztlich einen Modellierer der diese Regeln umsetzt. Für die Fülle an bekannten und relevanten Effekten und Wirkprinzipien ergibt das einen immensen Modellierungsaufwand. Die Gefahr, aufgrund nicht berücksichtigter Spezifika und Ausnahmen zu unbrauchbaren Realisierungsansätzen zu kommen, dürfte dabei kaum zu beseitigen sein. Bekannte Umsetzungen tragen deshalb eher den Charakter von prototypischen Beispiellösungen, stellen reine Branchenlösungen bzw. Lösungen für bestimmte Produktgruppen dar oder beziehen sich auf allgemeine Maschinenelemente. In /146/ ist ein allgemeiner Ansatz für ein Werkzeug zur interaktiven (teilautomatischen) Synthese von Wirkstrukturen auf der Basis der zuvor synthetisierten Funktionsstruktur beschrieben. Auch hier wird jedoch auf das Problem der Bereitstellung aller benötigten Informationen hingewiesen.

Werkzeuge der Klasse 1 sind Vertreter der Elementarstrategie und überwiegend Teile von übergeordneten Systemen zur durchgängigen Rechnerunterstützung des Konstruktionsprozesses. Beispiele finden sich daher unter Abschnitt 2.4.2.6..

Als Werkzeuge der Klasse 2 kann man alle Informationssammlungen mit Prinziplösungen bzw. Bauteilen bzw. -gruppen auffassen, die zum Informieren gemäß Abschnitt 2.4.2.3. dienen, sofern die dort gespeicherten Informationen einschließlich der grafischen unter dem Aspekt der Funktion abrufbar sind. Die grafischen Informationen dienen dabei dem Konstrukteur in erster Linie als Anregungen/ Vorlagen/ Hinweise für die Gestaltsynthese, anhand denen er eine Auswahl treffen und auf die er seine Weiterarbeit bei der Gestaltsynthese gedanklich stützen kann.

Die Erörterung der Werkzeuge der Klasse 3 berührt eine wesentliche und schwierige Frage in den Bemühungen um Rechnerunterstützung für die Konzeptphase:

Sind Unterstützungsmittel für die Konzeptphase unter den gegenwärtigen Voraussetzungen sinnvoll und effektiv in ein integrales durchgängiges Systemkonzept einzubeziehen oder bilden die gravierenden Unzulänglichkeiten vor allem hinsichtlich Eingabe, Steuerung und übersichtlicher Ergebnisdarstellung die aus den gegenwärtig verfügbaren Benutzerschnittstellen für CAD-Systeme resultieren, eine Hemmschwelle, die zwangsläufig zu einem Bruch zwischen den kreativen Frühphasen der Konstruktion und den nachfolgenden führt?

In der gegenwärtigen Praxis werden CAD-Systeme bei der Lösung von Konstruktionsaufgaben, die auf der Prinzipiebene ansetzen (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2, Seite 11 und 11) in den frühen Phasen der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion nur punktuell eingesetzt. Selbst in Unternehmen mit einem hohen Ausrüstungsgrad an CAD-Technik beginnen prinzipielle Überlegungen meist nach wie vor auf dem Reißbrett. Die Gründe, die dafür von den Betroffenen genannt werden, spiegeln gleichzeitig ihre Anforderungen an geeignete CAD-Werkzeuge für die Konzeptphase wider:

- Das Zeichnen mit dem Computer ist in dieser Phase, die durch häufiges Ändern und Verwerfen gekennzeichnet ist, zu umständlich. Vorteile von CAD-Systemen wie schneller Abruf und leichte Integration von vorhandenen Lösungen, Normteilen und Standardbaugruppen, leichte Variation von Maßen, schnelle und präzise Operationen zur Auslegung und zum Anpassen von Maßen, schnelles und bequemes Generieren von Formelementen usw. kommen nicht zum Tragen. Statt dessen behindern der gegenüber dem Bleistift nur als indirekt empfundene Einfluß auf die Zeichnung, das Ausführen

von (lästigen) Steuerungshandlungen und die notwendige Anpassung an bestimmte Handlungsabläufe den Zeichen- und Gedankenfluß.

- In der Darstellung der Ergebnisse muß man sich ab einem bestimmten Zeichnungsumfang zwischen dem Blick auf Details, auf die Gesamt- oder eine Teilübersicht entscheiden. Der Bildschirm bildet ein kleines Fenster, durch das man auf die Lösung schauen muß. Beim Reißbrett ist diese Beschränkung kaum relevant. Die Änderung des gezeigten Ausschnittes bzw. das "Umschalten" zwischen Detail und Übersicht erfordern am CAD-System wiederum mehr oder weniger umfangreiche Steuerungshandlungen, am Reißbrett lediglich eine Veränderung des Abstandes zwischen Betrachter und Zeichnung.
- Die hinter dem vorangegangenen Anstrich angedeuteten Mängel betreffen analog das Kombinieren und "Gegeneinanderhalten" von Varianten, das Zusammenstellen von Übersichten.

Der noch vorhandene und zuweilen beklagte Bruch im CAD-Ablauf an dieser Stelle ist also nicht nur durch Verbesserung der rechnerinternen Abläufe sondern auch durch Weiterentwicklungen der Mensch-Rechner-Schnittstellen zu überwinden. Die Entwicklung neuartiger Schnittstellen erfordert die Einbeziehung von Konstruktionsmethodik, softwareergonomischen Untersuchungen und Hard- und Softwaretechnologie. Sie kann daher wegen ihres Umfangs und ihrer Komplexität nicht Gegenstand dieser Arbeit sein.

Abschließend seien noch die Fälle erwähnt, in denen CAD-Gestaltsynthese auch in den Frühphasen der Konstruktion Vorteile bringt und angewendet wird. Sie ist schon heute sinnvoll und notwendig, wenn:

- vorhandene Lösungen wiederverwendet werden sollen;
- sich offensichtlich anbietende Standardlösungen die konstruktive Gesamtlösung des betrachteten Teilsystems dominieren;
- gestaltabhängige Parameter zur Verifizierung gefundener Lösungsansätze relativ früh geprüft werden müssen/ sollen, insbesondere wenn deren Ermittlung manuell sehr aufwendig oder unmöglich ist und daher CAE-Werkzeuge eingesetzt werden müssen (z.B. FEM);
- die Gestalt der/ des Funktionsträger(s) so kompliziert ist, daß die Manipulations- und Anschauungsmöglichkeiten in einem 3-D-CAD-System gebraucht werden, um Realisierbarkeit und Vorzüge von Varianten beurteilen zu können, um so mehr, wenn das entstehende CAD-Modell für nachfolgende CAD-CAM-Schritte verwendet werden soll (z.B. SFM).

Diese Fälle kommen in der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion punktuell vor. Besonders bei stoffformenden Prozessen gibt es kompliziert geformte Arbeitsorgane bzw. Arbeitsorgane, bei denen die entscheidenden Parameter durch die Gestalt bestimmt werden.

Bei komplexen Vorgängen in der Wirkpaarung werden zuweilen bereits in der Konzeptphase Simulationsmethoden genutzt, um bestimmte Lösungsvarianten zu verifizieren. Dabei wird allerdings die Prinzipalebene verlassen und es werden Gestaltungs-, Dimensionierungs- und Optimierungsschritte absolviert. Ein Beispiel dafür ist die Modellierung von Wärmeübergangsprozessen beim Schweißen von Kunststoffolie mittels FEM zur Beurteilung der Eignung eines bestimmten Schweißverfahrens /137/.

Viel öfter wird ein solcher Aufwand jedoch zur Optimierung bereits etablierter Wirkprinzipien betrieben, bei denen prinzipielle Alternativen gar nicht mehr zur Debatte stehen. Diese Fälle können der hier im Mittelpunkt stehenden Konzeptphase nach /121/ nicht zugeordnet werden. Rechneinsatz zur Gestaltsynthese in der Konzeptphase ist daher in der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion immer noch als seltener Ausnahmefall zu betrachten.

2.4.2.5. Rechnerunterstützung zum Bewerten und Auswählen

In der Konzeptphase finden Bewertungs- und Auswahlprozesse zu folgenden Lösungselementen statt:

Funktionsstrukturvarianten,

alternative Prinziplösungen zu jeweils einer Funktion bzw. Prinziplösungen, die mehrere Funktionen integrieren,

Prinzipstrukturvarianten.

Den Auswahlprozeß kann man dabei jeweils in Grob- und Feinauswahl zerlegen. Bei der Grobauswahl werden sog. K.o.-Kriterien herangezogen, um aus der Menge aller verfügbaren Lösungen die auszuwählen, die diesen Kriterien, deren Erfüllung zwingend notwendig ist, genügen. In erster Linie ist das für alle drei der oben genannten Bewertungsobjekte die Funktionserfüllung. Hinzu kommen weitere Kriterien, die sich je nach Aufgabenstellung auf unterschiedliche Aspekte der Wirkpaarung (weitere Merkmale der Funktionserfüllung) bzw. auf deren Beziehungen zu ihrer Umgebung beziehen können (Rand- und Kopplungsbedingungen). Gemeinsam ist ihnen, daß sie mittels einer zweiwertigen Aussage bewertbar sind (erfüllt oder nicht erfüllt) und so eine schnelle Entscheidung ermöglichen (Grob- und Feinauswahl).

Das Beispiel aus Tabelle 7 (Seite 35) zeigt aber, daß bereits bei der Beurteilung der Funktionserfüllung eine von der Aufgabenstellung abhängige Menge vielfältiger Randbedingungen mitbetrachtet werden muß. Darunter sind auch solche, die nicht ohne weiteres mit "wahr" oder "falsch" bewertet werden können. Die Beantwortung der Frage aus dem erwähnten Beispiel, ob ein bereits beschichtetes Gut noch umgeformt werden kann, hängt von mehreren Voraussetzungen ab, wie:

Elastizität der Beschichtung,

Art der Bindung zwischen zu beschichtendem Gut und Beschichtung,

Art und Höhe der Beanspruchung des Gutes durch das Umformwerkzeug.

Für die Quantifizierung dieser Kriterien fehlen in der Regel die Voraussetzungen (siehe Abschnitt 2.3.3.).

Das Problem verschärft sich noch bei der nachfolgenden Feinauswahl. Dabei wird der Grad der Erfüllung weiterer Anforderungen beurteilt, um aus der Menge der grob ausgewählten Lösungen die auszuwählen, welche eine Weiterentwicklung in Richtung Optimallösung ermöglichen. Für eine formale Bewertung der Kriterienerfüllung müssen folgende Voraussetzungen gegeben sein:

- Anzahl, Komplexität und Vernetzung der Kriterien dürfen nicht zu groß sein;
- die Relationen zwischen Anforderungserfüllung und entsprechenden Lösungsmerkmalen müssen hinreichend bekannt sein;
- zwischen den Kriterien muß eine realistische Gewichtung möglich sein.

Bei einem eng eingegrenzten Diskursbereich mit einer potentiellen Lösungsmenge, deren Elemente überwiegend gleiche Merkmalsarten (und lediglich unterschiedliche Ausprägungen) haben, bei denen zum großen Teil die gleichen Einsatzkriterien zu bewerten sind und für die der Einfluß bestimmter Merkmale auf die Kriterienerfüllung hinreichend bekannt ist, lassen sich dann Bewertungsmethoden (z.B. nach /10/) einsetzen. Übersichten über solche Bewertungsmethoden und Diskussionen zur Bewertung in der Konstruktion finden sich u.a. in /30, 95, 128, 145/.

Am günstigsten ist die Feinauswahl anhand von differenzierenden Merkmalen zur Funktionserfüllung möglich. Sie bilden auch den Kern der Beispiele für eine Rechnerunterstützung von Auswahl und Bewertung konstruktiver Lösungen (/18, 88, 104, 106, 114/. Allgemeine objektivierende Bewertungsmethoden werden dabei nur dann eingesetzt, wenn kein direkter Parametervergleich zur Herbeiführung einer Entscheidung möglich ist. Schwieriger ist das bei nicht quantifizierbaren Lösungseigenschaften. Ein Beispiel zur Unter-

stützung der Bewertung anhand qualitativer Angaben unter Berücksichtigung subjektiver Einflüsse (Bedienerqualifikation) wird in /151/ vorgestellt.

Von großer Bedeutung für die Feinauswahl zwischen Varianten ist die Abschätzung des Aufwandes den die jeweilige Variante während ihrer Realisierung und später in Funktion und im Recycling verursachen wird. Die Anwendung von *Kosteninformationssystemen* /45, 51/ ist jedoch in der Konzeptphase noch schwierig, da erst zu wenige konstruktive Details festliegen und die Zahl möglicher Variantenkombinationen innerhalb des Variantenbaums oft noch zu groß ist.

Die Problematik der *Bewertung verarbeitungstechnischer Prinziplösungen* wird in /64/ behandelt. Bezogen auf die oben genannten Voraussetzungen für eine objektive Bewertung von Lösungsvarianten ergeben sich für verarbeitungstechnische Prinziplösungen aufgrund der Komplexität der Relationen zwischen Arbeitsorgan und Verarbeitungsgut (Funktion) und zwischen Wirkpaarung und Umgebung (Randbedingungen) sowie aufgrund der Unbestimmtheit der Problemstellungen (siehe Abschnitt 2.3.3.) erhebliche Schwierigkeiten. Hinzu kommt, daß für die Erfüllung einer verarbeitungstechnischen Funktion zuweilen grundlegend verschiedene Prinzipie zur Auswahl stehen. Für deren Vergleich fehlen zumeist verlässliche und vergleichbare (möglichst quantifizierte) Merkmale. Maximal denkbar ist daher eine Rechnerunterstützung der Feinauswahl verarbeitungstechnischer Prinziplösungen durch

- Ermöglichung einer optimal präzisen Grobauswahl,
- übersichtliche Darstellung/ Gegenüberstellung der grobausgewählten Lösungen, möglichst in Form der Skizzen, um einen Vergleich bestmöglich zu unterstützen,
- Bereitstellung flexibler fakultativ nutzbarer Werkzeuge zur (begrenzten) Objektivierung der Bewertung, deren Benutzung durch einfache Handhabung und Anschaulichkeit (z.B. grafisch unterstütztes Einstellen von Wichtungen und Bewertungen) angeregt wird.

In diesem Sinne sei nochmals auf das Beispiel in /151/ verwiesen, bei dem ebenfalls versucht wurde, Unterstützung für schwer objektivierbare Bewertungsprozesse zu geben, indem unter einer bedienerfreundlichen Oberfläche entsprechende mathematische Methoden bereitgestellt werden, von deren unmittelbarer Bedienung der Benutzer jedoch entlastet wird.

2.4.2.6. Integrierende Systeme mit Unterstützung für die Konzeptphase

Wie in Abschnitt 2.4.2.1. bereits dargestellt gibt es Bestrebungen, den Konstruktionsprozeß informationsseitig in integrale Lösungen einzubinden. Auch bei umfassenden methodischen Ansätzen (vgl. Abschnitt 2.4.1.2) wurde an Computerunterstützung gedacht (z.B. /93/). In

Anhang 1 sind einige Beispiele integrierter Systeme aufgeführt, die Ansätze für eine Unterstützung der Konzeptphase enthalten. Der Grad der Realisierung ist unterschiedlich. Teils handelt es sich um Konzeptionen mit Umsetzung einzelner Teile, teils wurde das Grundgerüst phasenübergreifend umgesetzt mit Ansatzpunkten für einen weiteren Ausbau einzelner Komponenten.

Die Anwendungsproblematik allgemeiner Unterstützungssysteme für die Konstruktion, die so flexibel angelegt sind, wie die in Anhang 1 aufgeführten Beispiele, liegt in der Kluft zwischen allgemeinem und problemspezifischem Wissen. Beide sind zur Lösung eines speziellen Konstruktionsproblems notwendig. Allgemeines Konstruktionswissen, wie es in Form von Konstruktionsmethodik und Konstruktionsregeln (kostengünstiges, montagegerechtes, schweißgerechtes, leichtbaugerechtes, recyclinggerechtes, wartungs- und instandhaltungsgerechtes Konstruieren usw.) auch in der Ausbildung vermittelt wird, kann unabhängig vom späteren Anwendungsspektrum von Beginn an in solche Systeme integriert werden.

Schwieriger ist dies mit dem fachspezifischen Wissen der jeweiligen Branche oder Sparte des Maschinen- bzw. Fahrzeugbaus, in der mit dem System Konstruktionsaufgaben gelöst werden sollen. Dessen Umfang und Komplexität hängen ab

- vom Umfang der Überlagerung des Wissens aus dem allgemeinen Maschinenbau mit Fachwissen aus anderen Ingenieurdisziplinen (z.B. Verfahrenstechnik, Strömungstechnik usw.) und
- vom Grad der Spezialisierung bestimmter Konstruktionselemente, die in dieser Branche oder Sparte besonders im Mittelpunkt stehen und die wegen ihres Entwicklungsstandes und ihrer speziellen Ausprägung wesentlich tiefgründiger und umfangreicher erforscht sind, als innerhalb anderer Anwendungsbereiche (z.B. Zentrifugentechnik, Druck- und Spezialbehälterbau, Automobilbau).

Dieses Wissen ist nicht nur schwer zu akquirieren, der Anspruch, daß das System mehr bereitstellt, als der Konstrukteur ohnehin schon weiß (Akzeptanz, Effizienz), ist auch wesentlich schwerer zu erfüllen. Ein Ausweg wäre eine so leistungsfähige Akquisitionskomponente, daß der Konstrukteur bequem, weitgehend ohne fremde Hilfe und schnell sein eigenes Wissen in das System integrieren kann. Dies ist ein sehr hoher Anspruch an die Schnittstellengestaltung Mensch/ Rechner und an das Modell, das dem System zugrunde liegt, da es alle vorhersehbaren und eventuell nicht vorhersehbaren Wissens-elemente konsistent integrieren muß. Der notwendigen Flexibilität und Adaptivität steht dabei der Zwang zur Formalisierung gegenüber.

Akzeptanz und Effizienz für Konstruktionsunterstützungssysteme können ansonsten nur erreicht werden, wenn entweder das Fachwissen berücksichtigt ist, was in der Regel eine Spezialisierung des Systems bedingt (Fachspezifik), oder der Mangel an fachspezifischem Wissen im System durch um so größere Qualitäts- und/ oder Effizienzsteigerung bei einer oder mehreren Teiltätigkeiten des Konstruierens (hier des Konzipierens, siehe oben) kompensiert wird (Operationsspezifik, siehe Abschnitt 2.4.2.2.-2.4.2.5.).

Eine gewisse Sonderstellung besitzen Systeme, die zwar auf einen bestimmten Inhalt (z.B. bestimmte Maschinenelemente, bestimmte Baugruppen, Normen) spezialisiert sind, deren Inhalt jedoch von branchenübergreifendem Interesse ist und die dadurch Allgemeingültigkeit und fachspezifische Detailliertheit in sich vereinen. Ein solches System stellt das Normenbereitstellungssystem *NOBES* /133, 134/ dar. Die Tatsache, daß die Umsetzung nur beispielhaft für Schweißnormen realisiert wurde, weist auf den immensen Aufwand zur Einbeziehung umfangreicherer Normenbestände hin, weshalb in /134/ auch der Einsatz des Systems zur Erarbeitung von Normen angeregt wurde. Ist der Ort des Entstehens des Wissens identisch mit seiner Eingliederung in das System, läßt sich der Akquisitionsaufwand beherrschen. Dies stellt den Idealfall dar, führt aber zu entsprechend hohen Ansprüchen an die Akquisitionskomponente (siehe oben). Laut /22/ scheiterten Einsatz und Weiterentwicklung des Systems *NOBES* letztlich jedoch an organisatorischen und Akzeptanzproblemen bei der vorgesehenen Integration in die Normungsarbeit. Das weist auf einen weiteren schwierigen Aspekt beim Einsatz komplexer Unterstützungssysteme hin: Je umfangreicher und heterogener der potentielle Anwenderkreis eines fachorientierten aber dennoch übergreifenden Werkzeugs, um so höher sind Akzeptanzbarrieren und Anpassungsaufwand an organisatorische Abläufe und Strukturen.

Resümierend kann festgestellt werden, daß derzeit kein Konstruktionsunterstützungssystem bekannt ist, das die Suche nach verarbeitungstechnischen Prinziplösungen wirksam unterstützen könnte. Theoretisch anwendbar wären einige allgemein angelegte Systeme, denen jedoch für die notwendige Akzeptanz und Effizienz der fachspezifische Inhalt bzw. dessen Einbindbarkeit fehlt. Hilfreich sind verschiedene konzeptionelle Gedanken, die in solchen Systemen verwirklicht wurden und die in den Bemerkungen in Anhang 1 zum Ausdruck kommen.

2.4.3. Der Wissensspeicher Verarbeitungstechnik

Aufgrund der prinzipiellen Ähnlichkeiten von Verfahren und Funktionsbaugruppen in stoffverarbeitenden Maschinen unterschiedlicher Branchen entstand bereits früh der Gedanke, nicht nur die Wissensgebiete der Verarbeitungstechnik systematisch zu erforschen, sondern ebenso systematisch Lösungen aus den verschiedenen Branchen zu sammeln und die zugrundeliegenden *verarbeitungstechnischen Prinzipie* unter einer gemeinsamen Systematik zu speichern /65/. Entstanden ist eine umfangreiche Prinzipsammlung in Form von systematisch geordneten Formblättern, der "Wissensspeicher Verarbeitungstechnik" /12/.

Die Strukturierung des verarbeitungstechnischen Wissens, die im "Wissensspeicher Verarbeitungstechnik" angewendet wird, beruht auf der Einteilung der Verarbeitungsgüter in Gutgruppen und auf der Einteilung verarbeitungstechnischer Vorgänge in Vorgangsgruppen (siehe Tabelle 8). Sie wurde in /66/ begründet, wie auch Art, Inhalt und Bedeutung der zu speichernden Informationen.

Für eine systematische Suche muß der Benutzer zunächst die vorliegenden Verarbeitungsgüter entsprechenden Gutgruppen zuordnen, die einzelnen zu realisierenden Verarbeitungsvorgänge innerhalb des Prozesses bestimmen und sie ebenfalls in die Klassifikation der Vorgangsgruppen einordnen. Beide Klassifizierungen bilden eine Matrix, aus der man die Nummernschlüssel für die entsprechenden Ordner erhält, in denen sich die jeweiligen Lösungsblätter befinden. Diese Ordner sind je nach Umfang des gespeicherten Wissens noch weiter untergliedert. Die Ordnungskriterien für diese Feingliederung sind nach uneinheitlichen Aspekten gewählt, z.B. nach Energiearten, nach Bewegungsarten der Arbeitsorgane oder nach typischen Merkmalen des Ein- oder Ausgangszustandes der Verarbeitungsgüter.

Gutgruppen	Vorgangsgruppen
- hochviskos-pastöses Gut	- Trennen
- niedrigviskoses Gut/Flüssigkeiten	- Fügen
- Gase/Aerosole	- Formen
- Schüttgut	- Speichern
- Stückgut	- Dosieren
- Strang- und Fadenformgut	- Fördern
- Flachformgut	- Ordnen

Tabelle 8: Gutgruppen und Vorgangsgruppen nach /66/

In den Speicherfeldern finden sich:

- Lösungsprinzipie in Form von Skizzen mit kurzen Erläuterungen, Angaben über die Art und bestimmte Eigenschaften der Arbeitsorgane
- Anwendungsbereiche, Einsatzkriterien;
- Konstruktionsrichtlinien, Berechnungsvorschriften zur Gestaltung der Arbeitsorgane unter Berücksichtigung des Verarbeitungsverhaltens;

Weiterhin enthält der Wissensspeicher noch eine weitere Kategorie "Kennwerte und Kenngrößen", in der entsprechende Werte gesammelt sind, die für verarbeitungstechnische Vorgänge wichtig sind. Ergänzt werden diese Angaben teilweise durch entsprechende Literaturhinweise.

Es besteht somit die Möglichkeit, sich diejenigen Varianten aus dem Lösungsfundus auszuwählen, die am besten den konkreten Bedingungen entsprechen, anhand der Daten die Realisierbarkeit unter den gegebenen Bedingungen bzw. die zu schaffenden Bedingungen, erzielte Ergebnisse, Wirkungen sowie Vor- und Nachteile der jeweiligen Variante für den konkreten Anwendungsfall abzuschätzen bzw. sich Anregungen zu holen. Bereits losgelöst vom Wissensspeicher erfolgt dann die Kombination und Anpassung der einzelnen Teilvergänge unter Zuhilfenahme der gewonnenen Daten und des eigenen schöpferischen Denkens.

Dieses Vorgehen ist aber nur dann möglich, wenn es sich um elementare verarbeitungstechnische Vorgänge handelt, die also eindeutig einer Vorgangsgruppe zugeordnet werden können. Komplexe Vorgänge müssen vom Benutzer des Wissensspeichers erst in Einzelschritte zerlegt werden, für die dann gesondert die Suche nach verarbeitungstechnischen Prinzipien erfolgt. Für eine solche Zerlegung in Teilschritte sind jedoch meist mehrere Varianten möglich, wobei es jedoch vorkommen kann, daß nicht alle Varianten in Betracht gezogen werden.

Die systematische Recherche ist also nur in Richtung Aufgabe, Gutgruppe, Lösung möglich. Nach Anwendungsanalogien für bestimmte Arbeitsorgane beispielsweise ist schwierig zu recherchieren. Allgemeiner formuliert, ist die Recherche nach Begriffen und Größen unabhängig von ihrer Zuordnung zu bestimmten Vorgängen (also Lösungsfeldern) nicht möglich.

Die Recherche nach Gut- und Vorgangsgruppen ist insofern günstig, daß der Benutzer zu einer Abstraktion der Aufgabenstellung gezwungen wird. Dazu wird er aber durch den Wissensspeicher nicht unmittelbar befähigt. Gelingt ihm die Abstraktion nicht oder nur bedingt richtig, bleibt ihm der Wissensspeicher weitestgehend verschlossen, das Lösungsfeld

wird eingeengt, die Recherche verläuft unzweckmäßig oder in die falsche Richtung. Durch die Art und den beträchtlichen Umfang des Wissensspeichers kann die Recherche nach Querverbindungen zwischen den Lösungsfeldern kaum oder gar nicht unterstützt werden.

Die Arbeit mit dem Wissensspeicher ist also insgesamt zu wenig flexibel, zu zeit-, material- und arbeitsaufwendig. Außerdem kann höheren Ansprüchen an Aktualität nur schwer entsprochen werden. Das gespeicherte Wissen kann jedoch durch seinen Inhalt, Umfang, Praxisbezug und gleichzeitig branchenübergreifenden Charakter unter den Umständen einer flexibleren Nutzung für die Konzeptphase der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion von großem Nutzen sein.

2.5. Schlußfolgerungen aus der Analyse des Ist-Standes

Wie in den vorangegangenen Abschnitten dargelegt wurde, sind die derzeit existierenden Mittel nicht ausreichend für eine effiziente und flexible Suche nach verarbeitungstechnischen Prinziplösungen. Ein entsprechendes rechnergestütztes Beratungssystem kann und soll diese Lücke schließen. Um ein solches Beratungssystem, nachfolgend „Beratungssystem Verarbeitungstechnik“ genannt, implementieren zu können, ist es nicht ausreichend, das bereits gesammelte Wissen mittels eines vorhandenen Standardwerkzeuges zu erfassen. Dazu ist weder die bisherige Gliederung dieses Wissens geeignet, noch ist damit eine ausreichende Anpassung an die Arbeitsweise des Konstrukteurs erreichbar. Auch vorhandene Konzepte rechnerbasierter Konstruktionsunterstützungssysteme allgemeiner oder spezieller Art lassen sich nicht einfach übernehmen, da die Domäne der Verarbeitungstechnik sehr heterogenes Wissen beinhaltet. Die Zahl möglicher unterschiedlicher Fragestellungen, die an das System gestellt werden können, ist sehr groß.

Die zur Schaffung eines Beratungssystems Verarbeitungstechnik zu lösende wissenschaftliche Aufgabe besteht deshalb darin,

- die Systematik zur Sammlung und Speicherung verarbeitungstechnischen Wissens so zu überarbeiten und zu erweitern, daß eine effiziente, funktionsorientierte Lösungssuche möglich wird;
- ein flexibles, problemangepaßtes Modell für eine computergestützte Abbildung des Wissens zu erarbeiten;
- basierend auf diesem Modell ebenso flexible, ingenieurgerechte Recherchemöglichkeiten zu konzipieren und

- Vorschläge für die Umsetzung dieses Konzepts mittels adäquater Softwaretechnologien zu machen.

3. Anforderungen an eine Rechnerunterstützung der Prinzipphase der Verarbeitungsmaschinenkonstruktion

3.1. Funktionsbestimmung

3.1.1. Typisierung der mit dem System zu lösenden Fragestellungen

Die genannten Nachteile des Wissensspeichers Verarbeitungstechnik lassen sich durch Abbildung des gespeicherten Wissens in einem rechnerbasierten Beratungssystem abbauen.

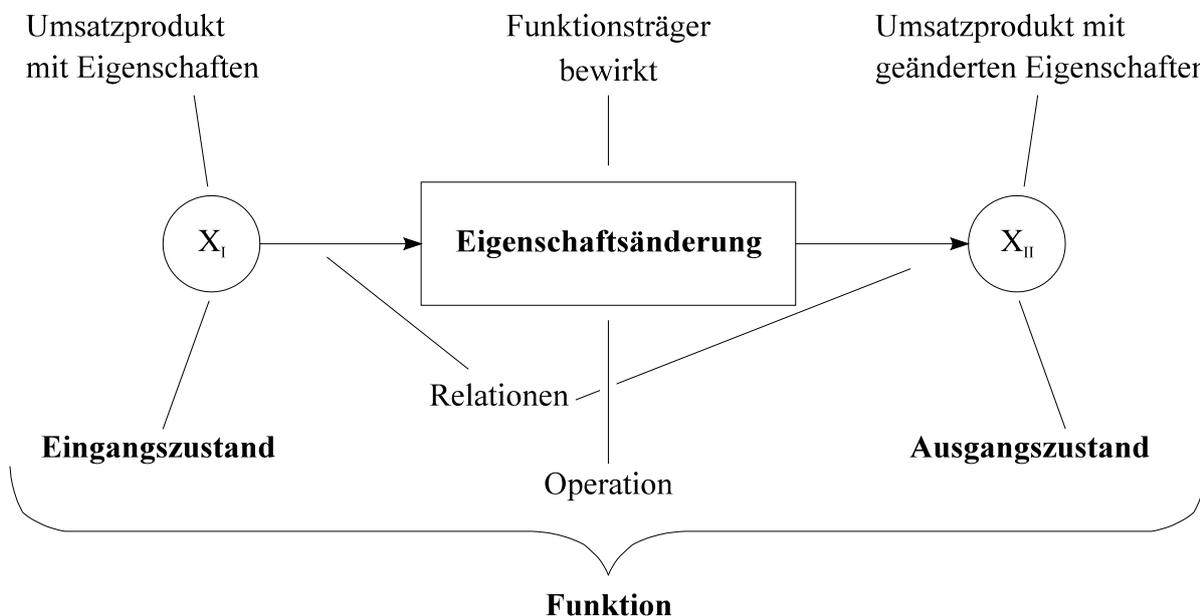


Abbildung 6: Funktionsbeschreibung nach /45/

Hauptzweck eines solchen im Folgenden „Beratungssystem Verarbeitungstechnik“ genannten Systems ist die Unterstützung des *Informierens*. Um ein solches Unterstützungsmittel konzipieren zu können, wurden zunächst die auftretenden verarbeitungstechnischen Problemstellungen untersucht, um die Ausgangs- bzw. Zielgrößen für eine Recherche zu ermitteln. Die unterschiedlichen Fragestellungen lassen sich anhand einer systemtechnischen Darstellung des Verarbeitungsvorganges darstellen. Diese ähnelt allgemeinen Darstellungen zur *Funktion* technischer Einrichtungen, wie z.B. in /45/ (siehe Abbildung 6). Funktion wird dabei als "lösungsneutrale Formulierung des gewollten Zwecks eines Produkts verstanden. Sie drückt die Zustandsänderung eines Umsatzprodukts aus, welche durch den Funktionsträger bewirkt wird" (/45/).

Das "Umsatzprodukt" ist bei verarbeitungstechnischen Vorgängen das Verarbeitungsgut. Es liegt zunächst im Zustand 1 (Eingangszustand) vor, auch mehrere Verarbeitungsgüter sind möglich, z.B. als Ausgangszustand vor einem Fügevorgang. Zweck der Wirkpaarung (vgl. Abbildung 3) ist die Überführung in den Zustand 2, wobei im Ergebnis wiederum mehrere Verarbeitungsgüter vorliegen können, z.B. nach einem Trennvorgang.

Dabei wird über den Funktionsträger (Arbeitsorgan) auf bestimmte Art und Weise, beschrieben durch das verarbeitungstechnische Prinzip, eine Eigenschaftsänderung herbeigeführt. Diese Eigenschaftsänderung läßt sich auf drei Arten beschreiben:

- durch die Eigenschaftsnamen und die Eingangs- und Ausgangswerte für diese Eigenschaften (implizite Beschreibung der Eigenschaftsänderungen),

*Beispiel: Durchmesser eines Teigstranges im Eingangszustand = 100 ... 105
 Durchmesser des Teigstranges im Ausgangszustand = 95*

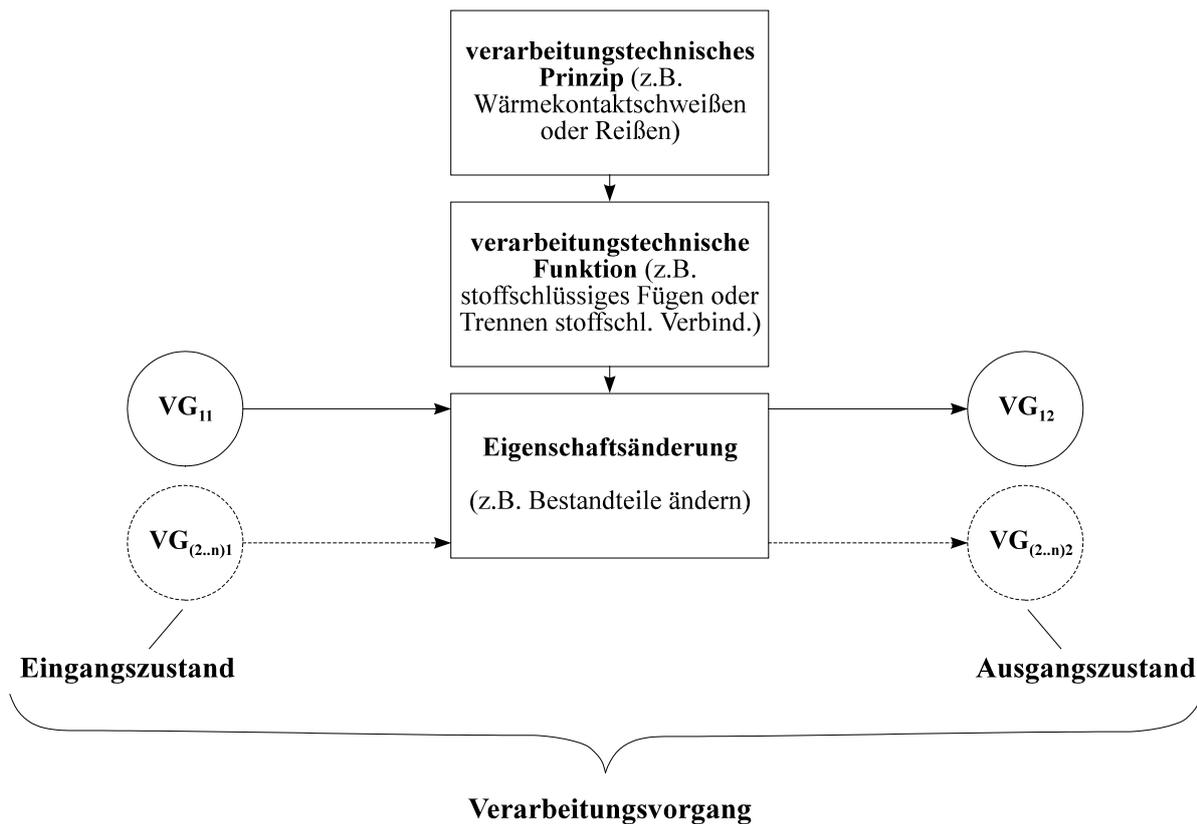
- durch die Eigenschaftsnamen und die Werte ihrer Änderungen bzw. qualitative (verbale) Umschreibungen dafür (explizite Beschreibung der Eigenschaftsänderungen),

*Beispiel: Durchmesseränderung = -10 ... -5
 oder "Durchmesser auf definierten Betrag verringern"*

- begriffliche Beschreibung der vollzogenen *Veränderung* (als Vorgang) in Form eines Begriffs für die verarbeitungstechnische Funktion,

Beispiel: "Umformen" oder "Trennen".

An den Beispielen ist bereits zu sehen, daß die begriffliche Beschreibung der verarbeitungstechnischen Funktion nicht immer in dem Maße lösungsneutral ist wie die beiden anderen Beschreibungsformen. Sie kann bereits den grundlegenden Weg zur Erreichung des Verarbeitungszieles beinhalten. Dennoch bietet sie bei entsprechender Systematisierung einen schnelleren und für viele Verarbeitungsaufgaben ausreichend sicheren Weg für eine erfolgreiche Lösungssuche (vgl. Abschnitt 4.3.1.). Sie darf dazu jedoch nicht wie bei bisher üblichen Systematiken (z.B. /2, 11, 12/) zu stark mit Lösungsaspekten vermengt sein (z.B. ist "Trennen stoffschlüssiger Verbindung" im Sinne der Prinzipsuche noch klar *zielorientiert*, während "mechanisches Trennen" bereits eine Eingrenzung der prinzipiell genutzten *Mittel* bedeutet).



$VG_{(1..n)1}$... Verarbeitungsgüter im Eingangszustand

$VG_{(1..n)2}$... Verarbeitungsgüter im Ausgangszustand

Abbildung 7: Komponenten des verarbeitungstechnischen Vorganges im Sinne von gegebenen und gesuchten Größen für die Prinzipsuche

Aus diesen Beschreibungskomponenten läßt sich die in Abbildung 7 gezeigte Darstellung für verarbeitungstechnische Vorgänge ableiten. Die verarbeitungstechnische Funktion umfaßt dabei nicht wie in Abbildung 6 das dort sog. "Umsatzprodukt", also die Verarbeitungsgüter, denn eine verarbeitungstechnische Funktion (repräsentiert durch den entsprechenden Begriff) läßt sich in der Regel auf mehrere Klassen von Verarbeitungsgütern anwenden, ähnlich wie mathematische Funktionen bestimmte Wertebereiche überstreichen.

Aus der Kombination dieser Komponenten, ergeben sich die in Tabelle 9 aufgeführten Fragetypen.

Mit dem System muß es möglich sein, alle (gegebenen) Eingangsinformationen verschieden kombiniert und auf beliebigem Abstraktionsniveau zu deklarieren und in Abhängigkeit davon die jeweilige Lösungsmenge zu erhalten.

gegeben / gesucht					Inhalt/ Bemerkungen
VG1	VG2	### VG	Fkt.	Prinz	
X	(X)	X	X	?	gesucht sind Prinziplösungen für Realisierung vorgegebener Veränderungen an vorgegebenem Verarbeitungsgut, ev. unter Ausschluß bestimmter (unerwünschter) Eigenschaftsänderungen
X			X	?	gesucht: Prinziplösungen, gegeben: Verarbeitungsgut und bereits vorgangsmäßig vorgesehene Veränderung (z.B. Beschichten von Papier), typischste Fragestellung für schnelle Lösungssuche
X		X	(?)	?	gegeben: Eingangszustand und zu erzielende Eigenschaftsänderungen, gesucht: mögliche Wege zur Umsetzung (Prinzip), Frage nach Funktion ist eher theoretischer Natur; gute Abstraktion der Aufgabe -> große Lösungsmenge
X	X		(?)	?	wie zuvor, jedoch noch abstrakter, geeignet für automatisches Verfolgen von Funktionsketten
(X)				X?	Suche nach Detailinformationen zu einem bekannten Prinzip
?	?	?	?	X	Suche nach Informationen zum Einsatzfeld für ein bekanntes Prinzip
X?	(X?)				Suche nach Informationen über Verarbeitungsgüter (Kennwerte)
		X		?	z.B. Suche alle Prinzipie, die Farbe ändern (eher theoretisch/ Lehre)
			X	?	z.B. Suche alle Prinzipie zum Umformen (eher theoretisch/ Lehre)

VG1 ... Verarbeitungsgüter im Eingangszustand; VG2 ... Verarbeitungsgüter im Ausgangszustand;
 ###VG ... Eigenschaftsänderungen; Fkt. ... verarbeitungstechnische Funktionen;
 Prinz. ... verarbeitungstechnische Prinzipie; X ... gegeben; ? ... gesucht

Tabelle 9: Typen von Fragestellungen, die mit dem Beratungssystem Verarbeitungstechnik beantwortet werden sollen

3.1.2. Anforderungen an Funktionalität und Dialoggestaltung

Durch eine flexible, problemrelevante und anschauliche Bereitstellung entsprechender Informationen sollen die Schritte

- Festlegung der verarbeitungstechnischen Funktion(en),
- Finden möglicher und Auswahl geeigneter Prinziplösungen und
- Anordnung der gefundenen Lösungen in einer geeigneten Topologie zum *innermaschinellen Verfahren*

so begleitet werden, daß auch unkonventionelle Lösungen in Betracht gezogen werden, die vorgeschlagenen Lösungen bereits konkrete Ansätze und Hinweise für die konstruktive Um-

setzung enthalten und anhand von Bemerkungen und Kennzahlen eine Grobeinschätzung ihrer Eignung für den jeweiligen Fall möglich ist. Zum Auffinden der für das jeweilige Problem *relevanten Informationen* ist die vorausgehende *Analyse* der Problemstellung wichtig, also sollte auch diese durch das System unterstützt werden. Ebenso verhält es sich mit der Lösungsauswahl, die auf einer entsprechenden *Bewertung* basiert. Die letztlich selektierten Informationen dienen der *Lösungssynthese*. Also sollte zumindest der Übergang zu nachfolgenden Synthesephasen in der Systemkonzeption berücksichtigt werden. Zum Inhalt der genannten *Haupttätigkeiten beim Konzipieren* siehe Tabelle 5, Seite 31.

Problemlösungsmethoden zum automatisierten Vorschlagen von Lösungen sind innerhalb des Forschungsgebietes der Künstlichen Intelligenz vorhanden (siehe z.B. /125/), lassen sich aber in einem Beratungssystem Verarbeitungstechnik kaum anwenden, da

- zu viele Parameter zu berücksichtigen sind,
- zu unsichere Parameter verarbeitet werden müßten,
- zu viel Hintergrundwissen für eine erfolgreiche Lösungsauswahl nötig ist,
- ein vorgebildeter Benutzer demnach schneller und zuverlässiger auswählen dürfte, vorausgesetzt er bekommt eine qualifizierte Vorauswahl angeboten.

(vgl. Abschnitt 2.3.)

Das bedeutet für die Konzeption eines "Beratungssystems" weiterhin, daß die Arbeit mit dem System keinem strengen Regime unterliegen, die Benutzung nicht durchgängig an einen vorgegebenen Ablauf gebunden sein sollte. Dagegen soll das Angebot an Informationen (Inhalt) mit einem *Angebot* an Methodik verknüpft werden (vgl. auch /93/). Im vorliegenden Fall stellt die Möglichkeit der Recherche auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus ein Angebot zur Abstraktion der Aufgabenstellung dar. Die wahlweise Berücksichtigung verschiedener Aspekte bei der Lösungssuche ist z.B. Angebot und Hilfe zur Analyse der Aufgabenstellung. Es soll kein vordergründiger *Zwang* zur *vollständigen* Eingabe von Anfangsinformationen bestehen, so daß eine schnelle, zielgerichtete Suche nicht durch Formalismen behindert wird. Die dabei entstehende Gefahr des "Vergessens" von Suchkriterien oder des Einschlagens einseitiger Suchrichtungen soll durch eine übersichtliche Struktur und flexible Anfragemöglichkeiten kompensiert werden, die "zum Experimentieren einladen".

Der Anteil verbaler Suchkriterien wird wegen der Funktionsbezogenheit der Prinzipsuche überwiegen. Damit sind Probleme durch begriffliche Unschärfen und Doppeldeutigkeiten verbunden, die durch ein geeignetes Systemkonzept abgefangen oder kompensiert werden müssen.

In Abschnitt 2.3.4. wurde außerdem auf die besondere Bedeutung grafischer Darstellungen verwiesen. Psychologen und Konstruktionswissenschaftler gehen heute von getrennt vorliegendem Wort- und Bildgedächtnis aus, die jedoch eng miteinander vernetzt sind: Der Zugriff auf die bildliche Darstellung erfolgt über eine sog. Bildmarke (Symbol), aber auch über eine Wortmarke (Begriff). Beide Marken verweisen auch auf das verbale Modell ("Wortkonzept"), so daß verbale und bildliche Darstellung über diese Marken miteinander verknüpft sind. Eine plausible Hypothese, die experimentell bestätigt werden konnte, besagt, daß gute Problemlöseleistungen beim Konstruieren mit dem häufigen Wechsel zwischen bildlichen und begrifflichen Repräsentationen verbunden sind (/39, 58/). Die Rolle der erwähnten Wort- und Bildmarken kommt dabei der Anwendung des Rechners für die Unterstützung der Lösungssuche sehr entgegen: Icons und Begriffe sind die typischen Elemente moderner Benutzeroberflächen. Eine Suche direkt auf der Faktenebene ist ebensowenig angebracht wie die Suche anhand von Gestaltmerkmalen. Erstere wird der Komplexität der Anforderungen (Suchkriterien) nicht gerecht, die Suche nach Gestaltmerkmalen wiederum setzt bereits den Schlußfolgerungsschritt von den Anforderungen zu bestimmten Lösungs- (Gestalt-) Merkmalen bzw. eine entsprechende Assoziation voraus. Diese könnte mangels genügender Abstraktion den Lösungsraum schon wieder unzulässig einschränken. Statt dessen erscheint ein Einstieg über klassifizierende Begriffe, unterstützt durch entsprechende Icons als zweckmäßig, um eine benutzerbestimmte Grobauswahl zu unterstützen. Diese fassen Komplexität zusammen (vgl. Abschnitt 2.3.4.).

Grafische Informationen besitzen aber nicht nur für die Lösungssuche eine besondere Bedeutung, sondern sind vor allem wesentliche Bestandteile der Informationen zu den einzelnen verarbeitungstechnischen Prinzipien. Einer Auflösung dieser Informationen in ihre Bestandteile sind Grenzen gesetzt, da bestimmte Zusammenhänge nicht detailliert analytisch beschreibbar sind oder der Aufwand dazu zu hoch wäre, diese Zusammenhänge aber den Wert der Informationen mitbestimmen. Dies gilt z.B. für die Gestaltung und Anordnung von Arbeitsorganen. Grafische Informationen, die auf real existierenden Lösungen basieren, haben daher einen hohen Stellenwert, da sie diese Zusammenhänge zumeist anschaulich abbilden und einem mit dem Problem vertrauten Nutzer am ehesten eine Beurteilung der Eignung der Lösung für sein Problem ermöglichen. Außerdem unterstützen sie bei einem zum großen Teil "in Bildern denkenden" Problemlöser wie dem Konstrukteur am besten assoziatives Denken und unterstützen somit ein kreatives Arbeiten.

Mit den vorangegangenen Ausführungen sollte die Art der Unterstützung der Tätigkeiten *Analysieren* und *Informieren* umrissen werden. Die Probleme, die bei der *Bewertung* verarbeitungstechnischer Prinzipie auftreten und die ihre Ursache in der Komplexität verarbeitungstechnischer Probleme und der Komplexität und Unbestimmtheit der zu berücksichtigenden Randbedingungen haben, wurden bereits im Abschnitt 2.4.2.5. angedeutet. Schlußfolgernd daraus wurde entschieden, die Lösungsauswahl dem Nutzer zu überlassen und dem Entscheidungsprozeß keine automatisierten Bewertungsmechanismen zu unterlegen. Die Lösungsbewertung durch den Nutzer soll jedoch durch folgende zwei Maßnahmen unterstützt werden:

1. Durch die Möglichkeit einer Übersichtsdarstellung der grobausgewählten Lösungen in Form einer gemeinsamen (auf einen Blick zu übersehenden) Zusammenstellung der zugehörigen Skizzen wird eine vergleichende Bewertung der Lösungen durch einen konstruktiv vorgebildeten Nutzer (Zielgruppe) in geeigneter Weise unterstützt.
2. Als optionale Erweiterung der Entscheidungsunterstützung soll ein allgemeines Bewertungswerkzeug bereitgestellt werden, das die Feinauswahl zwischen den letztlich übriggebliebenen Lösungen erleichtert, deren Anzahl nach den vorangegangenen Schritten voraussichtlich hinreichend klein sein wird. Grundlage dessen soll die allgemeine Bewertungsmethode der Nutzwertanalyse sein, deren Handhabbarkeit und Anschaulichkeit jedoch durch grafische Manipulations- und Visualisierungsmöglichkeiten stark aufgewertet werden soll. Denkbar ist die spätere Erweiterung um andere Bewertungsmethoden (/10/), die je nach Neigung und Vorbildung des Nutzers alternativ dazu benutzt werden können. Die zu bewertenden Kriterien und deren Gewichtung müssen einfach editierbar sein.

Eine direkte Unterstützung von *Syntheseschritten* soll aufgrund des Hauptanliegens des Systems (Information) und des damit bereits verbundenen Entwicklungs- und Implementierungsaufwandes in diesem ersten Grundkonzept nicht berücksichtigt werden. Eine indirekte Unterstützung der Gestaltsynthese erfolgt über den Weg der Bereitstellung der Prinzipskizzen (vgl. Abschnitt 2.4.2.4.). Für eine spätere Kopplung an CAD sollen diese jedoch bereits in einem von möglichst vielen CAD-Systemen einlesbaren und auf unterschiedlichsten Plattformen erzeugbaren und lesbaren Format (z.B. EPS) eingebunden werden. Ebenfalls in einer späteren Ausbaustufe ist ein Editor vorzusehen, der die Synthese von Funktionsstrukturen und mittels der gefundenen Prinziplösungen die Darstellung von innermaschinellen Verfahren in Form von Blockschaltbildern erlaubt. Damit ist jedoch eine weitere komplexe Problematik verbunden: der Test von Schnittstellenbedingungen zwischen aufeinanderfolgenden

Verarbeitungsschritten (Teilfunktionen), Tests zur Erfüllung der Gesamtfunktion und der festgelegten Randbedingungen und Möglichkeiten der Funktionsintegration durch geeignete Prinzipauswahl. Dieser Problembereich wird wegen seines Umfangs in dieser Arbeit ebenfalls nicht erschöpfend behandelt. Allerdings muß der zu wählende Systemansatz eine diesbezügliche Erweiterung gestatten. Entsprechende Voraussetzungen erfüllt die Modellierung mittels Regeln (z.B. zur Implementierung der genannten Tests, von Variationsmechanismen und zum Vorschlagen bevorzugter Suchrichtungen im Sinne der Funktionsintegration; siehe Abschnitt 4.3.5.) sowie die Abbildung verarbeitungstechnischer Funktionen als Eigenschaftsänderungen (siehe Abschnitt 4.3.1.3. und 4.3.2.3.), die eine automatisierte Aneinanderreihung von Verarbeitungsschritten ermöglicht.

3.2. Inhaltliche Abgrenzung

Vorrangiges Anliegen des Beratungssystems Verarbeitungstechnik ist die Unterstützung des Konstrukteurs bei der Suche nach dem verarbeitungstechnischen Prinzip. Dabei wird vom Vorliegen einer Konstruktionsaufgabe ausgegangen, die aus in den Abschnitten 1. und 2.1. aufgeführten Gründen zu der Notwendigkeit einer partiellen oder kompletten Neukonstruktion verarbeitungstechnischer Funktionsgruppen führt.

Das abzubildende Wissen läßt sich zunächst in zwei grundlegende Kategorien einteilen:

1. spezifisches (Fakten-) Wissen zu den einzelnen Prinziplösungen einschließlich prozeßrelevanter Informationen über die beteiligten Verarbeitungsgüter (Dieses Faktenwissen ist in der Regel das Ziel einer Recherche.)
2. Wissen über Zusammenhänge zwischen diesen Fakten, über ihre Zuordnung zu Informationsmengen, ihre Relevanz für das Problem, ihren Bezug im Modell. (Damit wird die Problemspezifikation ermöglicht, Wissen über allgemeine Zusammenhänge abrufbar und somit letztlich die Bildung und Veränderung einer Lösungsmenge im Sinne einer Grobauswahl unterstützt.)

Für beide Wissenskomponenten ergibt sich die Frage nach der Wissensbreite, die berücksichtigt werden soll, also nach dem zu beschreibenden Diskursbereich.

Die abzubildende Wissensdomäne wird durch den Gegenstand der Wirkpaarungstechnik innerhalb der Verarbeitungstechnik abgegrenzt. Unterschiede der Verarbeitungstechnik und die teilweise fließenden Übergänge insbesondere zur Fertigungs- und Verfahrenstechnik sind in /66/ ausführlich erläutert. Bereits beim Wissensspeicher Verarbeitungstechnik bestand theoretisch das Problem, daß bestimmte Verfahren beider Nachbardisziplinen der Systematik

des Speichers formal zuordenbar sind. Vorgänge wie Trennen oder Fügen geformter Güter (Werkstücke) sind z.B. ebenso Gegenstand der Fertigungstechnik, wie bestimmte Vorgänge der Veränderung ungeformter Güter in die Verfahrenstechnik hineinreichen. Solche Vorgänge mit dem Verweis auf die jeweilige Nachbardisziplin gänzlich zu ignorieren, verbietet sich aus zwei Gründen:

1. birgt dies aufgrund der z.T. fließenden Grenzen die Gefahr der Unvollständigkeit in sich, da betreffende Prinziplösungen eventuell adaptierbar sind (z.B. Bearbeitungsverfahren aus der Fertigungstechnik für Güter, die in der Fertigungstechnik üblicherweise nicht betrachtet werden),
2. beinhalten bestimmte komplexe Verarbeitungsvorgänge Teilvorgänge aus diesen Fachbereichen, für deren Realisierung mögliche Varianten auf diese Art ausgespart blieben, so daß keine Abbildung des vollständigen Problems mit dem System möglich wäre und die Recherche nach Topologievarianten für den Gesamtprozeß nur bruchstückhaft erfolgen könnte (z.B. Probleme beim Entspeichern und Fördern von Schüttgütern - Lösungen aus der Verfahrenstechnik).

Andererseits würde es den Rahmen der Machbarkeit sprengen, das über den langen Entwicklungszeitraum beider Nachbardisziplinen entstandene Fachwissen ebenfalls zu integrieren.

Auch in dieser Frage ist wiederum die Funktion des Beratungssystems entscheidend. Anliegen kann es nicht sein, dem jeweiligen Spezialisten auf einem bestimmten Fachgebiet neueste Informationen für die Problemlösung innerhalb dieses seines Gebietes zu liefern. Zielgruppe ist vielmehr die große Gruppe von Verarbeitungsmaschinenkonstrukteuren, die unter dem Druck wechselnder Anforderungen nach Grundideen für ein für sie weniger vertrautes Problem suchen bzw. für diejenigen, welche branchenunübliche Wege zur Erschließung neuer Entwicklungspotentiale beschreiten wollen. Die Triebkräfte und die Relevanz beider Motivationen wurde in den Abschnitten 1. bis einschließlich 2.3. diskutiert.

Um die genannten widersprüchlichen inhaltlichen Anforderungen im Sinne des Anliegens des Systems zu erfüllen, wird folgender Kompromiß vorgeschlagen:

Das einzubeziehende Faktenwissen über Verarbeitungsgüter und verarbeitungstechnische Prinziplösungen muß sich auf die Hauptanwendungsgebiete der Verarbeitungstechnik konzentrieren. Spezifika der Metallver- und -bearbeitung, Kunststoffverarbeitung sowie der chemischen, thermischen und mechanischen Verfahrenstechnik können nicht adäquat berücksichtigt werden. Überlappungen ergeben sich insbesondere dort, wo Stoffe und Verfahren, die

typischerweise Hauptgegenstand dieser Disziplinen sind, Bestandteil komplexer Verarbeitungsvorgänge sind, die ansonsten aber nicht von diesen dominiert werden. Zahlreiche Beispiele hierfür liefert die Verpackungstechnik, die naturgemäß unterschiedlichste Materialien in entsprechend bedingten Verarbeitungsschritten zusammenführt. Derartige Prinziplösungen müssen berücksichtigt werden, die Darstellung soll sich jedoch auf die reine Prinzipdarstellung und Hauptanwendungskriterien beschränken. Bei der Darstellung der theoretischen Grundlagen, Berechnungsvorschriften u.ä., die ansonsten eine sinnvolle Ergänzung zu den Prinzipinformationen zwecks Bewertung, Gestaltung und Auslegung sind, muß an diesen Stellen auf Fachliteratur der Nachbardisziplinen verwiesen werden.

Dementsprechend müssen Prinziplösungen aus den Nachbardisziplinen der Systematik des Systems zuordenbar sein, denn ihre Relevanz innerhalb komplexer Verarbeitungsvorgänge oder als adaptierbare Lösung entscheidet sich gerade am funktionalen Aspekt, also an der Art der gewünschten Eigenschaftsänderung. Dieser Aspekt wird hauptsächlich in diesem "Metawissen" widergespiegelt, weniger in dem die Wirkungsweise und den Aufbau beschreibenden Faktenwissen. Ausgenommen bleiben auf diese Weise Lösungsklassen, die nach ihrer Hauptfunktion chemische oder strukturelle Veränderungen im Verarbeitungsgut herbeiführen sollen und die nicht den Klassen Fügen oder Trennen zuzuordnen sind.

Für das Faktenwissen ergibt sich weiterhin die Frage nach der notwendigen Tiefe, die abgebildet werden soll, also nach der Detailliertheit der Beschreibung der Prinziplösungen und ihrer Einsatzbedingungen. Sie ergibt sich aus den Anforderungen (siehe vorheriger Abschnitt) und ähnelt dem Inhalt der des Wissensspeichers Verarbeitungstechnik, der den Grundstock der zu sammelnden Informationen liefert. Inhalt und Form dieser Informationen wurden bereits in Tabelle 3 (Seite 23) dargestellt und müssen daher an dieser Stelle nicht nochmals aufgeführt werden. Die Grobauswahl erfolgt nach funktionellen Aspekten, welche im Metawissen repräsentiert sind. Die in der Faktenbasis enthaltenen Informationen sind demnach nur noch in zwei Gruppen einzuteilen:

- a) Informationen für die Feinauswahl und
- b) Informationen zur reinen Lösungsbeschreibung als Grundlage für die Weiterarbeit im konstruktiven Entwicklungsprozeß.

Informationen für eine einfache automatisierte Feinauswahl müssen folgende Bedingungen erfüllen:

- hohe Verlässlichkeit,
- Gültigkeit möglichst für alle denkbaren Anwendungsfälle,

- Bestimmbarkeit für den überwiegenden Teil aller vergleichbaren Prinziplösungen,
- logische oder quantitative Werte, qualitative Angaben müssen einen übergreifenden Gültigkeitsbereich haben und einheitlich skalierbar sein.

Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, ist eine Automatisierung nicht möglich bzw. handelt es sich um die Verarbeitung unscharfen Wissens. Die derzeit gesammelten und im Beratungssystem umzusetzenden Informationen genügen diesen Bedingungen überwiegend nicht. Ursache dafür ist zum einen die in Abschnitt 2.3.3. bereits behandelte Unbestimmtheit verarbeitungstechnischer Informationen, zum anderen wurde mangels Möglichkeiten für eine automatisierte Feinauswahl bisher auf die explizite Darstellung von für die Bewertungen geeignete Informationen verzichtet. Eine Ausnahme bildet die mit dem jeweiligen Prinzip erreichbare Produktivität (Ausbringung), die jedoch nur für wenige Prinziplösungen angebar und schwer verifizierbar ist, da sie meist stark von Randbedingungen und der späteren technischen Umsetzung und somit auch vom jeweiligen Stand der Technik abhängig ist. Eine weitere Ausnahme bilden nur für bestimmte Teildomänen vorhandene Informationen. Das sind zum einen quantitative Angaben, die nur für diesen Teilbereich Relevanz besitzen und die daher spezieller Auswertemechanismen, zugeschnitten auf diesen Bereich, bedürfen. Sie müssen für diese Prinzipie erfassbar und explizit darstellbar sein, um später solche Auswahlhilfen implementieren zu können. Zum anderen wurden für bestimmte Gruppen von Prinzipien Einschätzungen bezüglich ihrer Einsetzbarkeit getroffen und in qualitativen Wertungen abgelegt (z.B. Grad der Eignung von Prinzipien zum Ordnen von Stückgütern für bestimmte Teileformen). Für diese besteht jedoch ebenfalls überwiegend wieder das Problem der Verifizierbarkeit und Verallgemeinerbarkeit, was den Wert dieser Informationen schmälert.

Diese Tatsachen bilden einen weiteren Grund für den einstweiligen Verzicht auf automatische Bewertungs- und Selektionsverfahren, der jedoch spätere Teillösungen für jeweils lösungsgruppentypische Informationen nicht ausschließt.

Die allgemein verfügbaren Informationen müssen also vorrangig dem Informationsaspekt genügen. Ein Zwang zur Strukturierung der Informationen zu einem Prinzip ergibt sich somit nur noch aus Gründen effizienter Darstellbarkeit, Erfassbarkeit, für selektive Zusammenstellungen und Präsentation.

3.3. Anforderungen an die Wissensrepräsentation

Friedrich, Gottlob und Stumptner fassen in /72/ allgemeine Anforderungen an die Wissensrepräsentation in wissensbasierten Systemen in fünf Punkten zusammen. Diese allgemeinen Forderungen an KI-Werkzeuge lassen sich in abgewandelter Form auch an ein konkretes wissensbasiertes System (wie z.B. ein verarbeitungstechnisches Informationssystem) stellen. In diesem Sinne wurde eine Interpretation der fünf Forderungen wie folgt vorgenommen:

Verarbeitbarkeit

Das abgebildete Wissen muß so formalisiert sein, daß es in seinen (möglichst kleinen) Komponenten in verschiedener Weise auswertbar bzw. verarbeitbar ist. "Es muß die Möglichkeit gegeben sein, aus bestehendem Wissen auf neues Wissen zu schließen." Die Schlußfolgerungen können einerseits mittels Ableitungsregeln der klassischen formalen Logik oder speziell entwickelten Logiken und Schlußfolgerungsverfahren durchgeführt werden oder ergeben sich aus der strukturierten Wissensrepräsentation (objektorientierte Modellierung, Klassenbildung, Nutzung von Vererbungsmechanismen). "Ein wissensbasiertes System soll sein Wissen über den ursprünglichen Verwendungszweck universal einsetzen können."

Flexibilität

Ein und derselbe Repräsentationsansatz soll einerseits geeignet sein, Wissen aus Anwendungsbereichen darzustellen, die wie im Beispiel eines Beratungssystems Verarbeitungstechnik innerhalb der abgebildeten Domäne zusammengefaßt sind, andererseits sollen auch, unabhängig vom jeweiligen Partialgebiet, *alle* für unterschiedliche Aufgabenstellungen benötigten Informationen *effizient* darstellbar sein.

Modularität

"Die Wissensbasis soll leicht veränderbar und modular aufgebaut sein, das heißt, spezielle Bereiche des Wissens, wie etwa spezielles Wissen über die Lösung eines bestimmten Teilproblems, sollen möglichst unabhängig vom Rest der Wissensbasis hinzugefügt oder abgeändert werden können."

"Eine der Modularität verwandte Forderung ist das Streben nach Unabhängigkeit zwischen der formalen Repräsentation des Wissens und den wissensverarbeitenden Mechanismen mit dem Ziel einer klaren Trennung in einen passiven "Erkenntnisteil" (Wissensbasis) und einen aktiven Verarbeitungsteil (Inferenzmaschine), dessen Konstruktion unabhängig von der jeweiligen Wissensbasis ist" (vgl. Abschnitt 4.1.1.1.).

Übersichtlichkeit

"Der Inhalt der Wissensbasis muß gegenüber Knowledge Engineer und Benutzer gleichermaßen leichtverständlich darstellbar sein." Die Verständlichkeit für den Benutzer bezieht sich auf die von ihm benutzbaren und wartbaren Teile des Systems.

Darstellbarkeit unsicheren Wissens

Ein in einem Rechner dargestelltes formales System, wie es z. B. durch eine Wissensbasis gegeben ist, kann die Wirklichkeit nicht vollständig und gleichzeitig garantiert korrekt beschreiben. "Im Gegenteil, intelligentes Verhalten besteht gerade auch darin, aus einer Situation das Beste zu machen, in der das richtige Verhalten nicht eindeutig vorgeschrieben ist." Die Schlußfolgerung daraus ist, daß ein intelligentes System befähigt sein muß, mehrdeutige Aussagen zu bearbeiten die auf die verschiedenste Weise entstanden sein können. Solche Aussagen können entstehen durch:

- Inhärente Unsicherheit der Information,
- Unvollständigkeit der Information,
- Unsicherheit von Schlußfolgerungen,
- Zusammenfassung von Informationen, die aus mehreren, eventuell einander widersprechenden, Quellen stammen.

"Bei vielen Expertensystemanwendungen kann jedoch auf eine Repräsentation von unsicherem Wissen verzichtet werden, so daß dadurch Wissensrepräsentation und Verarbeitung vereinfacht werden." /72/

Im Falle des Beratungssystems Verarbeitungstechnik ist die Forderung nach (automatischer) Verarbeitbarkeit von unsicherem Wissen aus Gründen der Realisierbarkeit ausgeklammert. Auf die Schwierigkeit, mittels der für die Problemlösung zur Verfügung stehenden Informationen (Anforderungen und Randbedingungen) automatisch auf verlässliche verarbeitungstechnische Lösungen zu schließen, wurde bereits in den Abschnitten 2.3., 2.4., 2.5. und 3.1.2. eingegangen. Die Verarbeitung unsicheren und unvollständigen Wissens bleibt daher dem Nutzer überlassen. Dazu müssen ihm diese Informationen jedoch zugänglich gemacht werden, und es muß für ihn der Grad ihrer Zuverlässigkeit abschätzbar bzw. überprüfbar sein. Von großer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Quellenangaben zu den jeweiligen Lösungsinformationen.

Die allgemeinen Anforderungen an die Wissensrepräsentation und die im vorigen Abschnitt aufgestellten Forderungen an Funktionalität und Dialoggestaltung für das Beratungssystem Verarbeitungstechnik lassen sich um so effektiver und zuverlässiger in Übereinklang bringen, je besser die Wissensrepräsentation im System der Wissensrepräsentation des Problemlösers,

der das System benutzen soll, angenähert ist. Franke konstatiert in /58/: "Die zunehmende Anwendung von Rechnern birgt die Gefahr, daß verstärkt die Randbedingungen des Mediums Rechner in die verschiedensten Werkzeuge einfließen. Dabei könnten die Fähigkeiten assoziativen und intuitiven Denkens menschlicher Problemlöser verschüttet werden. Daher ist ein besseres Verständnis für die Prozesse beim problemlösenden Denken gerade jetzt von entscheidender Bedeutung." Im Folgenden sollen daher einige Bemerkungen zu den menschlichen Denkstrukturen eingefügt werden, die mit der vorliegenden Konzeption einer Rechnerunterstützung für das Lösen verarbeitungstechnischer Probleme in Zusammenhang stehen.

Dörner unterscheidet in /38/ eine epistemische und eine heuristische Struktur des Langzeitgedächtnisses. Die epistemische enthält Wissen über Sachverhalte (Fakten, Bilder, feste Handlungspläne), die heuristische elementare Handlungsschemata, die beim Vorliegen eines Problems (siehe Abschnitt 2.2.) zu neuen Handlungsstrategien kombiniert und variiert werden können. Das Beratungssystem Verarbeitungstechnik soll eine künstliche Erweiterung des epistemischen Teils darstellen, die Wissen über die Domäne Verarbeitungstechnik enthält und das Gedächtnis des Problemlösers möglichst anpassungsfähig ergänzt. Dessen epistemischer Teil enthält Informationen über verschiedene Realitätsbereiche in Form von semantischen Netzen. Sie bestehen aus Knoten, welche den Inhalt in Form von Begriffen repräsentieren und aus Kanten, welche Zusammenhänge zwischen den Inhalten herstellen. In /38/ unterteilt Dörner diese Relationen in Abstraktionsrelationen, Teil-Ganzes-Relationen und Raum-Zeit-Relationen. Diese Relationstypen spielen auch bei der Suche und Auswahl verarbeitungstechnischer Prinziplösungen eine Rolle:

Abstraktionsrelationen

- geben die Beziehungen eines Begriffs zu Ober- und Unterbegriffen an und ermöglichen so z.B. eine Ordnung von Lösungen nach verschiedenen Kriterien sowie ihre Zuordnung zu Anforderungstypen, Funktionen, Anwendungsfällen;

Teil-Ganzes-Relationen

- gliedern Sachverhalte hinsichtlich ihrer Bestandteile und gestatten so die Abbildung von Topologien; für verarbeitungstechnische Prinziplösungen geben diese Relationen Auskunft über deren Bestandteile (Voraussetzung für ihre konstruktive Umsetzung) und ihr Vorkommen in komplexen innermaschinellen Verfahren;

Raum-Zeit-Relationen

- ermöglichen die Abbildung der relativen Lage von Teilen oder der zeitlichen Abfolge von Handlungen, z.B. die Anordnung von verarbeitungstechnischen Vorgängen (und

deren Umsetzung mittels verarbeitungstechnischer Prinzipie) in innermaschinellen Verfahren und sinnvolle Handlungssequenzen bei der Problemlösung.

Gesucht sind demnach Formen der Wissensrepräsentation, die die Abbildung dieser Relationen möglichst effektiv gestatten, um eine Art "innere Ergonomie" des Systems zu erreichen, d.h. Verluste und Verzerrungen von Informationen an der Bedienerschnittstelle sowohl bei der Wissensakquisition als auch bei der Nutzung des gespeicherten Wissens auch dadurch zu vermeiden, daß die nötigen Transformationsprozesse minimiert werden.

Als Anspruch formuliert Grabowski in /74/ außerdem eine so zweckmäßige und feine Zerlegung des Wissens in Systemen, die "Lösungsmuster" bereitstellen, daß aus bekannten Komponenten auch neue Lösungen synthetisierbar sind. Dieser hohe Anspruch ist bei der Menge und Komplexität des hier in Form des Wissensspeichers Verarbeitungstechnik vorliegenden Wissens auf Anhieb nur schwer erfüllbar. Das zu konzipierende Informationsmodell muß jedoch aus diesem Grund nicht nur erweiterbar, sondern nachträglich auch verfeinerbar sein, um sich der Erfüllung dieses Anspruchs nähern zu können.

4. Informationsmodell des verarbeitungstechnischen

Problemraumes

4.1. Überblick über mögliche Darstellungsarten

4.1.1. Allgemeiner Überblick

4.1.1.1. Unterschiede zwischen wissensbasierten Systemen und anderen Wissensrepräsentationsformen

Wissensrepräsentation kann man vereinfacht als eine Abbildung von Ausschnitten einer Welt in eine verarbeitbare Form auffassen. Die Gesamtheit der Daten- und Programmstrukturen, die aus dem Abbildungsvorgang resultieren, wird als Wissen bezeichnet.

Je nachdem, ob dieses Wissen im Programmcode versteckt und verteilt ist, oder ob es in bestimmten Teilen des Systems lokalisierbar ist, spricht man von implizitem oder explizitem Wissen. Die Grenzen zwischen explizitem und implizitem Wissen sind fließend. /72/

Das in einem Softwaresystem abgebildete Wissen kann man in Wissen, das zur Problemlösung verarbeitet wird und Wissen, das diese Verarbeitung steuert einteilen, wobei es auch hier eine fließende Grenze gibt. Ein wissensbasiertes System ist dadurch gekennzeichnet, daß

das für die Problemlösung benötigte Wissen als explizites Wissen vorliegt, während das Steuerungswissen teils explizit, teils implizit vorliegt. Der implizite sollte weitgehend der problemneutrale Teil des Steuerungswissens sein, so daß die Problem- und Problemlösebeschreibung

- separat und auf einem fachsprachennahen Niveau formulierbar,
- ohne Risiko für den formalen Ablauf änder- und erweiterbar und
- nachvollziehbar

sind. Diese Nutzungsmerkmale expliziten Wissens sind gleichzeitig die Vorteile der wissensbasierten Modellierung.

Die relationale Modellierung der Datenbanktechnologie nimmt damit eine Art Zwischenstellung zwischen algorithmischer Modellierung und wissensbasierten Systemen ein. Einerseits ist mit der Separierung der Fakten in Datenbanken bereits explizites Wissen vorhanden, andererseits ist das prozedurale Wissen für die Problemlösung überwiegend nur implizit (in Algorithmen, die in Programmcode kompiliert werden) abbildbar. Mit der Entwicklung objektorientierter Datenbanken und der Ergänzung von Datenbanksystemen um Problemlösungskomponenten verwischen sich jedoch die Grenzen weiter.

4.1.1.2. Algorithmische Modellierung

Ein Algorithmus ist ein System von Vorschriften zur Lösung eines Problems (einer Funktion) durch Ausführung formaler, genau vorgeschriebener Schritte. Im Wesen entspricht dies dem Konzept des Von-Neumann-Rechners, dessen Grundprinzip die Basis der heute dominierenden Datenverarbeitungstechnik ist. Er vermag derartige Algorithmen abzuarbeiten, in die das zu lösende Problem vorher zerlegt werden muß. Alle möglichen alternativen Abläufe müssen dabei vorgedacht sein. Sind die Algorithmen formuliert, hat der Nutzer noch die Möglichkeit, über Parameter, mittels Entscheidungen an Programmverzweigungen und durch Start und Stop auf deren Abarbeitung Einfluß zu nehmen.

Ein weiteres wesentliches Merkmal der algorithmischen Modellierung ist die enge Vernetzung von Daten (Fakten), Wissen über diese Daten (Verarbeitungsvorschriften) und, technische Ablaufsteuerung (Anweisungen für die Verarbeitung im Computer).

Sie gemeinsam bilden den Programmkörper und müssen zwecks eines korrekten Ablaufs innerhalb bestimmter Konventionen aufeinander Bezug nehmen.

Für die Modellierung größerer Wissensdomänen mit rein algorithmischen Mitteln ergeben sich dadurch folgende Nachteile:

- hoher Aufwand für Analyse und Implementierung der Problemlösungsmethoden, da alle möglichen Alternativen vorgedacht und "ausprogrammiert" werden müssen;
- durch die enge Vernetzung von Daten, Verarbeitungsvorschriften und technischer Ablaufsteuerung
 - * relative Unübersichtlichkeit (erschwert z.B. Fehlersuche),
 - * erschwerte Pflege und Erweiterung,
 - * relativ hoher Testaufwand zur Absicherung der notwendigen Zuverlässigkeit.

Ein Vorteil algorithmischer Programmierung ist die hohe Abarbeitungseffizienz, wenn die Algorithmen einmal vollständig und richtig implementiert sind. Dies liegt in der guten Übereinstimmung der Softwaretechnologie mit der Hardware-Philosophie (siehe oben). Letztlich müssen nämlich auch alle anderen Modelle auf Maschinenebene auf Algorithmen zurückgeführt werden, wozu verschiedene Zwischenebenen in der Verarbeitung notwendig sind. Diese sind bei algorithmischer Programmierung minimal.

4.1.1.3. Relationale Modellierung

Die relationale Modellierung geht zurück auf das Codd'sche Relationenmodell. Eine Relation kann dabei als das mathematische Abbild einer Tabelle aufgefaßt werden. Dabei entsprechen im praktischen Sinne der Begriff Relation dem Begriff Tabelle und der Begriff Tupel dem Begriff Zeile (der Tabelle). Die Spalten der Tabelle entsprechen Attributen, die mit Werten aus jeweils einem bestimmten Wertebereich (Domäne) belegt sind. Eine Relation hat folgende Eigenschaften:

- Es gibt keine doppelten Tupel, d.h. es gibt nie zwei Tupel deren Attributwerte gleiche Inhalte haben.
- Die Tupelreihenfolge ist nicht definiert.
- Die Reihenfolge der Attribute ist nicht definiert.
- Attributwerte sind atomar, d.h. nicht zusammengesetzt, also z.B. nicht wiederum eine Relation. Eine Relation mit dieser Eigenschaft genügt der ersten Normalform.

Ein Gesamtmodell setzt sich demnach aus einer oder mehreren Relationen zusammen. Die Beziehungen zwischen den Relationen lassen sich in einem Entity-Relationship-Modell darstellen. /132, 159/

4.1.1.4. Darstellungsformen in wissensbasierten Systemen

Prädikatenlogik (1.Ordnung)

Objekte und Zustände werden in Klauseln der Form

Prädikat (Argument)

beschrieben.

Beispiel: "Schneiden ist ein Trennvorgang" dargestellt in der Prädikatenlogik:

Ist_ein_Trennvorgang (Schneiden)

Diese Aussagen können mit den Operatoren "und" (###), "oder" (###), "nicht" (-, Negation), Existenzquantor (###), Allquantor (###), und Implikation (->) verknüpft werden..

Die Beispielaussage läßt sich damit in folgende allgemeine Form bringen:

X (Schneiden(X) -> Trennvorgang (X)).

Auf diese Weise lassen sich Wissensbasen aufbauen, auf denen unabhängig von ihrem Inhalt formale Operationen ausgeführt werden können. Es gibt feste Regeln zur Umformung/ Ableitung von Aussagen, wie z.B.

Modus Ponens: (A ### (A->B)) -> B,

Modus Tollens: (-A ### B) ### (B) -> (-A),

Verkettung: (-A ### B) ### (-B ### C) -> (-A ### C)

Reduktion: (-A) ### (A) -> ()

usw., die die Abarbeitung von vorgegebenen Inferenzstrategien erlauben. Ziel ist es entweder, aus einer gegebenen Aussage mögliche Schlußfolgerungen abzuleiten oder zu prüfen, ob eine neu hinzugefügte Aussage (Hypothese) zusammen mit den vorhandenen Aussagen einen Widerspruch ergibt oder nicht).

Das Verhalten und die auftretenden Probleme ähneln dabei denen bei der Regelverarbeitung (siehe unten).

Regelbasierte Wissensrepräsentation

Die regelbasierte Wissensrepräsentation basiert auf den Prinzipien der Prädikatenlogik. Aussagen werden in der Form

wenn [Voraussetzung/ Bedingung], dann (Hypothese/ Folgerung/ Aktion)

abgebildet. Die Verarbeitung der Regeln erfolgt nach zwei grundsätzlichen alternativen Strategien:

1. *Vorwärtsverkettung:*

Ausgehend von einer (wahren) Voraussetzung/ Bedingung (ein gegebener Fakt stimmt mit dem Bedingungsteil einer Regel überein) wird der Hypothesen-/ Folgerungsteil dieser Regel mit den übrigen Bedingungsteilen in der Wissensbasis verglichen. Bei Übereinstimmung liefern diese Regeln weitere Hypothesen, für die die Suche nach Übereinstimmung mit Bedingungen anderer Regeln fortgesetzt wird. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis durch einen auf diese Weise aktivierten Folgerungs-/ Aktionsteil ein Fakt ermittelt oder eine (vorgesehene) Aktion ausgelöst wird oder bis der Regelvorrat der Wissensbasis erschöpft ist.

2. *Rückwärtsverkettung:*

Der Wahrheitswert ("wahr" oder "falsch") einer aufgestellten Hypothese wird untersucht, indem versucht wird, den Wahrheitswert der zugehörigen Bedingung zu ermitteln. Dies geschieht dadurch, daß in der Wissensbasis nach Regeln gesucht wird, deren Hypothesen-/ Folgerungsteil mit dieser Bedingung übereinstimmt. Wird eine solche Hypothese gefunden, muß die zugehörige Bedingung wahr sein bzw. auf gleiche Weise deren Wahrheitsgehalt überprüft werden. Der Vorgang wiederholt sich bis zu einer widerspruchsfreien Aussage oder bis trotz vollständiger Abarbeitung der zur Verfügung stehenden Regeln dennoch eine unbestätigte Hypothese übrigbleibt.

Für beide Strategien gibt es typische Anwendungsfälle (siehe /125/), sie werden auch häufig kombiniert angewendet.

Regeln lassen sich also über ihre Bedingungs- und Folgerungsteile verknüpfen, so daß man hierarchische oder auch netzartige Wissensstrukturen aufbauen kann. Da aber ab einer gewissen Größe der Wissensbasis bei ausschließlicher Anwendung der oben beschriebenen Inferenzstrategien Probleme hinsichtlich des Zeitverhaltens und der Deutbarkeit der Ergebnisse auftreten, werden weitere Strategien überlagert, um die Menge der in die Abarbeitung einbezogenen Regeln zu begrenzen bzw. die Abarbeitung zusätzlich zu steuern. Solche Strategien sind u.a. die Tiefen-Zuerst-Suche, die Breiten-Zuerst-Suche oder das Backtracking. Diese und weitere Strategien sind u.a. in /124/, /80/ und /36/ beschrieben.

Da die Regelverarbeitung auf der Prädikatenlogik aufbaut, kann man für beide Arten der Wissensrepräsentation prinzipiell die gleichen Vor- und Nachteile feststellen:

Vorteile:

- Trennung von Wissen und Ablaufsteuerung, dadurch können Wissensbasen geändert werden, ohne einen stabilen Ablauf zu gefährden
- für kleinere Wissensbasen gut strukturierte und selbsterklärende Darstellung von Wenn-Dann-Beziehungen möglich
- durch Anwendung der Gesetzmäßigkeiten der Prädikatenlogik Straffung der Darstellung möglich (Beseitigung von Redundanzen)
- direkte Verbindung von Schlußfolgerungen und Aktionen möglich
- durch geschickte Wissensstrukturierung und durch Priorisierung von Regeln kann Effizienz des Inferenzprozesses positiv beeinflusst werden
- einfache Erklärungskomponente durch Dokumentation der abgearbeiteten Regeln und das jeweilige Ergebnis
- durch Zusätze wie "Unsicherheiten" von Fakten (Wahrheitswerte) und Ausnahme-definitionen ist sog. *unsicheres* und *nicht monotones Schließen* möglich

Nachteile:

- negatives Ergebnis des Inferenzprozesses (Inferenzprozeß endet ohne wahre Aussage) ist in der Regel doppeldeutig:
 - aufgestellte (zu beweisende) Hypothese(n) falsch (im Widerspruch zur übrigen Wissensbasis) oder
 - aufgestellte (zu beweisende) Hypothese(n) mittels der vorhandenen Wissensbasis nicht beweisbar (Wissensbasis möglicherweise unvollständig)
- optimal nur für "regelartiges" Wenn-Dann-Wissen, Modellierung komplexerer Zusammenhänge ist aufwendig, Beschreibung von Objekten ebenfalls sehr aufwendig
- bei größeren Wissensbasen entstehen schnell lange Schlußketten, die schwer zu überblicken sind
- bei größeren Wissensbasen geschickte Einschränkung des Suchraumes nötig, um Effizienz zu wahren
- große Wissensbasen verlieren an Übersichtlichkeit und bedürfen zusätzlicher Strukturierungsmaßnahmen
- Verwaltung der benötigten Fakten ist vergleichsweise aufwendig, wenn sie in die Regeln integriert sind (vgl. Vorteile relationaler Darstellung), Datentransfer von und nach außen (Kommunikation mit benachbarten Systemen wie Datenquellen oder nachgelagerter Datenverarbeitung) wird schlecht unterstützt

Als Hauptnachteil und als Grund, warum die Regelverarbeitung im vorliegenden Fall nicht als ausschließliche Modellierungsart in Frage kommt, ist die Tatsache, daß das abzubildende Wissen nur mit hohem Transformationsaufwand in die für die Regelverarbeitung erforderliche Form gebracht werden kann. Es beinhaltet einen hohen Anteil an Wissen über Objekte, welches sich mittels anderer Darstellungsformen effizienter abbilden läßt.

Objektorientierte Wissensrepräsentation

Bei der objektorientierten Wissensrepräsentation werden alle Aussagen über ein Objekt (Gegenstand, konkrete oder abstrakte Kategorie) in einer Datenstruktur zusammengefaßt. Das Objekt wird durch die Gesamtheit seiner Attribute und deren Werte beschrieben, soweit diese bekannt sind. Objekte können zueinander in Beziehung stehen, indem sie direkt miteinander oder über weitere Objekte innerhalb einer Hierarchie oder eines Netzes verbunden sind. Dabei handelt es sich um Beziehungen der Art "ist Teil von" bzw. "gehört zu" oder "besteht aus" bzw. "beinhaltet".

Neben dem Begriff der objektorientierten Darstellung hat sich auch der Begriff "Frame" etabliert.

Frames

Frames sind eine Form der Wissensrepräsentation, bei der alles Wissen über ein Objekt in einer Datenstruktur zusammengefaßt ist. Ein Frame besteht typischerweise aus Verweisen auf übergeordnete Frames, Attributen (slots), Facetten und Werten. Die Facetten können Wissen über Wertebereich, Erwartungswerte (Defaults), zugeordnete Prozeduren (Aktionen, die ausgeführt werden sollen, wenn ein Wert eingetragen oder angefragt wurde) enthalten. Die Verweise ermöglichen die Vererbung von Werten und Facetten von dem übergeordneten Frame an seine Nachfolger. Über die Differenzierung der Inhalte von "objektorientierter Wissensrepräsentation" und "Frames" gibt es unterschiedliche Auffassungen:

- kein Unterschied;
- Frames als allgemeinere Darstellungsform, deren Möglichkeiten in der objektorientierten Wissensrepräsentation erweitert wurden;
- Frames als eine Form der objektorientierten Wissensrepräsentation.

Um Verwirrungen zu vermeiden soll nachfolgend nur noch von objektorientierter Wissensrepräsentation gesprochen und davon ausgegangen werden, daß diese Darstellungsform die Vereinigungsmenge der Eigenschaften beider Kategorien besitzt.

Ein entscheidender Vorzug der objektorientierten Darstellung ist die Möglichkeit der Vererbung von Eigenschaften zwischen Super- und Subobjekten (siehe Abbildung 8). Gemein-

same Merkmale mehrerer Objekte brauchen so nur einmal abgelegt zu werden. Das vermeidet Redundanz und hat außerdem den Vorteil, daß neue Objekte, werden sie an entsprechender Stelle in die Struktur eingefügt, automatisch die entsprechenden Merkmale ererben, was den Beschreibungsaufwand auf die wirklich individuellen Merkmale beschränkt.

Damit ergibt sich die Möglichkeit, gemeinsame Merkmale mehrerer Objekte in Form einer Klassenbeschreibung abzubilden, die dann (meist über Subklassen) bis auf die Instanzen (einzelne Repräsentanten der Klasse) vererbt werden können (siehe Abbildung 8). Ein Objekt, das eine Klasse beschreibt, kann seinerseits einer oder mehreren Superklassen angehören, die ihrerseits Subklassen weitere Superklassen sein können.

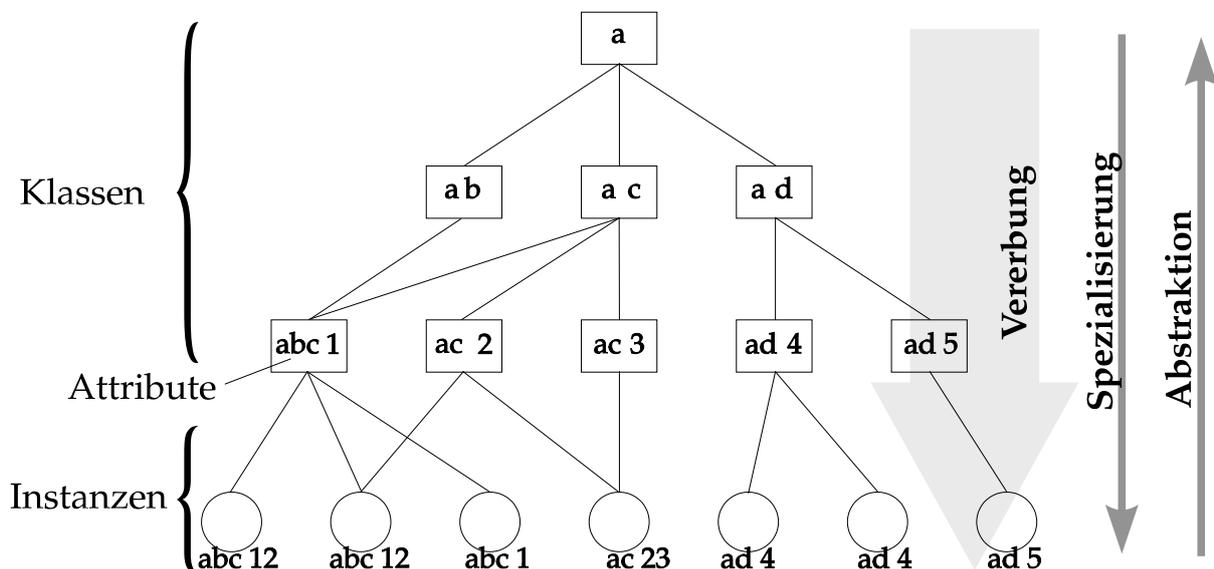


Abbildung 8: Objektorientierte Modellierung am Beispiel einer Klassenhierarchie

Eine andere Möglichkeit besteht in der Abbildung komplexer Objekte, die aus verschiedenen Objekten zusammengesetzt sind, welche wiederum zusammengesetzt sein können (siehe Abbildung 9). Hier läßt sich Vererbung dafür nutzen, die Eigenschaften der Komponenten in das Eigenschaftsspektrum des Superobjekts eingehen zu lassen. Sollen nicht alle Eigenschaften vererbt werden, spricht man von selektiver Vererbung.

Neben Attribut-Werte-Tupeln lassen sich Objekten auch Regeln und Prozeduren zuordnen, die unter bestimmten Bedingungen z.B. Werte ermitteln, Interaktionen auslösen oder Werte verändern. So ist ein gewisses "Verhalten" von Objekten abbildbar und es lassen sich Prozesse innerhalb der Wissensbasis oder zwischen der Wissensbasis und ihrer Umgebung steuern.

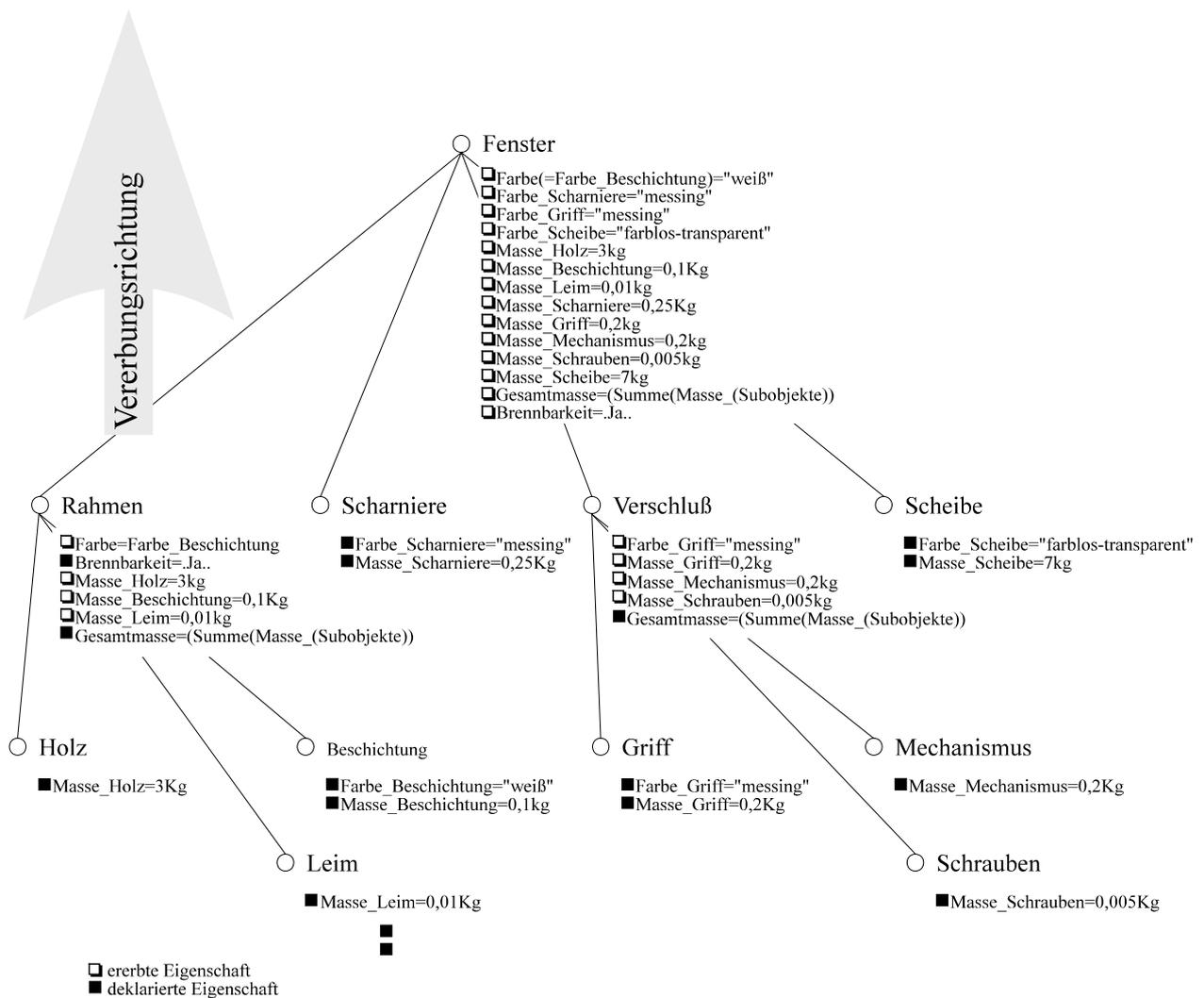


Abbildung 9: Abbildung eines technischen Objekts mit objektorientierten Mitteln, modelliert anhand der Baustruktur

Für die Beschreibung technischer Einrichtungen ist die objektorientierte Darstellung in mehrerlei Hinsicht geeignet. Da es sich zumeist um komplexe Gebilde handelt, die verschieden konfigurierbar sind, läßt sich die Baustruktur insoweit gut abbilden, als die signifikanten Merkmale der Bestandteile (einzelnen Funktionselemente) die Eigenschaften der Gesamteinrichtung bestimmt (siehe Abbildung 9).

Innerhalb einer Ordnung der technischen Komponenten lassen sich wiederum ihre Wesensmerkmale effizient darstellen, indem mit ihrer Zugehörigkeit zu einer Klasse von technischen Objekten ihre unter einem bestimmten Gesichtspunkt (Klassifizierungskriterium) wesentlichen Eigenschaften impliziert werden.

Constraints

Puppe beschreibt in /125/ *Constraints* als Form der Wissensrepräsentation, "die ungerichtete Beziehungen zwischen Fakten ausdrückt. Ein Constraint besteht aus Name, Definition und Variablen ("Addierer-I", "A + B = C", {A, B, C}). Constraints, die durch gemeinsame Variablen verbunden sind heißen Constraint-Netz, und ein Constraint-Netz mit einer Anfangsbelegung einer Teilmenge der Variablen heißt Constraint-Problem." Damit lassen sich z.B. Wertebereiche von Variablen definieren.

Scripts ("Drehbücher")

Scripts stellen die Beschreibung von Abläufen dar. So können z.B. bestimmten Situationen derartige Abläufe zugeordnet werden, die eine vorgesehene (komplexe) Reaktion auf die Situation steuern. Eine andere Anwendung besteht darin, aktuelle Szenarien mit bereits gespeicherten zu vergleichen und so eine Fallentscheidung zu ermöglichen.

Semantische Netze

"Semantische Netze stellen Wissen in Form von gerichteten Graphen dar. Die Knoten eines solchen Graphen werden als *Konzepte* bezeichnet und repräsentieren Objekte der realen Welt, Abstraktionen, Eigenschaften, Ereignisse und Zustände. Die als *konzeptuelle Relationen* bezeichneten Kanten des Graphen stellen Beziehungen zwischen den Konzeptknoten dar."
/72/

Semantische Netze sind mit der objektorientierten Darstellung eng verwandt. Die oben beschriebene objektorientierte Darstellung stellt jedoch die Unterordnung der Eigenschaften unter die jeweiligen Objekte stärker in den Vordergrund.

Das Hauptanwendungsgebiet Semantischer Netze liegt in der Verarbeitung natürlicher Sprache. Es existieren jedoch auch Anwendungen aus dem Bereich des Maschinellen Lernens und diverse Expertensysteme auf dieser Basis./72/

Weitere Darstellungsformen

Neuere Entwicklungen gehen von anderen Ansätzen zur Modellierung bestimmter Wesenszüge menschlicher Intelligenz aus. Solche Ansätze sind die der unscharfen Logik (*Fuzzy-Logic*) und der *neuronalen Netze*. Es sind dies aber keine Ansätze zur Modellierung großer Wissensdomänen (zumindest nicht im derzeitigen Stadium), sondern eher fallspezifisch relevante Formen der Modellierung intelligenten Verhaltens (Fuzzy-Logic: Ziehen von Schlüssen aus unscharf formulierten Bedingungen; Neuronale Netze: maschinelles Lernen). Damit besitzen sie Bedeutung für die Modellierung bestimmter Teile oder Schnittstellen von Wissensdomänen. So werden z.B. die Möglichkeiten der Regelverarbeitung durch die Fuzzy-Logic

erweitert, während die Anwendung neuronaler Netze die Wissensakquisition unterstützen kann.

Wegen ihrer Querschnittsbedeutung über fast alle DV-Anwendungsgebiete hinweg werden diese Technologien üblicherweise nicht den "klassischen" Methoden der Künstlichen Intelligenz zugeordnet.

Abschließend muß noch bemerkt werden, daß der Vernetzungsprozeß unterschiedlicher Technologien weiter fortschreitet. So hat die objektorientierte Darstellung die "klassische Programmierung", die zunächst streng algorithmisch war, durchdrungen. Über die Entwicklung der modularen Programmierung kam man so zur heute verstärkt angewendeten "objektorientierten Programmierung", bei der gekapselte Datenstrukturen, die jeweils ein bestimmtes Verhalten repräsentieren, miteinander kommunizieren und in ihrer Gesamtheit das Verhalten des Systems bestimmen. Für die Integration neuer Module müssen nur deren Verhalten und die Schnittstellenkonventionen bekannt sein, nicht ihr innerer Aufbau. Ebenso sind über Klassenbildung die Vorteile von Vererbungsmechanismen nutzbar.

Auch in die Datenbanktechnologie hat die objektorientierte Modellierung Einzug gehalten. Bei objektorientierten Datenbanken werden die darzustellenden Fakten nicht mehr in Relationen zusammengefaßt, sondern in Klassen. Anstelle hybrider Lösungen, bei denen die Vorteile relationaler Datenbanken für die Verwaltung großer, einheitlich strukturierbarer Faktenmengen mit den Vorteilen objektorientierter Wissensbasen für die Beschreibung des Wissens *über* die Fakten verbunden werden, hat man hier die Vorteile beider Technologien in einer Technologie vereint. Allerdings hat der relativ geringe Grad der Verbreitung solcher objektorientierten Datenbanken im Vergleich zu relationalen noch nicht zu einem solchen Maß an Standardisierung wie bei letzteren geführt. System- und plattformübergreifender Datentransfer und Kommunikation sind daher mit objektorientierten Datenbanken noch nicht so problemarm möglich, wie mit relationalen Systemen.

4.1.2. Die verwendete Software und ihre Möglichkeiten

Für die prototypische Implementierung eines Beratungssystems Verarbeitungstechnik erscheint es zweckmäßig, aufgrund der unterschiedlichen darzustellenden Wissensformen und aufgrund der zu realisierenden Funktionen und Bedieneigenschaften (siehe Abschnitt 3.1.-3.3.) mehrere verschiedene Softwarekomponenten einzusetzen, die die Umsetzung der gestellten Anforderungen jeweils mit adäquaten Formen der Informationsrepräsentation gestatten.

Aufgrund der im vorigen Abschnitt umrissenen Eigenschaften fiel die Wahl auf die in Tabelle 10 Spalte 3 dargestellten Repräsentationsformen und Programmieretechniken. Spalte 1 nennt die Softwarewerkzeuge, die dazu genutzt wurden.

Softwarewerkzeug	Art	Modellierungsmethode(n)
NexpertObject	Expertensystem-Shell	- objektorientierte Wissensrepräsentation - Regeln, Constraints
Sybase, dBASE	relationale Datenbankbetriebssysteme	- relationale Modellierung - algorithmische Programmierung
C	höhere Programmiersprache	- algorithmische Programmierung
X-Windows, Motif-Toolkit	Oberflächenbibliothek	- objektorientierte Programmierung
Display-PostScript-System	Grafikanzeige-Modul	- algorithmische Programmierung (Anzeigeroutinen)

Tabelle 10: Für die Implementierung des Beratungssystems Verarbeitungstechnik eingesetzte Softwarewerkzeuge und Modellierungsmethoden

NexpertObject wurde als ein hochflexibles Werkzeug mit geeigneten Wissensrepräsentationsformen, effizienten Modellierungsmöglichkeiten und einem guten Laufzeitverhalten ausgewählt.

Folgende Gründe führten zu der Entscheidung für ein relationales Datenbanksystem:

- prinzipielle Eignung für das vorliegende Problem,
- fortgeschrittener Entwicklungsstand dieser Technologie und der damit verbundene große Funktionsumfang relationaler Datenbanksysteme,
- Vorhandensein von Standards zum Datenaustausch zwischen verschiedenen Systemen als Voraussetzung für die Schaffung einer breiteren Basis für die Informationsakquisition und für die spätere Verfügbarmachung der Faktenbestände innerhalb und außerhalb des Beratungssystems Verarbeitungstechnik.

Dabei ist Sybase das Datenbankbetriebssystem für das eigentliche Beratungssystem Verarbeitungstechnik, während dBASE aufgrund seiner hohen Verbreitung und guten Anbindungsmöglichkeiten für die Implementierung erster dezentraler, PC-gestützter Akquisitionswerkzeuge genutzt wurde.

C und X-Windows sind auf der verwendeten Plattform geeignete Werkzeuge zur Implementierung von Programmabläufen und Oberflächen.

Die Verwendung dieser Komponenten ist in den folgenden Abschnitten erklärt. Zum besseren Verständnis der dortigen Erläuterungen sind nachfolgend noch einige Begriffe im Zusammenhang mit der Verwendung von NexpertObject erklärt, die teils modellierungsmethoden-,

teils werkzeugspezifisch sind. Eine umfassende Abhandlung über die Möglichkeiten der verwendeten Software ist an dieser Stelle jedoch weder möglich noch notwendig.

Objekt: Objekte beschreiben Dinge (eng.: entities) des Problemraumes. Sie werden durch ihren Namen identifiziert.

Klasse: Objekte mit gleichen oder ähnlichen Eigenschaften können zu Klassen zusammengefaßt werden. Objekte, die zu einer Klasse gehören, sind spezielle Instanzen dieser Klasse. Klassen können selbst auch wieder zu anderen Klassen gehören. Diese sind dann die Superklassen der Klasse, welche selbst wiederum Subklasse ihrer übergeordneten Klassen ist. Auf diese Weise können Klassenhierarchien aufgebaut werden.

Property: Properties (Eigenschaften) dienen zur näheren Beschreibung der Klassen und Objekte. Sie werden durch einen Namen und einen der Datentypen "string", "integer", "float", "boolean", "date", "time" (oder eine Liste aus mehreren Werten eines Datentyps) definiert.

Slot: Slots sind zu Objekten oder Klassen gehörige Properties. Sie besitzen somit Namen und Datentyp des Properties. Sie dienen zur Speicherung der Property-Werte.

Meta-Slot: Mittels Meta-Slots wird das Verhalten von Slots beschrieben. Slots können mit Hilfe von Meta-Slots auf die Veränderung ihres Wertes reagieren ("If-Change-Metaslot") oder auf die Abfrage ihres Wertes ("Order-of-Sources-Metaslot"), wobei die Reaktion wieder in der Ausführung bestimmter vom Programmierer zu spezifizierender Operationen besteht.

Vererbung: Objekte und Klassen haben Beziehungen untereinander. Objekte erben die Properties der Klasse, zu der sie gehören. Klassen erben die Properties ihrer Superklassen und vererben ihre Properties an ihre Subklassen. Ein Objekt kann zu mehreren Klassen gehören und erbt dann alle Properties aller Klassen. Eine Klasse kann mehrere Super- und mehrere Subklassen haben.

Regel: Regeln bestehen aus einem Bedingungsteil, einer Hypothese und einem Aktionsteil. Die einzelnen Bedingungen im Bedingungsteil stellen eine Menge von Tests dar, um die Wahrheit der Hypothese zu prüfen. Nur wenn alle Bedingungen wahr sind, ist auch die Hypothese wahr und die Aktionen des Aktionsteils werden ausgeführt. Mit Hilfe von Regeln können Schlußfolge-

rungsmechanismen modelliert werden. Neben den mehr oder weniger passiven Objekthierarchien steht in NexpertObject noch die Möglichkeit der Beschreibung von Operationen mittels Regeln der allgemeinen Form

wenn [Voraussetzung(en)/ Bedingung(en)] ist *wahr/falsch*
dann [Hypothese/ Schlußfolgerung] ist *wahr/falsch*
und führe aus [Aktion (besser: Reaktion)], falls Hypothese ist *wahr*.

Die Verbindung dieser Regeln zu den Objekthierarchien besteht einmal in der Möglichkeit, in Regeln Objekt- und Klassennamen zu verarbeiten, vor allem aber aktuelle Werte von Objekteigenschaften. Zum anderen lassen sich Regeln aber auch von Objekten aus aktivieren ("anstoßen"). Dies geschieht mit Hilfe von Dämonen. Diese sind an Objekteigenschaften gebundene Methoden, die diese Eigenschaften des jeweiligen Objekts "beobachten". Ändern sich die Werte dieser Eigenschaften (if-change-method) oder werden abgefragt, ohne daß sie bekannt sind (order-of-sources-method), treten diese Methoden in Aktion und führen vorgesehene Operationen aus (z.B. Wertermittlung durch order-of-sources-methods). Diese Operationen wiederum können Regeln (außerhalb der Objekthierarchie) aufrufen, welche auf ihren Wahrheitsgehalt untersucht werden bzw. dann ihrerseits bestimmte Operationen ausführen.

/6, 69/

4.2. Überblick über den Systemaufbau

4.2.1. Gesamtüberblick

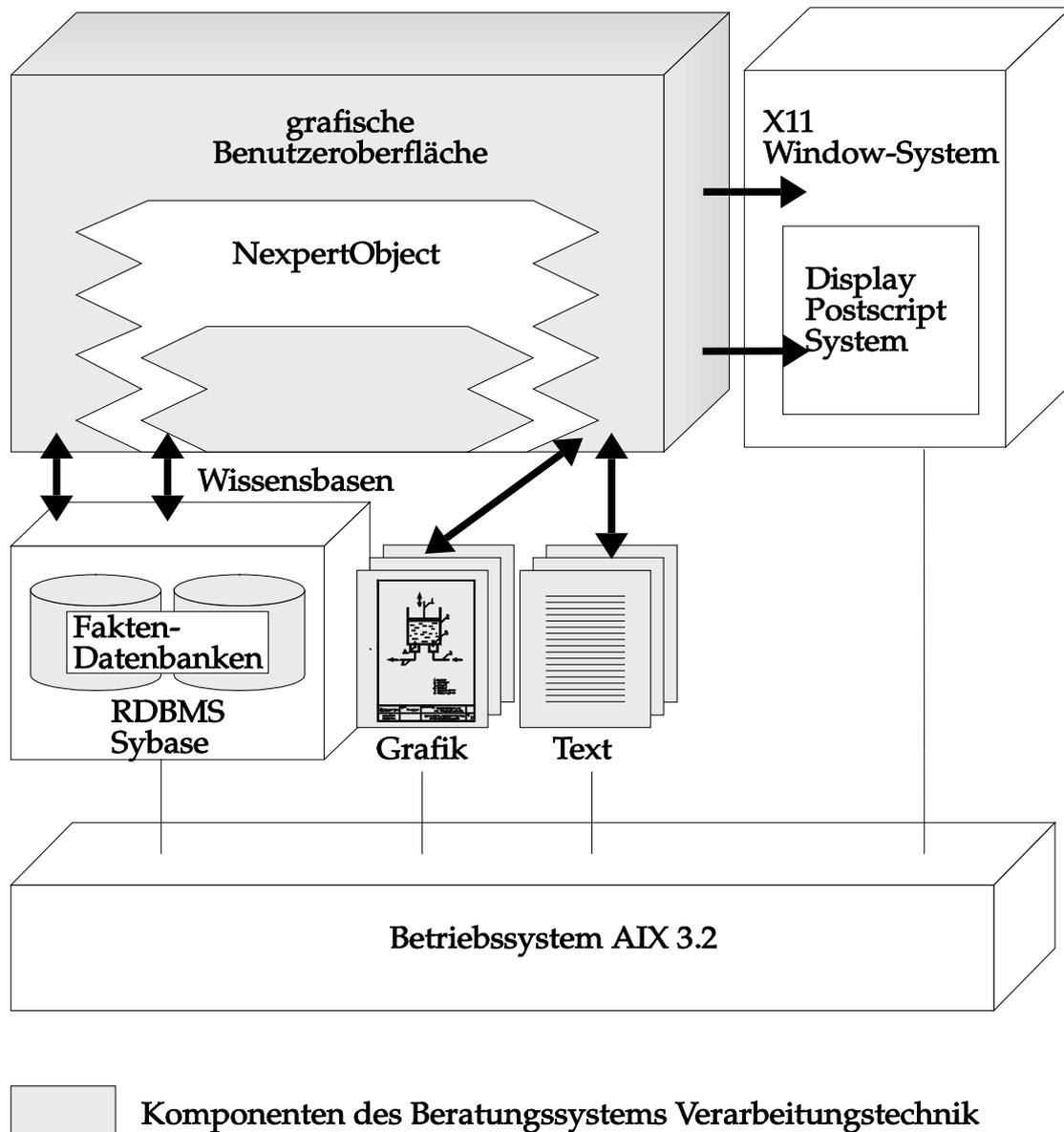


Abbildung 10: Überblick über den Systemaufbau nach /70/

Abbildung 10 gibt einen Überblick über den Systemaufbau des Beratungssystems Verarbeitungstechnik. Die Aufgaben der einzelnen Komponenten sollen nachfolgend kurz umrissen werden.

Das Betriebssystem AIX ist das Betriebssystem auf der für die prototypische Implementierung genutzten Plattform.

Das X-Window-System (X11) liefert umfangreiche Bibliotheken und Werkzeuge für die Implementierung einer bedienerfreundlichen, standardgemäßen Benutzeroberfläche. Von dieser Benutzeroberfläche steuert der Bediener den Ablauf der Arbeit mit dem Beratungssystem

Verarbeitungstechnik. Außerdem dient sie der anforderungsgerechten Darstellung der in den Wissensbasen abgebildeten Zusammenhänge (Objektstrukturen), der bei der Recherche aus den Datenbanken ermittelten Daten zu Verarbeitungsgütern und Prinziplösungen und der in Textfiles abgelegten Hilfeinformationen und Informationen zu theoretischen Grundlagen. Mittels des auf X11 aufgesetzten Display-PostScript-Systems gelangen die grafischen Darstellungen zur Anzeige (Prinzipskizzen, Übersichten, Diagramme).

Von der Benutzeroberfläche aus wird über entsprechende C-Routinen das Application-Programming-Interface von NexpertObject angesprochen. Dadurch kann die Steuerung an den NexpertObject-Kernel übergeben und die Wissensverarbeitung mittels der in den Wissensbasen abgelegten Regeln und Metaslots angestoßen werden. Nach erfolgter Abarbeitung durch die Inferenzmaschine geht die Steuerung entweder an das Datenbanksystem, um entsprechend von der Wissensverarbeitung bereitgestellter Anfragen nach entsprechenden Informationen in den Datenbanken zu suchen oder zurück an die Benutzeroberfläche.

Werden von der Datenbank Informationen bereitgestellt, übernimmt NexpertObject diese und die Benutzeroberfläche sorgt für die Anzeige. Darüber hinaus ist es mit entsprechenden Werkzeugen möglich, direkt in der Datenbank zu recherchieren, Informationen anzufügen oder zu editieren.

Die wesentlichen Aufgaben der wissensbasierten Komponente sind:

- Unterstützung des Nutzers bei der Problemspezifikation durch Abstraktion und Spezialisierung:
 - Beschreibung der verarbeitungstechnischen Funktion auf verschiedenen Wegen,
 - Beschreibung des zu verarbeitenden Gutes in für die Prinzipauswahl ausreichendem Maße,
 - Beschreibung des Verarbeitungszieles (erwünschter Endzustand des Verarbeitungsgutes),
 - Beschreibung technischer und technologischer Randbedingungen;
- Eingrenzung der Lösungsmenge,
- Einlesen der Fakten zu selektierten Prinziplösungen aus der Datenbank,
- Unterstützung des Nutzers beim Ermitteln/ Abschätzen von Werten bzw. bei qualitativen Aussagen, die bei der Problemeingrenzung helfen und eine gezielte Lösungsauswahl ermöglichen.

Der Zugriff auf das Faktenwissen über die Strukturen der Wissensbasis verfolgt das Anliegen, folgenden Denkgewohnheiten des Konstrukteurs beim Umgang mit Komplexität entgegenzukommen:

Zerlegung in Elemente: Eingrenzung auf verkleinerten Betrachtungsraum, Vermindern der Komplexität des betrachteten Objektes,

Abstraktion: Beschränkung des Modells auf jeweils wesentliche Gesichtspunkte, Konzentration,

Formalisierung: Ermöglichen formaler Manipulationen, vorzugsweise logisches Schließen, Berechnen, geometrische und/ oder topologische Manipulationen,

Vergrößerte Darstellung: Einige Aspekte des Modells werden nur gesamtheitlich, d.h. nicht im Detail, dargestellt -> verbesserte Übersicht.

/58/

Für die Wissensbasis wurden gemäß dieser Grundsätze folgende Lösungen erarbeitet:

- Modellierung von "Sichten" (Begriffshierarchien) mittels Objektstrukturen (siehe Abschnitt 4.2.2.),
- Modellierung von Wissen über Zusammenhänge mittels Regeln,
- Modellierung von Steuerelementen (z.B. Datenbankabfrage) in Form von Objekten und Regeln.

4.2.2. Sichtenmodell

In /45/ wird ein hierarchisches Modell für technische Systeme vorgeschlagen, welches in Abbildung 11 dargestellt ist. Es bringt zum Ausdruck, daß es für jede auf einer bestimmten Abstraktionsstufe ausgewählte Lösung in der nächsten Konkretisierungsstufe eine Vielzahl möglicher Umsetzungen gibt, unter denen wiederum ausgewählt und damit weitere Lösungsmengen in den folgenden Konkretisierungsstufen eingegrenzt werden. Legt man ein solches Modell einem System zur Unterstützung der Lösungssuche zugrunde, müssen im Sinne der Flexibilität verschiedene Vorgehensweisen (siehe Abschnitt 2.4.1.2.) möglich sein:

- schrittweises Verfolgen einer Lösung bis zu einem bestimmten Konkretisierungsgrad,
- paralleles Bearbeiten von Alternativen,
- Lösungssuche nach verschiedenen, unterschiedlich konkreten und nicht immer vollständigen Randbedingungen usw..

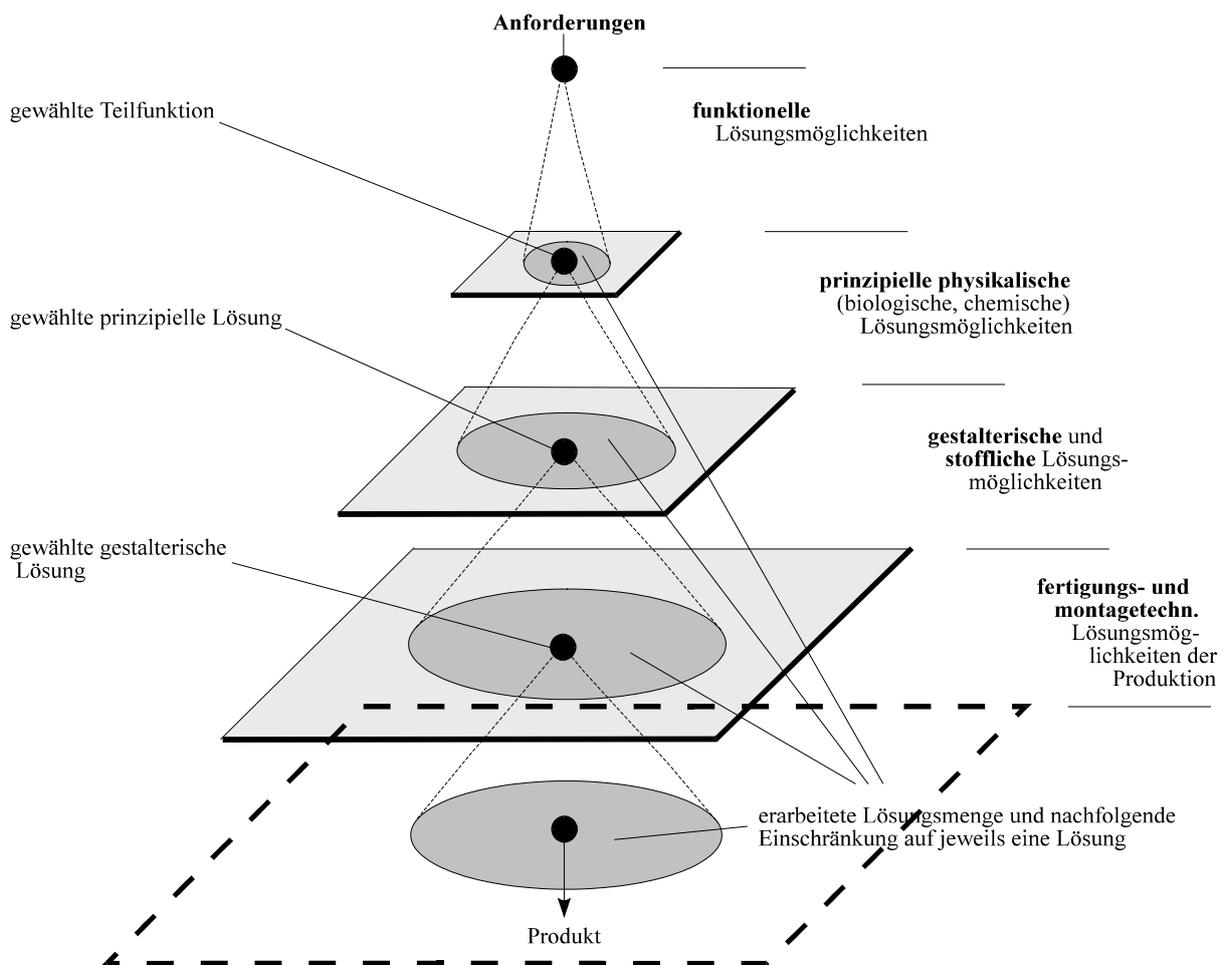


Abbildung 11: Hierarchische Modellierung von technischen Systemen in den Bereichen Funktion, Physik und Gestalt nach /45/

Ein zwangsweise sequentielles Vorgehen vom Abstrakten zum Konkreten im Sinne einer schrittweisen Abwärtsbewegung in der in Abbildung 11 dargestellten Pyramide reicht demnach nicht aus. Vielmehr muß man in jeder Abstraktionsstufe starten können und die jeweiligen Startpunkte entsprechend der zu Anfang bekannten Anforderungen und Randbedingungen dennoch schnell finden können. Ebenso muß es möglich sein, mittels Abstraktion von einem zunächst relativ konkreten Punkt aus über einen "Sprung" in die darüberliegende Ebene rasch zu sinnvollen Alternativlösungen zu kommen.

Zu diesem Zweck wurde für das Beratungssystem Verarbeitungstechnik ein "Sichtenmodell" geschaffen, welches mittels objektorientierter Modellierung umgesetzt wurde.

Der Begriff "Sicht" (engl. "view") wird bereits in der Informatik auf dem Gebiet der relationalen Datenbanken verwendet. Eine Sicht ist dort eine Tabelle (Relation), die einen auf ein bestimmtes Nutzerprofil zugeschnittenen Ausschnitt aus dem Gesamtmodell wiedergeben. Dabei können die Attributwerte der view-Tabelle aus verschiedenen Basistabellen stammen (/119/). Die view-Tabelle bietet somit eine nutzer- bzw. anwendungsspezifische Zusammenstellung von Attributen (Attributwerten) aus verschiedenen Quellen.

In /148/ wird ebenfalls ein Sichtenkonzept innerhalb eines Konstruktionsunterstützungssystems vorgestellt. Hierbei sind verschiedene Szenarios innerhalb eines Steuerungsmoduls (Supervisor) beschrieben, die entsprechend der jeweiligen Konstruktionstätigkeit spezielle Teilaspekte des zentralen Datenmodells (Partialmodelle) benutzen und so eine jeweils spezifische "Sicht" auf das Konstruktionsobjekt ermöglichen.

Eine Sicht im Sinne der hier vorgenommenen Modellierung bedeutet:

Einordnung eines Objektes in eine Klassenhierarchie, die unter Beachtung eines bestimmten für die Sicht spezifischen Merkmals oder einer Menge von bestimmten Merkmalen des Objektes aufgebaut ist. Im weiteren wird auch diese Klassenhierarchie selbst als Sicht bezeichnet.

Jede Sicht hebt dabei nur dieses eine bzw. diese Menge von Merkmalen hervor und abstrahiert danach. Das Modell eines Objektes aus der realen Welt setzt sich aus der Gesamtheit der Sichten auf dieses Objekt (und damit aus der Menge aller Klassen, zu denen das Objekt gehört und die zu verschiedenen Klassenhierarchien gehören können) zusammen zzgl. der zugehörigen Merkmale (Fakten). /69/

Damit sind *Sichten* im hier verwendeten Modell

- hierarchisch geordnete Begriffsstrukturen, verbunden mit jeweils objekt- bzw. klassenspezifischen Eigenschaften;
- repräsentieren überwiegend Klassen von Auswahlkriterien für die Objektauswahl;
- gestatten eine Problemformulierung auf verschiedenen Abstraktionsniveaus, wobei eine Bewegung zu übergeordneten Klassen eine *Abstraktion*, die Abwärtsbewegung in der jeweiligen Hierarchie eine *Konkretisierung/ Spezialisierung* bedeutet;
- sind beliebig kombiniert nutzbar (Kombination von Auswahlkriterien);
- treffen sich auf niederer Abstraktionsebene beim auszuwählenden Objekt oder sind über gemeinsame Klassen miteinander verbunden;
- sind in sich beliebig erweiterbar;
- sind beliebig durch neue Sichten ergänzbar.

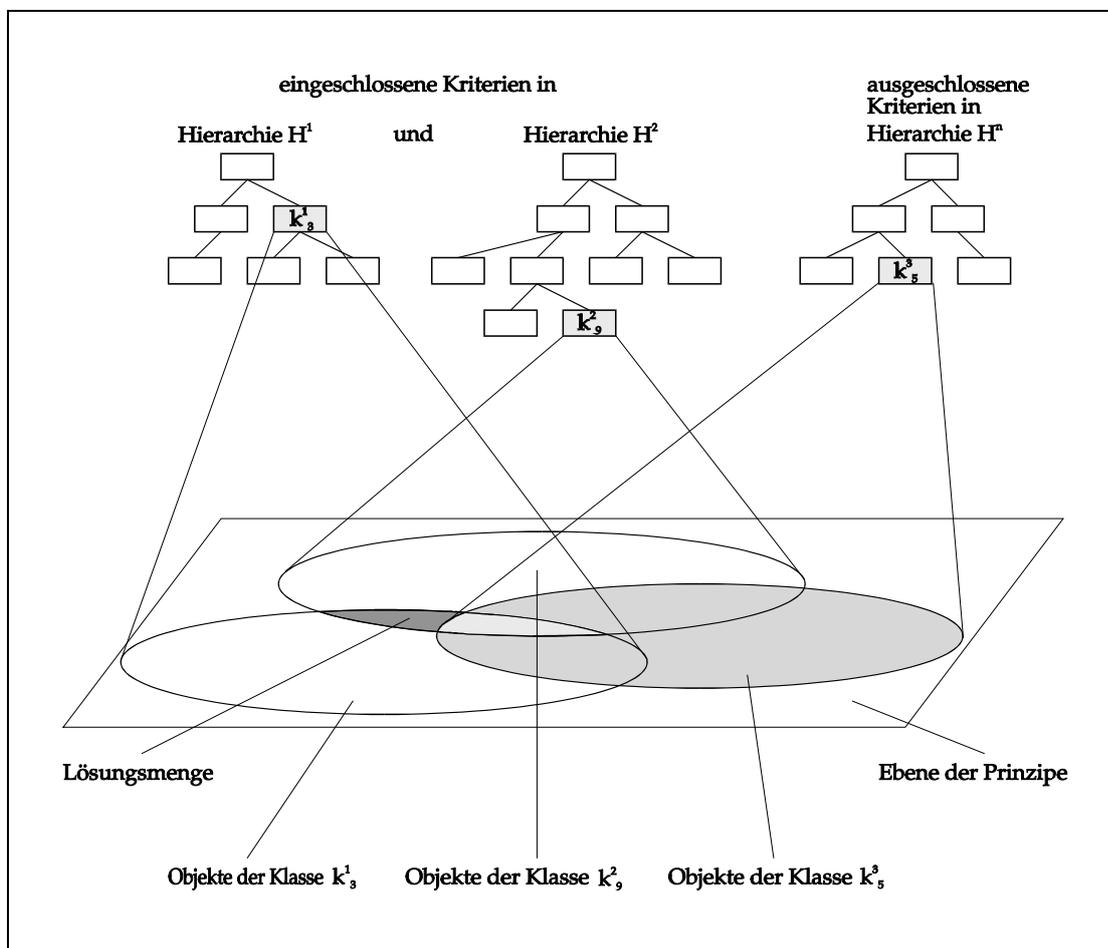


Abbildung 12: Lösungsfindung mittels Sichten (nach /69/)

Jede Sicht fokussiert auf eine bestimmte Menge von Objekten (Prinziplösungen), die Mitglied (Instanz) der entsprechenden Klasse sind, d.h. der durch die Klasse beschriebenen Kriterienmenge genügen. Je allgemeiner die Klasse (je allgemeiner die Kriterienbeschreibung), um so größer ist die Anzahl der zugehörigen Objekte (in Frage

kommende Prinziplösungen), je spezieller die Klasse (je genauer die Kriterienbeschreibung), um so kleiner die Menge der zugehörigen Objekte (geeigneten Lösungen).

Die *Lösungsmenge* (Menge der den Anforderungen genügenden Prinzipie) ergibt sich dann aus der Schnittmenge der direkt und indirekt den eingeschlossenen Klassen zugehörigen Objektmengen abzüglich der Schnittmenge der direkt und indirekt den ausgeschlossenen Klassen zugehörigen Objektmengen:

P sei die Menge aller Objekte, die Prinzipie darstellen.

a sei die Anzahl der Sichten bzw. Hierarchien.

Die Hierarchie H^s sei beschrieben durch ein Tupel

$H^s = (K^s, O^s, V^s)$ mit $s \in \{1..a\}$ und

$K^s = \{k^s_i \mid i \in \{1..card(K)\}\}$

seien die Klassen der Hierarchie H^s ,

$O^s = \{o^s_j \mid j \in \{1..card(O)\}\}$

seien die Objekte der Hierarchie H^s und

$V^s = \{v^s_{mn} \mid$

$v^s_{mn} = (k^s_m, k^s_n) \mid k^s_m, k^s_n \in K^s$

$v^s_{mp} = (k^s_m, o^s_p) \mid k^s_m \in K^s, o^s_p \in O^s\}$

seien die Beziehungen zwischen

Superklassen und Subklassen und

zwischen Klassen und Objekten in der

Hierarchie H^s

OK^s_i ist die Menge der direkten und indirekten Objekte der Klasse $k^s_i \in K^s$ der Hierarchie H^s :

$OK^s_i = \{o^s_j \mid \exists v^s_{ij} = (k^s_i, o^s_j) \mid k^s_i \in K^s, o^s_j \in O^s\}$

Die Anforderungsmenge

$A = \{AK_{ein}, AK_{aus}\}$

ergibt sich aus

der Menge der zu erfüllenden Kriterien (eingeschlossene Klassen), beschrieben durch:

$AK_{ein} = \{k^1_i, \dots, k^a_j\}$

und der Menge der zu auszuschließenden Kriterien (ausgeschlossene Klassen):

$AK_{aus} = \{k^1_p, \dots, k^a_q\}$

Dann ist

$$L = \{OK^1_i \text{ ### ... ### } OK^a_j\} \setminus \{OK^1_p \text{ ### ... ### } OK^a_q\}$$

die **Lösungsmenge** (vgl. Abbildung 12). /69/

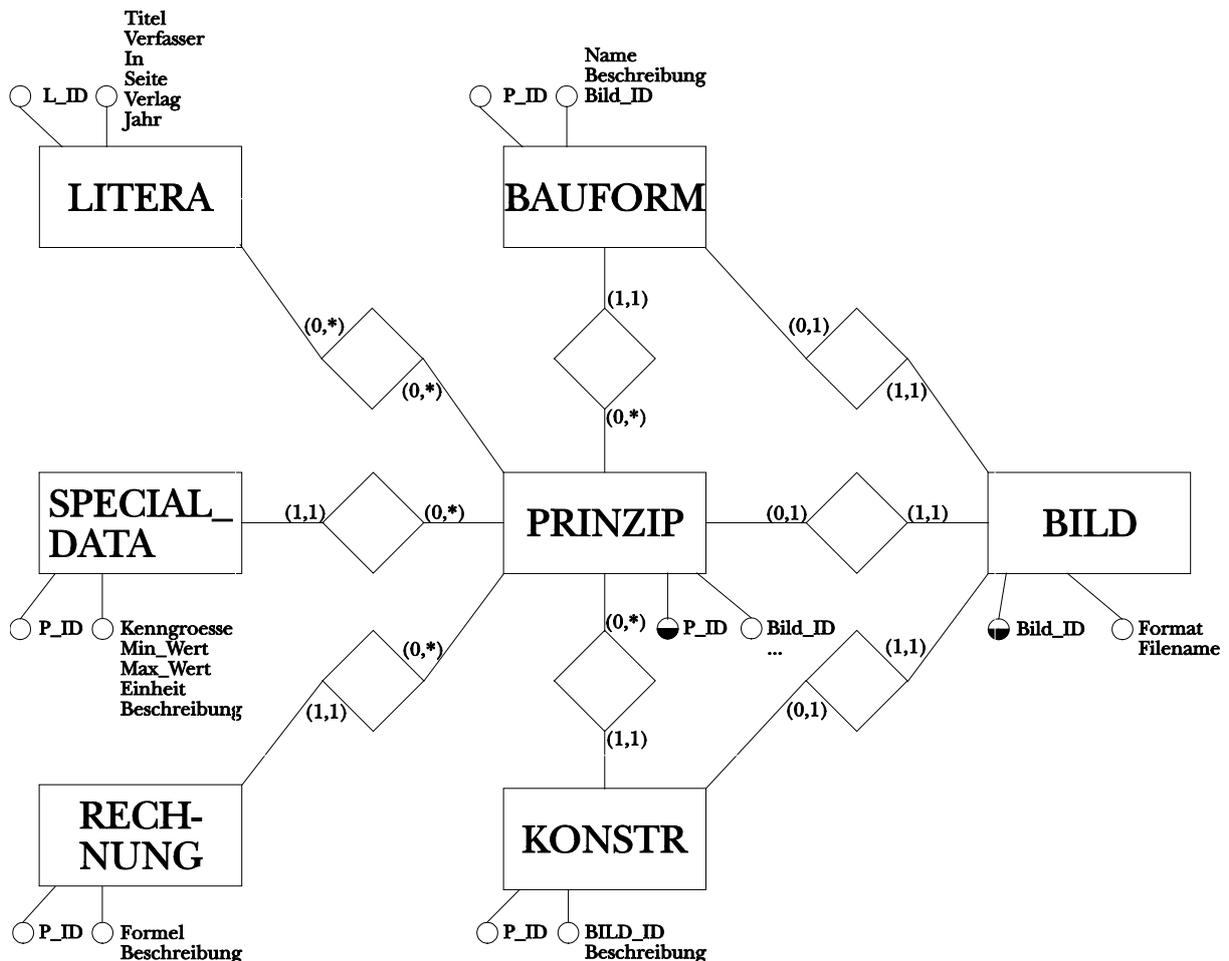
Um bei der Umsetzung dieses Konzeptes die Vorzüge (vor allem Flexibilität) voll zum Tragen zu bringen, ist eine saubere Trennung der Teilaspekte, die durch die jeweiligen Sichten abgebildet werden, notwendig. Dem widersprach die bisher grobe Struktur und die "gewachsene" Ordnung der Fachterminologie. Diese vereinigt in der Regel unter einem Begriff mehrere Aspekte und trägt dabei vielfach noch eine von Fachgebiet zu Fachgebiet unterschiedliche Bedeutung (z.B. Trennen in der Fertigungstechnik/ Verarbeitungstechnik - Aufheben von Adhäsions- bzw. Kohäsionskräften von Festkörpern - und Trennen in der Mechanischen Verfahrenstechnik - Phasentrennung in Fluiden). Auch eine klare Trennung der Darstellung von Zielen und Mitteln ist damit nicht durchgängig möglich. Sie ist jedoch die Grundlage einer wirklich umfassenden Recherche. Daher wurde die bestehende begriffliche Einordnung verarbeitungstechnischer Prinzipie nach den Aspekten "*Funktion*" (was soll realisiert werden) und "*Prinzip*" (Mittel - wie soll es realisiert werden) zerlegt und partiell strukturiert. Dabei wurde versucht, nicht in Widerspruch zu bestehenden Klassifizierungen zu geraten, sondern diese zu ergänzen bzw. weiter aufzulösen.

Um weder bewährte Teile der verarbeitungstechnischen Begriffswelt aufgeben zu müssen, noch bestehende Standards zu verletzen, wurde punktuell eine begriffliche Anpassung vorgenommen. Außerdem wurde die Möglichkeit vorgesehen, dem Nutzer alternativ zwei Begriffswelten anzubieten: Recherche streng nach Begriffen aus DIN 8580 bzw. VDI-Richtlinie 2860 oder erweitert nach der verarbeitungstechnischen Terminologie. Letztere ist vor allem durch eine bessere Trennung von Zielen und Mitteln gekennzeichnet, da die genannten Normen bzw. Standards unter genanntem Aspekt relativ heterogen strukturiert sind.

4.2.3. Relationale Darstellung von Prinzipinformationen, Kennwerten und Kenngrößen

Den Schwerpunkt bei der Datenbank-Konzeption bildete die Abbildung der Informationen zu verarbeitungstechnischen Prinziplösungen (Hauptanliegen des Beratungssystems Verarbeitungstechnik). Dabei gibt es Informationen, die für alle Prinzipie angebbbar sind und Angaben, die nur zu einzelnen Prinzipien vorliegen. Um zu vermeiden, daß keine universelle Datenbank mit vielen unausgefüllten Feldern entsteht und zu erreichen, daß dennoch alle genannten Informationen integrierbar und explizit auffindbar bleiben, wurde das in Abbildung 13 in einem Entity-Relationship-Modell gezeigte Datenbank-Konzept entwickelt.

Die Kerntabelle (Prinzip) enthält alle Prinziplösungen mit den in Anhang 2 genannten Feldern und Inhalten. Der Inhalte der übrigen Tabellen ist im Entity-Relationship-Modell (Abbildung 13) mit angeführt. Inhalt und Bedeutung dieser Tabellen sind in Tabelle 11 kurz erläutert.



P_ID ... Prinzip-Bezeichnung als Primärschlüssel; Bild_ID ... Schlüssel für zugehörige Bildinformationen

Abbildung 13: Datenbankkonzept des Beratungssystems Verarbeitungstechnik (nach /70/)

Die Fakten in der Prinzipdatenbank korrelieren mit den *Objekten* der darüberliegenden Schicht, der Wissensbasis. Der Primärschlüssel in der Datenbank entspricht dabei dem jeweiligen Objektnamen. Die Daten aus der Datenbank werden bei Bedarf in das entsprechende Objekt geladen und stehen dann als Eigenschaftswerte in NexpertObject sowohl zur Auswertung als auch zur Weitergabe an die Benutzeroberfläche zur Verfügung.

Tabelle	Inhalt
BAUFORM	Name, Beschreibung und Schlüssel für Bild zu speziellen Bauformen
BILD	Format und Filenamen der Bilddateien, identifiziert über Schlüssel Bild_ID
KONSTR	textliche Konstruktionshinweise mit Schlüssel für ergänzende Abbildungen bzw. Schlüssel für Grafiken zur Abb. von Kenngrößen (Tabellen und Diagramme)
RECHNUNG	Berechnungsformeln mit textlichen Erläuterungen
SPECIAL_DATA	Kenngrößen und andere spezielle Angaben mit der Möglichkeit der Angabe von min-, max-, Mittelwerten, Einheit und Beschreibung
LITERA	Quellenangaben und weiterführende Literatur

Tabelle 11: Inhalt der Tabellen mit Zusatzinformationen zu Prinziplösungen

Durch das Hinzufügen eines Statusfeldes mit dem Inhalt "Class" oder "Object" wurde erreicht, daß entsprechende Datensätze nicht nur zur Beschreibung der Eigenschaften einzelner Prinzipie sondern auch von Prinzipklassen genutzt werden können.

Für die Speicherung von Kennwerten von Verarbeitungsgütern wurde eine entsprechende Tabelle konzipiert. Sie beinhaltet Felder für die Bezeichnung der Verarbeitungsgüter und Felder für deren Eigenschaften, die als Minimal-, Maximal- oder als exakte Werte angebbar sind. Es gibt entsprechende gutgruppenspezifische Tabellen mit typischen Eigenschaften fester, flüssiger/ pastöser und gasförmiger Güter. Eine Kerntabelle enthält die für alle Güter relevanten physikalischen Stoffeigenschaften. Für Schüttgüter wurden beispielhaft Werte zusammengetragen. Dabei trat das Problem der Verifizierbarkeit der Daten in den Vordergrund. Unter unterschiedlichen Bedingungen bzw. mit unterschiedlichen Meßmethoden ergeben sich z.T. stark unterschiedliche Werte /147/. Für viele Eigenschaften müßten daher ganze Wertetupel für ein und dasselbe Gut erfaßt werden, die Meßmethode und Meßbedingungen widerspiegeln. Ein Kompromiß ist eine entsprechende Quellenangabe. Dennoch bleibt das Problem der Beschaffbarkeit verlässlicher Werte, die einerseits großen Aufwand erfordert und dennoch zu großen Lücken in den Datenbeständen führt. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit, für ein bestimmtes Gut einen bestimmten Eigenschaftswert in der Datenbank ermitteln zu können,

der dazu noch unter den vorliegenden Bedingungen zutrifft, sehr gering. Es muß eingeschätzt werden, daß die Schaffung derartiger aussagekräftiger Kennwertdatenbanken ein separat zu lösendes Problem ist. Daher wurde der Aufbau einer umfassenden Kennwertsammlung, von den prototypischen Ansätzen abgesehen, zunächst nicht weiterverfolgt. Als Ergänzung zu den Prinzipinformationen wäre eine solche Sammlung jedoch sehr sinnvoll.

4.2.4. Bildinformationen

Zentraler Bestandteil des Wissensspeichers sind die verarbeitungstechnischen Prinzipskizzen. Ihre exponierte Rolle und Bedeutung wurde bereits in Abschnitt 2.3.4. hervorgehoben. Zur Anwendung kommen dabei überwiegend reine Prinzipdarstellungen, die jedoch in der Mehrzahl einen höheren Komplexitätsgrad und Detailgehalt haben als die in der Konstruktionstechnik ansonsten üblichen Prinzipdarstellungen wie beispielsweise in /121/, /131/ oder /98/, da sie zum großen Teil Prinziplösungen für komplexere Funktionen abbilden (vgl. Abschnitt 2.4.1.1.).

Repräsentation					$A = \int F ds$	Text
Eignung für	K	S	P	D	F	U
freie Assoziation	++	+	+	0	0	++
Geometrisch, topologische Assoziationen	+	++	+	-	--	0
Unmittelbares (laienhaftes) Verständnis	+	0	-	-	--	++
Tiefes systemhaftes Verständnis	0	+	+	++	++	0
Komplexe Systeme	--	-	++	+	0	-
Abstraktion	--	-	++	+	++	0
Zeitabläufe abbilden	--	--	+	++	++	+
Universalität	-	0	+	+	+	++

K ... Konturbeschreibende Bilder (z.B. Fotos, CAD-3D-Visualisierungen),

S ... Bilder, die den inneren geometrischen Aufbau beschreiben (z.B. maßstäbliche Skizzen)

P ... Prinzipbilder (z.B. Fließschemata, Strichskizzen)

D ... Diagramme

F ... Formale Sprache, Formeln

U ... Umgangssprache

Tabelle 12: Elementare Repräsentationsformen konstruktionstechnischer Sachverhalte und ihre Eignung für wichtige Darstellungsaspekte nach /58/

Daneben enthält das System für manche Lösungen Schnittzeichnungen konstruktiver Details von funktionswichtigen Elementen (siehe Konstruktionshinweise in der Datenbankstruktur [Abbildung 13, Seite 83]) sowie Darstellungen zu Bauformen (ebenda). Soweit für die

Auslegung von Details oder zur Ermittlung von Anwendungskriterien nötig, kommen dazu noch Diagramme und Schaubilder.

Die Rolle, die die einzelnen Darstellungsformen für die Unterstützung der Problemlösung spielen, wird in der Übersicht Tabelle 12 deutlich.

Hervorzuheben ist dabei die Assoziativität von maßstäblichen Skizzen und Strichdarstellungen sowie die gute Eignung von Prinzipdarstellungen für Abstraktion und Handhabung von Komplexität.

Die Einbindung der Bildinformationen wurde bereits in den Abschnitten 4.2.1. und 4.2.3. beschrieben. Als EPS-Files sind sie gut portierbar und können von der Mehrzahl von CAD-Systemen eingelesen werden, wodurch eine Weiterbearbeitung theoretisch möglich ist.

4.2.5. Ergänzende Informationen in der Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche enthält Text- und Grafikinformatoren. Das sind einerseits Informationen zur Bedienung des Systems und andererseits Informationen, die verarbeitungstechnisches Wissen wiedergeben.

Grafische Informationen zur Bedienung des Systems sind Schaltflächen, die mit Icons versehen sind. Die Icons versinnbildlichen bestimmte Aktionen, die durch Klicken auf den Schalter ausgeführt werden oder Inhalte, die über diese Aktionen abrufbar sind. Neben den grafischen Elementen, die standardisierte Bestandteile von grafischen Benutzeroberflächen sind (hier OSF-Motif), gibt es applikationsspezifische Elemente, die innerhalb gleicher Arten von Werkzeugen gleich oder ähnlich und an gleicher Stelle angeordnet sind. Welche das sind und wie sie gebraucht werden, geht aus Abschnitt 5. hervor.

Grafische Informationen in der Benutzeroberfläche mit verarbeitungstechnischem Inhalt sind Bestandteil der Browser, mit denen der Nutzer in den Objekthierarchien navigieren kann. Es sind dies zum einen Icons, die die Klassenbezeichnungen ergänzen (z.B. Symbole für "Schüttgut", für "Fügen" oder für "Ordnen"), zum anderen werden die Klassenbeziehungen durch Verbindungslinien zwischen den Klassenbezeichnungen (mit ihren Icons) dargestellt. Die Objektstrukturen werden auf diese Weise in "Bäumen" veranschaulicht, die aus Knoten für die Klassen und aus Linien für die Verbindung zwischen Sub- und Superklassen bestehen. Die Knoten werden von den Klassenbezeichnungen und dem zugehörigen Icon gebildet.

Eine wesentliche Funktionsgruppe des Systems, das von der Benutzeroberfläche aus aufgerufen werden kann, ist das Hilfesystem. Es gliedert sich in zwei kontextsensitive Kompo-

nenten, die über Schalter oder Menü aktiviert werden können. Die eine beinhaltet Hinweise zur Systembenutzung (Softwarehandling), die andere gibt während der Arbeit mit den Browsern für die Objekthierarchien Informationen zur jeweils aktiven (markierten) Klasse. Dies sind zunächst Begriffsdefinitionen für Verarbeitungsgutklassen, verarbeitungstechnische Funktionen und Eigenschaften. Von diesen Definitionen aus gibt es Querverweise auf verwandte Themengebiete, die ebenfalls sofort abrufbar sind. Auf diese Weise ist dem Benutzer über das Hilfesystem ein großer Fundus an theoretischen Grundlagen zugänglich. Neben Definitionen sind so auch Klassifizierungskriterien, Wertebereiche u.ä. abrufbar. Da die Namen der Textfiles mit den jeweiligen Hilfetexten wiederum als Klasseneigenschaften in die Objekthierarchien eingebunden sind, ererbt eine Klasse ohne spezielle Definition die Erklärungen zur zugehörigen Superklasse und ermöglicht so den Einstieg in das jeweilige Themengebiet.

4.3. Modellierung von Wissenskomponenten der Domäne Verarbeitungstechnik

4.3.1. Abbildung verarbeitungstechnischer Funktionen

4.3.1.1. Darstellungsarten für verarbeitungstechnische Funktionen - Bedeutung, Verwendung, Probleme

Die verarbeitungstechnische Funktion beschreibt die beabsichtigte Änderung des Zustandes des zu verarbeitenden Gutes. Als Zustandsänderung wird die Änderung bestimmter Eigenschaften des Verarbeitungsgutes aufgefaßt, wobei diese Eigenschaften sowohl Eigenschaften sein können, die das Verarbeitungsgut unabhängig von den Relationen zu seiner momentanen Umgebung besitzt (implizite), als auch Eigenschaften bezüglich dieser Relationen (z.B. Position, Orientierung usw.). Das Verarbeitungsgut selbst wird nicht vom Funktionsbegriff eingeschlossen, sondern nur die jeweils relevanten Eigenschaften. Dadurch ist ein und dieselbe verarbeitungstechnische Funktion auf verschiedene Verarbeitungsgüter anwendbar, vorausgesetzt, sie besitzen die zu verändernden Eigenschaften (vgl. Abschnitt 3.2.3.).

vat. Funktionsdarstellung	Vorteile	Nachteile	Verwendungsmöglichk.
---------------------------	----------	-----------	----------------------

als Begriff	kurz, formal verarbeitbar (z.B. in Regeln), assoziativ, geeignet zur Abbildung von Strukturen	(ungewollte) inhaltliche Verkürzung der tatsächlichen Funktion möglich, häufig mehrdeutig bzw. nicht klar abgegrenzt.	Strukturen zur formalen Abbildung funktioneller Zusammenhänge und zur Lösungssuche bzw. -speicherung
als Symbol	kurz, assoziativ, geeignet zur Abbildung von Strukturen, eher eindeutig	formal nicht verarbeitbar, (ungewollte) inhaltliche Verkürzung der tatsächlichen Funktion möglich, Inhalt/ Bedeutung ev. nicht klar abgegrenzt.	starker Zusammenhang mit begrifflicher Abbildung (siehe Abschnitt 3.2.2.), Strukturen zur formalen Abbildung funktioneller Zusammenhänge, Ergänzung begrifflicher Strukturen zur Verbesserung der Assoziativität und Eindeutigkeit
als Eigenschaftsänderung (implizit als Differenz zwischen Eingangs- und Ausgangswerten oder explizit als qualitative oder quantitative Angabe)	vollständige Abbildbarkeit aller auf Eigenschaften abbildbaren Funktionsanforderungen, formal verarbeitbar, kompatibel zu anderen Komponenten innerhalb von Produktmodellen	weniger übersichtlich und assoziativ, erfordert Analyseaufwand und ist daher weniger für schnelle Lösungssuche geeignet als begriffliche Darstellung	exakte Funktionsabbildung in Ergänzung zu den anderen Darstellungsarten, geeignet für Implementierung durchgängiger Automatismen zur Verbindung von Analyse, Information, Selektion und Synthese (Parameterübergabe)

Tabelle 13: Darstellungsvarianten für verarbeitungstechnische Funktionen und ihre Einsatzmerkmale (vgl. auch /103/)

Die verschiedenen Beschreibungsmöglichkeiten für verarbeitungstechnische Funktionen wurden bereits in Abschnitt 3.2.3. dargestellt. Tabelle 13 zeigt ihre jeweiligen Vor- und Nachteile sowie ihre Verwendungsmöglichkeiten.

Im vorliegenden Fall steht die schnelle, flexible und assoziative Lösungssuche im Vordergrund. Aus diesem Grund kommt der begrifflichen Darstellung verbunden mit grafischen Symbolen eine herausgehobene Bedeutung zu.

Sie wird ergänzt durch die Abbildung auf Eigenschaftsänderungen, um auch den nachfolgend aufgeführten Anforderungen zu genügen:

- Beherrschung begrifflicher Unschärfen,

- Lösungsneutralität bei der Festlegung des Suchraums,
- Automatisierungsmöglichkeiten für die Synthese von Funktionsstrukturen,
- Möglichkeiten der Parameterübernahme und -übergabe im Rahmen späterer Einbindung in andere Module,

Die Unterstützung der Synthese von Funktionsstrukturen ist im vorliegenden Fall nicht primäres Ziel, da die punktuelle Suche nach neuen verarbeitungstechnischen Lösungen innerhalb eines Gesamtprozesses (innermaschinellen Verfahrens) häufiger sein dürfte, als die Suche nach komplett neuen innermaschinellen Verfahren (vgl. Abschnitt 2.1.). Die Schaffung der Voraussetzungen für eine Erweiterung um diese Komponente ist jedoch sinnvoll.

Ausgangspunkt der Entwicklung ist also nicht ein umfassender Ansatz für die allgemeine Funktionsdarstellung und Manipulation, der möglichst viele Anwendungs- und Integrationsaspekte berücksichtigt (vgl. /103/), sondern im Vordergrund steht zunächst der fachspezifisch geprägte Informationsaspekt, von dem aus eine Erweiterung möglich sein muß.

4.3.1.2. Die Sicht "Verarbeitungstechnische Funktion"

Die Sicht "Verarbeitungstechnische Funktion" ist eine Hierarchie aus Begriffen, die dem schnellen Auffinden verarbeitungstechnischer Prinziplösungen nach ihrer Hauptfunktion dient.

Eine Schwierigkeit bei der Funktionsklassifikation auf begrifflicher Ebene besteht in der Unschärfe mancher Begriffe, in inhaltlichen Überschneidungen und in einer teilweise unterschiedlichen inhaltlichen Belegung innerhalb verschiedener Fachdisziplinen (vgl. Abschnitt 4.2.2.) Dem wird einerseits durch das Hilfesystem mit Definitionen und Erläuterungen begegnet, andererseits gibt es die bereits erwähnte Wahlmöglichkeit zwischen alternativen Begriffswelten (vgl. Abschnitt 4.2.2.).

In Anhang 3 ist der Inhalt der Begriffshierarchie "verarbeitungstechnische Funktion" dargestellt. Die Untergliederung beginnt analog der bisherigen Einteilung der verarbeitungstechnischen Vorgänge (/12/) in sieben Vorganggruppen. Diese wurde lediglich an zwei Stellen modifiziert: Zur Klasse "Fügen" wurde der Begriff "Beschichten" explizit hinzugefügt, da lt. DIN 8580 Beschichten keine Subklasse des Fügens ist. Die Klasse "Dosieren" wurde um den Begriff "Entspeichern" erweitert, da weder der Zweck jedes Entspeicherns gleichzeitig die Bildung einer bestimmten Menge beinhalten muß, noch das

Dosieren immer aus einem Speicher heraus erfolgen muß. Dennoch überschneiden sich beide Klassen so großflächig, daß sie in einer gemeinsamen Kategorie zusammengefaßt wurden.

Bei der weiteren Unterteilung der Klasse "Fügen" erfolgt in der nächsten Gliederungsebene eine Vermischung mit der Einteilung in Verarbeitungsgutformen. Damit wird eine Komplizierung der Informationsverarbeitung durch unterschiedliche Verarbeitungsgüter am Eingang des Verarbeitungsvorganges "Fügen", die sonst bei keiner Klasse von Verarbeitungsvorgängen auftritt, vermieden. Außerdem handelt es sich aus funktionaler Sicht um ein signifikantes Unterscheidungsmerkmal, welche Gutgruppen zusammengefügt werden sollen.

Die weitere Untergliederung der Klasse "Trennen" beinhaltet die bereits im Abschnitt 3.2. diskutierte Schnittstelle zwischen Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik. Die Motivation, verfahrenstechnische Teilgebiete in die Gliederung aufzunehmen, wurde dort bereits erläutert.

Die sonstigen Klassifizierungskriterien gehen aus Anhang 3 hervor und sollen hier nicht alle im Einzelnen behandelt werden.

4.3.1.3. Die Sicht "Eigenschaftsänderung"

Die Synthese von Funktionsstrukturen steht vielfach in Wechselwirkung mit der Auswahl der verarbeitungstechnischen Prinzipie, weil diese zuweilen mehrere Funktionen realisieren. Die Unterschiede zwischen Haupt- und Nebenfunktion verwischen bei manchen Verarbeitungsaufgaben, so daß die Suche ausschließlich nach der Hauptfunktion wertvolle Lösungen aussparen könnte. Die Möglichkeiten zur gezielten Suche z.B. über Stichwortliste verleiten möglicherweise zum "schnellen Zugreifen" und so könnte es vorkommen, daß der Nutzer unnötige Einschränkungen trifft, seiner Recherche Funktionstopologien zugrundelegt, die nicht optimal sind oder Möglichkeiten zur Funktionsintegration verschenkt. Die rein begriffliche Zuordnung von Prinziplösungen zu verschiedenen Kriterienmengen ist zudem relativ starr, so daß dabei immer nur Lösungen gefunden werden, die zuvor bei der Akquisition durch ihre Einordnung im System explizit als geeignet deklariert wurden. "Unübliche" Lösungen werden auf diesem Wege also wahrscheinlich nicht gewonnen. Unter bestimmten Bedingungen ist aber gerade das gewünscht.

Deshalb wurde noch die Möglichkeit einer von der begrifflich zusammenfassenden Aufgabenformulierung (Funktionsklassenbezeichnung) unabhängige Formulierung des Verarbeitungszieles geschaffen: die Angabe der am Verarbeitungsgut zu vollziehenden Eigenschaftsänderungen. Die Suche anhand dieser Eigenschaftsänderungen ermöglicht

- Funktionsintegration (z.B. Fördern und Orientieren innerhalb einer Prozeßstufe),
- das Formulieren von komplexen Verarbeitungszielen, für die dann alternative Topologien erstellt werden können,
- das Formulieren von Verarbeitungszielen, die sich nur indirekt in Verarbeitungsvorgängen ausdrücken lassen (z.B. Verminderung der Reflexion),
- das Finden unerwarteter Lösungen (z.B. Verminderung der Reflexion nicht nur durch Beschichten, sondern ebenso durch Aufrauhen oder Veränderung der Zusammensetzung (Beimengen von Farbpigmenten beim Urformen)).

Die Eigenschaftsänderungen gliedern zunächst in "Einzeleigenschaften ändern" und "Mengeneigenschaften ändern". Einzeleigenschaften sind Eigenschaften, die das Verarbeitungsgut unabhängig von aktuellen Relationen zu seiner Umgebung kennzeichnen. Mengeneigenschaften charakterisieren den aktuellen Bezug des Verarbeitungsgutes (bei Stückgütern des einzelnen Stückes) zu seiner Umgebung (bei Stückgütern also auch die Relationen der Teile untereinander).

Über verschiedene Zwischenebenen erfolgt eine Aufteilung bis hin zur konkret beabsichtigten Änderung (qualitativ): Eigenschaftswert vermindern oder erhöhen. Bei Eigenschaften, die sich so nicht sinnvoll beschreiben lassen, endet die Unterteilung auf der Ebene <Eigenschaft>_ändern (z.B. "Farbe ändern").

Damit sind folgende Sachverhalte abbildbar:

- beabsichtigte Zustandsänderung durch den Verarbeitungsvorgang (*verarbeitungstechnische Hauptfunktion*),
- dabei auftretende *Nebenwirkungen* bzw. gewünschte *Nebenfunktionen*,
- einzuhaltende *Randbedingungen* (unerwünschte und daher auszuschließende Nebenwirkungen sowie für die Funktion notwendige Randbedingungen).

In Anhang 4 ist die Klassifikation der Eigenschaftsänderungen abgebildet.

Neben der direkten Spezifikation der erwünschten bzw. unerwünschten Eigenschaftsänderung(en) besteht noch die Möglichkeit, daß der Nutzer oder ein vorangegangener Inferenzprozeß Anfangs- und/ oder Endwerte für bestimmte Eigenschaften gesetzt hat. In diesem Fall ermitteln entsprechende Regeln bei Bedarf die entsprechende Eigenschaftsänderung aus dem Vergleich von Anfangs- und Endzustand.

Die große Anzahl verschiedener beschreibbarer Eigenschaften ermöglicht u.a. die Beschreibung vielfältiger *Verarbeitungsziele*. Der Nutzer gibt anstelle eines konkreten Vorganges nur an, welche Eigenschaften er in Bezug auf den Anfangszustand des Verarbeitungsgutes ändern

möchte. Dies können durchaus Eigenschaften sein, die durch Verarbeitungsvorgänge *primär nicht* verändert werden. Das System kann dann versuchen, mittels Regeln über die Zusammenhänge zwischen Eigenschaften diese Eigenschaftsänderung auf einen bzw. mehrere (auch alternative) Verarbeitungsvorgänge zurückzuführen.

Die Kennzeichnung verarbeitungstechnischer Funktionen über Eigenschaftsänderungen ermöglicht es außerdem, mittels Regeln den Akquisitionsprozeß zu beschleunigen und zu vereinfachen: Die Zuordnung eines neu zu erfassenden Prinzips zu der als Hauptfunktion gewünschten Eigenschaftsänderung ermöglicht nachfolgend eine automatische Zuordnung zu den (begrifflich ausgedrückten) Verarbeitungsfunktionen (Zuordnung innerhalb der Objekthierarchie "verarbeitungstechnische Funktion"). Über die Zuordnung von Eigenschaftsänderungen zu Verarbeitungsgutformen lassen sich außerdem unmögliche Kombinationen von Funktion und Verarbeitungsgutgruppe ausschließen (z.B. Ausrichten von gasförmigem Verarbeitungsgut: da Gasen keine Orientierung zugeordnet werden kann, ist die Ausführung dieser Funktion sinnlos).

Die Sicht "Eigenschaftsänderung" besitzt somit eine integrierende Funktion für das Gesamtsystem.

4.3.2. Abbildung von Informationen über Verarbeitungsgüter

4.3.2.1. Beschreibungskomponenten und ihre Verwendung bei der Lösungssuche

Bei der dieser Modellierung zugrundeliegenden Auffassung des Begriffs "verarbeitungstechnische Funktion" (siehe Abschnitt 3.1.1.), die das Verarbeitungsgut nicht einschließt, erfordert die Formulierung einer sinnvollen Verarbeitungsaufgabe die explizite Angabe des zu verarbeitenden Gutes. Diese Deklaration kann auf zwei Wegen erfolgen: a) die Angabe der konkreten Gutbezeichnung (z.B. "Mehl" oder "Flachglas") oder b) die Angabe der Gutgruppe (Klassifizierung der Formvarianten). Die zentrale Rolle der Gutform ist in /66/ deutlich herausgearbeitet. Ihre klassifizierte Form ist mitentscheidend für den Erfolg einer branchenübergreifenden Lösungssuche. Im Sinne methodischen Vorgehens bei der Lösungssuche ist daher im Beratungssystem Verarbeitungstechnik für die genannten zwei Beschreibungsmöglichkeiten folgende Verwendung vorgesehen: Klassifizierung der Gutform (b) für die branchenübergreifende Lösungssuche, konkrete Bezeichnungen von Verarbeitungsgütern (a) für die Verifizierung gefundener Lösungen (Referenzgüter, für die die Lösung bereits erfolgreich eingesetzt wurde, Zugriff auf konkrete Verarbeitungseigenschaften als eine Voraussetzung für die Einschätzung der Eignung einer gefundenen Lösung).

Somit wird für die Prinzipsuche anhand der Verarbeitungsaufgabe im Beratungssystem Verarbeitungstechnik ein Werkzeug zur Deklaration der Verarbeitungsgutklasse benötigt, das auf der Kennzeichnung der Gutform beruht.

Für die Lösungsbewertung und Feinauswahl ist die Bereitstellung von Referenzgütern für die einzelnen Prinzipie sinnvoll, wie sie in der Datenbankstruktur berücksichtigt ist (siehe Anhang 2). Daneben sollte der Zugriff auf Kennwerte möglich sein. Dieser kann einerseits über die Gutbezeichnung erfolgen, wie sie in der Prinzipdatenbank enthalten sind oder über eine Zuordnung alphabetisch geordneter Listen von Verarbeitungsgütern zu den entsprechenden Gutgruppen und über eine Klassifizierung der Eigenschaften.

Wie in Abschnitt 4.3.1.3. bereits erläutert, lassen sich über Eigenschaftsänderungen auch verarbeitungstechnische Funktionen abbilden. Es wurde dabei bereits erwähnt, daß diese Eigenschaften entweder explizit angebbar sind oder sich aus der Differenz der Eigenschaftswerte am Eingang und am Ausgang des Verarbeitungsvorganges ergeben. Für die manuelle Nutzung der zweiten Möglichkeit muß der Nutzer zur Beschreibung der verarbeitungstechnischen Funktion gemeinsam mit der Deklaration des zu verarbeitenden Gutes dessen während des Verarbeitungsvorganges zu ändernde Eigenschaftswerte (qualitativ

oder quantitativ) eingeben können. Gibt er in gleicher Weise das angestrebte Ergebnis des Verarbeitungsvorganges an (Verarbeitungsgut im Endzustand mit geänderten Eigenschaften), so ergibt sich die zu vollziehende Funktion aus der Differenz zwischen Ein- und Ausgangswerten der angegebenen Eigenschaften.

Sollen alle diese Leistungsmerkmale realisiert werden, werden in der Wissensbasis folgende Beschreibungselemente für Verarbeitungsgüter und deren Eigenschaften benötigt:

- Klassifizierung der Verarbeitungsgüter nach der Gutform mit abrufbaren Listen von Referenzgütern,
- Klassifizierung der Eigenschaften von Verarbeitungsgütern zum schnellen Auffinden der gesuchten Eigenschaft oder Eigenschaftsklasse.

4.3.2.2. Die Sicht "Verarbeitungsgut"

Die Klassifizierung der Verarbeitungsgüter baut auf der Einteilung in Gutgruppen, wie sie bereits Grundlage des Wissensspeichers Verarbeitungstechnik /12/ war, auf (vgl. Abschnitt 2.4.3.). Eine Veränderung wurde lediglich bezüglich der Zuordnung von blattförmigem Flachformgut vorgenommen. Da die Relevanz des Verhaltens dieser Güter in Verarbeitungsprozessen als Stückgut mindestens ebenso groß ist wie die Relevanz der für Flachformgüter typischen Eigenschaften (gemeinsame Eigenschaften mit bahnförmigem Flachformgut), wurde es nunmehr den Stückgütern zugeordnet, was den formalen Klassifizierungskriterien besser entspricht, die Zuordnung stückgutspezifischer Eigenschaften erleichtert, gleichzeitig die Berücksichtigung der flachformgutspezifischen Eigenschaften aber nicht ausschließt.

Die weiter vorgenommene Untergliederung geht aus Anhang 5 hervor.

4.3.2.3. Abbildung von Verarbeitungsguteigenschaften

Für die Eingabe von Eigenschaftswerten am Ein- und Ausgang des Verarbeitungsvorganges und für das schnelle Auffinden von Eigenschaftswerten in Kennwertdatenbanken ist eine Klassifikation der Eigenschaften von Verarbeitungsgütern nötig. Sie ähnelt weitgehend der Klassifizierung der Eigenschaftsänderungen (siehe Abschnitt 4.3.1.3. und Anhang 4). Jedoch sind an den Klassen der untersten Gliederungsebene, die die Namen der jeweiligen Eigenschaften tragen, die Eigenschaftswerte als Werte von Properties gleichen Namens abbildbar. Die Eigenschaften der Verarbeitungsgüter sind je nach ihrer Art *quantitativ und qualitativ* oder nur auf eine dieser beiden Arten angebbar.

Bsp.: Dichte	-	quantitativ: min.-max. oder exakt qualitativ: niedrig (1) bis hoch (9)
Dielektrizitätszahl	-	quantitativ: min.-max. oder exakt (qualitative Angabe wäre nicht sinnvoll bzw. nicht ohne Konsistenzprobleme verarbeitbar)
Transparenz	-	qualitativ: niedrig (1) bis hoch (9) (nicht quantifizierbar)

Die **qualitativen Angaben** sind aus Konsistenzgründen nicht fest an die quantitativen Angaben gebunden, sondern werden abgefragt und nur temporär für die Wissensverarbeitung genutzt, wenn keine Absolutwerte zur Verfügung stehen. Die Vergleichbarkeit wird durch die Bereitstellung von *Referenzwerten bekannter Verarbeitungsgüter* gewährleistet, zwischen die der gesuchte Wert einzuordnen ist. Dazu werden von der Benutzeroberfläche Schieberegler, Skalen u.ä. bereitgestellt, die die Relationen verdeutlichen. Mittels entsprechender Regeln kann über Proportionalitätsbeziehungen aus bekannten (bereits abgefragten oder ermittelten) auf unbekannte Werte geschlossen werden. Diese Schlüsse sind sowohl auf quantitativer Ebene (Formeln) als auch auf qualitativer Ebene möglich. So sind Sachverhalte abbildbar, die bis in den Bereich des Allgemeinwissens hineingehen, für Verarbeitungsvorgänge jedoch von Bedeutung sind und deren Berücksichtigung die Arbeit mit dem System wesentlich erleichtert und flexibilisiert (siehe Abschnitt 4.3.5.).

Die so abgebildeten Werte können benutzt werden

- zur Abarbeitung von Regeln über die Einsetzbarkeit bestimmter Prinziplösungen (Randbedingungen),
- zur Ableitung verarbeitungstechnischer Funktionen aus dem Vergleich der Ist-Werte vor dem Verarbeitungsvorgang mit den Soll-Werten nach dem Verarbeitungsvorgang (siehe Abschnitt 4.3.1.3.).

Werden für die Abarbeitung einer Regel qualitative oder quantitative Angaben benötigt, steuern Metaslots (definierbare Mechanismen, die wirksam werden, wenn auf ein Property zugegriffen wird /6/) die Aktivitäten zur Werteermittlung in folgender Reihenfolge:

- Ermittlung aus Kennwertdatenbanken (soweit vorhanden),
- Ableitung aus dem System bereits bekannten Werten,
- durch Nutzerabfrage.

Mit der Abbildbarkeit von Verarbeitungseigenschaften in der Wissensbasis ist eine Voraussetzung für die automatische Ermittlung alternativer Topologien (Wirkketten) aus Eingangs- und Endzustand des Verarbeitungsgutes gegeben.

4.3.3. Abbildung verarbeitungstechnischer Prinzipie

4.3.3.1. Die Sicht "Verarbeitungstechnisches Prinzip"

Mit Hilfe der Sicht "Verarbeitungstechnisches Prinzip" kann der Nutzer

- nähere Informationen zu einem ihm bereits bekannten Prinzip schneller aufsuchen (anhand der Hierarchie oder nach Stichwortliste),
- die Lösungsmenge auf eine bestimmte Art von Lösungen beschränken (z.B. Schneidprinzipie),
- Klassen von Lösungen ausschließen.

Während die Sicht "Verarbeitungstechnische Funktion" danach unterteilt ist, *was* ein verarbeitungstechnisches Prinzip für eine Funktion erfüllt, *welche* Veränderungen am Verarbeitungsgut vorgenommen werden sollen, ist die Hierarchie "Verarbeitungstechnisches Prinzip" überwiegend unter dem Aspekt gegliedert, *wie* diese Funktion erfüllt wird. Diese Trennung ermöglicht eine lösungsneutrale (funktionsorientierte) Breitensuche auf der einen und eine bereits auf eine bestimmte Lösungsklassen orientierte und damit auf einen bereits vorabgegrenzten Suchraum gerichtete Suche auf der anderen Seite. Die Notwendigkeit der erstgenannten Suchstrategie wurde bereits in den Abschnitten 2.4. und 3. begründet. Die Suche anhand lösungsbeschreibender (nicht funktionsbeschreibender) Merkmale dient

- a) dem schnellen Auffinden von Detailinformationen zu bestimmten Prinzipien,
 - b) der Gewinnung eines Überblicks über bestimmte Lösungsklassen und
 - c) der Einschränkung des Suchraumes aufgrund von technischen Randbedingungen.
- (vgl. Abschnitt 3.1.1.).

Für eine solche Prinzipklassifikation stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, die unterschiedliche Abstraktionsebenen verkörpern:

- die Einteilung nach den genutzten physikalischen Effekten,
- die Einteilung nach dem angewendeten Wirkprinzip,
- die Einteilung anhand beschreibender technischer Merkmale (z.B. Form der Arbeitsorgane).

Sowohl die Einteilung nach physikalischen Effekten als auch nach Wirkprinzipien sind in Ergänzung zur Einteilung nach der zu realisierenden Funktion sehr gut geeignet, auf relativ

hohem Abstraktionsniveau nach innovativen Lösungen zu suchen (vgl. z.B. /14, 129, 131/). Aus diesem Grunde ist das Hinzufügen einer entsprechenden Sicht zum Beratungssystem Verarbeitungstechnik als sinnvoll anzusehen. Ein schneller und gezielter Zugriff auf bestimmte Lösungsklassen, wie er für die Deckung von Informationsbedarf außerhalb der Konzeptphase notwendig ist (siehe Abschnitt 2.3.1.), wird dadurch jedoch nicht unterstützt. Das liegt zum einen an der Abstraktionshöhe und zum anderen daran, daß die bereits mit relativ vielen konkreten technischen Merkmalen beschriebenen verarbeitungstechnischen Prinzipie durch eine solch abstrakte Einteilung nicht in genügend kleine Lösungsmengen zerlegbar ist.

Die Einteilung innerhalb der Sicht "Verarbeitungstechnisches Prinzip" wurde aufgrund der genannten pragmatischen Anforderungen stark an eingeführten klassifizierenden Begriffen orientiert (siehe Anhang 6). In den oberen Gliederungsebenen kommt es dadurch zu einer Überschneidung mit der Funktionshierarchie. Die eingeführten Begriffe zur Feingliederung der einzelnen Prinzipklassen (z.B. Stanzen, Sägen, Drehspanen) basieren jedoch auf einer Grundeinteilung nach Funktionen (Stanzen, Sägen, Drehspanen sind Subklassen der Klasse aller Trennprinzipie). Da angenommen werden muß, daß der Benutzer erwartet, anhand dieser ihm geläufigen Begriffe recherchieren zu können, wurde dieser Kompromiß eingegangen.

Die alternativen Möglichkeiten der Recherche

- a) anhand von Begriffen, die in der Verarbeitungstechnik gebräuchlich sind oder
- b) anhand von Begriffen streng nach DIN 8580 bzw. VDI-Richtlinie 2860 (siehe Abschnitt 4.2.2.)

bezieht sich hauptsächlich auf die Sicht "Verarbeitungstechnisches Prinzip". Die an der Verarbeitungstechnik orientierte Begriffseinteilung ist in Anhang 6 dargestellt, auf eine Wiedergabe der Einteilung nach DIN 8580 bzw. VDI-Richtlinie 2860 soll hier verzichtet werden.

4.3.3.2. Die Detailbeschreibung verarbeitungstechnischer Prinzipie

Neben den klassifizierenden Merkmalen verarbeitungstechnischer Prinzipie, die durch die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Sichten dargestellt werden, sind weitere beschreibende Merkmale notwendig, um

- anhand von Vergleichen eine Feinauswahl vornehmen zu können und
- die gesuchten Informationen zum betreffenden Prinzip für die Weiterarbeit zu erhalten.

Diese Informationen sind an verschiedenen Stellen lokalisiert:

- als Merkmale der Objekte (Klassen und Instanzen) in den Sichten,
- in der Datenbank,
- in Prinzipskizzen,
- theoretische Grundlagen in den Hilfetexten.

Die wesentlichen individuellen Merkmale der Prinzipie werden durch die Informationen in der Datenbank beschrieben. Deren Inhalt geht aus Anhang 2 hervor. Wie bereits erwähnt wird jedes Prinzip durch genau einen Datensatz in der Datenbank-Tabelle "Prinzip" und in der Wissensbasis durch ein Objekt repräsentiert. Dieses Objekt trägt als Namen die Bezeichnung des jeweiligen Prinzips. Es hat zunächst nur die Merkmale, die es aus den Klassen, denen es innerhalb der einzelnen Sichten zugeordnet ist, ererbt. Das sind Merkmale, die jeweils für eine mehr oder weniger große Klasse von Prinzipien gleich sind.

Teilt der Nutzer dem System mit, daß er die aktuell ausgewählten Prinziplösungen ansehen möchte, lädt NexpertObject zu den allgemeinen Merkmalen der Prinzipie die individuellen Merkmale jedes Prinzips aus der Datenbank (außer der individuellen Bezeichnung, die ja bereits als Objektname in der Datenbank steht). Sie werden dem jeweiligen Objekt als weitere Eigenschaften (properties) hinzugefügt und können von da aus über die Benutzeroberfläche zur Ansicht gebracht werden. Dieses dynamische Hinzuladen der Prinzipieigenschaften aus der Datenbank hat den Vorteil, daß nicht die Unmenge aller Merkmale die Wissensbasis überfrachtet, obwohl nur ein Bruchteil davon für den Nutzer interessant ist. Außerdem wird die Pflege und Erweiterung der Faktenmenge durch das relationale Datenbankbetriebssystem effizienter unterstützt.

Gemeinsam mit den individuellen Merkmalen werden auch die Namen der Grafikdateien, die die Prinzipskizzen und andere grafische Darstellungen (Diagramme, Übersichten usw.) enthalten, von der Datenbank an die Wissensbasis übergeben. Das ermöglicht der Benutzeroberfläche unter Nutzung der DisplayPostscript-Komponente die Anzeige der entsprechenden Darstellungen.

Damit sind alle individuellen Merkmale der Prinzipie verfügbar. Hinzu kommen die theoretischen Grundlagen, die entweder allgemeine Informationen zu den Einsatzbedingungen für bestimmte Prinzipklassen oder zu deren grundsätzlicher Funktionsweise enthalten. Sie sind entweder als Merkmale der betreffenden Klassen in der Wissensbasis gespeichert und werden auf die einzelnen Instanzen (Objekte, welche die einzelnen Prinzipie repräsentieren) vererbt, oder sind in den Hilfetexten enthalten, welche zu den einzelnen Klassen in der Wissensbasis aufrufbar sind.

4.3.4. Verarbeitungstechnische Kenngrößen

Die Einbindung von Kennwerten und die damit in Verbindung stehenden Probleme wurden bereits in Abschnitt 4.2.3. behandelt.

Für verschiedene Prinzipie und deren technische Umsetzung sind jedoch auch Kenngrößen maßgeblich. Deren Beschaffbarkeit und Verifizierbarkeit sind ähnlich kompliziert wie die der Kennwerte. Da sie aber meist an konkrete Prinzipie bzw. an bestimmte Klassen von Prinzipien gebunden und für deren Realisierbarkeit z.T. von entscheidender Bedeutung sind, sollten sie gemeinsam mit den übrigen Informationen zu diesen Prinzipien bzw. Prinzipklassen verwaltet und angeboten werden.

Kenngrößen liegen in Form von einzelnen Zahlenwerten, Tabellen, Formeln und/ oder Diagrammen vor. Über die Tabellen RECHNUNG, SPECIAL_DATA und KONSTR sind diese Informationen an die Prinzipinformationen anzuhängen (vgl. Abschnitt 4.2.3.). Die Möglichkeiten der Darstellung sind dabei folgende:

- Tabelle RECHNUNG: Formeln
- Tabelle SPECIAL_DATA: einzelne Zahlenwerte
- Tabelle KONSTR: Schlüssel für Files mit Tabellen und Diagrammen.

Wie bereits erwähnt, sind Kenngrößen auf diese Weise auch Prinzipklassen zuordenbar.

4.3.5. Darstellung von Zusammenhängen mittels Regeln

Im Beratungssystem Verarbeitungstechnik steuern Regeln den Ablauf, sobald die Kontrolle über den Sitzungsverlauf bei `NexpertObject` liegt (vgl. Abschnitt 4.2.1.). Die zweite Funktion von Regeln im Beratungssystem ist die Abbildung von Fachwissen.

Regeln werden gebraucht, wenn verarbeitungstechnische Funktionen automatisch ermittelt werden sollen. Der Nutzer gibt dann nur noch die Werte (qualitativ oder quantitativ) der zu verändernden Eigenschaften des Verarbeitungsgutes vor und nach der Verarbeitung an, und das System soll daraus die notwendigen Prozeßstufen ermitteln. Dazu ist es nötig, Wissen über Zusammenhänge zwischen Eigenschaftswerten abzubilden.

Als Beispiel wurde die Dichteformel implementiert, die dazu dient, beim Fehlen von Werten, die für die Abarbeitung einer Regel benötigt werden, diese fehlenden Werte durch Berechnung (Schlußfolgerung) zu ermitteln, falls die dazu notwendigen Werte bekannt sind. Darüber hinaus sind mit diesen Regeln auch andere Beziehungen der Form

$$\text{Quotient} = \text{Dividend} / \text{Divisor}$$

abbildbar und verarbeitbar.

Beispiel:

Abgearbeitet werden soll die Regel

wenn die Dichte des Verarbeitungsgutes > Grenzwert G,

dann wird die Prinzipklasse XYZ aus der Lösungsmenge ausgeschlossen.

Für die Überprüfung des Wahrheitsgehaltes dieser Regel wird ein Wert für die Dichte des Verarbeitungsgutes benötigt. Dieser sei aber weder explizit gegeben, noch durch Datenbankabfrage zu ermitteln. Üblicherweise würde nun eine Eingabeaufforderung an den Nutzer gestellt. Das wäre aber völlig überflüssig, wenn dem System gleichzeitig die Werte für Masse und Volumen des Gutes bekannt wären, aus denen sich die Dichte ermitteln läßt.

Der entsprechende Metaslot leitet also sobald der (unbekannte) Wert für Dichte benötigt wird und eine entsprechende Datenbankabfrage ebenfalls erfolglos blieb, eine Überprüfung ein, ob die zur Berechnung der Dichte benötigten Werte gegeben sind. Wenn ja, wird die Berechnung durchgeführt, wenn nicht, wird der Nutzer gefragt.

Dabei stößt der Metaslot entsprechende Regeln an, die dann sowohl die Überprüfung als auch die Berechnung durchführen.

Die in Anhang 7 abgebildete Implementierung der Dichteformel hat folgende Eigenschaften:

- Sie wird unter den oben genannten Bedingungen selbst aktiv.
- Sie bildet die Formel $\text{Dichte} = \text{Masse} / \text{Volumen}$ ab.
- Jeder der drei Werte ist aus den beiden anderen berechenbar:
 $\text{Masse} = \text{Dichte} \times \text{Volumen}$ und
 $\text{Volumen} = \text{Masse} / \text{Dichte}$.
- Folgende Ausprägungen der Werte sind berücksichtigt:
 - Gegeben ist die Untergrenze, die die Werte annehmen können (Minimum).
 - Gegeben ist die Obergrenze, die die Werte annehmen können (Maximum).
 - Gegeben ist der Bereich, in dem sich die Werte bewegen können (min.-max.).
 - Gegeben sind exakte Werte.
 - Gegeben sind alle drei Werte in jeweils einer der beschriebenen Formen, aber beliebig kombiniert.
- Daraus ergeben sich Proportionalitätsbeziehungen, die bei der Verarbeitung der Werte in Multiplikation und Division berücksichtigt werden. Danach führt beispielsweise die Multiplikation von zwei Maxima wieder zu einem Maximum. Ebenso die Multiplikation eines exakten Wertes mit einem Maximum. Die Division eines exakten Wertes durch ein Maximum führt hingegen zu einem Minimum usw..
- Die Rechenoperationen sowie der Existenztest für die benötigten Werte sind weitgehend so ausgeführt, daß sie auch auf andere Formeln angewendet werden können bzw. sich schnell anpassen lassen.
- Fehlt ein Wert zur Berechnung, wird diese nicht ausgeführt, sondern der Nutzer gefragt.

Damit wurde versucht, die verschiedenen Aussagen, die eine Formel neben dem eigentlichen Rechenalgorithmus enthält, wie z.B. die Proportionalitätsbeziehungen und die Umstellungsregeln zu implizieren.

Analog zu den Proportionalitätsbeziehungen lassen sich auch Regeln zur Ermittlung qualitativer Informationen formulieren, wie z.B.

wenn Rauigkeit = hoch und Farbe = dunkel

dann Reflexion = gering und Absorption = hoch.

Für die Verminderung der Reflexion durch Änderung der Farbe werden z.B. Regeln benötigt, die

- a) einen Zusammenhang herstellen zwischen Farbe und Reflexion,
- b) die Abhängigkeit der Farbe von der Zusammensetzung abbilden und

- c) auf die Menge von Prinzipien verweisen, welche die Zusammensetzung des betreffenden Verarbeitungsgutes verändern.

Um den Schluß von der Reflexionsverminderung zur Erhöhung der Rauigkeit zu ermöglichen, müssen analog entsprechende Regeln

- a) einen Zusammenhang zwischen Farbe und Oberflächenrauigkeit herstellen und
- b) auf Prinzipien zur Erhöhung der Oberflächenrauigkeit verweisen.

Das setzt schlüssige Konventionen über die Ausdrücke relativer Informationen voraus. Sind diese gefunden, bilden solche Regeln die Grundlage für die Ableitung verarbeitungstechnischer Funktionen auch aus allgemeineren Aufgabenstellungen.

Damit sind bereits Regeln zur Ermittlung verarbeitungstechnischer Funktionen aus gegebenen Eigenschaftsänderungen angesprochen. Daneben sind noch Regeln sinnvoll, die das Verhalten der Browser für die Recherche in den Objekthierarchien (Sichten) weiter qualifizieren sollen und automatisch Einstellungen vornehmen, wenn sich aus gegebenen Informationen weitere Schlußfolgerungen ziehen lassen. So soll z.B. der Browser für Verarbeitungsgüter automatisch auf Stückgut gestellt werden, wenn im Funktionsbrowser die Funktion "Ordnen" gewählt wurde. Zunehmend sind damit auch komplexere Schlußfolgerungen möglich, die dem Anspruch, Expertenwissen wiederzugeben, besser gerecht werden. Ein weiteres Einsatzfeld für Regeln ist die Teilautomatisierung von Akquisitionstätigkeiten (siehe Abschnitt 6.1.3.).

4.3.6. Unterstützung der Feinauswahl

Die bisher beschriebenen "Sichten" dienen der Grobauswahl von Lösungen anhand der durch die jeweiligen Begriffshierarchien verkörperten Lösungseigenschaften. Ergebnis dieser Grobauswahl ist eine Menge von verarbeitungstechnischen Prinzipialösungen, die, durch ihre jeweils eindeutige Bezeichnung repräsentiert, in einer Liste angeordnet sind. Ziel der nun folgenden Feinauswahl ist zunächst eine Liste, die möglichst keine gänzlich ungeeigneten Lösungen mehr enthält und die soweit überschaubar ist, daß der Nutzer daraus schließlich die Informationen zu den Lösungen auswählen kann, die er für die Weiterarbeit verwenden möchte.

Auf die Probleme bei der Bewertung und Feinauswahl von technischen Lösungen im allgemeinen und von verarbeitungstechnischen Prinzipien im speziellen wurde bereits im Abschnitt 2.4.2.5. eingegangen. Vom Versuch einer automatischen Lösungsauswahl wurde aus den dort aufgeführten Gründen abgesehen. Die Unterstützung der Feinauswahl im

Beratungssystem Verarbeitungstechnik ist statt dessen in Form folgender Funktionen konzipiert:

- a) Lösungsübersichten,
- b) Werkzeug zur Unterstützung der Lösungsbewertung durch den Nutzer und zur Veranschaulichung des darauf basierenden Vergleichs in Frage kommender Lösungen.

Zu a):

Bei der Komplexität und den vielfältigen Abhängigkeiten von Problemstellung und in Frage kommenden Lösungen ist die Bewertung und Selektion zwangsläufig stark von der Problemerkennung und dem Wissenshintergrund des Nutzers abhängig. Die vielfältigen und wechselnden Aspekte, die bei der Lösungsauswahl zu berücksichtigen sind, lassen sich schwer übersichtlich darstellen. Große Bedeutung kommt daher auch bei Bewertung und Feinauswahl der Fähigkeit der Prinzipskizzen zu, Komplexität darstellen und beim Nutzer die wesentlichen Lösungseigenschaften und Zusammenhänge assoziieren zu können. Ein geeignetes Mittel zur Unterstützung der Feinauswahl durch den Nutzer ist deshalb die bildliche Gegenüberstellung der vorselektierten Lösungen. Sie wird ergänzt durch die Möglichkeit, eine Tabelle mit den Vor- und Nachteilen der ausgewählten Lösungen, mit den entsprechenden Hinweisen und Daten zur Ausbringung zuzuschalten.

Ergebnis einer auf dieser Basis durch den Nutzer vorgenommenen vergleichenden Bewertung ist eine nunmehr noch weiter eingeschränkte Liste nutzerselektierter Lösungen.

Zu b):

Möglicherweise reichen die zuvor genannten Selektionschritte zur Bestimmung der weiterzuverarbeitenden Lösungsmenge nicht aus. Für diesen Fall wurde eine weitere Unterstützungsmöglichkeit in Form eines Werkzeuges konzipiert, das bekannte Verfahren zur Objektivierung subjektiver Bewertungen grafisch unterstützt. Aus der großen Menge solcher Verfahren wurden anhand von /128/ die Nutzwertanalyse und gewichtete Punktbewertung ausgewählt, da sie gut handhabbar und transparent sind. Außerdem bieten sie gute Möglichkeiten für eine grafische Unterstützung. Beide Verfahren ähneln sich stark, die Vorgehensweise ist gleich, weshalb sie dem Nutzer im gleichen Werkzeug als zwei alternative Möglichkeiten angeboten werden.

Hauptmerkmal dieses Werkzeuges ist die Möglichkeit, die in den genannten Bewertungsverfahren zu manipulierenden Zahlen (Gewichtungen und Bewertungen) grafisch verdeutlichen und dadurch besser einstellen und vergleichen zu können. Außerdem wird der Nutzer von lästigen Formalismen befreit (Ausfüllen von Tabellen, Rechenalgorithmen), was

die Akzeptanz gegenüber den ansonsten in der Praxis nicht sehr häufig verwendeten Bewertungsverfahren erheblich steigern dürfte. Von Einfluß ist in diesem Zusammenhang auch die Möglichkeit, sowohl die Bewertungsschritte, als auch die Bewertungsergebnisse in grafischer Form ausgeben lassen zu können. Dadurch sind sie wesentlich besser einer Diskussion zugänglich zu machen. Wie der Umgang mit diesem Werkzeug im Einzelnen vor sich geht, ist in Abschnitt 5.3. beschrieben.

5. Problemlösen mit dem Beratungssystem

Verarbeitungstechnik

5.1. Interaktive Problemaufbereitung

In den folgenden Abschnitten soll erläutert werden, wie die bisher beschriebenen Systemkomponenten in Interaktion mit dem Nutzer funktionieren sollen.

Erster Schritt der Problemlösung ist die Formulierung der verarbeitungstechnischen Aufgabenstellung. Um mit dem System kommunizieren zu können, ist eine Zerlegung in die wesentlichen Beschreibungselemente notwendig. Wie bereits beschrieben, wird hierfür eine relativ breite Palette an Möglichkeiten angeboten, indem im Hauptmenü (Abbildung 14) die entsprechenden Kategorien alternativ oder beliebig kombiniert anwählbar sind. Das Hauptmenü ist als Blockschaltbild ausgeführt. Jeder Block ist als Schaltfläche ausgeprägt und verkörpert eine "Sicht", die nach Druck auf die jeweilige Schaltfläche in einem sich öffnenden Browser sichtbar und manipulierbar wird. Die Schalter entsprechen folgenden Sichten:

- VG: "Verarbeitungsgut" (zur Beschreibung der Verarbeitungsgüter vor und nach dem Verarbeitungsvorgang),
- Veränderung: "Eigenschaftsänderung",
- Funktion: "Verarbeitungstechnische Funktion" (begriffliche Funktionsbeschreibung),
- Prinzip: "Verarbeitungstechnisches Prinzip".

Damit findet bereits eine Zerlegung statt, die je nach Aufarbeitungszustand der ursprünglichen Aufgabenstellung und nach Wahl der Einstiegssicht(en) mit Abstraktion verbunden ist.

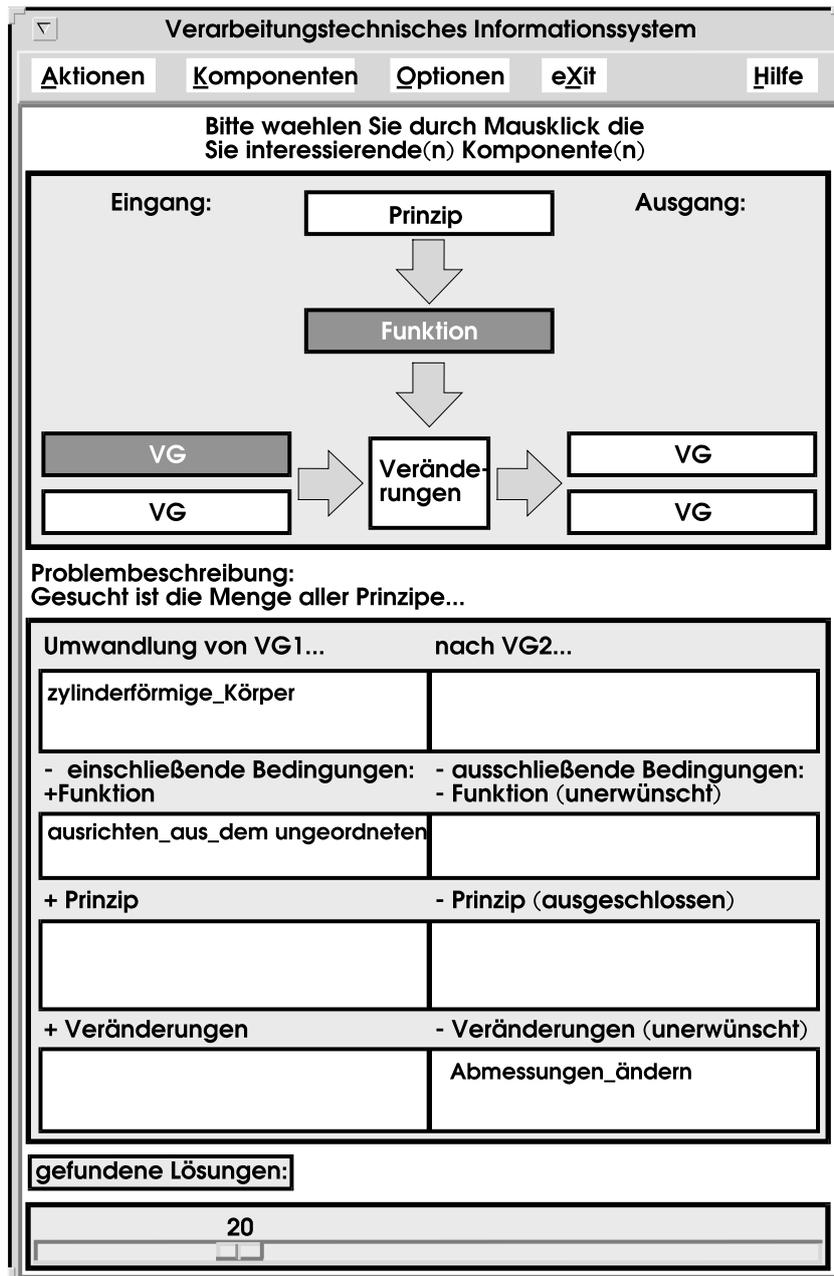


Abbildung 14: Hauptfenster des Beratungssystems Verarbeitungstechnik mit Steuer- (oben) und Statusteil (unten)

Durch die Konfrontation des Nutzers mit den danach erscheinenden Browsern für die jeweiligen Sichten werden bei ihm weitere Abstraktionsschritte provoziert, da er nun in Klassenbegriffen navigieren muß, mit denen er sein Problem beschreiben soll. Durch Klicken mit dem nach rechts weisenden Pfeil auf die jeweilige Klasse kann er sich deren Subklassen anzeigen lassen. Aus diesen wählt er auf gleiche Weise die für sein Problem zutreffende aus und erweitert so die sichtbare Baumstruktur um immer konkretere Begriffe (

Abbildung 15).

Alternativ dazu steht ihm über das Werkzeug "Lupe" eine Liste aller Subklassen der Klasse zur Verfügung, die er mit diesem Werkzeug auswählt. Das ist gleichbedeutend mit einer Stichwortliste zur jeweiligen Kategorie, mit der ein schneller Einstieg ermöglicht werden soll.

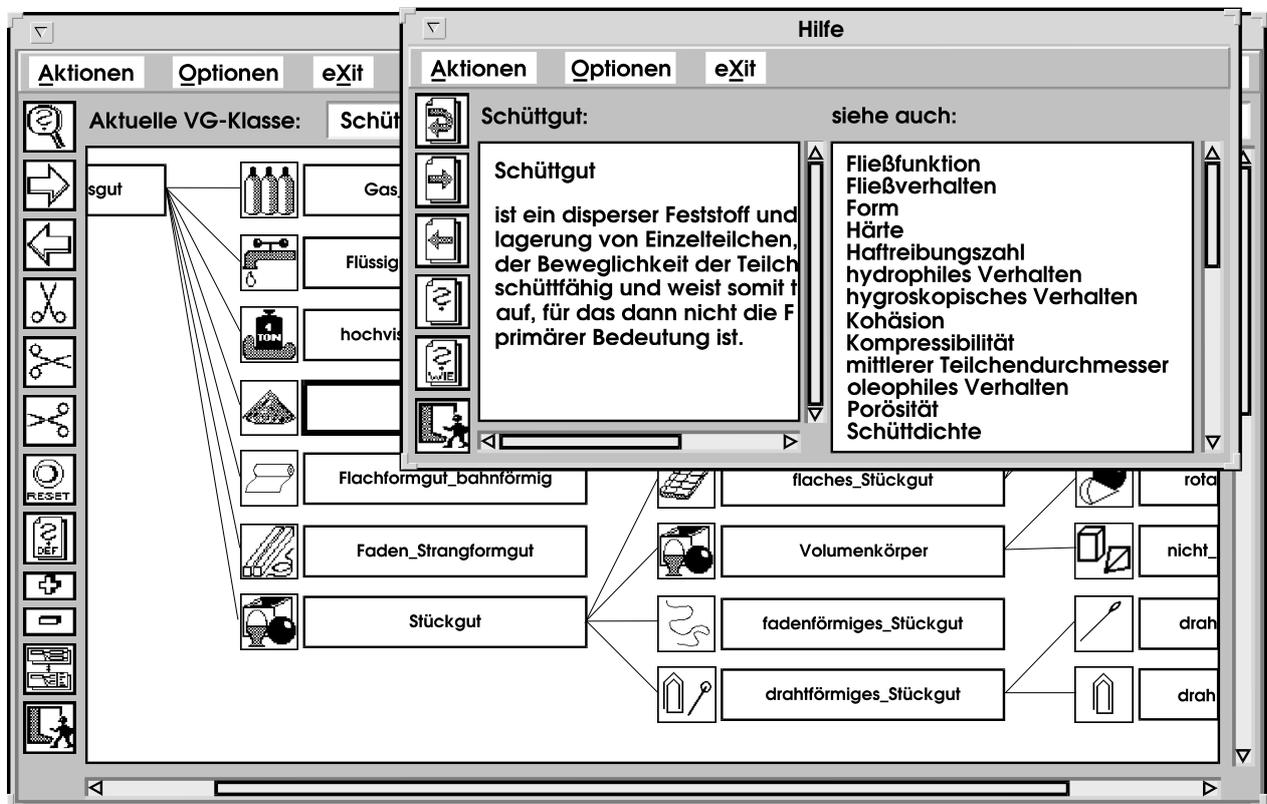


Abbildung 15: Browser "Verarbeitungsgut" mit Hilfenfenster des Beratungssystems Verarbeitungstechnik

Nach einer Auswahl innerhalb dieser Liste fokussiert der Browser auf die jeweilige (Sub-) Klasse und die weitere Navigation im Baum kann nun von da aus in der oben beschriebenen Weise fortgesetzt werden. Dabei ist auch eine Erweiterung des Baumes in die entgegengesetzte Richtung möglich: Mit dem nach links gerichteten Pfeil aus der Werkzeugleiste können insbesondere nach "Sprüngen" über die Stichwortliste die Superklassen der jeweils aktuellen Klasse angezeigt (d.h. im sichtbaren Baum angefügt) werden. Von konkreten Begriffen kann so wieder verallgemeinert werden.

Überflüssigerweise verfolgte Pfade können zwecks Wiederherstellung einer gewissen Übersichtlichkeit auch mit den verschiedenen Typen des Werkzeugs "Schere" aus der Anzeige gelöscht werden (Löschen einzeln, alles rechts und alles links von der aktuellen Klasse).

Auf diese Weise sind dem Nutzer mehrere Möglichkeiten gegeben, die für die Formulierung seiner Verarbeitungsaufgabe benötigten Kategorien auf dem jeweils gewünschten Abstraktionsniveau zu finden. Die Navigationsmöglichkeiten und die anschauliche Visualisierung der

Zusammenhänge durch die angezeigten Baumstrukturen, unterstützt durch Icons, vermitteln außerdem eine erste Übersicht über mögliche Suchräume. Eventuell kommen so bereits erste Anregungen für neue Denkrichtungen zustande, da es leicht ist, alternative Pfade zu verfolgen und so auch Ansätze in Betracht zu ziehen, die zunächst nicht in Betracht gezogen wurden.

Ergänzt wird diese erste Stufe der Problemaufbereitung durch die Hilfe, die Informationen (Definitionen und Erläuterungen) zu den jeweils angezeigten Begriffen liefert. Ebenso kann sich der Nutzer eine Liste aller Superklassen der aktuell ausgewählten anzeigen lassen.

Beispiel:

- *gesucht: Prinziplösungen, die es ermöglichen, aus einem Haufwerk von zylindrischen Teilen eine Reihe zu bilden;*
- *1. Schritt: Bestimmung der Verarbeitungsgut-Klasse: Ein Maus-Klick auf "VG" im Hauptmenü öffnet ein Browser-Fenster für die Sicht "Verarbeitungsgut". Das zu verarbeitende Gut kann auf die oben beschriebene Weise nach seiner geometrischen Form klassifiziert werden. Da sich die zylindrischen Teile selbst im Laufe des Vorganges nicht verändern sollen, ist es in diesem Fall gleichgültig, ob der Benutzer zwecks geometrischer Klassifikation einen "VG"-Schalter am Ein- oder am Ausgang des Verarbeitungsvorganges wählt. Lediglich wenn zusätzlich der Eigenschaftsbrowser aufgerufen wird, ist es wesentlich, ob Ein- oder Ausgang gewählt wurde. Mit ihm lassen sich die Eigenschaften am Anfang und am Ende charakterisieren. So sind indirekt die gewünschten, aber auch die unerwünschten Veränderungen angebbar (hier: Ordnung (Eingang)=Haufwerk, (Ordnung) Ausgang=Reihe).*
- *2. Schritt:*
 - Variante 1:*

Die Eigenschaften an Ein- und Ausgang wurden angegeben und so implizit eine oder mehrere Funktionen beschrieben. Dann können mit den übrigen Browsern weitere Einschränkungen vorgenommen werden (z.B. Prinzipklasse: Ausrichten durch Drehen),
 - Variante 2:*

Die gesuchte(n) Funktion(en) werden im Browser Eigenschaftsänderungen abgebildet. Weitere Einschränkungen werden mit den übrigen Browsern vorgenommen.

Variante 3:

Die Funktion wird verbal formuliert, indem der Browser "Funktion" benutzt wird (Abbildung 16). Weitere Einschränkungen werden mit den übrigen Browsern vorgenommen.

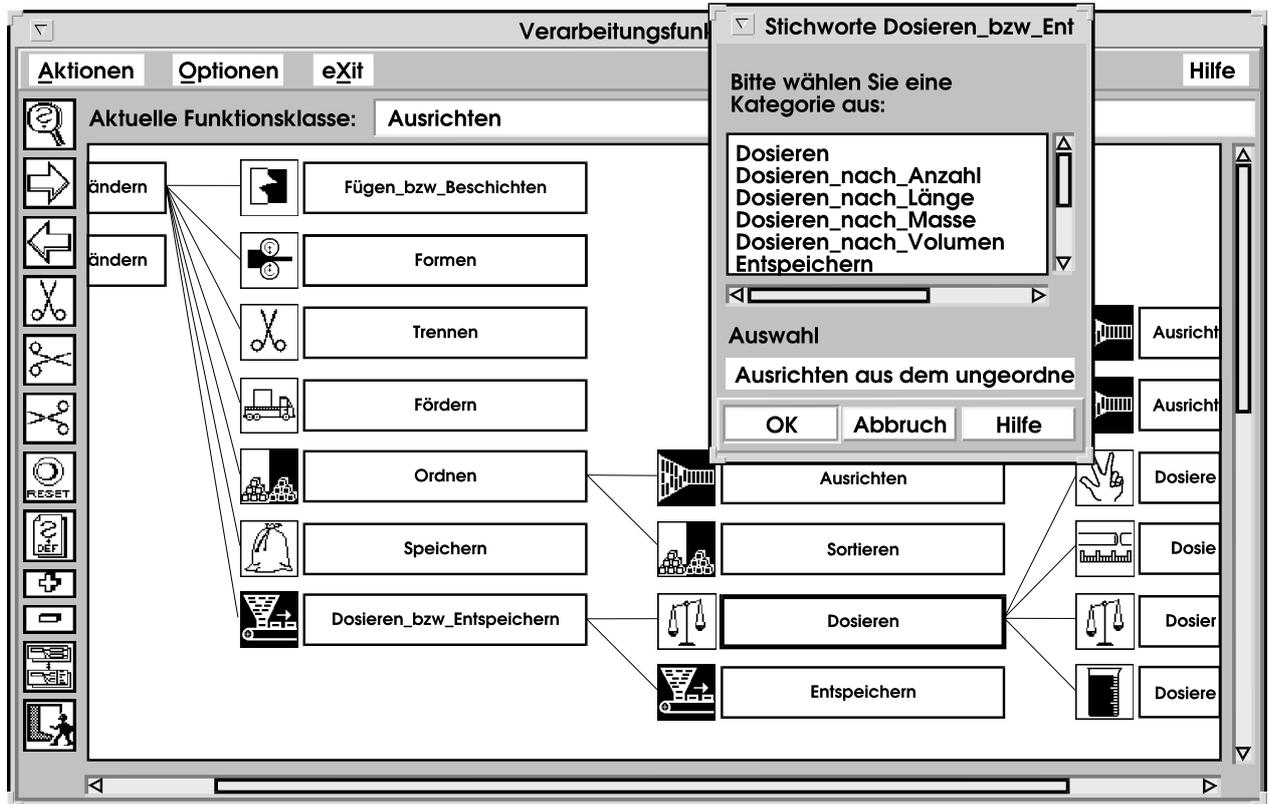


Abbildung 16: Browser "Verarbeitungsfunktion" mit eingeblendeter Stichwortliste

5.2. Bestimmung der Lösungsmenge - Grobauswahl

Problemklassifikation und Grobauswahl der Lösungsmenge sind bei der Benutzung des Beratungssystems Verarbeitungstechnik eng miteinander verbunden und laufen alternierend ab: Der Nutzer navigiert durch die verschiedenen Sichten und kann dabei an beliebiger Stelle mittels des "+"-Werkzeugs aus der Werkzeugleiste eine Klasse als Auswahlkriterium auswählen. Diese wird der Anforderungsmenge hinzugefügt und erscheint im Statusteil des Hauptfensters (vgl. Abbildung 14). Sofort wird daraufhin die aktuelle Lösungsmenge auf der Basis aller aktuell ausgewählten Kriterien gebildet und die Anzahl der gefundenen Lösungen am unteren Rand des Hauptfensters angezeigt (Zahl + grafische Anzeige - vgl. Abbildung 14).

Mittels des "-"-Werkzeugs im jeweiligen Browser oder durch Auswahl im Statusteil des Hauptfensters kann eine ausgewählte Klasse auch aus der Anforderungsmenge wieder entfernt werden. Wird das "-"-Werkzeug auf eine noch nicht ausgewählte Klasse angewendet, wird diese als ausschließendes Kriterium in die Anforderungsmenge aufgenommen (siehe Statusteil des Hauptfensters in Abbildung 14). Die Lösungsmenge wird ebenfalls sofort aktualisiert. Auf diese Weise kann sich der Nutzer jederzeit über die quantitative Wirkung seiner aktuellen Auswahl informieren. Es ist möglich, gleichzeitig verschiedene Browser in jeweils einem eigenen Fenster zu öffnen und so nebeneinander verschiedene Sichten zu durchsuchen.

Die Verknüpfung der ausgewählten Klassen über die Schnittmengenbildung (vgl. Abschnitt 4.2.2.) entspricht einer UND-Verknüpfung: Die gesuchten Prinzipien müssen alle ausgewählten Funktionen ausführen können *und* für alle angegebenen Verarbeitungsgüter geeignet sein *und* alle angegebenen Eigenschaften verändern *und* zu den angegebenen Prinzipklassen gehören.

Hinzu kommen die UND-verknüpften ausschließenden Bedingungen. Alternative Suche (ODER-Verknüpfung) wird über unterschiedliche Suchläufe realisiert. Zu diesem Zweck ist ein Zwischenspeicher sinnvoll, in dem alle im Verlaufe verschiedener alternativer Suchläufe als sinnvoll eingestuft Lösungen abgelegt ("gemerkt") werden können.

Schrittweise wird so eine Menge von Objekten gebildet, die in Frage kommende Lösungen repräsentieren. Die in dieser Menge enthaltenen Objekte steuern nach erfolgter Bestätigung durch den Nutzer den Datenbankzugriff. Zu jedem Objekt (verarbeitungstechnischen Prinzip) werden aus den betreffenden Datenbanken die übrigen Eigenschaften eingelesen (siehe Abbildung 17).

Die nunmehr vollständige Beschreibung der Prinzipie ermöglicht im nächsten Schritt die Feinauswahl nach den verschiedensten Kriterien.

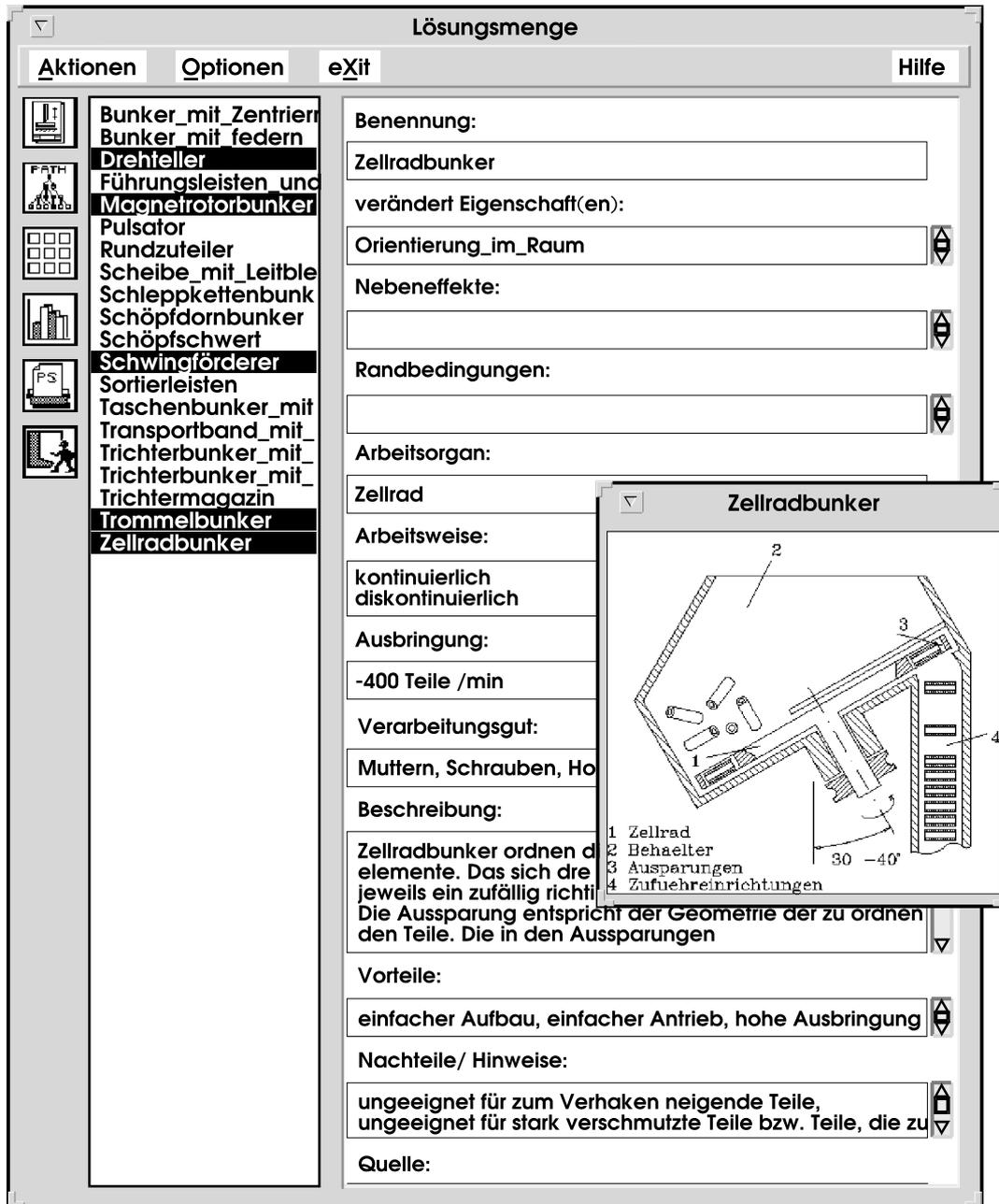


Abbildung 17: Fenster mit Prinzipbeschreibung und Skizze

5.3. Feinauswahl

Hat der Nutzer auf die oben beschriebene Weise eine überschaubare Anzahl möglicher Lösungen vorausgewählt, erfolgt eine vergleichende Bewertung dieser Lösungen. Ziel dieser Bewertung ist die (Fein-)Auswahl einer oder mehrerer Lösungen als Grundlage für einen konstruktiven Entwurf. Wie das System dabei prinzipiell unterstützend wirken soll, wurde

bereits in den Abschnitten 3.1.2. und 4.3.7. beschrieben. Die Umsetzung wird nachfolgend kurz dargestellt.

Die vorausgewählten Lösungen sind im Lösungsfenster in einer Liste angeordnet (Abbildung 17). In dieser Liste lassen sich Lösungen markieren. Zur jeweils zuletzt ausgewählten erscheinen Daten, Beschreibung und Skizze. Erscheint anhand dieser Informationen die Lösung als ungeeignet, kann die Markierung wieder gelöscht werden. So können schon beim ersten Durchmustern Lösungen "gemerkt" (markiert) werden oder nicht.

Der sequentielle Vergleich aller angebotenen Daten zu den einzelnen Prinzipien ist allerdings sehr unübersichtlich. Aus diesem Grund hat der Nutzer die Möglichkeit, sich Gegenüberstellungen (Übersichten) zu den in der Liste ausgewählten Prinzipien anzeigen zu lassen. Zur Wahl stehen eine Übersicht mit allen Prinzipskizzen der markierten Prinzipie (Abbildung 18) und eine Tabelle mit deren Vor- und Nachteilen, Hinweisen und Ausbringungen.

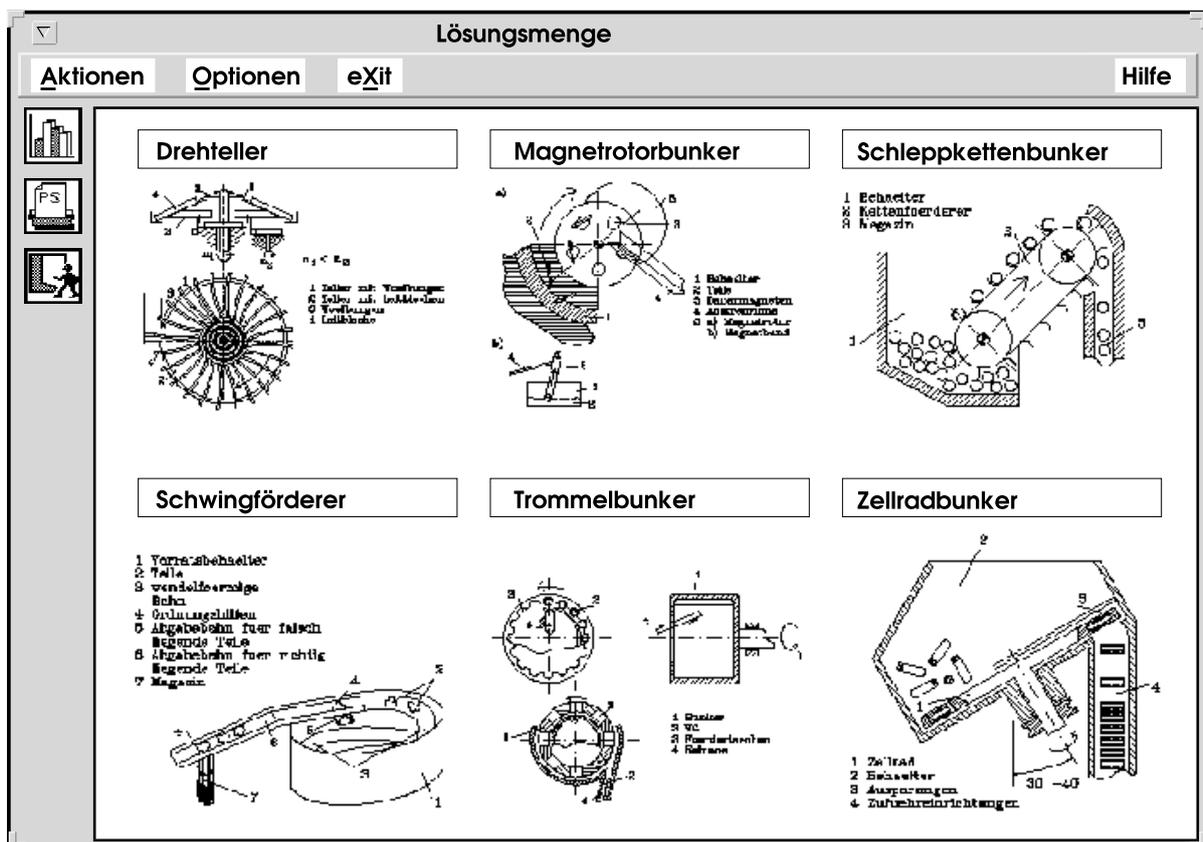


Abbildung 18: Lösungsübersicht

Ist nach dieser "Sichtung" die Menge der verbliebenen Lösungen immer noch zu groß, kann das Bewertungswerkzeug zum Einsatz kommen:

Als erstes werden durch den Nutzer Vergleichskriterien deklariert, nach denen jedes der betrachtenden Prinzipie aus Nutzersicht bewertbar ist. Anschließend kann jedem dieser

Kriterien eine Gewichtung zugeordnet werden, die die Bedeutung ausdrückt, die der Nutzer dem jeweiligen Kriterium beimisst. Die Gewichtungen werden in einem Balkendiagramm dargestellt und sind sowohl durch Eingabe oder schrittweises Einstellen der Zahlenwerte als auch durch Verändern der jeweiligen Balkenhöhe veränderbar. Das erleichtert den unmittelbaren Vergleich und veranschaulicht die gewählten Relationen. Als Ergänzung zur Balkendarstellung steht auch eine Darstellung im Kreisdiagramm zur Verfügung.

Zu jeder der zu bewertenden Lösungen ist nun der Grad der Erfüllung jedes einzelnen Kriteriums als Zahl zwischen Eins und Zehn bzw. zwischen Null und Eins (je nach Wahl der Methode) anzugeben. Dies geschieht analog zur Eingabe der Kriteriengewichtungen, indem nebeneinanderliegende Balken die Bewertung aller Prinzipie zum jeweiligen Kriterium verdeutlichen. Diese Balken sind wiederum über Zahleneingabe oder direkt manipulierbar.

Nachdem alle Kriterien durchgearbeitet wurden, wird durch Multiplikation der jeweiligen Kriteriengewichtung mit der prinzipspezifischen Bewertung eine Gesamtbewertung für jedes Prinzip errechnet. Die Gesamtbewertungen aller Prinzipie sind wiederum wahlweise in einem Balken- oder Kreisdiagramm vergleichbar. Entsprechend des Ergebnisses dieser Bewertungsprozedur, die gegenüber manuellem Vorgehen deutliche Vorteile bezüglich Handhabbarkeit und Anschaulichkeit aufweist, kann der Nutzer nun die Lösungsmenge weiter einschränken.

Das Bewertungswerkzeug besitzt neben der beschriebenen Funktionalität ein gewisses Potential zur Weitergabe von Expertenwissen: Es sind typische Tupel von Bewertungskriterien speicherbar und später wieder importierbar. Wenn auch die Bewertung selbst nicht von Fall zu Fall übertragbar ist, so stellt doch die Möglichkeit, fallabhängig typische Zusammenstellungen von Bewertungskriterien mit voreingestellten Gewichtungen laden zu können, eine Hilfe für im jeweiligen Themengebiet wenig erfahrene Nutzer dar.

5.4. Verarbeitung der Ergebnisse

Nach den beschriebenen Selektionsstufen kann der Nutzer in verschiedenen wahlweise verfügbaren Formularen die Informationen zu den ausgewählten Lösungen ausgeben lassen. Die Verwendung von SYBASE als Datenbanksystem und das gewählte Datenformat für die Skizzen (EPS), welches von einer großen Anzahl von CAD-Systemen importiert werden kann, sollen die Möglichkeit einer späteren Weitergabe der Daten an nachgeordnete Systeme offen halten.

Daneben kann es sinnvoll sein, die benutzten Suchpfade in den verwendeten Hierarchien zu dokumentieren, um einen Ausgangspunkt für eventuell nachfolgende Recherchen zu haben.

Falls das zuletzt beschriebene Bewertungswerkzeug verwendet wurde, können die Auswahlkriterien gemeinsam mit den zugehörigen grafisch dargestellten Gewichtungen und die auf dieser Basis getroffenen Prinzipbewertungen zur Dokumentation der Entscheidung verwendet werden.

In der Datenbank eventuell vorhandene Berechnungs- und Konstruktionshinweise bilden eine weitere Basis für die gestalterische Weiterarbeit auf Grundlage des ausgewählten Prinzips.

Wertvoll sind in den meisten Fällen auch weiterführende Literaturhinweise, die den verfügbaren Wissenshintergrund zu den Prinzipinformationen verbreitern bzw. Ansätze für weitere Recherchen liefern.

6. Wissensakquisition

6.1. Probleme bei der Wissensakquisition

Der größte Arbeitsanteil bei der Erstellung umfangreicherer wissensbasierter Systeme, so auch des Beratungssystems Verarbeitungstechnik, liegt in der Wissensakquisition, also in der Sammlung, Erfassung, Formalisierung und Eingabe des Fachwissens.

Puppe beschreibt die grundlegenden Probleme bei der Wissensakquisition in /125/ wie folgt: "Die wichtigsten primären Wissensquellen sind Experten und Fachbücher. Das Wissen in den Köpfen der Experten ist jedoch schwer zugänglich, da Experten meist wenig Zeit, Motivation und überwiegend auch große Schwierigkeiten haben, es weiterzugeben. Gute Fachbücher sind in vielen Anwendungsbereichen nicht vorhanden. Aber auch wenn sie verfügbar sind, erfordert ihr Verständnis meist Hintergrundwissen und/ oder Praxiserfahrung, so daß das Wissen der Fachbücher für sich allein selten ausreicht ...".

Als Versuch einer Lösung dieser Probleme entwickelte sich das Tätigkeitsprofil des Wissensingenieurs (knowledge engineer), der durch Lesen der Fachliteratur und Gespräche mit Experten das Wissen aufnimmt und es dann unter Zuhilfenahme seiner Kenntnis über den Aufbau des Systems formalisiert und strukturiert eingibt.

Ein parallel dazu verfolgter Weg ist der Versuch, Methoden für "maschinelles Lernen" zu entwickeln und zu implementieren. Die Hauptprobleme hierbei sind jedoch:

- die Notwendigkeit des Vorhandenseins von Hintergrundwissen beim Lernenden, das richtige Schlüsse und die richtige Einordnung neuen Wissens erlaubt,
- die Validierung automatisch generierten Wissens,
- die Wahrung des Überblicks über das System, welches selbst lernt.

Daher ist das "Zwischenschalten" eines sowohl mit dem System als auch mit dem Fachgebiet vertrauten Wissensingenieurs derzeit zumeist unvermeidlich. "Diese indirekte Form des Wissenserwerbs ist jedoch nicht nur teuer, sondern wegen der unvermeidlichen Verständigungsprobleme zwischen Experte und Wissensingenieur, dem meist das Hintergrundwissen des Experten fehlt, auch sehr fehleranfällig. Wenn man außerdem in Betracht zieht, daß viele Expertensysteme einer ständigen Wartung wegen geänderter Aufgabenstellung und Optimierung des Wissens bedürfen, kann der indirekte Wissenserwerb mit zwei Gruppen von hochbezahlten Spezialisten auf Dauer zu aufwendig werden." /125/ In /63/ wird darauf hingewiesen, daß die Arbeit des Wissensingenieurs auf einer engen Kooperation mit dem Experten beruhen sollte, um die genannten Kommunikationsprobleme einzuschränken. Dennoch wäre der direkte Zugriff des Experten auf das System effizienter. Daher sieht Puppe in /125/ die derzeit aussichtsreichste Chance, den Wissenserwerb ökonomisch zu gestalten, in der direkten Beteiligung und damit auch Autorenschaft und Verantwortlichkeit des Experten beim Aufbau und der Wartung von Expertensystemen. Dazu muß jener mit komfortablen Wissenserwerbswerkzeugen unterstützt werden, welche möglichst gut an seine Denk- und Ausdrucksweise angepaßt sind.

In den Abschnitten 6.1.2. bis 6.2. werden für den vorliegenden Fall Vorschläge gemacht, die versuchen, der dargestellten Problematik kompromißweise gerecht zu werden.

6.2. Vorschläge zur Unterstützung und Organisation der Akquisition für das Beratungssystem Verarbeitungstechnik

Der Umfang des zu erfassenden Wissens für das Beratungssystem Verarbeitungstechnik erfordert Arbeitsteilung. Grundsätzlich lassen sich zwei Aufgaben für die Wissensakquisition formulieren:

- a) Die Schaffung eines Basiswissensbestandes durch Erfassung vorhandener und bereits formalisierter Wissensbestände (Wissensspeicher Verarbeitungstechnik /12/),
- b) Erweiterung um vorhandenes Expertenwissen unter Einbeziehung der jeweiligen Sachgebietsexperten und unter Nutzung neuer Quellen.

Zur Erfüllung der Aufgabe a) können angeleitete Hilfskräfte mittels dezentraler PC-Technik in relativ einfach gestalteten Masken Faktenwissen erfassen. Die Zuordnung innerhalb der Wissensbasis sollte jedoch durch einen "Wissensingenieur" administrativ wahrgenommen oder zumindest intensiv betreut werden, denn diese Arbeit entscheidet über die Wiederauffindbarkeit der Informationen.

Dabei werden jedoch drei Hauptprobleme wirksam:

1. Die Einbindung der "zugelieferten" Datenbestände ist aufwendig.
2. Inhaltliche Fehler und Fehler durch falsche Tastatureingaben sind bei den umfangreichen zu erfassenden Datenbeständen schwer zu lokalisieren, gleichzeitig aber unvermeidlich.
3. Auch wenn ein gewisser Anteil an zu erfassenden Fakten sich wiederholt, sich mit Sachverhalten, die in der Wissensbasis bereits abgebildet sind, deckt oder mit diesen logisch zusammenhängt, können diese Umstände für die Rationalisierung der Akquisition kaum genutzt werden. Die Folge sind redundante Operationen (zumeist Dateneingaben).

Daraus ergeben sich folgende Entwicklungsanforderungen an die dezentralen Erfassungswerkzeuge und an die zentralen Akquisitionskomponenten:

- den Anteil an als Zeichenketten einzugebenden Informationen zugunsten von Auswahlvorgaben so weit wie möglich minimieren,
- dem Akquisiteur bei der logischen Zuordnung von Informationen helfen, einerseits durch Erklärungen, andererseits durch Automatismen, die sich auf allgemeine Zusammenhänge stützen (vergleiche Abschnitt 4.3.5.),
- durch komfortable Transformations- und Kopierrouninen gute Voraussetzungen für die Einbindung der Resultate in das Gesamtsystem schaffen.

Eine Alternative zu intelligenten dezentralen offline-Erfassungswerkzeugen ist die Möglichkeit, via Netz vom PC aus auf der Workstation zu arbeiten, Wissensakquisition eingeschlossen. Dies erspart erheblichen Transformations- und Entwicklungsaufwand für die Erfassungswerkzeuge, erfordert jedoch eine Infrastruktur, die akzeptable Datenübertragungsraten zuläßt sowie eine leistungsfähige Workstation. Besonders die Wissensverarbeitung im Multi-User-Betrieb treibt dabei die Anforderungen höher als bei üblichen Datenbank-Abfragen.

Die PC-basierten Werkzeuge könnten Kern von Arbeitsplatzmodulen sein, mit denen mit dem System vertraute und als solche "autorisierte" Experten

- für sie interessante Teile des Expertensystems als (dezentrale) Arbeitsplatz-Wissensbank nutzen (offline),
- Zugriff auf das Gesamtsystem haben (online),
- für sie interessante neue Informationen zunächst in einer „private domain“ effizient verwalten können und
- in periodischen Abständen Teile ihrer private domain in einen Akquisitionspool einspeisen ("freigeben"), aus dem sie dann durch den Administrator in Abstimmung mit dem jeweiligen Experten in das Gesamtsystem integriert werden.

7. Gedanken zur Weiterentwicklung

7.1. Inhaltlicher und funktionaler Ausbau des Beratungssystems Verarbeitungstechnik

7.1.1. Ergänzung der Sichtenbeschreibung durch weitere Sichten

Wie bereits erwähnt, zeichnet sich das Sichtenkonzept u.a. dadurch aus, daß es erweiterbar ist. Im Sinne der Erweiterung der Recherchemöglichkeiten zur Suche nach innovativen Lösungen ist es sinnvoll, die bisher beschriebenen Sichten noch durch weitere zu ergänzen. Folgende Ergänzungen erscheinen dabei besonders sinnvoll:

- Klassifizierung nach der Art der eingesetzten Arbeitsorgane und
- Ordnung nach physikalischen Effekten.

Ziel einer Klassifizierung der Arbeitsorgane wäre eine Charakterisierung typischer Eigenschaften von Arbeitsorgan-Klassen. Dazu böten sich als Klassifizierungskriterien die geometrische Form der Arbeitsorgane und deren Bewegungscharkteristik an. Unter Einbeziehung

einer solchen Sicht wäre es möglich, aus Anwendungsfällen für bestimmte Arbeitsorgane Analogieschlüsse zu ziehen und

- zu neuen Anwendungsgebieten zu gelangen bzw.
- gezielt Nebenwirkungen auszunutzen (Funktionsintegration).

Die Ordnung nach physikalischen Effekten hat analoge Vorteile. Dazu kommt die Möglichkeit, bei Nichtvorhandensein einer geeigneten Prinziplösung auf dem höheren Abstraktionsniveau der physikalischen Effekte nach Lösungen suchen zu können. Dazu müßte die Prinzipsammlung nicht nur durch die neue Sicht "Physikalisches Effekte", sondern auch durch eine entsprechende Datenbank ergänzt werden, in der die jeweiligen physikalischen Effekte beschrieben sind (vgl.auch /93/).

Nimmt man beide Ergänzungen zusammen, erhält man eine Einteilung ähnlich der nach Wirkprinzipen. Durch die zusätzliche Zerlegung erhöht sich die Flexibilität dieser Beschreibungsvariante und die Menge der auffindbaren potentiellen technischen Lösungen.

Durch beide Ergänzungen wird die Prinzipbeschreibung detaillierter und es kommen neue Zugriffsart auf das Wissen hinzu. Die Folge ist die Schaffung neuer Denkanstöße und die Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für die Auswahl unkonventioneller Lösungen. Damit kommt das System dem von Grabowski in /74/ formulierten Anspruch einen Schritt näher, nach dem eine zweckmäßige und genügend feine Zerlegung des Wissens es ermöglicht, aus bekannten Komponenten auch neue Lösungen zu synthetisieren. Ist beispielsweise für die vorliegende Verarbeitungsaufgabe keine Prinziplösung zu finden, könnte die Suche zunächst anhand der zu verändernden Eigenschaften auf der Ebene der physikalischen Effekte fortgesetzt werden. Anschließend wird die Suche in Richtung von Arbeitsorgangeometrien (Wirkflächen) weitergeführt, die mittels dieses Effekts die gewünschte Eigenschaftsänderung bewirken können. Dazu ist eine entsprechende Verknüpfung zwischen physikalischen Effekten und Arbeitsorgangeometrien z.B. über constraints erforderlich. Abschließend kann wieder auf Prinzipenebene nach Informationen über Anwendungskriterien und -beispiele für das entsprechende Arbeitsorgan gesucht werden.

7.1.2. Andere Erweiterungsmöglichkeiten

Eine weitere Möglichkeit der Erweiterung des Systems wurde in Abschnitt 6.2. mit der Skizzierung eines Client-Server-Konzepts angesprochen, das die Einbeziehung verteilter Kompetenzen zum Ziel hat. Aber auch inhaltlich wohnen dem vorgestellten Gesamtkonzept noch andere Erweiterungsmöglichkeiten inne.

Die Abbildung innermaschineller Verfahren mit mehreren aneinandergereihten elementaren Verarbeitungsschritten wurde bereits in den Abschnitten 3.1.2., 4.3.1.3. und 4.3.2.3. erwähnt. Wenn das System die Formulierung derartiger Verarbeitungsaufgaben gestattet, sollte auch ein Lösungsspeicher mit typischen Topologien zur Verfügung stehen, die sich in der Praxis bewährt haben. Dazu wäre weiterhin eine Möglichkeit zur Darstellung und Manipulation von Topologievarianten sinnvoll. Einem derartiger Funktionsstruktureditor könnten dann auch Regeln über Rand- und Koppelbedingungen für verarbeitungstechnische Prinzipie hinterlegt sein. Auf diese Weise würde der Schritt der Funktionsstruktursynthese und -optimierung ein insofern attraktives Unterstützungsmittel erhalten, als daß dieser Schritt nicht mehr praktisch losgelöst von der Prinzipsuche erfolgen müßte. Abstrakte strukturelle Vorüberlegungen würden durch die Möglichkeit des direkten Zugriffs auf den hinterlegten Lösungsfundus wesentlich attraktiver und der Wechsel zwischen Abstraktion und Konkretisierung würde weiter erleichtert.

7.2. Einbindungsmöglichkeiten für das Beratungssystems Verarbeitungstechnik

Für die Einbindung des Beratungssystems Verarbeitungstechnik in die Problemlöseprozesse beim Konstruieren und innerhalb anderer Nutzungsprofile (vgl. Abschnitt 2.3.1.) zeichnen sich verschiedene Möglichkeiten ab:

Die derzeit am realistischsten erscheinende Existenzform des Systems ist dessen Aufbau und Pflege als *zentrales* System innerhalb *einer* Institution. "Zentral" schließt dabei die Vernetzung dezentraler Experten mit dem zentralen System im Sinne der vorigen Abschnitte ein. Auf dieser Basis muß zunächst eine Wachstumsphase des Systems realisiert werden, in deren Ergebnis der Faktenbestand zu verschiedenen Problembereichen ausreichende Lösungsvorräte garantiert. Bei schnell wachsenden Domänen wäre es danach möglich, die zugehörigen Fakten, versehen mit einem vereinfachten Zugriffssystem als fachspezifische Auszüge aus dem Gesamtsystem gedruckt oder auf CD-ROM verfügbar zu machen. Diese wären dann neben anderen Informationsmitteln am Arbeitsplatz des Nutzers einsetzbar, würden hier die bestehende Lücke an Informationen für die Prinzipphase füllen.

Wenn es Umfang und Stabilität des Gesamtsystems zulassen, wäre in einer nächsten Stufe der Zugang zum Gesamtsystem via WAN denkbar.

Eine Alternative dazu ist unter den genannten Voraussetzungen die dezentrale Installation des Recherchesystems, welches durch periodische Updates (via CD-ROM oder WAN) mit Fakten ergänzt wird. Dies würde die Anforderungen an die Performance der Infrastruktur senken, den administrativen und Service-Aufwand aber steigern.

Bei beiden Varianten wäre das System bei entsprechender Infrastruktur am jeweiligen Arbeitsplatz verfügbar und könnte zusätzlich zu den übrigen Unterstützungsmitteln genutzt werden.

In allen Fällen erscheint es sinnvoll, die Arbeitsplatzkomponente (Client) mit der Möglichkeit auszustatten, daß der Nutzer neben dem Zugriff auf zentral gespeicherte Lösungen auch eine eigene Lösungssammlung verwalten kann, aus der er, in geeigneter Weise stimuliert, periodisch Informationen an das Zentralsystem liefern kann. Eine solche System- und Betreiberstruktur böte die Chance, aus dem System ein wirklich lebendiges zu machen, welches aus sich selbst heraus wächst.

Eine direkte Integration in übergeordnete Unterstützungssysteme (Konstruktionsleitsysteme bzw. integrierende CAD/CAE-Systeme) erscheint ob des Umfangs und ob des Anpassungsaufwandes an die verschiedenen Hard- und Softwareplattformen wenig sinnvoll.

Das verwendete Sichtenkonzept ist jedoch auch auf andere Domänen gut anwendbar. In diesem Sinne böte sich die Ergänzung des Beratungssystems Verarbeitungstechnik durch ein Beratungssystem Antriebstechnik und weitere Beratungssystemkomponenten an, so daß nach und nach der Informationsbedarf zu den verschiedenen Teilsystemen von Verarbeitungsmaschinen unter einem gemeinsamen Systemkonzept abdeckbar wäre.

Aber auch andere Domänen sind mittels des Sichtenkonzepts so abbildbar, daß eine Informationssuche nach verschiedenen Aspekten und von verschiedenen Abstraktionsniveaus aus flexibler möglich ist. Beispielsweise wurden probeweise pneumatische Baugruppen entsprechend der verschiedenen an sie gestellten Anforderungen und ihren Nutzungsmerkmalen klassifiziert. Weiterhin wurde auf der Basis des Sichtenkonzepts die Recherchekomponente einer Verpackungsmaschinendatenbank konzipiert. Auch andere heute auf der Basis relationaler Datenbanksysteme abgelegte Informationssammlungen wären durch eine solche Erweiterung flexibler und effizienter nutzbar. Die Kombination verschiedener Suchaspekte mit beliebigen Abstraktionsniveaus käme in vielen Fällen den heterogenen Nutzerinteressen besser entgegen. Das Sichtenkonzept läßt sich dazu auch ohne wissensbasierte Komponente realisieren, wenn der entsprechende Diskursbereich keine

Regelverarbeitung, constraints u.ä. erfordert und eine rein objektorientierte Darstellung ausreichend ist.

8. Zusammenfassung

Das vorgestellte Systemkonzept ist ein Vorschlag, wie die Lücke zu schließen ist, die derzeit in der Konzeptphase der Konstruktion von Verarbeitungsmaschinen hinsichtlich Information zu Prinziplösungen existiert. Der Informationsaspekt wird dabei mit dem Versuch verbunden, Konstruktionsmethodik so zu transportieren, daß ihr Nutzenspotential in einer systematischen Aufgabenanalyse und Lösungssuche zum Tragen kommt, ohne daß die Kreativität des Nutzers durch vorgegebene Abläufe zu sehr eingeschränkt wird. Effizienz und Attraktivität des Systems sollen vor allem durch Flexibilität und eine enge Verbindung von Methodik und Faktenwissen bestimmt werden.

In einem relationalen Datenbanksystem sind Fakten (Merkmale) zu verarbeitungstechnischen Prinziplösungen abgelegt. Auf dieser Faktenebene setzt ein mittels einer Expertensystemshell realisiertes Recherchesystem auf. Es besteht hauptsächlich aus verschiedenen Begriffshierarchien, die verschiedene „Sichten“ auf die gespeicherten Lösungen verkörpern. Jede Sicht hebt dabei nur ein bzw. eine Menge von Merkmalen hervor und abstrahiert danach. Das Modell eines Objektes aus der realen Welt (im vorliegenden Fall verarbeitungstechnische Prinzipie) setzt sich aus der Gesamtheit der Sichten auf dieses Objekt (und damit aus der Menge aller Klassen, zu denen das Objekt gehört und die zu verschiedenen Klassenhierarchien gehören können) zusammen zzgl. der zugehörigen Merkmale (Fakten). Damit ist eine detaillierte Beschreibung immer neuer Aspekte einer Lösung möglich, ohne daß sich an der Lösungsdarstellung selbst etwas ändern muß. Die für das Beratungssystem Verarbeitungstechnik ausgearbeiteten Sichten ermöglichen im Sinne der Aufgabenformulierung eine beliebig abstrakte oder konkrete begriffliche Beschreibung der gewünschten Lösungsmerkmale

- zu verarbeitendes Gut (Verarbeitungsgut zu Beginn des Verarbeitungsprozesses),
- herzustellendes Gut (Verarbeitungsgut am Ende des Verarbeitungsprozesses),
- zu vollziehende Eigenschaftsänderungen,
- verarbeitungstechnische Funktion (Begriff),
- verarbeitungstechnisches Prinzip (Vorgabe technischer Lösungsmerkmale).

Eine Ergänzung durch weitere Sichten ist möglich und sinnvoll.

Die getrennte Klassifizierung nach Funktion (was soll erreicht werden) und Prinzip (wie soll das Verarbeitungsziel erreicht werden) ist für die Klassifizierung verarbeitungstechnischer Lösungen neu. Ebenfalls neu ist die Möglichkeit, verarbeitungstechnische Lösungen anhand der Eigenschaftsänderungen zu suchen, die mit ihnen realisiert werden sollen. Damit ist eine gänzlich lösungsneutrale Formulierung der Verarbeitungsaufgabe möglich. Diese ist nützlich, um unkonventionelle Lösungen zu finden oder bereits bei der Lösungssuche den Aspekt der Funktionsintegration zu implizieren.

Mittels entsprechender Browser kann der Nutzer in den einzelnen Sichten, die als Baumstrukturen dargestellt sind, frei navigieren. Durch Markieren mit den zugehörigen Werkzeugen können Klassen und damit die zu ihnen gehörenden Prinzipie ausgewählt oder explizit aus der Lösungsmenge ausgeschlossen werden. Die Lösungsmenge ergibt sich aus der Schnittmenge aller in den einzelnen Sichten ausgewählten Prinzipie. Je weniger Sichten zur Beschreibung herangezogen werden und je abstrakter die spezifizierte Klasse, um so größer ist die Lösungsmenge. Je genauer und umfassender die Beschreibung der Anforderungen/Merkmale, um so kleiner ist die Lösungsmenge, um so größer ist aber die Wahrscheinlichkeit, daß die enthaltenen Lösungen zur Lösung des vorliegenden Problems geeignet sind.

Zu den Prinzipien gehören Skizzen, ebenso zu speziellen Bauformen. Weiterhin sind Diagramme einbindbar, die z.B. Abhängigkeiten von verarbeitungstechnischen Kenngrößen wiedergeben. Die Grafikoberfläche des Systems erleichtert durch Icons zu den Programm-Funktionen aber auch zu den einzelnen Klassen in den Sichten die Orientierung.

Neben der Grobauswahl durch Manövrieren und Auswählen in den Sichten wird die Feinauswahl durch Lösungsübersichten und durch ein grafikorientiertes Werkzeug zur Punktbewertung bzw. Nutzwertanalyse unterstützt.

Der Systemansatz enthält verschiedene Möglichkeiten zur Weiterentwicklung. Neben neuen Sichten können auch Regeln eingebunden werden, die die Auswahl unterstützen oder die Bearbeitung von Topologien innermaschineller Verfahren, also die Kombination mehrerer Funktionen und Prinzipie ermöglichen.

Als Nutzungskonzept wird eine Client-Server-Architektur präferiert, bei der am Zentralsystem einerseits Nutzer mit ihren Arbeitsplatzsystemen angebunden sind, andererseits verteilt sitzende Experten für einen ständigen Wissenszuwachs sorgen. Eine Administration sowohl des Systems als auch der aufzunehmenden neuen Informationen ist dabei unabdingbar.

Neben der Basis für eine prototypische Implementierung eines Beratungssystems Verarbeitungstechnik und Ansätzen für dessen Weiterentwicklung, läßt sich der Nutzen des hier dargestellten Konzepts in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Die vorgenommene Strukturierung verarbeitungstechnischen Wissens, insbesondere die vorgenommenen Klassifizierungen stellen einen Beitrag zur Systematisierung des Wissensgebietes Verarbeitungstechnik dar und schaffen die Grundlage für eine effizientere Lösungsspeicherung und -suche. Insbesondere die verschiedenen Möglichkeiten, funktionelle Anforderungen zu formulieren, vergrößert die Wahrscheinlichkeit, unkonventionelle Lösungen zu finden. Dieser Effekt ist auch bei der Modellierung anderer technischer Wissensgebiete nutzbar.
2. Das Sichtenkonzept ist ebenfalls für die Modellierung anderer Wissensdomänen anwendbar. Es zeichnet sich durch Transparenz, Erweiterbarkeit und Flexibilität aus.
3. Das Konzept realisiert eine Verbindung von Faktenwissen und Konstruktionsmethodik, ohne strenge Abläufe vorzugeben. Eine solche Systemphilosophie könnte, wenn sie auch in anderen Unterstützungsmitteln für die Konstruktion Anwendung fände, die Akzeptanz der Konstruktionsmethodik steigern und so deren Vorteile besser zum Tragen bringen.

Problematisch ist es offensichtlich, derartige Systeme zunächst mit einem ausreichenden Grundbestand an Wissen auszustatten und danach durch Aktualität am Leben zu erhalten. Die vorgeschlagene Nutzungskonzeption könnte eine Möglichkeit sein, das Akquisitionsproblem zu lösen. Entsprechende Werkzeuge erfordern aber noch mehr Entwicklungsaufwand, um über eine Nutzung als „personal workbench“ des Experten an dessen Wissen gelangen zu können.

Literaturverzeichnis

- /1/ Datenbanken und Expertensysteme in der Oberflächentechnik, VDI-W-Tagung. Ingenieur-Werkstoffe 4(1992)4, S. 64-66
- /2/ DIN 8580: Fertigungsverfahren; Einteilung. Berlin: Beuth.
- /3/ DIN V 4001, Teil 1ff.: CAD-Normteiledat. Berlin: Beuth (1987)
- /4/ Erhebung des VDMA, veröffentlicht auf der interpack 93, Düsseldorf 1993
- /5/ Fachinformationsprogramm der Bundesregierung 1990-1994. Der Bundesminister für Forschung und Technologie - Öffentlichkeitsarbeit. Bonn 1990
- /6/ Nexpert Object Version 2.0, Functional Description Manual. Neuron Data Inc., Palo Alto, Cal., USA. 1991
- /7/ VDI-Richtlinie 2210 - Analyse des Konstruktionsprozesses im Hinblick auf den EDV-Einsatz. Düsseldorf: VDI-Verlag (1975)
- /8/ VDI-Richtlinie 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth (1986)
- /9/ VDI-Richtlinie 2222 - Konzipieren technischer Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag (1977)
- /10/ VDI-Richtlinie 2225 - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Berlin: Beuth (1977)
- /11/ VDI-Richtlinie 2860 - Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen, Begriffe, Definitionen, Symbole. Berlin: Beuth (1982)
- /12/ Wissenspeicher Verarbeitungstechnik. TU Dresden, Lehrstuhl für Verarbeitungsmaschinen und Verarbeitungstechnik.
- /13/ Altschuller, G.S.: Erfinden - K(ein) Problem?. Berlin: Tribüne-Verlag (1973)
- /14/ Altschuller, G.S.: Erfinden - Wege zum Lösen technischer Probleme; (Übersetzung aus dem Russischen). Berlin: VEB Verlag Technik (1984)
- /15/ Auer, P.; von der Weth, R.: Wie klären Konstrukteure ein Problem? - Die Entwicklung von Erfahrung und das Vorgehen bei der Analyse von Konstruktionsaufgaben. Konstruktion 46(1994)5, S. 175-189
- /16/ Autorenkollektiv: Technische Zuverlässigkeit. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (1971)
- /17/ Bauakademie Berlin: HEUREKA, Beschreibung des Programmpaketes. 1988
- /18/ Bauert, F.; Keller, M.; Simonsohn, T.: Variations-, Berechnungs- und Bewertungsmethoden für die Produktmodellierung mit Beispielen aus dem System GEKO. Konstruktion 43(1991)2, S. 53-60

- /19/ Beitz, W.: Entwicklungszwänge für den Konstruktionsprozeß. *ZwF* 78(1983), S. 63-66
- /20/ Beitz, W.: Leistungsfähige Produktentwicklung durch rechnerunterstützte Konstruktionsmethodik und Kreativität. Tagungsband der 7. Konstrukteurstagung Dresden. 1990
- /21/ Beitz, W.: Konstruktionsleitsystem als Integrationshilfe. Rechnerunterstützte Produktentwicklung Integration von Konstruktionsmethodik und Rechnereinsatz. VDI-Berichte Nr.812. Düsseldorf: VDI-Verlag (1990)
- /22/ Beitz, W.: Mündliche Auskunft von Prof. Dr.-Ing. habil. W. Beitz. Berlin 1995
- /23/ Beitz, W. u.a.: Strukturen rechnerunterstützter Konstruktionsprozesse. Forschungsbericht 1984-1987, SFB 203, Teilprojekt B2. TU Berlin 1988
- /24/ Beitz, W.; Birkhofer, H.; Pahl, G.: Konstruktionsmethodik in der Praxis. *Konstruktion* 44(1992)12, S. 391-397
- /25/ Beitz, W.; Küttner, K.-H., (Hrsg.): *Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau*; 17.Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer (1990)
- /26/ Beitz, W.; Lam, A.; Ratfisch, U.; Tegel, O.: Eine Systemumgebung zur Unterstützung von Simultaneous Engineering. VDI-Berichte Nr. 1148, S. 439-455. Düsseldorf: VDI-Verlag (1994)
- /27/ Benz, T.M.: *Funktionsmodelle in CAD-Systemen*. Düsseldorf: VDI-Verlag (1990)
- /28/ Berns, St.; Andrich, B.; Koller, R.: Entwicklung eines allgemeinen wissensbasierten Systems für die Konstruktion, erläutert am Beispiel des schweißgerechten Gestaltens. VDI-Tagung "Datenverarbeitung in der Konstruktion '90 - CAD in Maschinenbau und Fahrzeugtechnik" München, 25.10.1990. VDI-Berichte Nr. 861.2. Düsseldorf: VDI-Verlag (1990)
- /29/ Birkhofer, H.: Konstruieren im Sondermaschinenbau - Erfahrungen mit Methodik und Rechnereinsatz. In: *Rechnerunterstützte Produktentwicklung Integration von Konstruktionsmethodik und Rechnereinsatz*. VDI-Berichte Nr.812, S. 67-88. Düsseldorf: VDI-Verlag (1990)
- /30/ Birkhofer, H.: Von der Produktidee zum Produkt - Eine kritische Betrachtung zur Auswahl und Bewertung in der Konstruktion. Sonderdruck aus Festschrift Prof.Dr.-Ing.h.c. Gerhard Pahl zu seinem 65.Geburtstag, Juni 1990; S. 195-204. Hrsg.: Prof.Dr. F.G. Kollmann, Dipl.Ing. U. Müller. 1990
- /31/ Birkhofer, H.: *Methodik in der Konstruktionspraxis - Erfolge Grenzen und Perspektiven*. Proc. ICED 91. Zürich: Heurista (1991)
- /32/ Birkhofer, H.; Büttner, K.; Reinemuth, J.; Schott, H.: *Netzwerkbasieretes Informationsmanagement für die Entwicklung und Konstruktion - Interaktion und Kooperation auf virtuellen Marktplätzen*. *Konstruktion* 47(1995), S. 255-262

- /33/ Blessing, L.: Effizienter entwickeln - welche Rolle hat die Konstruktionsforschung. In: Effizienter Entwickeln und Konstruieren. VDI-Berichte Nr. 1169, S. 125-143. Düsseldorf: VDI-Verlag (1995)
- /34/ Bohle, D.: Rechnerunterstütztes Konstruieren im Rahmen des algorithmischen Auswahlverfahrens zur Konstruktion mit Katalogen. Dissertation, TU Braunschweig, Institut f. Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente (1982)
- /35/ Brader, C.; Höhl, G.: Rechnereinsatz in der Konzeptphase des Konstruktionsprozesses. VDI-Berichte Nr. 219, S. 101-106. Düsseldorf: VDI-Verlag (1974)
- /36/ Clocksin, W.F.; Mellish, C.: Programming in PROLOG. Berlin: Springer-Verlag (1982)
- /37/ Deutsches Kunststoff-Institut; FIZ Chemie: Datenbank RECYCLING. 1992
- /38/ Dörner, D.: Die Logik des Mißlingens. Reinbeck: Rowohlt-Verlag (1989)
- /39/ Dörner, D.: Gedächtnis und Konstruieren. In: Pahl, G. (Hrsg.): Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren (Ladenburger Diskurs), S. 150-159. Köln: Verlag TÜV Rheinland (1994)
- /40/ Dylla, N.: Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. Wien: Hanser (1991)
- /41/ Eder, W.E.: Bekannte Methodiken in den USA und Kanada. Konstruktion 46(1994)5, S. 190-194
- /42/ Ehrlenspiel, K.: Ein Denkmodell des Konstruktionsprozesses. In: Hubka, V.; Andreasen, M.M. (Hrsg.): Proc. of ICED 1983; Vol. 1. Zürich: Heurista (1985)
- /43/ Ehrlenspiel, K.: Kostengünstig Konstruieren. Berlin: Springer (1985)
- /44/ Ehrlenspiel, K.: Grundlagen und Methodenbaukasten zum funktionsgerechten Konstruieren. Umdruck zur Vorlesung Konstruktionslehre I. TU München 1986
- /45/ Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. München: Hanser (1995)
- /46/ Ehrlenspiel, K.; Dylla, N.: Untersuchungen des individuellen Vorgehens beim Konstruieren. Konstruktion 43(1991)2, S. 43-51
- /47/ Ehrlenspiel, K.; Günther, J.: Wie wird konstruieren erfolgreich?. In: Effizienter Entwickeln und Konstruieren. VDI-Berichte Nr. 1169, S. 45-70. Düsseldorf: VDI-Verlag (1995)

- /48/ Ehrlenspiel, K.; Rutz, A.: Denkpsychologie als neuer Impuls für Konstruktionsforschung. In: Hubka, V.(Hrsg.): Proc. of ICED 85. Schriftenreihe WDK 12. Zürich: Heurista (1985)
- /49/ Ehrlenspiel, K.; Rutz, A.: Konstruieren als gedanklicher Prozeß. Konstruktion 39(1987)10, S. 409-414
- /50/ Ehrlenspiel, K.; Tropschuh, P.F.: Anwendung eines wissensbasierten Systems für die Synthese - Beispiel: Das Projektieren von Schiffsgetriebenen. Konstruktion 41(1989)9, S. 283-292
- /51/ Ehrlenspiel, K.; Wolfram, M.: Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren. VDI-Berichte Nr. 1148, S. 657-677. Düsseldorf: VDI-Verlag (1994)
- /52/ Eversheim, W.; Neitzel, R.: The use of expert systems to support CAD-systems in mechanical engineering. In: Menges, G.; Hoevelmanns, N.; Baur, E. (Eds.): Expert systems in production engineering. Proc. Int. Workshop, Spa (Belgium), August 18-22 1986; S. 110-125. Berlin: Springer-Verlag (1986)
- /53/ Eversheim, W.; Neitzel, R.: Ein Expertensystem für die Vorrichtungskonstruktion. Konstruktion 40(1988)3, S. 97-101
- /54/ Ewald, O.: Lösungssammlungen für das methodische Konstruieren. Düsseldorf: VDI-Verlag (1975)
- /55/ Feldhusen, J.: Durchgängige und flexible Rechnerunterstützung der Konstruktion. Konstruktion 41(1989)2, S. 47-56
- /56/ Feldhusen, J.: Systemkonzept für die durchgängige und flexible Rechnerunterstützung des Konstruktionsprozesses. Schriftenreihe Konstruktionstechnik (Hrsg.: W.Beitz); TU Berlin 1989
- /57/ Forkel, M.; Göbler, Th.: Hyper-Design - Eine wissensbasierte Arbeitsumgebung für die Konstruktion. In: KI in der Fertigungstechnik (Pritschow, G.; Spur, G.; Weck, M.). München: Hanser (1989)
- /58/ Franke, H.-J.: Bilder und Begriffe beim konstruktiven Denken - Diskussion und Ergebnisse eines Workshops. In: Effizienter Entwickeln und Konstruieren. VDI-Berichte Nr. 1169, S. 11-26. Düsseldorf: VDI-Verlag (1995)
- /59/ Frech, U.; Müller, W.: Computer Supportet Concurrent Design - Wo bleibt die informelle Kommunikation. Konstruktion 47(1995), S. 388-394
- /60/ Fricke, G.: Erfolgreiches individuelles Vorgehen beim Konstruieren - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. Konstruktion 46(1994)5, S. 181-189
- /61/ Fricke, G.; Pahl, G.: Zusammenhang zwischen personenbedingtem Vorgehen und Lösungsgüte. In: Proc. of ICED 1991. Schriftenreihe WDK 20. Zürich: Heurista (1991)
- /62/ Fuhrmann, G.: Ein Beitrag zur Optimierung des rechnerunterstützten Konzipierens durch programmierte Lernprozesse. Dissertation. Darmstadt (1980)

- /63/ Garben, A.; Ruschkowski, B.; Räse, U.: Wissensakquisition für intelligente Assistenzsysteme. Ein Beitrag zur Zusammenarbeit von EDV- und Fach-Welt. VDI-Z 135(1993)10, S. 44-47
- /64/ Gimpel, M.: Beitrag zur Entwicklung innermaschineller Verfahren, dargestellt am Beispiel einer Weizenteigdosiermaschine. Dissertation, TU Dresden (1984)
- /65/ Goldhahn, H.: Sammlung und Speicherung verarbeitungstechnischer Unterlagen. Maschinenbautechnik 17(1968)9, S. 453-455
- /66/ Goldhahn, H.: Analyse von Wirkpaarungen zur Herausarbeitung von Gemeinsamkeiten. Dissertation B, TU Dresden (1978)
- /67/ Goldhahn, H.: Beratungssystem Verarbeitungstechnik. Forschungsbericht Nr.956, TU Dresden 1988
- /68/ Goldhahn, H.; Majschak, J.-P.: Wissensbasierte Unterstützung von Problemlöseprozessen in der Konstruktion. Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden 40(1991)5/6, S. 73-79
- /69/ Goldhahn, H.; Majschak, J.-P.; Kurfürst, K.: Unterstützung des Konstruktionsprozesses durch ein Beratungssystem Verarbeitungstechnik. Forschungsbericht Nr.980, TU Dresden, Institut für Verarbeitungsmaschinen, Landmaschinen und Verarbeitungstechnik. 1993
- /70/ Goldhahn, H.; Majschak, J.-P.; Kurfürst, K.: Abschlußbericht zum DFG-Projekt "Unterstützung des Konstruktionsprozesses durch ein Beratungssystem Verarbeitungstechnik"; Bearbeitungszeitraum 1.1.1992 bis 31.12.1993 (Erstantrag). 1994
- /71/ Goldhahn, H.; Majschak, J.-P.; Kurfürst, K.: Rechnerunterstützung für die Prinzipsuche in der Verarbeitungstechnik. Konstruktion 46(1994)5, S. 195-204
- /72/ Gottlob, G.; Frühwirth, T.; Horn, W. (Hrsg.): Expertensysteme. Wien, New York: Springer (1990)
- /73/ Grabowski, H.; Benz, T.: Problemlösungsvorgänge in CAD-Expertensystemen. In: Berichte 31 des German Chapter of the ACM. Stuttgart: Teubner (1988)
- /74/ Grabowski, H.; Rude, St.; Suhm, A.; Staub, G.: Lösungsmusterbasierte Produktmodellierung in wissensbasierten Konstruktionssystemen. Proc. VDI-Tagung "Rechnerunterstützte Wissensverarbeitung in Entwicklung und Konstruktion" 28./29.9.1993 Heidelberg. VDI-Berichte Nr.1079, S. 55-80. Düsseldorf: VDI-Verlag (1993)
- /75/ Grabowski, H.; Rude, St.: Methoden der Lösungsfindung in CAD-Systemen. Schweizer Maschinenmarkt Goldach 88(1988)49, S. 42-43
- /76/ Groeger, B.: Die Einbeziehung der Wissensverarbeitung in den rechnergestützten Konstruktionsprozeß. Schriftenreihe Konstruktionstechnik Nr.23 (Hrsg.: Beitz, W.). TU Berlin 1992

- /77/ Gruenberg, H.-U.; Herrig, D.; Roehr, A.: PHYPRO, Programm-Dokumentation. Suhl 1990
- /78/ Gulbins, J.; Seyfried, M; Strack-Zimmermann, H.: Elektronische Archivierungssysteme - Technologien und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer (1993)
- /79/ Gürtler, G.: CAD-Normteiledatensatz im Aufbau. DIN-Mitteilungen 67(1988)2, S. 75-80
- /80/ Harmon, P.; King, D.: Expertensysteme in der Praxis - Perspektiven, Werkzeuge, Erfahrungen. 3.Auflage. München, Wien: Oldenbourg (1989)
- /81/ Heidenreich, E.; Hennig, J.; Goldhahn, H.; ...: Verarbeitungstechnik. Ein Lehrwerk für Universitäten und Hochschulen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie (1978)
- /82/ Heinrich, W.: Einflußgrößen auf das schöpferische Arbeiten eines Ingenieurs. Maschinenbautechnik 36(1987)12, S. 532-535
- /83/ Held, H.J.; Orel, P.; Weinbrenner, V.: Wissensbasierte Unterstützung des Konstruktionsprozesses. Teil 1 und 2. CAD/CAM-Report 1990, Heft 3 und 5
- /84/ Hennig, J.: Ein Beitrag zur Methodik der Verarbeitungsmaschinenlehre. Dissertation B, TU Dresden (1977)
- /85/ Herber, R.: Verarbeitungstechnische Kenngrößen - Bedeutung und Methoden ihrer Ermittlung. Maschinenbautechnik 18(1969)9, S. 450-454
- /86/ Herrig,D.; Kalmann,B.; Möws,H.; Müller,H.-J.: Kleine Ursache - große Wirkung - ein Prinzip und ein Programm zum Erfinden und zum Entwickeln. Suhl: KdT (1987)
- /87/ Herrnsdorf, H.: Die Verarbeitungstechnik und ihr Anteil an der Konstruktion von Verarbeitungsmaschinen. Maschinenbautechnik 10(1961)3
- /88/ Hesse, S.; Strohmayer, R.: Wissensbasierte Auswahl und Konfiguration von Werkstückspeichern flexibler Montagezellen. Konstruktion 44(1992), S. 251-254
- /89/ Hex, C.F.; Alley, R.P.: Physical laws and effects. Wiley 1958.
- /90/ Höhne, G.: Verbindung von Konstruktionsmethoden und CAD im Konstruktionsprozeß. Maschinenbautechnik 37(1988)3, S. 122-124
- /91/ Hübel, C.; Sutter, B.: Datenbankintegration von Ingenieur Anwendungen - Modelle, Werkzeuge, Kontrolle. Vieweg (1993)
- /92/ Jordan, W.; Schwarzkopf, W.: Flexible Konstruktionsmethodik mit Hilfe eines Methodikbaukastensystems. Konstruktion 37(1985)2, S. 73-77
- /93/ Klose, J.: Zur Entwicklung einer speicherunterstützten Konstruktion von Maschinen unter Wiederverwendung von Baugruppen. Dissertation B, TU Dresden (1977)

- /94/ Knoche, Th.: Der Konstruktions- und Entwicklungsprozeß. Wo liegen die Optimierungspotentiale? Erfahrungen eines Unternehmensberaters. Konstruktion 45(1993)10, S. 313-315
- /95/ Knosola, R.: Objektivierung des Bewertungsprozesses beim Konstruieren. Konstruktion 43(1991)10, S. 344-352
- /96/ Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. 2.Auflage. Berlin, Heidelberg, Tokyo: Springer-Verlag (1985)
- /97/ Koller, R.: CAD - Automatisierung der Zeichen-, Darstellungs- und Konstruktionstätigkeit. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (1989)
- /98/ Koller, R.; Kastrup, N.: Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte. Berlin, Heidelberg: Springer (1994)
- /99/ Kopowski, E.: Einsatz neuer Konstruktionskataloge zur Verbindungsauswahl. VDI-Berichte Nr.493, S. 13-22, Düsseldorf: VDI-Verlag (1983)
- /100/ Kramer, F.; Kramer, M.: Bedeutung der Kernerfolgskriterien Qualität, Zeit und Kosten für eine erfolgreiche Produktentwicklung. Konstruktion 46(1994)5, S. 167-174
- /101/ Krause, F.-L.: Wohin geht die CAD-Entwicklung?. Feinwerktechnik & Meßtechnik 98(1990)12, S. 260-262
- /102/ Krummhauer, P.: Rechnerunterstützung für die Konzeptphase der Konstruktion. Dissertation, TU Berlin (1974)
- /103/ Kuttig, D.: Funktionsstrukturen als integraler Bestandteil des rechnergestützten Konstruktionsprozesses. Konstruktion 44(1992), S. 183-192
- /104/ Langbein, P.; Schöler, U.; Theune-Hobbs, A.: Beratungssystem zur Auswahl optischer Prüfmittel. Feingerätetechnik 39(1990)8, S. 359-361
- /105/ Lehmann, C.M.: Wissensbasierte Unterstützung von Konstruktionsprozessen. Dissertation, TU Berlin (1989)
- /106/ Lesser, H.-J.; Weule, H. (Hrsg.): Rechnergestützte Methoden zur Auswahl anforderungsgerechter Verbindungselemente. Universität Karlsruhe, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik. 1988
- /107/ Linde, H.; Hill, B.: Erfolgreich Erfinden - Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie. Darmstadt: Hoppenstedt (1993)
- /108/ Linde, H.; Mohr, K.-H.; Neumann, U.: Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie (WOIS) - ein Beitrag zur methodischen Produktentwicklung. Konstruktion 46(1994), S. 77-83
- /109/ Lu, S.: Putting Knowledge to Work for Engineering System Integration. VDI-Tagung „Rechnerunterstützte Wissensverarbeitung in Entwicklung und Konstruktion '93". 28.-29.9.1993 Heidelberg. 1993

- /110/ Materna, P.: Operative Auffassung der Methode. Prag: Akademie-Verlag (1965)
- /111/ Meerkamm, H.; Bachschuster, S.: Semantisches, relationsbasiertes Produktmodell für Gußteile im Konstruktionssystem mfk. Entwicklungsmanagement: Simultaneous Engineering, Tagungsbericht zu den 2. Entwicklungsmanagementtagen in Mittelhessen; Hrsg.: Kurth, W.; S.160-175. Herborn: Oranienverlag (1994)
- /112/ Meerkamm, H.; Löffel, C.; Bachschuster, S.: Wissensbasierte Lösungsfindung in der frühen Entwurfs-phase durch Integration eines Expertensystems in ein 3D-CAD-System. VDI-Berichte Nr. 1217. Düsseldorf: VDI-Verlag (1995)
- /113/ Meerkamm, H.; Rösch, S.; Krause, D.; Löffel, C.: Integration von Berechnungen und Simulation in das Konstruktionssystem mfk. Entwicklungsmanagement: Simultaneous Engineering, Tagungsbericht zu den 2. Entwicklungsmanagementtagen in Mittelhessen; Hrsg.: Kurth, W.; S. 232-250. Herborn: Oranienverlag (1994)
- /114/ Mertens, H.; Heiden, Th.K.: Ein wissensbasierter Ansatz zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses bei Anwendung von Berechnungsmethoden. Konstruktion 44(1992)4, S. 139-144
- /115/ Mohr, K.-H.; Linde, H.: Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie. In: V. Hubka (Hrsg.): Proc. ICED '93, Den Haag (Niederlande). Zürich: Heurista (1993)
- /116/ Müller, H. (Federführung): Erfindungsmethodik und Kreativitätstraining - Ergebnisse ihrer Einbeziehung in die Forschungsarbeit zur Gestaltung der flexiblen automatisierten Fertigung. Maschinenbautechnik 39(1990)10, S. 436-441
- /117/ Müller, J.: Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften - Systematik, Heuristik, Kreativität. Berlin: Springer (1989)
- /118/ Müller, J.: Konstruktionsmethodik - Erfahrungen in der Praxis. Proc. 1.Konstrukteurtag an der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal, 17.3.1993
- /119/ O'Neil, P.: Database - Principles, Programming, Performance. San Francisco (Cal.): Morgan Kaufmann Publishers (1994)
- /120/ Pahl, G.: Denkpsychologische Erkenntnisse und Folgerungen für die Konstruktionslehre. In: Hubka, V.(Hrsg.): Proc. ICED 85. Schriftenreihe WDK 12. Zürich: Heurista (1985)
- /121/ Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. 2.Auflage. Berlin, Heidelberg, New York, Paris, Tokyo: Springer (1986)
- /122/ Polovinkin, A.I.: Methoden der Suche neuer technischer Lösungen. (a.d. Russ. u. Ltg. v. J. Müller/ B. Schüttauf). Halle, Berlin: ZIS und ZKI der AdW (1976)
- /123/ Presse, G.: Aufbau und Anwendung eines Kataloges physikalischer Effekte. Maschinenbautechnik 26(1977)7, S. 330-333

- /124/ Puppe, F.: Einführung in Expertensysteme. Berlin: Springer-Verlag (1988)
- /125/ Puppe, F.: Problemlösungsmethoden in Expertensystemen. Studienreihe Informatik (Hrsg.: Brauer, W.; Goos, G.). Berlin: Springer (1990)
- /126/ Puttré, M.: Gearing up for Conceptual Design. Mechanical Engineering 115(1993)3, S. 46-50
- /127/ Reinemuth, J.; Birkhofer, H.: Hypermediale Produktkataloge - Flexibles Bereitstellen und Verarbeiten von Zulieferinformationen. Konstruktion 46(1994), S. 395-404
- /128/ Rieck, R.: Auswahl- und Bewertungsverfahren für verarbeitungstechnische Lösungen am Beispiel von Verpackungsmaschinen. Diplomarbeit, TU Dresden, IVV (1992)
- /129/ Rodenacker, W.G.: Methodisches Konstruieren. In: Konstruktionsbücher Bd.27; 4. Auflage. Berlin: Springer (1991)
- /130/ Rodenacker, W.G.: Neue Gedanken zur Konstruktionsmethodik. Konstruktion 43(1991), S. 330-334
- /131/ Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag (1982)
- /132/ Sauer, H.: Relationale Datenbanken - Theorie und Praxis inklusive SQL-2. Bonn, München: Addison Wesley (1994)
- /133/ Schacht, M.: Neue Gestaltungsformen für Normen. DIN-Mitteilungen 67(1988)7, S. 419-427
- /134/ Schacht, M.: Rechnerunterstützte Bereitstellung und methodische Entwicklung von Normen. Konstruktion 42(1990)1, S. 3-14
- /135/ Schiebeler, R.; Ehrlenspiel, K.: CAD-Geometrieanalyse mit einem wissensbasierten System - ein wissensbasiertes System als Konstruktionsberater (ReKK). VDI-Berichte Nr. 1079, S. 81-101. Düsseldorf: VDI-Verlag (1993)

- /136/ Schiebeler, R.; Ehrlenspiel, K.: REKK: A knowledge-based system as an integrated design-assistant. Proc. Design for Manuf.-1993-, Integrating Manuf. and Design to Create a Concurrent Engineering Environment. Chicago, IL, USA, March 9-10, 1993; S. 69-74. New York: ASME (1993)
- /137/ Schmidt, F. J.; Penzel, J.; Feltin, D.: Numerische Analyse beim kontinuierlichen Längsnahtschweißen. Verpackungs-Rundschau 43(1992)9, S. 61-64
- /138/ Schnauder, V.: Datenbank-Recherchen in der Ingenieurpraxis. Düsseldorf: VDI-Verlag (1992)
- /139/ Schorcht, Langbein: Stand, Probleme und Vorschläge zur Weiterentwicklung der Konstruktionstechnik in Verbindung mit CAD. Arbeitsgrundlage für die Beratung des Arbeitskreises "Konstruktionsmethodik" am 13./14.12.1990 in Dresden
- /140/ Schulte-Hillen: Handbuch der Datenbanken für Naturwissenschaft, Technik, Patente. Darmstadt: Hoppenstedt (1991)
- /141/ Schuster, R.; Trippner, D.; Scheder, H.: Die CAD-Konstruktion auf dem Weg von der Zeichnung zum CA-Produktmodell für das Automobil. Rechnerunterstützte Produktentwicklung Integration von Konstruktionsmethodik und Rechnereinsatz. VDI-Berichte Nr.812. Düsseldorf: VDI-Verlag (1990)
- /142/ Senn, H.; Burki, W.: Management-Informationssysteme. Zürich: Ind. Information (1970)
- /143/ Simonek, R.: Ein Beitrag zur Ermittlung der speziellen Funktionsstruktur in der Konstruktion. Dissertation. Braunschweig (1976)
- /144/ Spur, G.; Specht, D.; Göbler, Th.: Konzept einer wissensbasierten Arbeitsumgebung für die Konstruktion. Zwf 88(1983)10, S. 502-506
- /145/ Stanke, K.: Bewerten bei technischen Entwürfen, subjektiver Einfluß und Empfehlungen für Bewertungspraxis. Maschinenbautechnik 36(1987)7, S. 310-313
- /146/ Stürmer, U.: Ein semantisches Informationsmodell zum Abbilden funktioneller und wirkstruktureller Zusammenhänge beim Konzipieren im Maschinenbau. Schriftenreihe Konstruktionstechnik - Herausg.: W. Beitz; Band 17. TU Berlin (1990)
- /147/ Tepel, S.: Entwurf einer Datenbank für Schüttgüter im Beratungssystem Verarbeitungstechnik. Ingenieurbeleg, Institut für Verarbeitungsmaschinen, Landmaschinen und Verarbeitungstechnik, TU Dresden. 1992
- /148/ Tomiyama, T.; Ten Hagen, P.: Organization of Design Knowledge in an Intelligent CAD Environment. In: Proc. of IFIP WG 5.3 Working Conf., Sidney. 1987
- /149/ Tränkner, G. (Hrsg.): Taschenbuch Maschinenbau, Band 3/II: Verarbeitungsmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik (1980)
- /150/ Tropschuh, P.: Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems. München: Hanser (1989)

- /151/ Ullmann, G.: Computer Support for Design Team Decisions. In: Effizienter Entwickeln und Konstruieren. VDI-Berichte Nr. 1169 83-95. Düsseldorf: VDI-Verlag (1995)
- /152/ v. Ardenne, M.: Effekte der Physik. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften (1988)
- /153/ van Steenis, H.: Informationssysteme - wie man sie plant, entwickelt und nutzt. Hanser (1992)
- /154/ Vötter, M.; Mantwill, F.; Schlecht, M.: Vision: Der Computer als Konstrukteur oder Konstruktionspartner. Konstruktion 44(1992)4, S. 51-56
- /155/ VW-GEDAS mbH: Produktdatenverwaltung. Konstruktion 44(1992) A24
- /156/ Wach, J. J.: Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung. Reihe: Konstruktionstechnik München, Band 12. München: Hanser (1994)
- /157/ Wartenberger, D.: Konstruktionsdatenbanksystem in Kopplung mit CAD und Beratungssystem zur Auswahl optischer Prüfmittel. Übersichtsbild zu einem Anschreiben zur Hannovermesse. Jena 1991
- /158/ Wartenberger, D.: Engineering Database - Voraussetzung für effiziente CAD-Systeme. Vortrag auf dem 1.Konstrukteurtag an der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal, 17.3.1993. 1993
- /159/ Werner, D. (Hrsg.): Taschenbuch der Informatik. Leipzig: Fachbuchverlag (1995)

Anhang 1: Beispiele für phasenübergreifende Rechnerunterstützung der Konstruktion

System/ Quelle	Anwend.- gebiet	Unterstützte Konstruktionsphasen/ -tätigkeiten	Unterstützung der Konzeptphase
/34/	Konstruktion der hydraul. Steuerung von Kfz- Automatik- getrieben	- Konzipieren: Eingabewerkzeug für Hydraulikschaltplan, - Gestaltung: Grobentwurf und Plazierungsunterstützung für Ventile und teilautomatische Generierung d. Verbindungskanäle	strukturierte Eingabe der Ergebnisse der konzeptionellen Überlegungen des Konstruktors
IIICAD /148/	allgemein	- alle Phasen	- zentrales Datenmodell, das Meta- modell für verschiedene Partial- modelle bildet (z.B. Gestaltmodell, FEM-Modell, Dynamik-Modell) existiert neben Modell für den Konstruktionsprozeß; - gesteuert durch sog. Supervisor- (Steuer-) Modul soll das System den Konstrukteur "begleiten", sein Vor- gehen erkennen und unterstützen
DICAD /27, 74/	allgemein	- Konzeptphase mit den Teiltätigk. - Funktionsfindung, - Festlegung Randbedingungen, - Funktionsstruktursynthese, - Prinzipfindung - Konzept Partialmodell, welches als Teil einer durchgehenden Rechnerunterstützung gedacht ist, weitere Module unterstützen dann z.B. Gestaltsynthese aus Prinzip- struktur usw.	- detailliert ausgearbeitet ist ein Modell als Grundlage für die Rechnerunterstützung der Konzept- phase in Form einer - Unterstützung der Aufgabenanalyse (Funktionsfindung, Finden der Randbedingungen), - Funktionsstruktursynthese (stark automatisiert), - Prinzipfindung und -auswahl anhand der Randbedingungen (gewonnen aus Analyse Systemrand)
Druid /50, 150/	projektier. Konstruktion von Schiffs- getrieben	phasenübergreifend	- Zuordnung von prinzipiellen Lösungen (falls gespeichert) zu den gestellten Anforderungen
FEKIS /51/	allgemein	alle Phasen (Konzeptphase bedingt)	- Kostenabschätzung anhand von in einem Featuremodell gespeicherten Kosteninformationen zu Lösungs- elementen

HyperDesign /57, 144/	allgemein	Unterstützung aller Konstruktionsphasen unter einer integrierenden Oberfläche auf Basis eines streng objektorientierten Produktmodells	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Abstrahieren</i> der zu realisierenden Funktionen aus der Aufgabenstellg.; - Synthese von Funktionsstrukt. auf unterschiedl. Abstraktionsebenen; - Zuordnen von physikalischen Effekten und Wirkprinzipien zu den Funktionen; - Kombinieren und Variieren von physikalischen Effekten und Wirkprinzipien; - Aufstellen von Prinziplösungen; - Auswählen von Prinziplösungen;
IDA /52, 53/	Vorrichtungskonstr.	Konzept- und Entwurfsphase	<ul style="list-style-type: none"> - Funktionsfindung, Bestimmung der Randbedingungen, - Zuordnung von Lösungsträgern (Vorrichtungselementen) aus einer Datenbasis
KALEIT /21, 55, 56/	allgemein	<ul style="list-style-type: none"> - Konstruktionsanalyse- und Leitsystem für den gesamten Konstruktionsprozeß; - besteht aus Aufgabenanalyseprozessor, Lösungskordinationsprozessor, Konstruktionsleitsystem und einem Speicherbereich zur dauerhaften Ablage von Operationsprinzipien, produkt-darstellenden Modellen und produkt-definierenden Daten 	<ul style="list-style-type: none"> - dokumentarische Eingabe der Aufgabenstellung; - strukturierte Erfassung der Anforderungen (Anforderungsliste); - Analyse der Aufgabenstellung, Funktionsfindung, - Funktionsstruktureditor (siehe Systembeschreibung in Tabelle 6 Seite 32, /146/) - Zuordnung von Wirkprinzipien (ebenda); - Synthese von Wirkstrukturen
mfk /111, 112, 113/	allgemein	- alle Phasen	<ul style="list-style-type: none"> - Eingabe Funktionsstruktur mittels entsprechender Editoren, - wissensbasierte Auswahl von Lösungselementen verschiedener Abstraktionsgrade anhand in der Wissensbasis gespeicherter Konstruktionsregeln (Prinziplösungen oder komplette Teilösungen, je nach Lösungsvorrat), - Gestaltmodelleirung durch CAD-System, - Gestaltung und Dimensionierung mittels CAD unter Nutzungg angebundner Simulationenprogramme mit z.T. automatischer Parameterübergabe

NOBES /134/	allgemein	rechnergestützte Bereitstellung von Normeninformationen für alle Konstruktionsphasen	<ul style="list-style-type: none"> - rechnergestützte Bereitstellung von Normeninformationen; - unterstützt damit durch Information die Aufgabenformulierung, -analyse sowie alle nachfolgenden Synthese- und z.T. Bewertungsprozesse
PROSUS /33/	allgemein	- vom Systemansatz alle Phasen,	<ul style="list-style-type: none"> - Grundlage ist Baustruktur eines zu konstruierenden Objekts (Hierarchie Produkt - Baugruppen - Einzelteile/ Baugruppen); - zu jedem Element dieser Hierarchie (ges. Objekt, Baugruppen, Bauelemente) können über entsprechende Oberfläche Probleme, Randbedingungen, Funktionen, Konzept und Detailkonstruktion durchgeführt und Ergebnisse abgelegt werden; - dabei Unterscheidung der Stufen "Erzeugen", "Überprüfen", Auswählen/ Bestätigen"; - Effekte: strukturiertes Vorgehen, strukturierte Dokumentation, gezielte Kommunikation, gezielte Unterstütz.
REKK /135, 136/	allgemein	<ul style="list-style-type: none"> - vom Ansatz her wissensbasierte Unterstütz. aller Arbeitsschritte des Konstruktionsprozesses; - integrierendes System für verschiedene Module, die dem Konstrukteur bei bedarf zur Verfügung gestellt werden; 	<ul style="list-style-type: none"> - Checklisten; - Informationen zu vorhandenen Lösungen (fertige Teile und Baugruppen) einschl. Kosten, wodurch Aufwand bestimmter Varianten schnell abschätzbar wird (vorausgesetzt, Lösung oder Lösungsteile waren schon einmal da)
WIKON /76/	allgemein	<ul style="list-style-type: none"> - wissensbasierte Unterstütz. aller Arbeitsschritte des Konstruktionsprozesses; - Unterstützung einer offenen Anzahl von Wissensbereichen; - Einbezieh. grafischer Informat.; - vom Konstrukteur bedienbare Akquisitionskomponente; - benutzerfreundliche Dialogkomponente; - transparente Erklärungskomponente; - Einbindung in das Konstruktionsanalyse- und -leitsystem <i>KALEIT</i> /21, 55, 56/ 	<ul style="list-style-type: none"> - Zugriff auf Fakten, Regeln, Werkzeuge während des gesamten Konstruktionsprozesses; - somit Unterstützung der Konzeptphase durch Information, Zugriff auf Synthese- und Analysewerkzeuge, wobei all dies kontext-abhängig erfolgen soll; - Nutzung soll separat oder von <i>KALEIT</i> aus möglich sein

<p>WISENT /105/</p>	<p>projektier. Konstruktion von Werkzeug- maschinen</p>	<p>- alle Phasen</p>	<p>- entsprechend gestellter Anforderungen (Funktion und Randbedingungen) Konfiguration konstruktiver Lösungen bei Werkzeugmaschinen aus Elementen unter Einbeziehung von Bewertungsmechanismen (auch Bewertung unsicheren Wissens mittels Sicherheitsfaktoren); - Basis ist CAD-System, das mit Expertensystem zusammenarbeitet</p>
-------------------------	---	----------------------	--

Anhang 2: Inhalt der Kerntabelle "Prinzip"

Feldname	Inhalt	Bemerkungen
Prinzipname	eindeutige Bezeichnung (alphanumerisch) des Prinzips	dient als Primärschlüssel zur eindeut. Identifikation des Prinzips bei der Verknüpfung der einzelnen Tabellen und von Datenbank und Wissensbasis
Hauptfunktion	Bezeichnung der Hauptfunktion des Prinzips	dient der Information und der Unterstützung des Akquisiteurs bei der Zuordnung des Datensatzes in die entsprechende Sicht "Funktion" (siehe Abschnitt 6.1.)
Eigen_Haupt	als Hauptfunktion zu verändernde Guteigenschaften	dient der (dadurch später automatisierbaren) Unterstützung des Akquisiteurs bei der Zuordnung des Datensatzes in die entsprechende Sicht "Eigenschaftsänderung" (siehe Abschnitt 6.1.)
Eigen_Neben	Eigenschaften, die neben der Hauptfunktion verändert werden (Nebenfunktion, Nebenwirkungen)	siehe Bemerk. zu Eigen_Haupt, damit sind erwünschte Nebenwirkungen bei der Auswahl angebar bzw. unerwünschte ausschließbar
VG_Klasse	Bezeichnung der Klasse der Verarbeitungsgüter, für die das Prinzip geeignet ist	dient der Information und der Unterstützung des Akquisiteurs bei der Zuordnung des Datensatzes in die entsprechende Sicht "VG" (siehe Abschnitt 6.1.)
VG	Verarbeitungsgüter als Anwendungsbeisp. für das Prinzip	a) siehe Bemerkungen zu VG_Klasse, b) als Information, wofür das Prinzip bereits erfolgreich eingesetzt wurde
Arbeitsorgan	(Klassen-) Bezeichnung für das Arbeitsorgan	für spätere Erweiterung des Systems um die Sichten "Arbeitsorgan" u. "physikal. Effekt" (s. Absch. 4.3.6.)
Energieart	Bezeichnung der wirkenden Energieart für Hauptfunktion	für spätere Erweiterung des Systems um die Sichten "Energieart" u. "physikal. Effekt" (s. Abschnitt 4.3.6.)
Ausbringung_min Ausbringung_max Ausbringung_mittel	erreichbare Ausbringung	zur Information, für Feinauswahl, angebar als Zahl (Mittelwert) oder Bereich (min - max) mit Einheit
kontinuierlich	logischer Ausdruck: gibt an, ob kontinuierl. Betrieb mögl.	zur Information, mögliches Auswahlkriterium
diskontinuierlich	logischer Ausdruck: gibt an, ob diskont. Betrieb mögl.	zur Information, mögliches Auswahlkriterium
Text	Erläut. der Wirkungsweise	zur Information (Kommentierung der Skizze)
Bild	Schlüssel für entsprechendes Bild (Prinzipskizze)	liefert über spez. Bildtabelle dem Display-PostScript-System Namen der Datei mit der Prinzipskizze
Vorteile	Text zu Vorteilen d. Prinzips	zur Information und Gegenüberstellung f. Feinausw.
Nachteile	Text zu Nachteilen d. P.	zur Information und Gegenüberstellung f. Feinausw.
Quellen	Verweis auf Quellenangaben für die gespeicherten Inform.	Ankoppelung an Literaturdatenbank möglich, Verweis auf weiterführende Literatur möglich

Anhang 3: Begriffshierarchie "verarbeitungstechnische Funktion"

Anhang 4: Begriffshierarchie "Eigenschaftsänderung"

Anhang 5: Begriffshierarchie "Verarbeitungsgut"

Anhang 6: Begriffshierarchie "Verarbeitungstechnisches Prinzip"

Anhang 7: Implementierung einer umstellbaren Formel am Beispiel Dichteberechnung

(@PROPERTY= Dichte_absolut (@TYPE=Float;@FORMAT="0.0\"g/cm3\";;u.d";)

(@PROPERTY= Einzelteilmasse_absolut (@TYPE=Float;@FORMAT="0.0\"g\";;u.d";)

(@PROPERTY= Einzelteilmassen_absolut (@TYPE=Float;@FORMAT="0.0\"cm3\";;u.d";)

(@OBJECT= Antwort (@PROPERTIES=Value @TYPE=Integer;))

(@OBJECT= AtomName (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Dichte_fuer (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Divident (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Divisor (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Einzelteilmasse_fuer (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Einzelteilmassen_fuer (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Ergebnis (@PROPERTIES=Value @TYPE=Float;))

(@OBJECT= exa_VG_A1 (@CLASSES=VG_A1))

(@OBJECT= exa_VG_E1 (@CLASSES=VG_E1))

(@OBJECT= Extremum (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Faktor1 (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Faktor2 (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Formel (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= gesucht (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Grenze (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Groesse (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= max_VG_A1 (@CLASSES=VG_A1))

(@OBJECT= max_VG_E1 (@CLASSES=VG_E1))

(@OBJECT= Maximum (@PROPERTIES=Value @TYPE=Float;))

(@OBJECT= min_VG_A1 (@CLASSES=VG_A1))

(@OBJECT= min_VG_E1 (@CLASSES=VG_E1))

(@OBJECT= Minimum (@PROPERTIES=Value @TYPE=Float;))

(@OBJECT= Nenner (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Produkt (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Quotient (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Term1 (@PROPERTIES=Value @TYPE=Float;))

(@OBJECT= Term2 (@PROPERTIES=Value @TYPE=Float;))

(@OBJECT= VG_aktuell (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@OBJECT= Zaehler (@PROPERTIES=Value @TYPE=String;))

(@SLOT=Dichte.Dichte_absolut

@COMMENTS="order_of_sources schreibt Namen des Objektes, zu dem es gehoert in AtomName (damit Ergebnisse auch wieder hier ankommen) und startet Berechnung";

```

(@SOURCES=      (Execute ("AtomNameValue") (@ATOMID=SELF;@STRING="@RETURN=AtomName,\
@NAMES";))      (Reset   (Dichte_berechnen))
                (Do      (Dichte_berechnen) (berechnung)))
(@CACTIONS=     (Strategy (@PFACTIONS=FALSE;))
                (Execute ("AtomNameValue") (@ATOMID=SELF;@STRING="@RETURN=AtomName,\

```

```

(@SLOT=Einzelmasse.Einzelmasse_absolut

```

```

    (@SOURCES=      (Execute ("AtomNameValue") (@ATOMID=SELF;@STRING="@RETURN=AtomName,\
@NAMES";))      (Reset   (Einzelmasse_berechnen))
                ... (analog zu oben!)

```

```

(@SLOT=Einzelmassen.Einzelmassen_absolut

```

```

    ... (analog zu oben!)

```

```

(@RULE=R42 (=R43=R44)

```

```

    @COMMENTS="Benötigte Werte vorhanden? (dreifach vorhanden, da im Verlaufe eines Durchlaufs mehrmals angesprochen
und dabei moeglicherweise unterschiedliche Ergebnisse)";

```

```

(@LHS=          (IsNot  (\Divident\Einzelmasse_absolut)      (UNKNOWN))
                (IsNot  (\Divident\Einzelmasse_absolut)      (NOTKNOWN))
                (>      (\Divident\Einzelmasse_absolut)      (0))
                (IsNot  (\Quotient\Dichte_absolut)          (UNKNOWN))
                (IsNot  (\Quotient\Dichte_absolut)          (NOTKNOWN))
                (>      (\Quotient\Dichte_absolut)          (0))
                (IsNot  (\Divisor\Einzelmassen_absolut)      (UNKNOWN))
                (IsNot  (\Divisor\Einzelmassen_absolut)      (NOTKNOWN))
                (>      (\Divisor\Einzelmassen_absolut)      (0)))
(@HYPO=         check1_Dichte_absolut)

```

```

(@RULE=R46

```

```

    @INFCAT=2;

```

```

    @COMMENTS="Harteinstellen Strategie; nach welcher Formel wird berechnet; was ist gesucht; Belegen des gesuchten Wertes,
damit die folgenden Tests positiv ausgehen; dazu voruebergehendes Blockieren von IF_Changes; Ausfuehren der Tests und Berechnungen;
Einschreiben des Ergebnisses in den aufrufenden Slot; (Strings in Bedingung 3,4 und Hypo werden bei Erstellung einer neuen Formel der
gleichen Form lediglich ausgetauscht)";

```

```

(@LHS=          (Strategy (@PFACTIONS=FALSE;@PTGATES=FALSE;@EXHBWRD=FALSE;))
                (Name    ("Dichte_absolut") (Formel))
                (Name    ("Dichte_absolut") (gesucht))
                (Strategy (@CACTIONSON=FALSE;))
                (Name    (1)      (\AtomName\Dichte_absolut))
                (Strategy (@CACTIONSON=TRUE;))
                (Reset   (Rechnen))

```

```

                (Yes      (Rechnen)))
(@HYPO=        Dichte_berechnen)
(@RHS=        (Do      (Ergebnis) (\AtomName\Dichte_absolut)))

(@RULE=R45
  @COMMENTS="Falls keine Berechnung, Wert ruecksetzen.";
  (@LHS=      (Reset   (\AtomName\Dichte_absolut)))
  (@HYPO=    Dichte_berechnen))

(@RULE=R53
  @COMMENTS="Minimum=Minimum/exakter_Wert (beachte Prioritaet); pruefe anhand der Formel, ob benoetigte Groessen
gegeben";
  (@LHS=      (Is      (Extremum)      ("min"))
                (Name   (AtomName)      (\Bruch\Value))
                (Name   (AtomName)      (\Zaehler\Value))
                (Name   (STRCAT("exa_",VG_aktu)) (\Nenner\Value))
                (Reset  ('check3_\Formel\Value))
                (Yes    ('check3_\Formel\Value)))
  (@HYPO=    Div_Proportionen))

(@RULE=R52
  @COMMENTS="Maximum=exakter_Wert/Minimum (beachte Prioritaet); pruefe anhand der Formel, ob benoetigte Groessen
gegeben";
  (@LHS=      (Is      (Extremum)      ("max"))
                (Name   (AtomName)      (\Bruch\Value))
                (Name   (STRCAT("exa_",VG_aktu)) (\Zaehler\Value))
                (Name   (STRCAT("min_",VG_aktu)) (\Nenner\Value))
                ... (analog zu oben!))

(@RULE=R51
  @COMMENTS="Maximum=Maximum/exakter_Wert...      (analog zu oben!)

(@RULE=R50
  @COMMENTS="exakter_Wert=exakter_Wert/exakter_Wert... (analog zu oben!)

(@RULE=R49
  @COMMENTS="Minimum=exakter_Wert/Maximum...      (analog zu oben!)

(@RULE=R48
  @INFCAT=3;
  @COMMENTS="Maximum=Maximum/Minimum...      (analog zu oben!)

```

(@RULE=R47

@INFCAT=3;

@COMMENTS="Minimum=Minimum/Maximum... (analog zu oben!)

(@RULE=R54

@COMMENTS="einfachen Bruch zum Produkt umgestellt zwecks Berechnung des Dividenten; Test, ob zur Berechnung notwendige Groessen vorhanden sind unter Beruecksichtigung der Proportionalitaeten bei der Multiplikation ";

(@LHS= (Name ("Quotient") (Faktor1))

(Name ("Divident") (Produkt))

(Name ("Divisor") (Faktor2))

(Reset (Mult_Proportionen))

(Yes (Mult_Proportionen)))

(@HYPO= Divident_berechenbar)

(@RULE=R55

@COMMENTS="einfachen Bruch zwecks Berechnung des Divisors umstellen; Test, ob zur Berechnung notwendige Groessen vorhanden sind unter Beruecksichtigung der Proportionalitaeten bei der Division ";

(@LHS= (Name ("Divisor") (Bruch))

(Name ("Divident") (Zaehler))

(Name ("Quotient") (Nenner))

(Reset (Div_Proportionen))

(Yes (Div_Proportionen)))

(@HYPO= Divisor_berechenbar)

(@RULE=R57

@INFCAT=2;

(@LHS= (Strategy (@PFACTIONS=FALSE;@PTGATES=FALSE;@EXHBWRD=FALSE;))

(Name ("Dichte_absolut") (Formel))

(Name ("Einzelteilmasse_absolut") (gesucht))

(Strategy (@CACTIONSON=FALSE;))

(Name (1) (\AtomName\Einzelteilmasse_absolut))

(Strategy (@CACTIONSON=TRUE;))

(Reset (Rechnen))

(Yes (Rechnen)))

(@HYPO= Einzelteilmasse_berechnen)

(@RHS= (Do (Ergebnis) (\AtomName\Einzelteilmasse_absolut)))

(@RULE=R56

@COMMENTS="Falls keine Berechnung, Wert ruecksetzen.";

```
(@LHS=      (Reset  (\AtomName\Einzelteilmasse_absolut)))
(@HYPO=     Einzelteilmasse_berechnen))
```

```
(@RULE=R59
```

```
  @INFCAT=2;
  (@LHS=     (Strategy (@PFACTIONS=FALSE;@PTGATES=FALSE;@EXHBWRD=FALSE;))
              (Name    ("Dichte_absolut") (Formel))
              (Name    ("Einzelteilvolumen_absolut") (gesucht))
              (Strategy (@CACTIONSON=FALSE;))
              (Name    (1)      (\AtomName\Einzelteilvolumen_absolut))
              (Strategy (@CACTIONSON=TRUE;))
              (Reset   (Rechnen))
              (Yes     (Rechnen)))
  (@HYPO=    Einzelteilvolumen_berechnen)
  (@RHS=     (Do      (Ergebnis) (\AtomName\Einzelteilvolumen_absolut))))
```

```
(@RULE=R58
```

```
  @COMMENTS="Falls keine Berechnung, Wert ruecksetzen.";
  (@LHS=     (Reset  (\AtomName\Einzelteilvolumen_absolut)))
  (@HYPO=    Einzelteilvolumen_berechnen))
```

```
(@RULE=R62
```

```
  @COMMENTS="Falls Quotient der Formel gesucht, pruefen, ob alle notwendigen Groessen zu seiner Berechnung gegeben sind;
wenn ja, Nutzer fragen; wenn ja, Division durchfuehren";
```

```
  (@LHS=     (Is      (gesucht) ("Dichte_absolut"))
              (Reset  (Quotient_berechenbar))
              (Yes    (Quotient_berechenbar))
              (Reset  (nutzer_ok))
              (Yes    (nutzer_ok))
              (Name   (\Divident\Einzelteilmasse_absolut)   (Term1))
              (Name   (\Divisor\Einzelteilvolumen_absolut)  (Term2))
              (Name   (Term1/Term2) (Ergebnis)))
  (@HYPO=    Formel_fuer_Dichte_absolut))
```

```
(@RULE=R61
```

```
  @COMMENTS="Falls Divident der Formel gesucht, pruefen, ob alle notwendigen Groessen zu seiner Berechnung gegeben sind;
wenn nein, Nutzer fragen; wenn ja, Multiplikation durchfuehren";
```

```
  (@LHS=     (Is      (gesucht) ("Einzelteilmasse_absolut"))
              (Reset  (Divident_berechenbar))
              (Yes    (Divident_berechenbar)))
```

```

(Reset (nutzer_ok))
(Yes (nutzer_ok))
(Name (\Divisor\Einzelteilvolumen_absolut) (Term1))
(Name (\Quotient\Dichte_absolut) (Term2))
(Name (Term1*Term2) (Ergebnis)))
(@HYPO= Formel_fuer_Dichte_absolut)

```

(@RULE=R60

@COMMENTS="Falls Divisor der Formel gesucht, pruefen, ob alle notwendigen Groessen zu seiner Berechnung gegeben sind; wenn ja, Nutzer fragen; wenn ja, Division durchfuehren";

```

(@LHS= (Is (gesucht) ("Einzelteilvolumen_absolut"))
(Reset (Divisor_berechenbar))
(Yes (Divisor_berechenbar))
(Reset (nutzer_ok))
(Yes (nutzer_ok))
(Name (\Divident\Einzelteilmasse_absolut) (Term1))
(Name (\Quotient\Dichte_absolut) (Term2))
(Name (Term1/Term2) (Ergebnis)))
(@HYPO= Formel_fuer_Dichte_absolut)

```

(@RULE=R75

@COMMENTS="exakter_Wert=exakter_Wert*exakter_Wert (beachte Prioritaet); pruefe anhand der Formel, ob benoetigte Groessen gegeben";

```

(@LHS= (Is (Extremum) ("exa"))
(Name (AtomName) (\Produkt\.Value))
(Name (AtomName) (\Faktor1\.Value))
(Name (AtomName) (\Faktor2\.Value))
(Reset ('check1_\Formel\.Value))
(Yes ('check1_\Formel\.Value)))
(@HYPO= Mult_Proportionen))

```

(@RULE=R74

@COMMENTS="Maximum=Maximum*exakter_Wert... (analog zu oben!)

(@RULE=R73

@COMMENTS="Maximum=exakter_Wert*Maximum ... (analog zu oben!)

(@RULE=R72

@COMMENTS="Maximum=Maximum*Maximum... (analog zu oben!)

(@RULE=R71
@COMMENTS="Minimum=exakter_Wert*Minimum... (analog zu oben!)

(@RULE=R70
@COMMENTS="Minimum=Minimum*exakter_Wert... (analog zu oben!)

(@RULE=R69
@COMMENTS="Minimum=Minimum*Minimum... (analog zu oben!)

(@RULE=R76
@COMMENTS="wuenscht Nutzer, dass Berechnung aus gegebenen Werten durchgefuehrt wird?";
(@LHS= (Execute ("Message")(@STRING="@TEXT=Soll der Wert fuer @v(gesucht)_@v(Extremum) von
@v(vg_aktu) berechnet werden?,@RETURN=Antwort,@OKCANCEL";\))
(= (Antwort) (1)))
(@HYPO= nutzer_ok))

(@RULE=R77
@COMMENTS="einfacher Bruch, Quotient gesucht; Test, ob zur Berechnung notwendige Groessen vorhanden sind unter
Bereuecksichtigung der Proportionalitaeten bei der Division ";
(@LHS= (Name ("Quotient") (Bruch))
(Name ("Divident") (Zaehler))
(Name ("Divisor") (Nenner))
(Reset (Div_Proportionen))
(Yes (Div_Proportionen)))
(@HYPO= Quotient_berechenbar))

(@RULE=R79
@COMMENTS="Extrahieren min, max, exa und anfragendes VG (E1, E2, E3, A1, A2, oder A3) aus Objektnamen; Aufrufen der
entsprechenden Formel";
(@LHS= (Name (SUBSTRING(AtomName,0,3)) (Extremum))
(Name (SUBSTRING(AtomName,4,5)) (VG_aktu))
(Reset ('Formel_fuer_\'Formel\'.Value))
(Yes ('Formel_fuer_\'Formel\'.Value)))
(@HYPO= Rechnen))