

Christian Wolff

Graphisches Faktenretrieval mit Liniendiagrammen

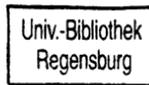
Gestaltung und Evaluierung eines
experimentellen Rechercheverfahrens
auf der Grundlage kognitiver Theorien
der Graphenwahrnehmung

UVK · Universitätsverlag Konstanz

1196/2000

Anschrift des Autors:

Christian Wolff
Institut für Informatik
Universität Leipzig
Augustusplatz 10/11
D-04109 Leipzig
wolff @ informatik.uni-leipzig.de



104 751/65

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Wolff, Christian:

Graphisches Faktenretrieval mit Liniendiagrammen:
Gestaltung und Evaluierung eines experimentellen
Rechercheverfahrens auf der Grundlage kognitiver Theorien der
Graphenwahrnehmung / Christian Wolff. – Konstanz: UVK,
Univ.-Verl. Konstanz, 1996

(Schriften zur Informationswissenschaft; Bd. 24)

ISBN 3-87940-562-X

NE: GT

ISSN 0938-8710

ISBN 3-87940-562-X

© Universitätsverlag Konstanz GmbH, Konstanz 1996

Satz: Reproduktionsfertige Vorlagen vom Autor

Druck und Bindung: Siegl-Druck GmbH, Friedrichshafen

Einbandgestaltung: Riestler & Sieber GmbH, Konstanz

Papier: Chlorfrei gebleicht

für Armin, Mechthild und Julia

Vorwort

Die vorliegende Arbeit versucht, einen interdisziplinären Beitrag zur *Human-Computer Interaction*-Forschung zu leisten und stellt dabei die visuelle Wahrnehmungsfähigkeit des Menschen und ihre Folgen für die Gestaltung von Benutzerschnittstellen für Datenbanken in den Mittelpunkt. Sie entstand in den Jahren 1990 bis 1994 am Fachgebiet Linguistische Informationswissenschaft der Universität Regensburg im Rahmen des Forschungsprojektes *Werkstoffinformationssystem mit graphischer/natürlichsprachlicher Benutzerschnittstelle und Intelligentes Information Retrieval (Wing-IIR)* und wurde im Juli 1994 von der Philosophischen Fakultät IV - Sprach- und Literaturwissenschaften - der Universität Regensburg als Dissertation angenommen.

An dieser Stelle möchte ich zunächst meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Jürgen Krause, für seine nachhaltige Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit danken. Sie bestand nicht nur in jederzeit gewährtem konstruktiven Rat bezüglich der Entwicklung des Themas und seiner theoretischen wie praktischen Umsetzung, sondern nicht zuletzt auch in dem weiten Freiraum, der mir im Rahmen der Projektarbeiten für die Anfertigung der Dissertation zur Verfügung stand. Gedankt sei ebenfalls dem Zweitgutachter der Arbeit, Herrn Prof. Dr. Herbert E. Brekle.

Dank schulde ich auch - nicht nur für viele anregende Diskussionen, sondern ganz allgemein für die schönen Jahre in Regensburg - meinen Kolleginnen und Kollegen Frau Jutta Marx, M.A., Frau Monika Schudnagis, M.A., Frau Dr. Christa Womser-Hacker, Herrn Dr. Ludwig Hitzenberger und Herrn Stephan Roppel, M.A., sowie zahlreichen studentischen Hilfskräften, die mir bei den Vorarbeiten zu diesem Forschungsvorhaben behilflich waren.

Ohne die bereitwillige Kooperation der Fa. MTU Motoren- und Turbinen Union GmbH, München, die für das Projekt *Wing-IIR* im allgemeinen und diese Arbeit im besonderen den Anwendungskontext zur Verfügung stellte, wären weder die praxisnahe Entwicklung eines Systemprototyps noch seine empirische Untersuchung möglich gewesen. Stellvertretend für die zahlreichen Werkstoffwissenschaftler und Ingenieure, die mich dabei unterstützt haben, möchte ich Herrn Dr.-Ing. Günther Breitkopf sowie Herrn Dipl.-Ing. Werner Buchmann herzlich danken. In diesem Zusammenhang soll auch die dauerhafte und ermutigende Unterstützung Erwähnung

finden, die uns von Frau Dipl.-Ing. Anni Brandstätter, Darmstadt, als Vertreterin des Projektträgers Fachinformation (PTF) jederzeit zuteil wurde. In diesem Zusammenhang sei auch Herrn Dr. Kurt Englmeier, IFO-Institut für Wirtschaftsforschung, München, gedankt, der mir die für die Generalisierung des graphischen Retrieval benötigten Daten aus dem Bereich der Wirtschaftsinformation bereitwillig zur Verfügung stellte.

Für die bereitwillige Aufnahme dieser Arbeit in die *Schriftenreihe zur Informationswissenschaft* bin ich Herrn Prof. Dr. Rainer Kuhlen, Konstanz, sowie dem wissenschaftlichen Beirat der Schriftenreihe zu herzlichem Dank verpflichtet. Frau Dipl.-Dok. Dagmar Michels und Herr Dr. Rainer Hammwöhner, Konstanz, haben dabei freundlicherweise das Lektorat übernommen, wofür ich Ihnen ebenfalls Dank schulde.

Weiterhin sei Herrn Prof. Dr. Gerhard Heyer, Herrn Dr. habil. Uwe Quasthoff und der Abteilung für Automatische Sprachverarbeitung am Institut für Informatik der Universität Leipzig gedankt, die mir an meinem neuen Leipziger Arbeitsplatz jederzeit den für den Abschluß der Arbeiten an der Dissertation notwendigen Freiraum gewährten.

Schließlich gebührt meinen Eltern und meiner Schwester herzlichster Dank, deren Unterstützung ich mir immer sicher sein konnte und die während der „heißen Phase“ der Arbeit alles taten, um mir das Vorankommen zu erleichtern, was nicht immer ganz einfach gewesen sein mag. Ihnen ist diese Arbeit auch gewidmet.

Leipzig, im April 1995

Christian Wolff

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
I Einführung	11
1.1 Überblick	11
1.2 Wissenschaftliche Einordnung	14
1.2.1 Graphisches Retrieval und Information Retrieval	15
1.2.2 <i>Cognitive Viewpoint</i> und Kognitivismus	18
1.2.3 Weitere interdisziplinäre Verknüpfungspunkte	20
1.3 <i>Wing-IR</i> : Wissenschaftlicher Kontext von <i>Wing-Graph</i>	21
1.3.1 Inhaltliche Zielsetzungen von <i>Wing-IR</i>	21
1.3.2 Methodische Aspekte	33
1.4 Fazit	35
2 Zyklisches Information Retrieval	37
2.1 Zyklenmodellierung in Dokument- und Faktenretrieval	39
2.2 Datencharakteristika und Datenstrukturen als Retrievalsprache	42
2.3 Einheit von Such- und Displayinterface in <i>Wing-Graph</i>	45
2.3.1 Interpretation und Folgeanfrage - eine kognitive Bruchstelle im Retrievalzyklus	45
2.3.2 Verminderung der kognitiven Bruchstelle durch einheitliches Interface	49
2.3.3 Grenzen des Ansatzes	50
2.4 Fazit	52
3 Anwendungsdomäne Werkstoffdatenbanken	53
3.1 Werkstoffdatenbanksysteme	53
3.2 Anwendungsfall MTU	57
3.2.1 Datenbankanwendung und Datenmodell des Anwendungsgebietes	58
3.2.2 Auswahl der Datenbasis für <i>Wing-Graph</i>	61
3.2.3 Struktur und Visualisierungsform der in <i>Wing-Graph</i> verwendeten Daten	66
3.2.4 Verwendung visualisierter Information und graphisches Retrieval	68
3.3 Fazit	79
4 Graphische Informationssysteme und visuelle Sprachen	81
4.1 Visualisierung in Datenbank- und IR -Benutzeroberflächen	83
4.1.1 Datenstrukturvisualisierungen	85
4.1.2 Ikonische Datenbankschnittstellen	89
4.1.3 Suchen mit visuellen Mitteln und Aufgreifen von Vorlagestrukturen	92
4.1.4 Verwendung visueller Metaphern	95
4.1.5 Exkurs: Verwendung von Liniendiagrammen in Informationssystemen	97
4.2 Visuelle Sprachen für Informationssysteme	100
4.2.1 Klassifikation visueller Sprachen	101
4.2.2 Semiotische Sichtweise	103
4.2.3 Visuelle Sprachelemente für <i>Wing-Graph</i>	106
4.3 Fazit	107

5 Visuelle Wahrnehmung und graphische Informationsdarstellung.....	109
5.1 Visualisierung von Information	110
5.1.1 Graphische Darstellung numerischer Information	113
5.1.2 Empirische Studien zu verschiedenen Visualisierungsformaten	117
5.2 Visuelle Wahrnehmung und Informationsverarbeitung	123
5.2.1 Das Standardmodell der visuellen Informationsverarbeitung	124
5.2.2 Visuelle Wahrnehmung und Objekterkennung	125
5.2.3 Modelle der Wahrnehmung und Interpretation von Diagrammen	127
5.2.4 Exkurs: Computermodelle für die Informationsvisualisierung	138
5.3 Ein Modell für das graphische Retrieval	141
5.3.1 Visuelles Denken und Visuelle Vorstellungsfähigkeit (<i>visual imagery</i>)	144
5.3.2 Der Handlungsaspekt des graphischen Retrieval	152
5.3.3 Differenzierung von Suchverfahren für <i>Wing-Graph</i>	159
5.4 Fazit: Kritik und Reichweite des Modells	163
6 Wing-Graph: Systemstruktur und Implementierung	165
6.1 Allgemeine Aspekte der Gestaltung	167
6.1.1 Einbettung in eine graphische Benutzerschnittstelle	167
6.1.2 Übernahme von Designleitlinien des multimodalen Prototyps <i>Wing-M2</i>	171
6.2 Beschreibung des Interfaces von <i>Wing-Graph</i>	172
6.2.1 Hauptfenster von <i>Wing-Graph</i>	173
6.2.2 Auswahlleiste der Interaktionsverfahren	180
6.2.3 Ikonische Zusatzwerkzeuge	183
6.3 Implementierung der visuellen Sprache von <i>Wing-Graph</i>	188
6.3.1 Übersicht zu den graphischen Anfrageverfahren	189
6.3.2 Setzen von Suchpunkten	190
6.3.3 Setzen eines Suchbereichs	194
6.3.4 Setzen eines Streubandes	196
6.3.5 Vergleich zweier Kurven	199
6.3.6 Besser-Schlechter-Relationen	201
6.3.7 Kurvenform-Modifikation	203
6.3.8 Produktives Verfahren: Skizzieren einer Kurvenhypothese	207
6.3.9 Feindifferenzierung der Interaktionsverfahren	209
6.4 Datenbankschnittstelle und Anfrageaufbau	213
6.5 Fazit: Dialogsituationen in <i>Wing-Graph</i>	214
7 Evaluierung des graphischen Retrieval	219
7.1 Teststruktur	219
7.1.1 Schulung	220
7.1.2 Vorinterview	220
7.1.3 Testdurchführung	221
7.1.4 Testaufgaben	223
7.2 Ergebnisse des Benutzertests	228
7.2.1 Benutzercharakteristika (Auswertung Vorinterview)	228
7.2.2 Detailauswertung	229
7.2.3 Systembewertung durch die Benutzer (Auswertung des Nachinterviews)	256
7.3 Fazit	260

8 Strukturelle Weiterentwicklung von Wing-Graph	263
8.1 Überarbeitung von <i>Wing-Graph</i> auf der Basis empirischer Ergebnisse	263
8.1.1 Vereinfachung der Suchtypologie	264
8.1.2 Modifikation der Suchsemantik	264
8.1.3 Interaktionsinhärente Suchartenwahl und Modifikation der Auswahlshalter	271
8.1.4 Erleichterung von Retrievalzyklen	276
8.1.5 Zusätzliche Visualisierung von Metainformation	277
8.1.6 Komplexe Anfragen in <i>Wing-Graph</i>	279
8.2 Generalisierung von <i>Wing-Graph</i>	281
8.2.1 Voraussetzungen domänenbezogener Generalisierung	282
8.2.2 Modifikationen bei Schnittstellengestaltung und Datenmodellierung	283
8.2.3 Beispiel: Zeitreihen aus dem Bereich Wirtschaft	286
8.2.4 Ausblick: Weitere Möglichkeiten der Generalisierung	291
8.3 Einbettung von <i>Wing-Graph</i> in eine multimodale Benutzeroberfläche	292
8.3.1 Erweiterung des Tabellenwerkzeugs	293
8.3.2 Graphisches Retrieval und natürlichsprachliches Feedback	293
8.3.3 Erweitertes multimodales Datenblatt	297
8.4 Übersicht zum Implementierungsstand	299
8.5 Ausblick: Wissensbasierte Systemerweiterung	300
9 Zusammenfassung	305
10 Anhänge	311
10.1 Literaturverzeichnis	311
10.2 Abbildungsverzeichnis	331
10.3 Tabellenverzeichnis	332
10.4 Abkürzungsverzeichnis	333
10.5 Programmübersicht	333
10.6 SQL-Beispielanfragen	336
10.6.1 Suchsemantik der Kernimplementierung	337
10.6.2 Modifizierte Suchsemantik	337
10.7 Einzelbeobachtungen der Testauswertung	338



I Einführung

Zwei wesentliche Aspekte der Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion in Information Retrieval-Systemen stehen im Zentrum dieser Arbeit: Zum einen die Ausgestaltung ergebnisbasierter Retrievalzyklen, bei denen mittels der in der Benutzeroberfläche verwirklichten *Einheit von Ergebnis- und Anfragedarstellung* die durch eine Datenrecherche gefundenen Suchergebnisse als Grundlage neuer Anfragen dienen können, zum anderen die Verwendung von Liniendiagrammen und graphischen Operationen als *visuelle Sprache* für den Anfrageaufbau. Als Arbeitshypothese steht die Annahme im Mittelpunkt, daß das *visuelle Denken* der Benutzer in graphischen Informationsformaten für das Retrieval in Faktendatenbanken verwendet werden und einen Beitrag zur Verbesserung von Datenbankschnittstellen leisten kann.

Das konkrete Anwendungsfeld für derartige Überlegungen ist die Faktenrecherche nach Werkstoffdaten mit dem graphischen Retrievalsystem *Wing-Graph*. Es erlaubt die Verwendung visueller Methoden für das Faktenretrieval am Beispiel von Liniendiagrammen, wobei Recherchesituationen, denen bereits ein Retrievalvorgang vorangegangen ist, im Mittelpunkt stehen (*graphisches Ergebnisretrieval*). Auf der Basis der Methodologie der Informationswissenschaft bzw. der angewandten Informatik umfaßt das sowohl die Erörterung der theoretischen Voraussetzungen des *graphischen Ergebnisretrieval* als auch die Darstellung des implementierten Systemprototyps, seiner empirischen Überprüfung und daraus folgender Überlegungen zur Erweiterung und Generalisierung des graphischen Retrieval.

1.1 Überblick

Den Kern der Arbeit bilden Überlegungen zur Nutzung visueller Informationsdarstellungen und „visuellen Denkens“ für das Retrieval in Faktendatenbanken: Typische Visualisierungsformen für Fakteninformation lassen die Operationalisierung einer *visuellen (Retrieval-)Sprache*¹ für die Recherche nach numerischen Daten zu. Die These ist insofern neu, als erstmals für ein Fakteninformationssystem das *graphische Retrieval* mit Liniendiagrammen als visuellen Informationsdarstellungen realisiert und überprüft wurde. Die heterogene Verwendung des Begriffes *graphisch* im Bereich der Gestaltung von Informationssystemen führt leicht zu Mißverständnissen; unter *graphischem Retrieval* wird die Verwendung graphischer Mittel für In-

¹ Einen umfassenden Überblick zum Forschungsstand bei visuellen Sprachen bieten CHANG, ICHIKAWA & LIGOMENIDES 1986 und ICHIKAWA, JUNGERT & KORFHAGE 1990.

formationsdarstellung und Anfragegestaltung bei der Faktenrecherche unter direktem Bezug auf die visuelle Struktur des Darstellungsformates Liniendiagramm verstanden, im Gegensatz zur weiteren Interpretation des Begriffes bei der Modellierung von Retrievalsystemen in *graphischen Benutzerschnittstellen* oder bei der Suche nach inhärent *graphischer oder piktorieller Information* (z.B. in Bild-datenbanken).

Die Beobachtung, daß Werkstofffachleute visualisierte Information bei der Dateninterpretation in der *post search*-Phase nutzen, ist der praktische Ausgangspunkt für Überlegungen, diesen Aspekt des Informationsprozesses stärker in den eigentlichen Retrievalvorgang einzubinden. Graphische Informationsdarstellungen sind sowohl bei der Arbeit mit traditionellen Printmedien (z.B. Werkstoffdatenblätter, Handbücher, Normblätter) als auch in Faktenretrieval- bzw. Datenbanksystemen ein gebräuchliches Mittel der Dateninterpretation. Anhand des experimentellen Werkstoffinformationssystems *Wing-Graph* kann man zeigen, wie sich graphische Recherchen als Operationalisierung visuellen Denkens effektiv verwirklichen lassen.

Die Untersuchung steht im Kontext eines erweiterten Verständnisses des Information Retrieval (IR), wobei der Schwerpunkt auf dem *cognitive viewpoint* in der jüngeren Forschung liegt. Ihr engeres wissenschaftliches Bezugsfeld ist die Entwicklung multimodaler Benutzerschnittstellen mit intelligenten Information Retrieval-Komponenten im Projekt *Wing-IIR* der Informationswissenschaft an der Universität Regensburg (Kap. 1.2ff.).

Die Modellierung von Retrievalzyklen im Information Retrieval und die Ausgestaltung des „graphischen Ergebnisretrieval“ auf der Basis der Einheit von Datenpräsentations- und Anfragedisplay bildet aus dem Blickwinkel einer benutzerorientierten Designstrategie den Ausgangspunkt der Entwicklung des Systems *Wing-Graph* (Kap. 2). Kapitel 3 konkretisiert diesen Grundgedanken durch die Erörterung des *materiellen* Anwendungskontextes *Werkstoffinformation* sowie der Informationsbedürfnisse von Werkstofffachleuten im Umgang mit graphischen Informationsdarstellungen; der Stand der Forschung bei der Entwicklung von Werkstoffdatenbanken liefert einen zusätzlichen Begründungszusammenhang. Den Bogen zu einem *computergestützten* visuellen Recheresystem schlägt anschließend eine Untersuchung der wichtigsten Typen und Anwendungsgebiete graphischer Informationssysteme (IS) im Bereich Datenbanken und Information Retrieval. Auf dieser Basis läßt sich eine visuelle Sprache (*visual language*) für das Faktenretrieval erarbeiten, die sowohl kognitionspsychologischen Erkenntnissen als auch den Anforderungen an die Gestaltung moderner Informationssysteme gerecht wird (Kap. 4).

Die Erörterung der kognitionspsychologischen Grundlagen der visuellen Wahrnehmung und Vorstellungsfähigkeit des Menschen und darauf aufbauend ihre Anwendung auf die Wahrnehmung und Recherche von Liniengraphiken deckt die hinter dem Konzept des *graphischen Retrieval* stehenden theoretischen Annahmen auf. Dabei sind die wichtigsten empirischen Forschungsergebnisse zum Einsatz von Vi-

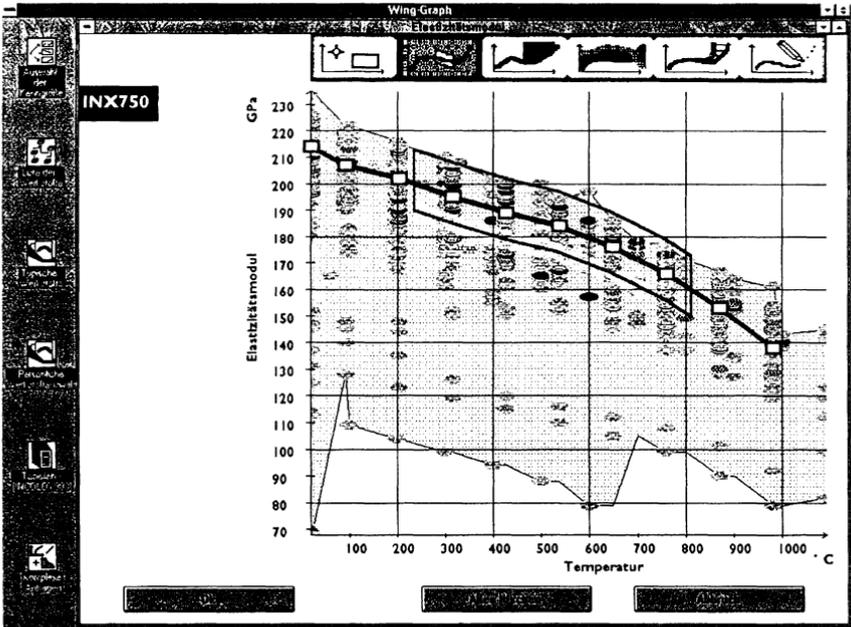


Abbildung 1: Benutzeroberfläche von Wing-Graph mit Beispielanfrage

sualisierungstechniken für numerische Information zu diskutieren (Kap. 5). Aus ihnen leitet sich ein kognitives Modell für die Diagrammwahrnehmung und das graphische Retrieval ab, das den Gedanken einer visuellen Sprache für *Wing-Graph* konkretisiert und zusammen mit den Informationsbedürfnissen der Werkstoffexperten die Grundlage der Implementierung graphischer Suchoperationen liefert. Die Kapitel 2 - 5 behandeln den zentralen Gegenstand des graphischen Retrieval unter verschiedenen Blickwinkeln:

- Einordnung in ein zyklisches Retrievalmodell,
- Voraussetzungen der Anwendungsdomäne,
- visuelle Sprachen als Gestaltungsparadigma und
- theoretische Grundlagen visueller Wahrnehmung.

Auf dieser multiperspektivischen, interdisziplinären Erkenntnisgrundlage erfolgt die Vorstellung der *Kernimplementierung* von *Wing-Graph* mit ihren wesentlichen Bestandteilen (Kap. 6) und die Erörterung der wichtigsten Ergebnisse eines Benutzertests des Systems (Kap. 7). Unter der Kernimplementierung von *Wing-Graph* wird der Systemprototyp verstanden, der Grundlage des Benutzertests war; alle Erweiterungen der Basisversion werden in Kap. 8 diskutiert. Im Vorgriff auf die Erörterung der Systemimplementierung zeigt Abb. 1 die Benutzeroberfläche von *Wing-Graph*.

Nach der Erörterung der Generalisierungsmöglichkeiten für das graphische Retrieval anhand eines Beispiels aus dem Bereich der Wirtschaftsinformation schließt die Diskussion spezifischer Erweiterungs- und Einbettungsmöglichkeiten für *Wing-Graph* im Kontext von *Wing-IIR* diese Untersuchung ab. Dabei kommen neben Systemmodifikationen, die auf der Basis der Testergebnisse erfolgten, auch Konzepte für zusätzliche wissensbasierte Systemkomponenten zur Sprache (Kap. 8).

1.2 Wissenschaftliche Einordnung

Die vielfältigen Aspekte des graphischen Retrieval auf der methodischen Basis eines informationswissenschaftlichen Ansatzes bedingen eine Gratwanderung zwischen verschiedenen Disziplinen: Informatik, Künstliche Intelligenz (KI)² und Informationswissenschaft³ für den Aspekt der Systemgestaltung, Wahrnehmungs- und Kognitionspsychologie für die theoretische Begründung und die Anwendungswissenschaft Werkstoffkunde für den Domänenbezug. Die Gefahr, dabei zu vieles zu vorläufig behandeln zu müssen, ist evident, es stehen ihr aber die Vorzüge eines interdisziplinären Ansatzes entgegen: Durch Bezugnahme auf kognitionspsychologische Erkenntnisse erhalten die Überlegungen zur Systemgestaltung wie auch die empirische Überprüfung eine tragfähige theoretische Grundlage, die einen zusätzlichen Begründungszusammenhang liefert, ohne daß deswegen ein *primär* kognitionspsychologisches Erkenntnisinteresse die Gestaltung von *Wing-Graph* bestimmt hätte.

Die Untersuchung graphischer Rechercheformen in numerischen Datenbeständen ist nicht zuletzt deswegen besonders reizvoll, weil die geistesgeschichtlich bedeutsame Dichotomie von abstraktem bzw. exaktem Denken (*reasoning*) und vermeintlich unzuverlässiger visueller Wahrnehmung und visuellem Denken zum Untersuchungsgegenstand wird: Schon ARNHEIM hat auf die *harmful dichotomy* von (visueller) Wahrnehmung und abstraktem Denken hingewiesen und versucht, sie durch einen einheitlichen, Wahrnehmung und abstraktes Denken verbindenden Ansatz aufzulösen:

We need and want to rebuild the bridge between perception and thinking. [...] The thought elements in perception and the perceptual elements in thought are complementary. They make human cognition a unitary process, which leads from the ele-

² In einem „undogmatischen“ Sinne verstanden, d.h. Bezugnahme auf materielle Erkenntnisse der künstlichen Intelligenz in einem informationswissenschaftlichen Forschungsvorhaben, ohne deswegen die Thesen der „starken KI“ mit ihrem Simulationsanspruch menschlichen Denkvermögens zu übernehmen, vgl. INGWERSEN 1992:19ff, SEARLE 1993:221 ff.

³ Vgl. WERSIG 1993:150, der die Informationswissenschaft in einem ebenso chancenreichen wie schwierigen postmodernen Bezugsrahmen als „Avantgarde zwischen den Stühlen“ sieht. Zur teilweisen Überdeckung der Objektbereiche von angewandter Informatik und Informationswissenschaft vgl. STEINMÜLLER 1993:225ff, bes. Abb. 53.

mentary acquisition of perceptual information to the most generic theoretical ideas (ARNHEIM 1969:153).⁴

Diese Zielvorstellung aufgreifend, steht eine Landnahme visuellen Denkens zur Debatte. Die visuelle Vorstellungsfähigkeit wird für die Gestaltung der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine herangezogen und in eine Domäne mit traditionell hohem Exaktheitsanspruch - Faktenrecherche in Werkstoffinformationssystemen - eingebracht.

1.2.1 Graphisches Retrieval und Information Retrieval

Information retrieval is concerned with the processes involved in the representation, storage, searching and finding of information which is relevant to a requirement for information desired by a human user (INGWERSEN 1992:49).

Auf der Basis von INGWERSENS Definition des Information Retrieval erscheint es unproblematisch, das graphische Retrieval diesem Schwerpunkt informationswissenschaftlicher Forschung zuzuordnen, da sich die Suche nach Fakten mittels visueller Informationsdarstellungen unter eine solche Auslegung des Begriffes Information Retrieval subsumieren läßt. Ein Blick auf die Entwicklung des Information Retrieval in den letzten Jahrzehnten macht jedoch deutlich, daß sich der vorliegende Ansatz in zentralen Aspekten vom klassischen Paradigma des Information Retrieval abhebt, das sich auf Entwicklung statistischer Verfahren für das *Textretrieval* und deren Evaluierung konzentriert.⁵

Obwohl *Faktenretrieval* etwa mittels formaler Abfragesprachen wie SQL (*structured query language*) durchaus in den Bereich des traditionellen IR fällt,⁶ ist die Erweiterung um die verstärkte Betrachtung benutzerbezogener Aspekte und die Problematisierung der Gestaltung der Benutzerschnittstelle erst im Kontext des *cognitive viewpoint* im Information Retrieval möglich geworden, der sich im letzten Jahrzehnt herausgebildet hat und den BELKIN so definiert:

⁴ Vgl. ARNHEIM 1969, bes. Kap. 1, 1ff. und 9, 153ff.

⁵ Vgl. die wesentlich engere und gewissermaßen technischere Definition bei SALTON & MCGILL 1983:1, die kognitive Aspekte ("desired information") und Benutzerorientierung (noch) ausläßt: "Information Retrieval (IR) is concerned with the representation, storage, organization, and accessing of information items."

⁶ So auch die Definition der *Fachgruppe 2.5.4 Information Retrieval* der *Gesellschaft für Informatik (GI)*, wo neben der Feststellung, daß „die Darstellungsform des in einem IR-System gespeicherten Wissen im Prinzip nicht beschränkt ist (z.B. Texte, multimediale Dokumente, Fakten, Regeln, semantische Netze)“, kognitive Modelle des Retrieval, Gestaltung von Benutzerschnittstellen für den Retrievalprozeß und benutzernahe Evaluierung von Retrievalanwendungen explizit zu den Aufgaben der IR-Forschung gerechnet werden.

[...] information science is concerned with, at least in part, the issues of how and why people engage in information-seeking behavior, and of how they use information [...] (BELKIN 1990:13).⁷

Das folgende Zitat, ebenfalls von Nicholas BELKIN, hebt diesen Fokuswechsel im Information Retrieval noch deutlicher hervor:

The explicit consequences of this view are that: the goal of the IR system is to support the user in her/his entire range of information-seeking behaviors; the user must be considered the central component of the IR system; and interaction [...] is the central process of IR (BELKIN 1993:64).

Die in Abb. 2 wiedergegebene interdisziplinäre Einordnung des Information Retrieval, bei dem die Kernproblematik von einem Ring „kognitiver Wissenschaften“ (*cognitive sciences*) eingekreist ist, unterstreicht die Relevanz kognitiver Aspekte des Information Retrieval unter mannigfaltigen Gesichtspunkten⁸, betont aber auch die *Aspektgebundenheit* dieses Bezugs.

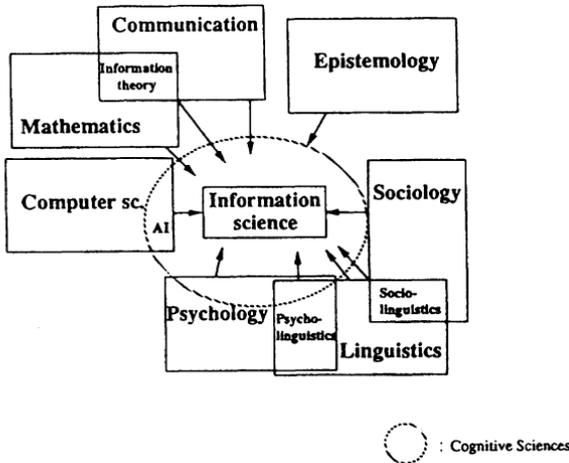


Abbildung 2: Der interdisziplinäre Kontext der Informationswissenschaft (INGWERSEN 1992:8, Abb. 1-2)

Der Benutzer und seine Interaktion mit dem System als zentrale Komponenten der Information Retrieval-Forschung:

Diese richtungweisende Änderung des Betrachtungswinkels spielt hier eine wesentliche Rolle. Die Informationsbedürfnisse der Benutzer (*user needs*) und ihre Umsetzung in der Gestaltung einer graphischen Retrievalschnittstelle bestimmen das Systemdesign von *Wing-Graph*. Auch bezüglich der empirischen Überprüfung und

Validierung der Gestaltungsprinzipien für das graphische Retrieval weist der *cognitive viewpoint* in eine neue Richtung: Aus der Psychologie übernommene, qualitati-

⁷ Cf. BELKIN 1993. Ausführliche Diskussion der interdisziplinären Verschränkung von Informations- und Kognitionswissenschaft bezogen auf den Forschungsschwerpunkt Information Retrieval bei INGWERSEN 1992:1ff., 157ff.

⁸ Aus kognitionswissenschaftlicher Sicht tritt das Problem zu Tage, die vielfältigen interdisziplinären Bezüge könnten die *cognitive science* zu einem "Jack of all Trades - Master of none" werden lassen, cf. SLACK 1984:156.

ve empirische Verfahren (Interviewtechnik, Teststrategie des *thinking aloud*⁹) bekommen eine verstärkte Berechtigung, da sie - anders als systemzentrierte Evaluierungen der Programmfunktionen - die kognitiven Bedürfnisse und Erwartungen der Benutzer aufdecken können.

Auf der Ebene der Systemgestaltung zeigt sich ein weiteres Merkmal der derzeitigen Erweiterung des Information Retrieval, die Ausdehnung der IR-Forschung auf eine Vielzahl verschiedener Darstellungs- und Verarbeitungsformen von Information:

In recent years, the IR landscape has been extended to multi-media environments concerned with storage and retrieval of images, graphics, sound, software components, office documents etc. (INGWERSEN 1992:49f.).

Die technologische Vision vom unbegrenzten Retrieval von Information aller Formate in vernetzten Strukturen und befreit von den engen technischen Fesseln einer vergangenen Epoche entwirft FOX:

[...] computerized information retrieval has been limited by many factors, such as storage capacities, [...] costs of capturing data, and the practices of the publishing industry. With improvements in technology, we can break through these limitations, and manage large digital libraries of multimedia objects [...] (FOX 1993:116).

Abstrahiert man vom unmittelbar visionär-utopischen Gehalt einer solchen Äußerung, bleibt die weitgehende Öffnung für neue Medien und die Erkenntnis der Notwendigkeit, die nicht nur inhaltlich vielgestaltigen Informationsbedürfnisse durch eine adäquate Systemgestaltung zu bedienen.

Einen weiteren, ebenfalls an Bedeutung gewinnenden Aspekt der Erweiterung des klassischen Information Retrieval, stellen Überlegungen zu einem *Intelligenten Information Retrieval* (IIR)¹⁰ dar. Ausgehend von ersten Überlegungen von SPARCK JONES 1983 und CROFT 1987 war versucht worden, eine fruchtbare Zusammenarbeit von Information Retrieval- und KI-Forschung zu bewerkstelligen, wobei die Integration von Expertensystemtechniken, der Aufbau von Benutzermodellen für die Recherche in Informationssystemen und die Verwendung natürlichsprachlicher Anfragetechniken im Mittelpunkt des Interesses standen.¹¹ Der Ansatz des intelligenten IR steht methodisch in engem Zusammenhang mit dem Wechsel zur kognitiven Perspektive, da die Einbindung intelligenter Techniken wenigstens teilweise erst die Verfahren und Methoden bereitstellt, die die Umsetzung von Erkenntnissen der Benutzerforschung in Retrievalsystemen möglich

⁹ Vgl. auch BELKIN 1990:13, MAAß 1993:201.

¹⁰ Eine Diskussion des Intelligenzbegriffs und seiner vielfältigen Verwendung in Informationswissenschaft und Informatik würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, vgl. aber MAINZER 1985, bes. 52ff.

¹¹ Übersicht zu den wichtigsten Arbeitsgebieten eines IIR bei KRAUSE 1992A:44ff. Eine umfassende Literaturübersicht über die frühen Ansätze eines um intelligente Zusatzkomponenten erweiterten IR gibt BAUER 1990A; vgl. WORMELL 1987, wo Ansätze der Verknüpfung von Textretrieval- und Expertensystemen erörtert werden).

macht. Beide Ansätze ergänzen sich also wechselseitig. Bezogen auf das graphische Retrieval sind wissensbasierte Unterstützungsverfahren zwar ein grundsätzlich in das Forschungskonzept eingepaßter Bereich, der aber erst am Ende der Untersuchung zum Tragen kommt: Notwendigkeit und Verbesserungschancen wissensbasierten Modellierens spielen erst eine Rolle, wenn die zentralen Thesen der Untersuchung - Ergebnisretrieval als Einheit von Such- und Anfragedarstellung und graphische Rechercheoperationen - so weit empirisch überprüft sind, daß für subsidiäre intelligente Module eine hinreichende Grundplausibilität existiert.¹²

Im Ergebnis lassen sich die Untersuchungen zu einem graphischen Retrieval sowohl methodisch wie von der Sache her in den modifizierten wissenschaftlichen Rahmen des Information Retrieval nach dem „*cognitive turn*“ (INGWERSEN 1992:123ff.) zu einer erweiterten Bedeutung kognitiver und benutzerspezifischer Aspekte einordnen. Der Bezug zu Kognitionswissenschaft bzw. Kognitionspsychologie ist im folgenden näher zu beleuchten.

1.2.2 Cognitive Viewpoint und Kognitivismus

Cognitive Science is the study of human intelligence in all of its forms, from perception and action to language and reasoning. The exercise of intelligence is called cognition. [...] Cognitive processes [...] are essential to everything we do (OSHERSON & LASNIK 1990:xi).

Mit dieser Definition leiten OSHERSON & LASNIK ihr Lehrbuch der Kognitionswissenschaft ein und begründen einen universellen Anwendungsbereich der noch jungen *cognitive science*.¹³ Inwiefern die aus einer Vielzahl klassischer Wissenschaftsdomänen¹⁴ hervorgegangene Kognitionswissenschaft das Information Retrieval um eine neue Blickrichtung bei Systemgestaltung und -analyse bereichert hat, ist bereits hinreichend gezeigt worden. Leitet man aus dem *cognitive viewpoint* im Information

¹² Auf die Gefahren einer einfachen „Umsetzung von qualitativ orientierten Ideen aus der Künstlichen Intelligenz“ in das IIR ohne hinreichende empirische Fundierung macht Krause 1992A:56 aufmerksam; die grundsätzlich unterschiedlichen Erkenntnisinteressen von Künstlicher Intelligenz und HCI-Forschung (hier als subsidiärer Aspekt der Systemgestaltung im IR gesehen) legt HOLLNAGEL 1991:194 dar und versucht, den relativ schwachen Ideentransfer aus der Künstlichen Intelligenz zu erklären - so gesehen, ist das Konzept des IIR erst relativ spät entwickelt worden.

¹³ Zur Genese und geistesgeschichtlichen Tradition der Kognitionswissenschaft vgl. GARDNER 1985, zur Entstehungsgeschichte im Kontext von Linguistik, Psychologie und Künstlicher Intelligenz-Forschung cf. SIMON 1981:14f.

¹⁴ "created from a merger of interests among those pursuing the study of cognition from different points of view", Norman 1981B:1; STILLINGS ET AL. 1987:1: "Researchers in psychology, linguistics, computer science, philosophy, and neuroscience realized that they asking many of the same questions [...]." Vgl. SCOTT & NICOLSON 1991:3, Abb. 1-1 und PLYSHYN 1978:76, Abb. 1 mit im Detail divergierenden, im Kern aber kompatiblen interdisziplinären Bezugsmustern.

Retrieval nun die Notwendigkeit der Modellierung kognitiver Aspekte ab, so ist zunächst eine nur allgemeine Forschungsausrichtung gewonnen.

Neben der empirischen Methode (Bestimmung von Informationsbedürfnissen und Fragestrategien, empirische Überprüfung des Systemprototyps) kommt ein weiterer Aspekt der Kognitionswissenschaft ins Spiel: Das aus empirischen Voruntersuchungen abgeleitete Potential für ein graphisches Retrieval läßt sich anhand *materieller* Erkenntnisse und Modelle der Wahrnehmungs- und Kognitionspsychologie überprüfen. Der *allgemeine* Ansatz des *cognitive viewpoint* im IR führt also notwendigerweise zur Berücksichtigung von Forschungsinhalten bezüglich der menschlichen Wahrnehmung (visuelle Wahrnehmung - *visual perception* und mentale Vorstellungsfähigkeit - *mental imagery*). So ergibt sich aus der Forschung zur visuellen Wahrnehmung (MARR 1982) über deren Anwendung auf die Interpretation und Gestaltung visueller Informationsdarstellungen¹⁵ bis hin zur Umsetzung theoretischer Erkenntnisse in Computermodelle für eine optimierte Gestaltung graphischer Displays¹⁶ - gute Beispiele für *applied cognitive science* als *cognitive systems engineering* (vgl. RASMUSSEN 1992) - ein Fundus an Hinweisen auf die Gestaltung und Darstellung der Information in einer graphischen Retrievalschnittstelle. Das kognitionspsychologische Herangehen bildet anhand eines Modells der Wahrnehmung und Interpretation von Diagrammen einen methodischen Gegenpol sowohl zu den Erkenntnissen über die Anwendungsdomäne als auch zu empirischen Untersuchungen zur Verwendung visueller Informationsformate.

Schließlich ist noch auf den fundamentalen erkenntnistheoretischen Unterschied zwischen der Modellbildung der Kognitionswissenschaft im allgemeinen und der Verwendung kognitionspsychologischer Modelle im besonderen bei der Begründung des graphischen Retrieval hinzuweisen: Der in der Kognitionswissenschaft selbst stark vertretene und ihre Methodologie rechtfertigende Ansatz des Kognitivismus („starke KI“) stülpt seinem Erkenntnisinteresse ein Computermodell über und will die Mechanismen menschlichen Denkens mit der These erklären, das menschliche Denken beruhe auf den gleichen Prinzipien wie eine symbolverarbeitende Rechenmaschine und sei so durch Computermodelle simulierbar (*physical symbol system-Hypothese, computer metaphor of the mind*).¹⁷ Dagegen vermeidet die kognitiv motivierte IR-Forschung bewußt diese Gleichsetzung, ohne auf Erkenntnisse über kognitive Strukturen und Denkmechanismen des Menschen verzichten zu müssen. Die Frage, ob Menschen „so denken wie eine Maschine,“ ist in diesem Zusammenhang belanglos, vielmehr geht es darum, festzustellen, auf welchen Mechanismen die menschliche Informationswahrnehmung beruht und wie sie für die (graphische) Recherche nach Fakten zu nutzen sind.

¹⁵ PINKER 1981, 1990, TUFTE 1983, CLEVELAND 1985.

¹⁶ Cf. LOHSE 1991A, 1991B, MACKINLAY 1986A, 1991 und als Überblick ROTH & HEFLEY 1993.

¹⁷ NEWELL & SIMON 1976, SIMON 1981, bes. 55-60, 80f., BLOCK 1990, bes. 282ff. Vgl. dazu SEARLES Fundamentalkritik am Kognitivismus (SEARLE 1993, bes. 60ff., 218ff.).

1.2.3 Weitere interdisziplinäre Verknüpfungspunkte

Mit dem Schwerpunkten Information Retrieval und *cognitive science* bzw. beider Verbindung sind die wichtigsten wissenschaftstheoretischen Eckpfeiler der Arbeit angesprochen. Die weiteren Bezugspunkte sind zu ihnen subsidiär, aber zur Vollständigkeit des Bildes kurz anzuführen:

a) Aspekt der Entwicklungsmethodik und ihrer Umsetzung

Die im Kontext des *software engineering* entwickelte und bewährte Methodik des *rapid prototyping* leitet die Systemgestaltung und -implementierung im engeren Sinn. Objektorientierte Programmierung (C++) und Funktions- und Klassenbibliotheken (*Microsoft Foundation Classes for Windows*) für die Gestaltung der graphischen Benutzeroberfläche (*graphical user interface*, GUI) und der Datenbankschnittstelle (*SqlBase C/Windows Application Program Interface*) sind die praktischen Werkzeuge der Implementierung von *Wing-Graph*.

b) Aspekt der Datenverwaltung

Die Datenbankgrundlage für das Informationssystem *Wing-Graph* bilden eine relationale Datenbank (*SqlBase*) und SQL als Standard relationaler Abfragesprachen. Sie sind das technische Fundament, auf dem die graphische Systemschicht aufsetzt, und geben die logische Leistungsbandbreite möglicher Anfragen vor.

c) Aspekt der Schnittstellengestaltung

Software-Ergonomie¹⁸ und Human-Computer-Interaction-Forschung (HCI) liefern Gestaltungsrichtlinien und -methoden für den Entwurf einer graphischen Benutzeroberfläche als zentralem Moment der Retrievalschnittstelle von *Wing-Graph*. Dabei ist darauf hinzuweisen, daß die bereits diskutierte kognitive Ausrichtung im Information Retrieval sich weitgehend mit einer entsprechenden Schwerpunktbildung in der Software-Ergonomie deckt (qualitative empirische Verfahren, Berücksichtigung kognitiver Modelle, Einbeziehung der Benutzer in den Gestaltungsprozeß).¹⁹

d) Aspekt der visuellen Informationssysteme

Aus Datenbank-, Human-Computer-Interaction-Forschung und Software-Ergonomie ergibt sich ein Überblick zu visuellen Informationssystemen, der eine Einordnung von *Wing-Graph* erlaubt. Aufgrund der Vielzahl von Systemen und Anwendungsgebieten kann der Überblick nur knapp ausfallen; mit dem Strukturierungsprinzip *visueller Sprachen* bietet er aber eine wichtige Gestaltungsleitlinie. Zudem ist unter diesem Blickwinkel zu untersuchen, in welchem Maße bisher bei der Gestaltung visueller Informationssysteme auf Erkenntnisse der Kognitionsforschung zurückgegriffen werden konnte und

¹⁸ Umfassende Übersicht zu den verschiedenen Themengebieten software-ergonomischer Systemgestaltung bei BALZERT 1988, HERCZEG 1994.

¹⁹ Cf. den Überblick von MAAß 1993, bes. 193f.

welche Folgerungen sich für die Einbindung graphischer Gestaltungs- und Interaktionsprinzipien daraus ergeben.

Quer zu diesen Aspekten liegen theoretische und praktische Charakteristika der Anwendungsdomäne, die sowohl für die Datenstrukturierung als auch für die empirischen Untersuchungen und kognitive Modellierung eine Rolle spielen. Das Phänomen unterschiedlicher Sichtweisen auf das Gestaltungsproblem in Fachwissenschaft bzw. Anwendungsdomäne und Informationswissenschaft bzw. Informatik als Wissenschaft von der Gestaltung von Informationssystemen liegt auch für das graphische Retrieval vor (Perspektivenproblem, STEINMÜLLER 1993:78ff.); je nach Erkenntnisinteresse schieben sich unterschiedliche Aspekte der Gestaltung in den Vordergrund. Obwohl man grundsätzlich nicht davon ausgehen kann, daß sich beide Perspektiven - die des Gestalters und die des (fachwissenschaftlichen) Anwenders - vollständig zur Deckung bringen lassen, soll die durch den qualitativ ausgerichteten empirischen Gestaltungsansatz erzielte Absicherung eine möglichst starke Engführung der Sichtweisen ermöglichen.

Die Präzisierung interdisziplinärer Aspekte der Gestaltung graphischer Informationssysteme zeigt, daß das Bezugssystem des graphischen Retrieval eine multiperspektivische Vorgehensweise bedingt, die in Methodologie und Epistemologie von Informationswissenschaft bzw. angewandter Informatik einerseits, im *cognitive viewpoint* des Information Retrieval andererseits ihre Verklammerung findet.

1.3 Wing-IIR: Wissenschaftlicher Kontext von Wing-Graph

Die vorliegende Untersuchung entstand im Rahmen des Forschungsprojektes *Wing-IIR* (Werkstoffinformationssystem mit natürlichsprachlicher/graphischer Benutzerschnittstelle und Intelligentes Information Retrieval)²⁰ des Fachgebiets Informationswissenschaft an der Universität Regensburg. Da die wesentlichen wissenschaftlichen Zielsetzungen und Ergebnisse von *Wing-IIR* auch für das graphische Retrieval gelten, sind sie im folgenden offenzulegen. Ein Gestaltungsvorschlag zur Eingliederung des Prototyps *Wing-Graph* in die multimodale Systementwicklung in *Wing-IIR* baut auf den in diesem Kapitel vorgestellten Prototypen auf (in Kap. 8.3).

1.3.1 Inhaltliche Zielsetzungen von Wing-IIR

Für das Projekt *Wing-IIR* lassen sich zwei Ansatzpunkte festmachen: Zum einen der am Anwendungsgebiet Werkstoffinformation orientierte deutliche Forschungsbedarf bezüglich moderner Benutzerschnittstellen für Fakteninformationssysteme,²¹

²⁰ Seit 1989 gefördert vom Bundesminister für Wirtschaft (BMW), Förderkennzeichen *WI 712.50*.

²¹ So eine Studie aus dem Jahr 1986, deren Ergebnisse heute noch gültig sind, cf. GEWIPLAN 1986.

zum anderen die bisher wenig untersuchte Fragestellung der Verbindung verschiedener Zugangswege zu Datenbanken in *einer* Benutzerschnittstelle (multimodale Systemgestaltung). Dabei bedeutet die konkrete Einbettung des Projektes in den spezifischen Anwendungsbereich Werkstoffinformation die Erfüllung der grundsätzlichen Forderung nach einer an den Gegebenheiten eines bestimmten Sachgebietes ausgerichteten Forschungsmethodologie im Sinne des pragmatischen Primats der Informationswissenschaft.²²

Wissenschaftlicher Ausgangspunkt für das Projekt *Wing-IIR* ist die Annahme, daß die Zusammenführung zweier Entwicklungsrichtungen auf dem Gebiet der Benutzerschnittstellengestaltung, natürlichsprachlicher Interfaces und direkt-manipulativer graphischer Benutzerschnittstellen, als Grundmodalitäten des Systemzugangs eine Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion bewirken kann. Damit ist der noch relativ junge und wenig erforschte Aspekt multimodaler Systemgestaltung angesprochen.²³

1.3.1.1 Natürliche Benutzeroberflächen

Ausgehend von der für den Anwendungsbereich Werkstoffinformationssysteme gut dokumentierten Forderung nach benutzerfreundlicheren Schnittstellen (GEWIPLAN 1986, KRAUSE 1990:2) ist die Ausgangsthese von *Wing-IIR* die „Natürlichkeit“ graphisch-direktmanipulativer und natürlichsprachlicher Benutzerschnittstellen. Sie

lassen sich in diesem Zusammenhang als Beispiel für die Absicht interpretieren, der allgemeinen Tendenz zur stärkeren Technisierung der Kommunikation mit ihrem Potential an „Unnatürlichkeit“ dadurch entgegenzuwirken, daß man u.a. bei der Verständigung die „Natürlichkeit“ beim Umgang mit der EDV steigert (KRAUSE 1990:8f; vgl. KRAUSE 1993:338ff).

Die Natürlichkeit der beiden Interaktionsalternativen leitet sich zum einen aus der Kontrastierung mit dem als „unnatürlich“ oder technisch empfundenen formal-sprachlichen Datenbankzugang, zum anderen aus der Analogiebildung mit der Mensch-Mensch-Kommunikation ab, wo neben der Sprache als Kommunikationsmedium Metaphern, Deixis (vgl. SCHMAUKS 1991) und Symbolverwendung, wie sie sich in graphischen Benutzerschnittstellen wiederfinden,²⁴ eine große Rolle spielen. Wichtig ist dabei die Verknüpfung verschiedener Kommunikationsmittel, etwa bei durch deiktische Gesten unterstützten sprachlichen Äußerungen. Für die Gestaltung eines multimodalen Interfaces ergibt sich daraus der Hinweis, verschie-

²² KUHLEN 1990:13, vgl. auch HENNINGS 1991:6 und STEINMÜLLER 1993:116 („konviviale Wissenschaft“).

²³ Als Überblick zum Thema Multimodalität vgl. TAYLOR, NÉEL & BOUWHUIS 1989.

²⁴ Die umfangreiche Literatur zur direkten Manipulation und zur Metaphernbildung in graphischen Benutzerschnittstellen kann nicht im Detail erörtert werden, cf. aber SHNEIDERMAN 1982, 1983 (zur direkten Manipulation), HUTCHINS 1989 (zur Metaphernverwendung), CARROLL 1991 (allgemein zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Kommunikation).

dene Interaktionsmodalitäten nicht einfach parallel nebeneinander zu stellen, sondern nach einer integrierten Designlösung zu suchen, die jede Modalität nach ihren spezifischen Leistungspotentialen optimal nutzt. In die Irre geht SINGER 1990:63, wenn er nach der Feststellung "that constructing a NL interface is difficult, and therefore may not be the best medium for human-computer interaction" einfach zu einem *graphical dialogue*-Paradigma als Designgrundlage übergeht. Eine solche Gegenüberstellung und Bewertung geht am Kern der Sache vorbei, dem Ausschöpfen spezifischer Vor- und Nachteile, die es für GUIs ebenso gibt wie für *natural language*- (NL-)Interfaces:

Natural dialogue need not employ natural language. The two concepts are independent. [...] The naturalness in the dialogue consists primarily in the correctness of its structure (TAYLOR, NÉEL & BOUWHUIS 1989:6).

Das Zitat ist ein gutes Beispiel für die Überwindung der hemmenden Vorstellung, derzufolge NL-Interfaces besonders oder ausschließlich „natürlich“ seien. Die Begriffsbildung der „Natürlichkeit“ von Benutzerschnittstellen ist auf einer globalen Ebene mit dem Verständigungsproblem zwischen Mensch und Maschine verbunden und dient als Überbau einer Diskussion des leichter zu konkretisierenden Phänomens der multimodalen Systemgestaltung.

1.3.1.2 Multimodalität

Der Begriff der *Multimodalität* hat bisher noch keine abschließende Definition erfahren und ist in engem Zusammenhang mit dem Phänomen der *Multimedialität* zu sehen; beide Konzepte werden teils synonym gebraucht, teils scharf voneinander abgegrenzt.²⁵ Entgegen der Definition von SCHMAUKS, die den Modalitätsbegriff „vom Rezeptionsorgan [sc. des Menschen] her definiert“ (SCHMAUKS 1991:19) und Medien als unterscheidbare Zeichensysteme festlegt, hat sich bei der Entwicklung multimodaler Systeme eine stärker an verschiedenen Möglichkeiten der Schnittstellengestaltung orientierte Interpretation von Multimodalität etabliert: So wendet man den Begriff Multimodalität nicht nur auf Systeme mit mehreren Ausgabekanälen im Sinne von SCHMAUKS an (z.B. gesprochene Sprache und Graphik), sondern als Differenzierungskriterium auch auf unterschiedliche Kommunikationsformen für die verschiedenen visuell zu rezipierenden Repräsentationsformate.²⁶ Dabei wird auf den Unterschied Medium als Träger von Information vs. Modus als Ausdrucksform für die Information innerhalb eines oder mehrerer Medien rekuriert. Diese Tren-

²⁵ Cf. NEAL & SHAPIRO 1991:12, 25 (System *CUBRICON*).

²⁶ Typischerweise die Verbindung von Natürlichsprachlichkeit und Graphik, aber auch mit deutlicher Feindifferenzierung der *modi*. Vgl. GUILLOTIN & PLAINFOSSÉ 1990; NEAL & SHAPIRO 1991:25; WAHLSTER 1991:46 (System *XTRA*); AGOU, RASKIN & SALVENDY 1993:51f. und weitere Beiträge in SULLIVAN & TYLER 1991 bzw. MAYBURY 1993A (Schwerpunkt multimodale intelligente *Präsentationssysteme*).

nung, die der tatsächlichen Forschungssituation zu multimodalen Systemen wohl am besten gerecht wird, verdeutlichen BINOT et al.:

The multi-media concept is present as soon as a computer system can deal with more than one type of input/output support. Multi-media communication, however, does not imply multi modal communication.

While a medium is only an information support, a mode is a means of expression and thus a means to convey information [...] (BINOT et al. 1990:413. So auch ANDRÉ et al. 1993:76 Fn. 1, MAYBURY 1993B:2f).

Im Kontext von *Wing-IIR*, wo der Aspekt der *Multimedialität* in den Hintergrund tritt, findet obige Interpretation von Multimodalität Anwendung: Zum Medium Computer (bzw. den Ein- und Ausgabemedien Tastatur, deiktisches Zeigeinstrument und Bildschirm für graphische wie textuelle Anzeige) ist der Zugang über die sprachliche wie die graphische Modalität möglich. Das Vorgehen in *Wing-IIR* unterscheidet sich von den zitierten Arbeiten insofern, als die empirische Erforschung von Modalitätsmischungen im Vordergrund steht; die bisherigen Ansätze zu multimodalen Systemen haben der Notwendigkeit einer empirischen Begründung von Modalitätsmischungen bisher nur sehr wenig Beachtung geschenkt. Sind Sprache und Graphik die beiden Grundmodalitäten in *Wing-IIR*, so bezieht sich der Begriff *Modus* auf konkrete Erscheinungsformen des Zugangs zu Datenbankschnittstellen, in denen die eine oder andere Grundmodalität dominiert (etwa natürlichsprachlicher Systemzugang eingebettet in eine graphische Benutzerschnittstelle oder Sprachelemente in graphischen Systemen).

1.3.1.3 Systementwicklung in *Wing-IIR*

Es war für *Wing-IIR* eine prinzipiell offene Frage, wie die verschiedenen für die Gestaltung einer Datenbankschnittstelle verwendbaren Modi zu verbinden sind. Es kommt hinzu, daß empirische Studien²⁷ bisher meist die Modi in Reinform gegenüberstellten (Entwicklungsstufe 1 in *Wing-IIR*), nicht aber daraus abgeleitete Mischformen untersuchen. Daher erfolgte die Systementwicklung nach einem dreistufigen Schema:

- a) Parallelentwicklung von Einzelmodi,
- b) Zusammenstellung eines multimodalen Systems (*Wing-M1*) und
- c) Objektorientiertes multimodales Werkzeugsystem *Wing-M2* (WOB-Modell).

1.3.1.3.1 Parallelentwicklung von Einzelmodi und Aufbau eines multimodalen Prototyps

Bei der konkreten Gestaltung eines prototypischen multimodalen Werkstoffinformationssystems lassen sich die beiden genannten „natürlichen“ Grundmodalitäten nicht in abstrakter Form als Idealtypus einer Benutzerschnittstelle entwickeln und

²⁷ Vgl. WHITESIDE et al. 1985, jetzt auch BENBASAT & TODD 1993.

vergleichen; zudem gibt es neben ihnen weitere Elemente der Systemgestaltung (z.B. Hypertextverknüpfungen), die für einen multimodalen Ansatz zu berücksichtigen sind. Deshalb stand in der ersten Entwicklungsphase ein breiter empirischer Ansatz im Mittelpunkt, bei dem für alle typischen Interaktions- und Systemgestaltungsformen für Faktendatenbankzugänge (Modi im Sinne von *Wing-IIR*) ein Prototyp erstellt und getestet wurde. Die durch den empirisch-holistischen Ansatz von *Wing-IIR* legitimierte, aber sehr aufwendige Parallelentwicklung von Einzelmodi²⁸ umfaßte acht Systemtypen, darunter den natürlichsprachlichen Anfragemodus, eine durch eine kognitiv motivierte Suchtypologie strukturierte graphische Benutzerschnittstelle, den Datenbankzugang über Hypertextverknüpfungen, ein auf der tabellarischen Darstellung basierendes *Query-by-Example*-Modul sowie hierarchisch organisierte Suchbäume.²⁹ Die Einzelmodi waren Gegenstand unterschiedlich intensiver empirischer Überprüfungen (von der exemplarischen Analyse durch Werkstoffexperten bis zum umfangreicheren Benutzertest).

Aus dem empirischen Material ließen sich erste Hinweise auf Stärken und Schwächen der einzelnen Modi gewinnen. Erst nach der Einzelanalyse der verschiedenen Modi erfolgte die Konstruktion eines multimodalen Systemprototyps (System *Wing-MI*). Dabei wurden die Ausgangsmodi entsprechend ihrer spezifischen Leistungsmerkmale in das Gesamtsystem integriert.³⁰ Die wesentlichen Charakteristika dieses Systems sind:

- a) Verwendung einer graphischen Benutzerschnittstelle als allgemeiner Arbeitsumgebung,
- b) Interfacestrukturierung nach kognitiven Gesichtspunkten gemäß den typischen Informationsbedürfnissen der Benutzer,
- c) Ständige Verfügbarkeit des natürlichsprachlichen Modus für die Recherche,
- d) Natürlichsprachlichkeit als in den graphischen Dialog eingebettetes Verfahren und als Hilfemodus und
- e) Verwendung von QBE- und Hypertext-Techniken für ausgewählte Dialogsituationen (nicht als generelles Designmerkmal).

Von diesen Merkmalen ist die Strukturierung des Datenbankzugangs nach typischen kognitiven Informationsbedürfnissen am auffälligsten (vgl. Abb. 3, wo die einzelnen Aktionstasten jeweils den Zugang zu einem bestimmten Suchmodus eröffnen). Da sie für die Entwicklung einer graphischen Suchtypologie in *Wing-Graph* relevant ist, soll sie kurz vorgestellt werden. Sie geht ursprünglich auf eine aus der Analyse von Rechercheprotokollen³¹ und der typischen, in einem *paper-and-pencil*-

²⁸ Ausführliche Diskussion der Einzelmodi und ihrer prototypischen Implementierung bei KRAUSE et al. 1990, WOLFF & WOMSER-HACKER 1991.

²⁹ Gleichzeitig die Gestaltungsmetapher der Datenbankanwendung des *Wing-IIR*-Kooperationspartners MTU.

³⁰ Ausführliche Beschreibung dieses Prototyps in ROPPEL & WOLFF 1992.

³¹ Benutzerstudien (Werkstoffexperten in der Interaktion mit online-Faktendatenbanken) des

Verfahren ermittelten typischen Problemstellungen der Werkstoffexperten des Kooperationspartners MTU zurück (MARX 1990). Danach sind Suchtypen nach zwei Kriterien klassifiziert:

- a) Detailniveau der Recherche, dabei Trennung zwischen Suche nach detaillierten Meßreihen und einem daraus gewonnenen Informationssubstrat (Überblickssuche in einem elektronischen Datenblatt) und
- b) Unterscheidung von Suchtypen nach den informationellen Zusammenhängen der Datenstruktur. Geht man von einer vollständigen Informationseinheit aus, die jeweils die Angabe eines Werkstoffnamens und ihm zugeordneter Daten zu bestimmten Kenngrößen enthält, so ergibt sich aus den in typischen Anfragen verwendeten Suchparametern eine dreigliedrige Unterteilung:
 - aa) Suche nach Daten zu einem bereits bekannten Werkstoff, dabei evtl. Suchparametrisierung durch Angabe gewünschter Kenngrößen und deren Einschränkung durch weitere Parameter in einem der beiden Detaillierungsniveaus (*Einzelsuche* nach Daten zu einer Werkstoffspezifikation),
 - bb) Vergleich von Werkstoffen, realisiert als kombinierte Suche nach Daten zu mehreren bekannten Werkstoffen (*Werkstoffvergleich*) und
 - cc) Suche nach Werkstoffen unter Verwendung eines Eigenschaftsprofils (*Profilsuche*, Werkstoffselektion im engeren Sinn).

Für den in *Wing-IIR* verwendeten Anwendungsbereich hat sich Typ aa) aufgrund der gewöhnlich geringen Zahl von Werkstoffen, die für einen Benutzer bezüglich einer bestimmten Fragestellung relevant sein können, als für den Einstieg in den Recherchedialog am bedeutendsten herausgestellt. Es handelt sich um hochspezialisierte Legierungen, die den Fachleuten in der Regel bezogen auf ihre Aufgabenstellung schon namentlich bekannt sind, d.h. der Regelfall ist nicht die Werkstoffselektion aus einer unüberschaubaren Menge von Materialalternativen, sondern die Datenrecherche zu bereits bekannten Werkstoffen. Die verschiedenen Möglichkeiten, Werkstoffe zu vergleichen (bb)), sind in den Systemen der Entwicklungsphasen 1-3 jeweils lediglich als Erweiterung von Typus aa) implementiert, d.h. man kann Daten zu mehreren Werkstoffen recherchieren und anschließend vergleichen. Neben diesen zentralen Datenselektionstypen weisen die Systemprototypen von *Wing-IIR* weitere Suchtypen auf, die Meta-Aspekte der Werkstoffdatenrecherche betreffen (Informationen über Art der Messung, Abbildung von Werkstoffbezeichnerklassen).

Im Benutzertest des Systems *Wing-MI* ließen sich die analytisch ermittelten Suchtypen zwar bestätigen, die Versuchspersonen hatten aber erhebliche Probleme, ihren Einstiegspunkt in die Datenrecherche an einer durch ein abstraktes Kategori-

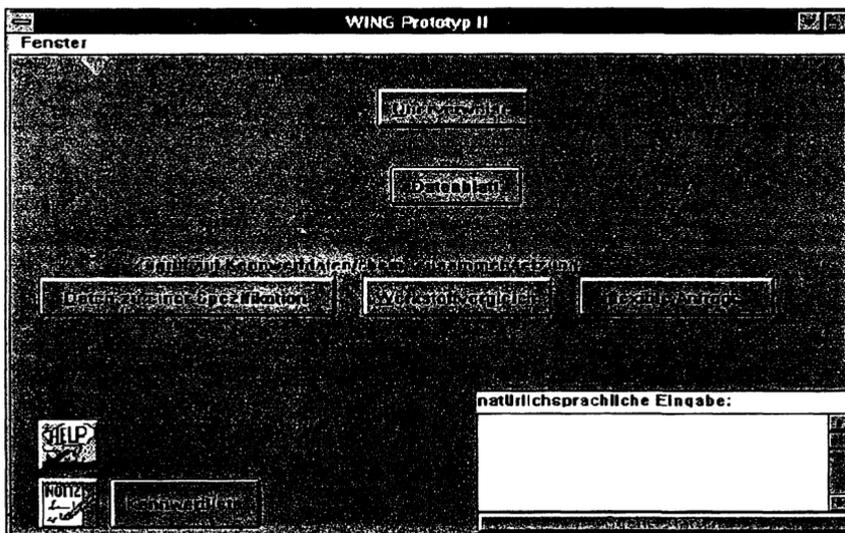


Abbildung 3: Eingangsbildschirm von Wing-M1

sierungsschema ausgerichteten Interfacestruktur zu orientieren. Ferner sollte die zweite Entwicklungsstufe klären, welche zusätzlichen Problembereiche bei der multimodalen Gestaltung sich aus der Modalitätsmischung selbst ergeben und daher in Stufe 1 nicht ermittelt werden konnten. Im Zentrum des Interesses stand die Verbindung von natürlichsprachlichem Zugang und kognitiver Interfacestrukturierung im GUI-Kontext, wobei der natürlichsprachliche Zugang von den Versuchspersonen allerdings relativ selten verwendet wurde.

1.3.1.3.2 Objektorientiertes multimodales Werkzeugsystem (WOB-Modell und Wing-M2)

Mit den aus den ersten beiden Entwicklungsstufen von *Wing-IIR* hervorgegangenen Erkenntnissen konnte in einer dritten Stufe und in Verbindung mit einer grundlegenden Neustrukturierung des Systemdesigns auf der Basis allgemeiner Gestaltungsprinzipien ein weiteres multimodales System (*Wing-M2*) aufgebaut werden. Grundlage des Systems ist ein Modell „auf der Werkzeugmetapher basierender strikt objektorientierter grafisch-direktmanipulativer Benutzeroberflächen“ (WOB-Modell, KRAUSE 1994). Die Motivation für das Modell liegt in einem Dilemma der Software-Ergonomie-Forschung: Globale Anforderungen an die software-ergonomische Gestaltung von Dialogsystemen, wie sie in verschiedenen Normen festgelegt sind (Aufgabenangemessenheit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität etc.),³² las-

³² DIN 66234 Teil 8, ISO 9241 Teil 10 und die seit Ende 1992 rechtsverbindliche EG-Richtlinie 90/270/EWG, vgl. HERCZEG 1994:105ff, REDTENBACHER 1994.

sen eine Operationalisierung kaum zu, da die genannten Kriterien zu allgemein sind. Konkrete *style guides*, die Detailanweisungen für die Gestaltung geben, bringen durch ihre Fixierung auf lokale Zusammenhänge des Designs die Gefahr mit sich, auch bei strikter Befolgung zwangsläufig Widersprüche zu den Globalanforderungen zu erzeugen. Diesem Konflikt versucht das WOB-Modell auf einer mittleren Ebene zu begegnen, indem es unterhalb der Ebene der allgemeinen Designprinzipien ein objekt-orientiertes Paradigma einführt, dessen Gestaltungsmaßnahmen den komplexen Anforderungen der Schnittstellenentwicklung gerecht werden können. Dabei handelt es sich um die folgenden Kriterien:³³

a) Objektorientierung und Werkzeugmetapher

Die Verwendung eines objekt-orientierten Gestaltungs- und Interaktionsprinzips für die graphische Benutzerschnittstelle verspricht eine einheitliche Sichtweise und Interpretierbarkeit der Interfaceobjekte für den Benutzer. Das Interface ist von der Objektseite her modelliert, den einzelnen Objekten sind Funktionen (Methoden) als Wirkungsweisen zugeordnet, die sie im Wechselspiel mit anderen Objekten entfalten können. Gleichzeitig eröffnet die Einführung des Werkzeugkonzeptes als die Funktionalität strukturierendem Element eine offene Systemgestaltung, in die sich zusätzliche Komponenten des intelligenten Information Retrieval einordnen lassen. Graphische Suchformulare und natürlichsprachliches Suchobjekt stehen im Mittelpunkt; daneben wirken weitere Werkzeuge des Interfaces (Auswahllisten, intelligente Zusatzkomponenten) auf die Suchobjekte ein und modifizieren bzw. parametrisieren sie. Die Werkzeugmetapher macht dem Benutzer die Funktionsweise des objekt-orientierten Wirkungsprinzips deutlich. Im Mittelpunkt stehen die drei Suchobjekte für detaillierte Datenrecherche, Zugang zu Überblicksinformation über ein Datenblatt (wechselweise verfügbar) und die natürlichsprachliche Zustandsanzeige und Abfragemöglichkeit, die parallel zu den anderen Suchobjekten bzw. Ergebnisdarstellungen verfügbar ist. Neben diesen zentralen Objekten sind weitere Werkzeuge modelliert, die in der Benutzerschnittstelle ikonisch repräsentiert sind und auf die Suchformulare einwirken (vgl. Abb. 4 und 5):

- Das Präzisierer-Objekt erlaubt die Spezifikation und Modifikation von Nebenbedingungen in den Suchobjekten (z.B. Wertebereiche von Kenngrößen).
- Die Abbildung verschiedener Bezeichnerklassen von Werkstoffen („Um-schlüsselung“) erfolgt mittels des Objektes Werkstoffliste, das auch der direkten Selektion von Werkstoffnamen in die Suchobjekte dient.
- Im Modifizierer-Objekt ist die Schnittstelle zur Modifikation der Suchsemantik angesiedelt; in der ersten Implementierung von *Wing-M2* noch ohne Funktionalität, ist es ein Platzhalter für die Addition einer *fuzzy-logic*-basierten Recherchekomponente (vgl. WOMSER-HACKER 1994).

³³ Vgl. KRAUSE et al. 1994:267ff und KRAUSE 1994:Kap. 4.

- Die Gestaltungsidee ergebnisbasierter Suchzyklen des graphischen Retrieval ist dem Transformator-Objekt zugeordnet: Mit seiner Hilfe kann der Benutzer sowohl zwischen tabellarischer und graphischer Ergebnisanzeige wechseln als auch die Ergebnisstruktur für die Recherchefortsetzung in eine Suchanfrage umwandeln. Für tabellarische Daten geschieht das auf der Basis des QBE-Gedankens, d.h. die Ergebnistabelle wird zum Suchformular, für graphische Daten mit Hilfe der visuellen Sprache von *Wing-Graph*. Dieses Objekt ist der funktionale Einbindungspunkt für das graphische Retrieval im Rahmen von *Wing-M2*.
 - Weitere Objekte sind für eine aktive und passive Hilfefunktion und die Ergebnisverwaltung (Ablage von Suchanfragen und -ergebnissen) vorgesehen.
- b) Allgemeine informationelle Durchlässigkeit
- Zwischen verschiedenen Zugangsmodalitäten, Dialogsituationen und Detailliertheitsniveaus der Daten herrscht in *Wing-M2* wechselseitige Durchlässigkeit: Das System verfolgt jeweils den Anfrageaufbau und bietet dem Benutzer bei einem Wechsel der Modalität oder des Detailliertheitsgrades der recherchierten Information den bereits erreichten Dialogzustand an und paßt ihn den geänderten Umständen an (z.B. modifizierbares natürlichsprachliches Echo auf in den Formularen des Interfaces aufgebaute Anfragen). Der Schwerpunkt der natürlichsprachlichen Komponente ist vom direkten Sucheinstieg hin zu einer editierbaren Feedbackkomponente verschoben. Ein Sprachgenerierungs- und Anfragerückübersetzungsmodul transformiert die Benutzeraktionen in Suchformularen in natürliche Sprache und überträgt Änderungen des Benutzers an den natürlichsprachlichen Eingaben zurück in die graphisch direkt-manipulativen Suchobjekte.
- c) Doppelte Interpretierbarkeit des Interfaces
- Die objekt-orientierte Modellierung und die formularähnliche Ausgestaltung der Suchobjekte läßt eine unterschiedliche Interpretation der Systemfunktionalität durch verschieden erfahrene Benutzer zu: Dem ungeübten Benutzer steht die einfache, „traditionelle“ Deutung des Anfrageaufbaus als formularbezogenes Ausfüllen von Masken zu Gebote („Formularmetapher“); der erfahrene Benutzer kann die Werkzeugobjekte selbst nach seinen Bedürfnissen parametrisieren und so das Potential der objekt-orientierten Wirkungsmechanismen voll ausschöpfen. Erst auf dieser Ebene kommt das Prinzip aufeinander einwirkender Werkzeugobjekte voll zum Tragen. In der einfacheren formularbezogenen Sichtweise muß der ungeübte Benutzer die objekt-orientierte Funktionsweise des Systems nicht verstehen (mentale Entlastung).
- d) Implizite Suchtypenstruktur und dynamische Anpassung
- Die kognitive Suchtypenstruktur, die in *Wing-M1* das Strukturierungskriterium der Oberflächengestaltung war, ist in *Wing-M2* einer anderen Ebene zugewie-

sen: Sie prägt nicht die Benutzeroberfläche, steuert aber implizit das Systemverhalten: Das System erkennt an den Aktionen des Benutzers den gewünschten Suchtypus und paßt sich dynamisch an die jeweilige Dialogsituation an. Beispielsweise bewirkt die Eingabe eines Werkstoffnamens die dynamische Listenanpassung unter Anzeige der für den Werkstoff verfügbaren Datenmengen; bei Wechsel zwischen Detail- und Globalsuchobjekt paßt sich der Inhalt des Suchformulars (d.h. der bisherige Anfrageaufbau) an das neue Informationsniveau soweit als möglich an.

- e) Schließlich ist der Gedanke graphischer Retrievalzyklen und seine Implementierung im Informationssystem *Wing-Graph* eine weitere wesentliche Komponente des *WOB*-Modells (KRAUSE 1994:Kap. 3.2.3 und 4.3). Das graphische Retrieval soll grundsätzlich das visuelle Denken operationalisieren und konkret die Recherchefortsetzung im adäquaten Darstellungsmodus ermöglichen. *Wing-Graph* steht danach in zweierlei Beziehung zum multimodalen System *Wing-M2*: Einerseits handelt es sich um einen Teil des Modells, der dieses funktional erweitert, andererseits ist *Wing-Graph* selbst wieder im Licht der voranstehend genannten Gestaltungsleitlinien zu sehen.

Die genannten Gestaltungsprinzipien gehen in ihren Konsequenzen für die Modalitätsmischung aus den verschiedenen Vorstufen der Systementwicklung in *Wing-IIR* hervor; am stärksten wirkt sich das auf die natürlichsprachliche Anfrage aus: In den Benutzer-tests konnte ihr nur eine untergeordnete Rolle als Anfragemodus in Werkstoffinformationssystemen zugewiesen werden;³⁴ im Rahmen des Konzeptes von *Wing-M2* erwachsen für die NL-Komponente aber neue Funktionsbereiche als ständig verfügbares und modifizierbares sprachliches Feedback des Anfrageaufbaus, das bei komplexen Anfragen eine iterierende Retrievalstrategie erlaubt, da der Benutzer statt unflexibler, weil über längere graphische Interaktionsfolgen verteilter Modifikation von Bedingungen an zentraler Stelle den natürlichsprachlichen Anfragetext bearbeiten kann. Den visuellen Aufbau des Interfaces von *Wing-M2* zeigen Abb. 4 und 5.

In das objekt-orientierte Modell ist *Wing-Graph* als graphische Retrievalkomponente eingepaßt: Der Aspekt der Multimodalität wird durch die Möglichkeit erweitert, an visuellen Informationsformaten mit graphischen Operationen für den Anfrageaufbau anzusetzen.

Die Einbindung intelligenter Information Retrieval-Komponenten (bzw. von Zusatzkomponenten im Kontext des erweiterten IR-Begriffs wie graphisches Retrieval) beruht auf der Überlegung, daß selbst intensive Optimierungsbemühungen bei der Gestaltung eines multimodalen Systems nicht zu einem Systemprototypen führen

³⁴ Das zeigen die Testergebnisse zu *Wing-M1*, vgl. MARX 1992, MARX & PFLÜGER 1992, bes. 11ff. Bei Testaufgaben vor die Wahl zwischen graphischem Modus und (unrestringierter, weil simulierter) natürlichsprachlicher Anfrage gestellt, wählten die Versuchspersonen in weit weniger als 10% der Fälle den natürlichsprachlichen Modus (MARX 1993:101).

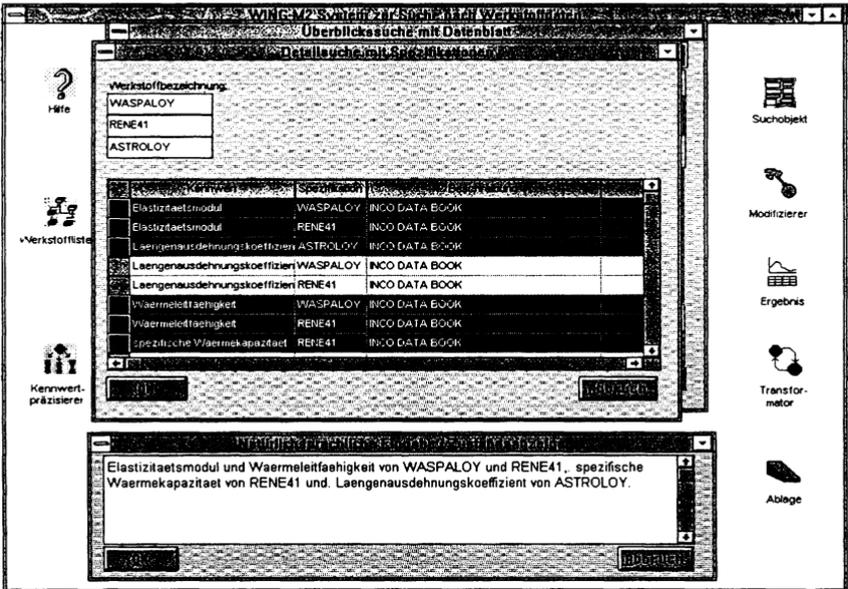


Abbildung 4: Wing-M2 - Detailsuche

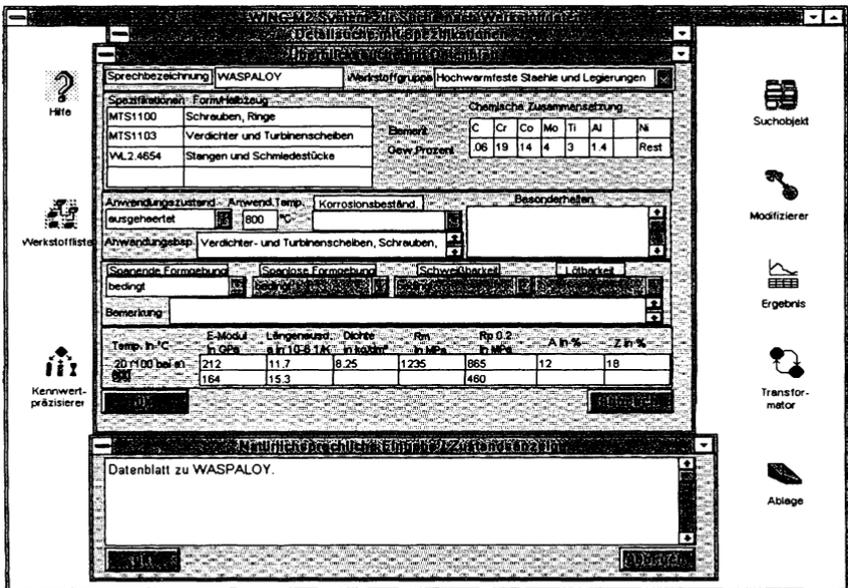


Abbildung 5: Wing-M2 - Datenblattrecherche

können, der allen Benutzerbedürfnissen vollständig gerecht wird. Das gilt unmittelbar für Studien zur Einbindung einer aktiven adaptiven Hilfefunktion, die planbasiert den Benutzer unterstützen kann.³⁵ Ein solches Verfahren läßt sich schon ohne allzu engen Bezug zur Anwendungsdomäne aus den komplexen Systemen inhärenten mentalen Belastungen für den Benutzer rechtfertigen.³⁶ Für die weiteren, in *Wing-IIR* entwickelten oder sich noch in Entwicklung befindlichen Komponenten waren dagegen die genaue Analyse des Anwendungsgebietes sowie erste empirische Ergebnisse Voraussetzung. Auf dieser Grundlage ergaben sich zwei Schwerpunkte:

- a) Benutzermodellierung als Vehikel der Komplexitätsreduktion bei der Navigation in komplexen Datenbeständen mit dem Ziel, ein wissensbasiertes Suchstrategie-Visualisierungssystem zu entwickeln, das dem Benutzer aus einer für ihn unübersehbaren Fülle von Parametrisierungsoptionen die für ihn nützlichen oder naheliegenden Suchpfade empfiehlt bzw. vorlegt³⁷ und
- b) Modellierung vager Anfragen in einer auf unscharfen Mengen (*fuzzy sets*) gründenden Systemstruktur; dabei Schwerpunktbildung im Bereich der sog. „Linguistischen Variablen“, die die natürlichsprachliche Komponente optimieren helfen können. Beispiele der Verwendung linguistischer Variablen sind die in den folgenden Anfragen verwendeten vagen Begriffe: „Werkstoffe mit *hohem* Elastizitätsmodul“; „*möglichst niedriger* Wärmeausdehnungskoeffizient“; „Daten zur chemischen Analyse eines *ähnlichen* Werkstoffs“ (WOMSER-HACKER 1994:8). Sie sind im Unterstützungsmodul durch *fuzzy*-Variablen repräsentiert, für die jeweils eine wissensbasierte Abbildungsfunktion existiert (WOMSER-HACKER 1994:28ff).

Die intelligenten Zusatzkomponenten erfahren ihre Legitimation aus der empirischen Absicherung; konzeptuell sind auch sie in das Modell eines objektorientierten Werkzeugsystems eingebunden: Sie sind Erweiterungen des Kernsystems um ein zusätzliches Werkzeugobjekt mit jeweils festgelegter Wirksamkeit in Bezug auf die restlichen Objekte der Benutzerschnittstelle. Dabei sind Überschnei-

³⁵ Die Begründung für die planbasierte Hilfe läßt sich für Systeme einer bestimmten Mindestkomplexität relativ leicht führen, da sich immer (wieder) Aktionsfolgen von Benutzern nachweisen lassen, die zu Problemen führen und mit einer aktiven Hilfefunktion zu bewältigen sind (vgl. ROPPEL 1990).

³⁶ Ein gutes Beispiel ist die „Komplexitätsexplosion“ bei den fortgeschrittenen Versionen moderner Standardsoftware (z.B. Textverarbeitung), die einerseits eine sehr hohe funktionale Bandbreite zur Verfügung stellt, andererseits die Interaktion mit dem System für den Benutzer weniger transparent und überschaubar machen - ein wichtiger Ansatzpunkt für Hilfefunktionen.

³⁷ Das geplante Pfadwerkzeug, das sich gegenwärtig in der Implementierungsphase befindet (vgl. ROPPEL 1993B, ROPPEL, WOLFF & WOMSER-HACKER 1993), orientiert sich in seiner Visualisierungskomponente an den *Cone Trees* von ROBERTSON, MACKINLAY & CARD 1991.

dungen der modellierten Problembereiche bereits von einer holistischen Perspektive her offensichtlich: Vagheit von Benutzereingaben existiert nicht nur für die linguistischen Variablen im natürlichsprachlichen Suchobjekt von *Wing-M2*, sondern auch bei der Umsetzung einer graphischen Anfrage durch den Benutzer. Ebenso überschneiden sich die Wissensquellen für benutzerorientierte Anpassung von Suchpfaden und die Interpretation graphischer Suchverfahren, wenn sie auf typische Benutzerinteressen zurückgreifen. Über diese allgemeinen Hinweise hinaus fehlt noch ein gemeinsames formalisiertes Repräsentationsmodell des in den verschiedenen Zusatzkomponenten von *Wing-IIR* verwendeten Wissens.

1.3.2 Methodische Aspekte

Aus vorstehender Argumentation ergibt sich eine Forschungsmethode, die auf der weitest möglichen Ausnutzung externer Wissensquellen der Anwendungsdomäne und dem Prinzip schneller Entwicklungszyklen (*rapid prototyping*, vgl. BUDDE et al. 1984) bei der Softwareerstellung in Verbindung mit empirischer Validierung der jeweils erstellten Systemprototypen beruht.

1.3.2.1 Empirisch basierte Vorgehensweise

Die Entwurfsmethode des *rapid prototyping* läßt sich nur durch ständige empirische Validierung des Designprozesses rechtfertigen. Sie selbst ist wiederum unter dem Gesichtspunkt des pragmatischen Primats der Informationswissenschaft (KUHLEN 1990) notwendig für einen den Bedingungen der Anwendungsdomäne angemessenen Entwicklungsablauf. Dahinter steht die These, daß ohne diesen Anwendungsbezug keine sichere Aussage über die Validität von Gestaltungsentscheidungen möglich ist. Das gilt um so mehr für einen jungen Forschungsbereich wie den multimodaler Schnittstellen, für die kaum empirisches Material vorliegt (KRAUSE 1990:2). Materiell realisiert sich der Anwendungsbezug durch die Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern, die Werkstoffdaten für die Datenbankgrundlage, Domänenwissen ihrer Werkstoffexperten und damit auch geeignete Versuchspersonen für den Test von Prototypen zur Verfügung stellen. Für *Wing-Graph* bedeutet das, daß die empirische Untersuchung der Annahmen bezüglich der Funktionsweise und Anwendbarkeit des graphischen Retrieval als Manipulation von Liniendiagrammen wesentlicher Bestandteil der Arbeit sein muß. Sie hat mehrere Komponenten:

a) Analyse des Anwendungsgebietes im Vorfeld der Entwicklungsarbeit

Für *Wing-Graph* war die Beobachtung, daß im Werkstoffbereich Kurvendarstellungen in den traditionellen Druckmedien eine herausragende Rolle spielen, der erste Ansatzpunkt, diese Methode der Informationsvisualisierung zur Gestaltung einer Retrievalkomponente heranzuziehen. Unter diesen Gesichtspunkt fallen zusätzlich die Aufbereitung der Datengrundlage, die in den experimentellen Prototypen Verwendung findet, und der Abgleich der im Projekt

(bzw. für *Wing-Graph*) gesetzten Zielvorstellungen am *state-of-the-art* der in der Anwendungsdomäne gebräuchlichen Informationssysteme (vgl. Kap. 3).

b) Begleitende Überprüfung der Entwicklungsarbeit durch ständigen Kontakt mit Domänenexperten, die eine Kontrolle der Systemgestaltung bei Detailproblemen erlaubt.

c) Gezielte Befragung von Benutzergruppen

Bei bestimmten Gestaltungsproblemen (Erhebung linguistischer Daten, Bestimmung der Aufgabentypologie und relevanter Fragestellungen für die Benutzertests, *knowledge acquisition* für wissensbasierte Gestaltung) waren strukturierte, auf Fragebögen gestützte Interviews mit repräsentativen Benutzergruppen notwendig, um bei der Gestaltung die Unterschiede zwischen verschiedenen Subdomänen (Arbeitsgebiete, Interessenschwerpunkte) des Anwendungsbereichs erfassen zu können.³⁸

d) Test von Prototypen

Den Schwerpunkt der empirischen Arbeit bildeten Benutzertests, mit denen die Systemprototypen in realen Anwendungssituationen und anhand typischer Fragestellungen der Anwendungsdomäne untersucht werden. Im Rahmen von *Wing-IIR* und *Wing-Graph* standen aufgabenbasierte, qualitative Testverfahren³⁹ im Vordergrund, deren umfangreiche Protokolle Grundlage der empirischen Auswertung sind.

Die dem *knowledge engineering* zuzurechnenden Methoden a) - c) dienen sowohl der Vorbereitung und Begleitung der Systemgestaltung als auch der Festlegung des eigentlichen Testkontextes (d)).

1.3.2.2 Rapid Prototyping

Das empirische Vorgehen legitimiert für den Systementwurf die Methode des *rapid prototyping*: Im Wechselspiel von Entwicklung und Überprüfung entsteht ein zirkulärer Prozeß, der die Systemgestaltung optimieren helfen kann, ohne auf jeder Stufe bereits ein vollständig realisiertes System zur Verfügung zu stellen: Ein horizontales (eine breite Funktionspalette ist wenigstens in Ansätzen vorhanden oder wird simuliert) und ein vertikales (einzelne Funktionskomplexe stark entwickelt) Prototyping können miteinander verbunden sein (FLOYD 1984:4). Das Prototyping muß in diesem Sinne als experimentelles Verfahren aufgefaßt werden (IVARI 1984:262). Die Ansprüche an die Robustheit der Systemprototypen sind heruntergesetzt und finden ihre *bottom line* in der Testbarkeit des Systems. Typische Optimie-

³⁸ In *Wing-Graph* werkstoffkundliche und maschinenbaubezogene Arbeitsfelder, cf. Kap. 3.2.4.

³⁹ Zum Teil als Simulationsexperimente durchgeführt, bei denen die natürlichsprachliche Komponente in einem *wizard-of-oz-setting* in das Testdesign eingegliedert wurde.

rungsmethoden des *software engineering* treten zugunsten der Beschleunigung der Entwicklungszyklen in den Hintergrund, d.h. eine gewisse Fehleranfälligkeit des experimentellen Prototyps ist als Ausgleich für kurze Entwicklungszyklen in Kauf zu nehmen.

1.4 Fazit

Der Ansatz für ein zyklisches graphisches (Ergebnis-)Retrieval ist auf zwei Ebenen in den wissenschaftlichen Kontext von *Wing-IIR* einzuordnen: Zum einen soll ein Beitrag zur multimodalen Systemgestaltung für Fakteninformationssysteme geleistet werden, wobei durch die visuelle Anfragesprache das allgemeine Bedienungsparadigma graphischer Benutzerschnittstellen eine besondere, „inhärent graphische“, Interpretation erfährt. Zum anderen hat die angestrebte Einbettung in ein multimodales Werkzeugsystem in entwicklungsmethodischer Hinsicht für die Ausgestaltung des graphischen Retrieval eine hohe Bedeutung, da sie den Funktionsumfang der graphischen Retrievalkomponente einzuschränken erlaubt und so die Konzentration auf wesentliche Aspekte ermöglicht. Die grundsätzliche Einbettung erlaubt die ansonsten nicht zu rechtfertigende Ausgrenzung bestimmter Retrievalprobleme, die nicht in direktem Bezug zu graphischen Informationsdarstellungen stehen, aber beim Zugang zu Werkstoffinformation eine Rolle spielen (etwa die Problematik der Bezeichnungskategorien von Werkstoffen). Aus der Einbettung folgen bestimmte Vorentscheidungen für das Systemdesign, das die Vorgaben des *Wing-M2*-Modells beachten muß (Verwendung von Dialogsymbolen; Objekte als Träger funktionaler Einheiten etc.). Die Auseinandersetzung mit diesem Modell wird in Kap. 8 noch einmal aufgegriffen, wo ausgehend von der empirisch getesteten *Kernimplementierung* von *Wing-Graph* konkrete Gestaltungsvorschläge zur Integration in den Prototyp *Wing-M2* erfolgen.

Die Konzentration auf das zyklische Retrieval mit der Ergebnispräsentation als Ausgangspunkt von Recherchen und die Folgerungen für die Systemgestaltung des graphischen Retrieval sind ebenfalls unter dem Aspekt der Systemeinbettung zu sehen: Sie macht die Modellierung eines graphischen, ergebnisbasierten Recherchemoduls als *follow-up*-Komponente möglich. Der Gedanke, den Schwerpunkt eines Retrievalmoduls auf Folgeanfragen nach erfolgreichem Rechercheeinstieg zu legen, ist im folgenden Kapitel zu erörtern.

2 Zyklisches Information Retrieval

Ein wesentlicher Gesichtspunkt des graphischen Retrieval setzt bei der Ausgestaltung von Dialogstrategien im Information Retrieval an: Geht man bei der Interaktion mit einem Fakteninformationssystem grundsätzlich von einem dreistufigen Handlungsmodell aus, das die Anfragedefinition durch den Benutzer, die Bearbeitung und Beantwortung der Recherche durch das System und die anschließende Interpretation der Ergebnisse durch den Benutzer umfaßt (*presearch, search, postsearch*, ODDY 1971), so läßt sich die Beobachtung machen, daß über ein solches - vereinfachendes¹ - Schema hinaus die Kombination mehrerer Einzelzyklen eine *Dialogstrategie* entstehen läßt: Nur in seltenen Fällen und bei einfachen Aufgabenstellungen ergibt eine Anfrage in einem beliebigen Retrievalsystem sofort das gewünschte Ergebnis bzw. die gewünschte Menge an Ergebnissen (Fakten, Dokumente, Zitierstellen etc.), wie das folgende Beispiel aus dem Bereich der Werkstoffinformation zeigt: Der Benutzer will ein bestimmtes Datum zu einem Werkstoff überprüfen (z.B. *Solidustemperatur von Waspaloy*); ist es in der Datenbank vorhanden, ist sein Informationsbedürfnis (abschließend) gestillt; fehlt es, so könnte es sein, daß er keine alternative Suchstrategie anschließen will, weil er *nur an diesem Datum* Interesse hat und bei dessen Fehlen die entsprechende Messung in Auftrag gibt. In beiden Fallvarianten sind aber die Möglichkeiten zur Fortsetzung des Retrieval evident.

Für den Bereich des Dokumentenretrieval ist die Bildung längerer Retrievalzyklen empirisch gut überprüft (BAUER 1990B:90ff.), wo aufgrund der komplexen Datenstruktur von Texten die Transformation von Informationsbedürfnissen (*user needs*) in Anfragen und deren Abgleich mit der Datenbasis aufwendiger und langwieriger ist als bei Fakteninformation. Andererseits ergeben sich am Beispiel der Werkstoffinformation zusätzliche Schwierigkeiten: Die sehr inhomogenen Datenbestände (Datenlücken, fehlende Messungen) bedingen ein häufiges Ausweichen auf Alternativstrategien ebenso wie die den Daten inhärente Dialektik von exakter Messung und notwendig vager Interpretation.² Zudem findet nach einer erfolgreichen

¹ Die strukturellen Besonderheiten einer vermittelten Interaktion mit dem Informationssystem, bei der zwischen Benutzer und System ein professioneller Informations(ver)mittler geschaltet ist, bleiben hier außer Betracht, vgl. GLÖCKNER-RIST 1993 zum Vergleich vermittelter und unvermittelter Umsetzung von Problembeschreibungen in Suchanfragen.

² Trotz äußerst exakter Meßverfahren, die ja lediglich ein einmaliges Experiment protokollieren (zumindest bei *Istwerten* im Gegensatz zu normativen *Sollwerten*), verbleiben stark durch den Kontext determinierte Streubereiche, die bei der Interpretation hinzugedacht werden müssen und Anlaß zu Anfrageiterationen geben können.

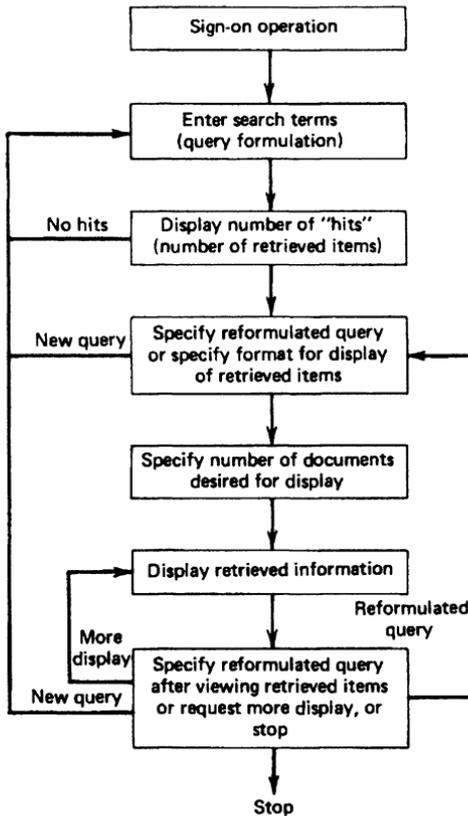


Abbildung 6: Iterativer Ablauf des Retrieval
(SALTON & MCGILL 1983:237, Abb. 6-9)

retrievalmodell selbst ansetzen,³ wurden daher als zusätzliche Features im Rahmen des erweiterten Information Retrieval vorgeschlagen:

- a) Vor- und Nachbearbeitung von Anfragen durch das System, wobei mit Hilfe systemseitiger Wissensquellen und Algorithmen bzw. durch Ergebnisbewertungen des Benutzers eine Anfrage so modifiziert wird, daß die Wahrscheinlichkeit eines zufriedenstellenden Ergebnisses steigt (*query modification*, *query reformulation* einerseits, *relevance feedback* andererseits),⁴

³ Für *Wing-Graph* mit relationalen Datenbanken und SQL als Abfragesprache fest vorgegeben.

⁴ Wobei zahlreiche Parameter eine Rolle spielen können, z.B. die Erwartungshaltung von Benutzern bezüglich des Umfangs der Ergebnismenge, die zugrundegelegten Datenstrukturen etc.

Erstanfrage häufig ein Wechsel der Aufgabenstellung statt, der sich erst aus dem Ergebnis der initialen Anfrage ergibt, beispielsweise ein Wechsel von reiner Datensuche („Information zu Item X“) in vergleichende Fragestellungen („Vergleichbares zu Item X“). Im Grundsatz liegt aber Fakten- wie Dokumentretrieval das gleiche zyklische Recherchemodell als Kreislauf von Suchiterationen zugrunde, wie Abb. 6 am Beispiel des klassischen *document retrieval* zeigt.

Die Modifikation und Veränderung von Anfragen, die dem Benutzer kein zufriedenstellendes Ergebnis liefern, sind ein klassisches Forschungsthema im Information Retrieval. Die traditionelle Antwort der IR-Forschung - Implementierung, statistische Evaluierung und Vergleich verschiedener Retrievalmodelle - konnte das Problem bisher bestenfalls abmildern, doch keinesfalls eliminieren und sie läßt sich nicht ohne weiteres auf das Faktenretrieval übertragen. Verschiedene Gestaltungsstrategien, die nicht am Retrievalmodell selbst ansetzen,

- b) Zusatzkomponenten („Retrievalhilfen“), die den Benutzer die Eigenschaften von Retrievalsprache, Deskriptorensystem und Retrievalmodell besser nutzen lassen (z.B. Thesauri, semantische Netzwerke, cf. BAUER 1990A:10ff.),
- c) Verwendung alternativer Anfragesprachen, die neue Interaktionsmodi bei der Anfragedefinition einführen; das geschieht in *Wing-Graph* durch die Implementierung einer graphischen Retrievalsprache, die die Suche mit visuellen Operatoren erlaubt und daher andere Charakteristika hat als etwa eine formalsprachliche Anfragemöglichkeit,
- d) Aufgreifen daten- und datenstrukturinhärenter Eigenheiten bei der Ausgestaltung der Abfragesprache bzw. darauf aufbauend der Benutzerschnittstelle (*Query-by-Example*-Modell) und
- e) Allgemeine Optimierung der Dialoggestaltung, insbesondere durch graphische Benutzerschnittstellen (direkte Manipulation elektronischer Objekte als Navigationsmittel; Einbettung in Systemmetaphern, Berücksichtigung software-ergonomischer Designgrundsätze).

Die unterschiedlichen Aspekte sind untereinander eng verknüpft. So schaffen graphische Benutzerschnittstellen die Möglichkeit, *graphisches Retrieval* einzusetzen und sind daher dessen notwendige Voraussetzung. Ebenso ergibt sich in *Wing-Graph* zwangsläufig das Problem der Anfragenachbearbeitung, da graphische Operationen in die Datenbanksprache zu überführen sind. Gleichzeitig wird mit der Präsentationsstruktur der Daten (Liniendiagramme) eine dem Benutzer vertraute Aufbereitungsform der Daten für das Retrieval aufgegriffen und so ein Merkmal des *Query-by-Example*-Modells umgesetzt. Die klassischen Zusatzkomponenten (b)) sind für den funktionalen Kern des graphischen Retrieval in *Wing-Graph* weniger relevant, kommen aber auf der Ebene des Direktzugangs zur graphischen Retrievalschnittstelle (Auswahl typischer Werkstoffmengen in visualisierter Form als Domänenvorstrukturierung) ins Spiel.

2.1 Zyklenmodellierung in Dokument- und Faktenretrieval

Spätestens seit der verstärkten Verfügbarkeit von *online*-Rechercheverfahren für Datenbanken, die dem Benutzer einen *Dialog* mit dem System erst ermöglichen, ist die Bedeutung von Dialogstrategien deutlich geworden:

Most modern on-line search and retrieval environments make provisions for the utilization of flexible search procedures that can generate satisfactory query statements and useful retrieval output in several small steps. An iterative search system is typically implemented by initially submitting a tentative query, and then using system facilities to improve these query statements and the resulting set of retrieved items (SALTON & MCGILL 1983:140f.).

Das Aufgreifen dieser Problematik hat im Information Retrieval zum Forschungsschwerpunkt des *relevance feedback* geführt: Darunter versteht man die Bewertung eines Suchergebnisses durch den Benutzer, die in den folgenden Suchiterationen vom System dazu verwendet wird, die Suchsemantik bezüglich der Datenbasis (typischerweise eine (Text-)Dokumentensammlung) z.B. durch geänderte Gewichtung der Suchterme zu modifizieren.⁵ Dabei nimmt diese Technik, die sich in kommerziellen Retrievalsystemen ungeachtet ihrer seit langem nachgewiesenen Plausibilität noch nicht durchsetzen konnte (AALBERSBERG 1992:11), keinen Bezug auf die Gestaltung der Benutzerschnittstelle eines Information Retrieval-Systems, sondern hat die Optimierung der Suchsemantik zum Ziel: Es geht also um eine systemgestützte funktionale Modifikation des Retrievalmodells, die sich in der Erhöhung von *recall* und *precision* ausdrücken soll.⁶

Liegt beim *relevance feedback* der Schwerpunkt auf der Bewertung des Ergebnisses *durch den Benutzer*, so behandeln die verschiedenen Ansätze zur *query reformulation*⁷ und *query modification*⁸ das Problem der Anfragemodifikation von der Systemseite her, indem das System durch verschiedene Wissensquellen und Prozeduren zur Anfrageveränderung befähigt wird: Mit unterschiedlichen Strategien modifiziert es Benutzeranfragen, bevor der eigentliche Suchprozeß stattfindet. Während die meisten Arbeiten zu diesem Themenkomplex bereits bei der Erstanfrage des Benutzers (*initial query*) ansetzen, behandeln sie wenigstens teilweise auch den prozessualen Charakter des Retrievalverlaufs und setzen auf eine (noch) nicht zufriedenstellende Ergebnispräsentation auf.⁹

Die Forschungsschwerpunkte *relevance feedback* und *query reformulation/modification* zeigen, daß das Problem der Dialogstrategien und -zyklen einen

⁵ Einführend hierzu: SALTON & MCGILL 1983:140ff., 236ff. Neuere Entwicklungen zum *relevance feedback* finden sich in BELKIN, INGWERSEN & MARK PEJTERSEN 1992 [= Proc. SIGIR '92], KNORZ, KRAUSE & WOMSER-HACKER 1993 [= Proc. IR '93] und KORFHAGE, RASMUSSEN & WILLETT 1993 [= Proc. SIGIR '93].

⁶ *Recall*: Verhältnis der in einer Anfrage gefundenen relevanten Items zur Gesamtzahl der relevanten Items in der Gesamtheit der zugrundegelegten Datenbasis; *precision*: Verhältnis der mit einer Anfrage gefundenen relevanten Items zur Gesamtzahl der mit dieser Anfrage gefundenen Items. Eine Erörterung der zahllosen Retrievalmaße, die die beiden Basisgrößen differenzieren, erübrigt sich aufgrund deren beschränkter Anwendbarkeit auf das *Faktenretrieval* in numerischen Datenbeständen.

⁷ Zum Überblick über die verschiedenen Reformulierungsstrategien cf. DEBILI, FLUHR & RADASOA 1989 (Vergleich linguistischer Paraphrasierungstechniken), CHEN & DAHR 1990 (prozessuales Modell auf der Basis eines semantischen Netzwerks) und GAUCH & SMITH 1991 (expertensystembasierter Ansatz).

⁸ CHAUDHURI 1990:138 definiert den Begriff *query modification* so: "Query Modification is the process of refining a query when the answer to the query does not meet the expectations of the user." Cf. auch KWOK 1991 (Anfragemodifikation mittels eines neuronalen Netzwerkes für das probabilistische Information Retrieval).

⁹ Cf. YEN, Neches & DEBELLIS 1988: 816f., CHEN & DHAR 1990:129 Abb. 6 und KWOK 1991:192.

hohen Stellenwert im Information Retrieval hat. Im klassischen Information Retrieval enthalten die Retrievalzyklen im Kern die gleiche Fragestellung, d.h. ausgehend von einer (möglicherweise vagen) Zusammenstellung von Ausgangsbegriffen wird die Suche so lange iterativ verfeinert, bis die Ergebnismenge den Benutzer zufriedenstellt. Dabei bleiben Fragestellung und Rechercheziel im wesentlichen konstant.¹⁰

Die Interfacegestaltung spielt bei diesen Ansätzen eine geringe Rolle, d.h. die Modifikation des Retrievalmodells resultiert nicht unmittelbar in einem geänderten Schnittstellenkonzept, obwohl in Struktur und Ablauf der Interaktion des Benutzers mit dem System eingegriffen wird.¹¹ Gerade die Schnittstellengestaltung und die dem Benutzer zur Verfügung stehenden Anfragemodi sind aber im Kontext von *Wing-Graph* relevant, da die Oberflächengestaltung als solche und mit ihr verbunden die anfragedefinierenden graphischen Interaktionstechniken erst Retrievalzyklen ermöglichen.

Für ein Faktenretrievalsystem stellt sich die Frage nach der Modellierung längerer Interaktionszyklen in anderer Weise: Bei einer vereinfachten Vorstellung von als exakt angenommenen Suchbedingungen ist die Relation zu den bezüglich dieser Suchbedingung gefundenen Items eindeutig bestimmbar. Für *Wing-Graph* hieße das *im einfachsten Fall*, daß durch die exakten Vorgaben (Koordinatensystem, Zuordnung von Suchsemantik und typisierten Suchverfahren und eindeutige Transformation in eine formale Abfrage) die Relation von graphischer Operation und Datenbankinhalt eindeutig definiert ist. Erst bei der Betrachtung vage formulierter Suchanfragen tritt eine dem klassischen Retrieval vergleichbare Situation auf. So kann man zunächst davon ausgehen, daß die Fragestellung vom System zufriedenstellend beantwortet werden kann. In stärkerem Ausmaß als im traditionellen Retrieval schließen sich an die Ergebnisinterpretation im Faktenretrieval Modifikationen und Abwandlungen des ursprünglichen Rechercheziels an: Eine Dialogstrategie entsteht aus Modifikationen (Erweiterungen, Eingrenzungen) der ursprünglichen Anfrage, aus vergleichenden Fragestellungen oder in der Ergänzung durch zusätzliche Fragestellungen (Bezug auf weitere Parameter der Datenbasis etc.). Dies ist zwar, oberflächlich gesehen, durchaus mit Modifikationsstrategien des Dokumentenretrieval vergleichbar, da auch dort Begriffe z.B. durch Synonyme weiter gefaßt oder mit Hilfe semantischer Einschränkungen eingegrenzt werden, wesentlich bleibt aber der dem Benutzer bewußte engere logische Zusammenhang von formulierter Fragestellung und dem vom System präsentierten Suchergebnis. Gleichzeitig wird damit ein engerer, leichter zu bestimmender Zusammenhang zwischen ur-

¹⁰ Dies ist natürlich in gewissem Maß eine Idealisierung, da es auch hier durch die Betrachtung der jeweiligen Einzelschrittergebnisse zu einer Modifikation der Ausgangsfragestellung kommen kann.

¹¹ Beispielsweise durch Erweiterung und Modifikation der Suchlogik auf der Basis der Benutzerangaben im System *CONT*, cf. GAUCH & SMITH 1991; der Ablauf der Interaktion auf der Strategieebene wird modifiziert, das Interface bleibt im wesentlichen unverändert.

sprünglichem Informationsbedürfnis und Anfrageerstellung für das Faktenretrieval postuliert (Abbildung der *user needs* auf die Anfrageformulierung).

Nimmt man zusätzlich an, daß Aufgabenmodifikationen im Sinne einer Änderung des ursprünglichen Informationsbedürfnisses bei der Entwicklung von Dialogstrategien im Faktenretrieval häufig im Anschluß an eine (materiell erfolgreiche) Datenrecherche auftreten, so wird die große Bedeutung der Umbruchstelle zwischen Ergebnispräsentation durch das System und erneuter Anfrage deutlich. Diesem Übergang trug die Schnittstellengestaltung bisher kaum Rechnung, typische Faktenretrievalsysteme legen ihre Gestaltung auf den oben dargestellten „Kernzyklus“ der Interaktion aus. Ihre Systemstruktur läßt sich als lineare Abfolge von Dialogschritten auffassen, die mit der Ergebnisdarstellung endet und beim Übergang zur nächsten Anfrage einen konzeptuellen Bruch aufweist. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Werkstoffdatenbankschnittstelle HTM-DB (*high temperature materials database*) des *Wing-IIR* Kooperationspartners *IAM/JRC Petten*, bei der das Schwergewicht auf dem Aufbau einzelner, sehr komplexer Queries mit anschließender visueller Aufbereitung der Ergebnisse liegt, ohne daß aber ein einfacher Überstieg von Ergebnisdarstellung zu neuer Anfrage möglich wäre (OVER et al. 1993).

Die Bruchstelle zwischen Ergebnisdarstellung und Folgeanfrage bietet also einen Ansatzpunkt für das graphische Retrieval: Schon ohne die *Besonderheiten des verwendeten Darstellungsformates* für die Ergebnispräsentation als Voraussetzung des graphischen Retrieval in die Betrachtung einzubeziehen, kristallisiert sich der Übergang von Ergebniswahrnehmung und -interpretation als vielversprechender Ansatzpunkt bei der Gestaltung von Benutzerschnittstellen im Bereich des Faktenretrieval heraus. Für *Wing-Graph* ergeben sich also zwei Ansatzpunkte: Zum einen das Anknüpfen an einer Schwachstelle traditioneller Faktenretrievalsysteme, nämlich dem Übergang von der *postsearch*-Phase zur neuen Ergebnisformulierung, zum anderen die Ausnutzung der Präferenzen der Benutzer, was das Darstellungsformat betrifft. Dabei ist die Möglichkeit, das Retrieval mit genau den Mitteln durchzuführen, die bei der Ergebnisdarstellung bevorzugt werden, das Werkzeug, ein „Ergebnisretrieval“ im eben dargestellten Sinn umzusetzen: Der Benutzer kann die visualisierten Werkstoffkurven als Ergebnisdarstellung manipulieren und zu einer neuen Anfrage verwenden.

2.2 Datencharakteristika und Datenstrukturen als Retrievalsprache

Erlaubt man dem Benutzer, das Ergebnis seiner Recherche für Folgeanfragen zu verwenden, so bedeutet das (unabhängig vom Darstellungsmodus), die graphische Retrievalsprache auf die Struktur der dem System zugrundegelegten Daten hin auszurichten. Dieser Gedanke fußt auf dem Prinzip der *Query-by-Example* (QBE), das zuerst ZLOOF 1977 eingeführt hat. Diesem auf relationale Datenbanken bezogenen

Gestaltungsvorschlag liegt die Vorstellung zugrunde, daß man das tabellarische Datendarstellungsschema als Abfragesprache verwenden kann: In einem QBE-System verwenden die Benutzer die visualisierte Struktur des Ausgabeschemas, um Anfragen zu formulieren. Sie füllen ein leeres Tabellenformular mit den gewünschten Suchbedingungen in den relevanten Spalten der Tabelle und spezifizieren, welche Spalten für die Ergebnisausgabe heranzuziehen sind. Die Bedingungen werden als Anfrage an die Datenbank gestellt und das Ergebnis in Tabellenform (oder anderweitig aufbereitet, je nach Systemfunktionalität) dem Benutzer präsentiert.¹²

Der auch im kommerziellen Datenbankmarkt etablierte QBE-Ansatz für das Faktenretrieval¹³ hat mittlerweile insofern eine Generalisierung erfahren, als bei neueren, sich auf den ursprünglichen *Query-by-Example*-Vorschlag beziehenden Forschungssystemen nicht mehr die Datenbankstruktur im engeren Sinn (also eine Relationentabelle) im Mittelpunkt steht, sondern der Darstellungsmodus, in dem die Daten dem Benutzer präsentiert werden: Schon CHANG & FU 1979 stellen einen Systemprototyp vor, der für das Retrieval digitalisierter Satellitenaufnahmen der Erdoberfläche *zusätzlich* zu einer QBE-basierten Retrievalsprache die Möglichkeit bietet, mit Hilfe von Skizzen und visuellen Operatoren eine Suche in der Datenbasis durchzuführen (*Query-by-Pictorial-Example, QPE*). Sie geben damit dem Benutzer eine Art visuelles Abstract an die Hand, das zur Anfragestellung genutzt werden kann. In diesem System wird damit die visuelle Struktur in abstrahierter Form als Retrievalmedium genutzt und so der ursprüngliche QBE-Ansatz erweitert.¹⁴

Auf dem den verwendeten Daten inhärenten visuellen Darstellungsmodus setzt das *Query-by-Visual-Example-System Art Museum* auf: Mit Hilfe von *pattern matching*-Algorithmen (*adaptive image abstraction & flexible image matching*)¹⁵ können dort visuelle Vorlagen - selbstgezeichnete Skizzen, eingescannte Zeichnungen - zur Recherche nach Landschaftsgemälden in der Bilddatenbank des Systems *Art Museum* genutzt werden. Das System transzendiert damit den ursprünglichen QBE-Ansatz, da es nicht mehr die (technisch vorgegebene) Strukturierung der Datenbank, sondern die exemplarische Beschreibung der Daten selbst im adäquaten Modus ermöglicht. Der Schwerpunkt des experimentellen Systems liegt auf der Modellierung des Matchingvorgangs; die grundsätzliche Frage nach der Anwendbarkeit eigenhändigen Skizzierens wird mit der Globalforderung nach Benutzerfreundlichkeit beantwortet (HIRATA & KATO 1992:57).

Weniger auf die den Daten inhärente Visualisierungsform als auf ein alternatives Visualisierungsmittel für Datenbankstrukturen stellen CATARCI & SANTUCCI 1989 ihren Vorschlag einer *Query-by-Diagram (QBD)* ab: Der Benutzer kann dort gra-

¹² Vgl. die knappe Erörterung (mit Beispielen) bei SALTON & MCGILL 1983:383ff.

¹³ Beispielsweise im Datenbanksystem *Paradox*, cf. LICKLEDER 1990.

¹⁴ Vgl. JOSEPH & CARDENAS 1988, die auf der Basis von *Query-by-Example* die ebenfalls tabellenorientierte Bilddatenbank-Abfragesprache *PICQUERY* vorstellen.

¹⁵ Beschreibung der Retrievalalgorithmen zum Bilderabgleich in HIRATA & KATO 1992; vgl. auch KATO & KURITA 1990.

phische Anfrageprimitive (Ikonenselektion, deiktische Gesten mit der Maus etc.) verwenden, um eine visualisierte Anfrage in Form eines *entity-relationship*-Diagramms (*E-R*-Diagramm) aufzubauen.¹⁶ Die Diagramme dienen gleichzeitig der Strukturdefinition der Datenbasis, also als *data definition language*. Zum Grundgedanken der Strukturvorlage für die *query-by-example* kommt die Verwendung eines speziellen Visualisierungsmittels hinzu; das Problem der Iteration und der Retrievalzyklen wird allerdings nicht erörtert. Die verschiedenen Erweiterungen des *query-by-example*-Ansatzes im Bereich visueller Informationssysteme lassen mehrere Schlußfolgerungen zu:

- a) Der ursprüngliche Gedanke - Tabellen als Datenstruktur zur Abfrage zu nutzen, dem Benutzer so den Aufbau der Datenbank zu vermitteln und ihm die Anfrageformulierung zu erleichtern, hat eine Verallgemeinerung erfahren, die das Paradigma im wesentlichen auf den Vorlagecharakter reduziert und damit eine Vielfalt verschiedener Beispielstrukturen zuläßt.
- b) Eine engere Verbindung von Anfrage- und Präsentationsseite, wie sie in *Wing-Graph* zum Tragen kommt, ist in den geschilderten Systemen nicht vorgesehen, läßt sich aber konzeptuell gut modellieren - etwa als Modifikation recherchierter Bilder im System *Art Museum*.
- c) Bezüglich der empirischen Validierung der erweiterten QBE-Verfahren liegen keine Erkenntnisse vor; in der Regel handelt es sich um experimentelle Systemprototypen, die nicht in einen empirisch abgesicherten Gestaltungsprozeß eingebunden sind. Dem steht eine nur sehr allgemeine Begründung der Verwendung *visueller* Vorlagestrukturen gegenüber.¹⁷

Für den Entwurf graphischer Retrievalfunktionalität in *Wing-Graph* ergeben sich daraus folgende Gestaltungsgesichtspunkte: Grundsätzlich ist offen, ob die den Benutzern angebotenen (Ergebnis-)Vorlagestrukturen den Retrievalprozeß verbessern können; der Wechsel in ein anderes, visuelles Medium bedarf einer empirischen und theoretischen (d.h. kognitionspsychologischen) Begründung. Gleichzeitig ist aber der QBE-Gedanke dem graphischen Retrieval inhärent. Die diskutierten QBE-Varianten führen die Vorgabesituation nicht bis zur naheliegenden Gestaltungsentcheidung weiter, Ergebnis- und Anfragesituation im Interface zusammenzulegen.

¹⁶ Weitere Beispiele zu dieser verbreiteten Visualisierungstechnik unten in Kap. 4.1.1.

¹⁷ Es ist erstaunlich, mit welcher Selbstverständlichkeit etwa CATARCI & SANTUCCI 1989:291 annehmen, daß Relationendiagramme die Suche in Datenbanken *per se* vereinfachen: "The graphic formalism used to represent conceptual schemes makes the execution of typical activities in query formulation easier [...]" Die „Faszination des Graphischen“ bedarf anscheinend weder weiterer theoretischer noch praktischer Begründung. Ähnlich HIRATA & KATO 1992, die sich mit dem Hinweis auf den Allgemeinplatz "A picture is worth a thousand words" als Begründung begnügen. Mit gleicher Selbstverständlichkeit gehen sie davon aus, daß ein Benutzer einen *rough sketch* des gesuchten Bildes als Suchmuster anfertigen kann.

2.3 Einheit von Such- und Displayinterface in Wing-Graph

Die Verwendung von Ergebnissen einer Suchanfrage zu neuer Querydefinition führt zu einer „Janusköpfigkeit“ des graphischen Interfaces: Die visualisierten Informationen können vom Benutzer in doppelter Weise zur weiteren Anfrage genutzt werden, entweder für eine neue Anfrage im „klassischen Modus“ oder direkt für eine graphische Anfrage im Datendisplay; damit wird im Vergleich zu traditionellen Datenbank-schnittstellen ein neuer Gesichtspunkt eingeführt, nämlich die Einheit von Antwort und Folgeanfrage in Display und Interaktion. Gegenüber den typischen QBE-Systemen ist dies eine Erweiterung, da dort im wesentlichen gerade nicht nur ein Beispiel(-datensatz) für neue Anfragen entscheidend ist, sondern die Strukturidentität von Anfrageschema und zugrundegelegtem Datenmodell. Dieser Aspekt ist auch in *Wing-Graph* gültig, wo die graphischen Anfragen entweder die gleiche Struktur wie ein Suchergebnis aufweisen oder sich auf einen Beispieldatensatz beziehen (Ausnahme: abstrakte Suchverfahren, die keinen Bezug zum dargestellten Ergebnis haben).

Darüber hinaus wird auch der *Inhalt* eines Suchergebnisses für neue Recherchen wiederverwertet, der Benutzer kann mit ihm im bevorzugten Modus sofort weiter arbeiten und damit in einen graphischen Retrievalzyklus gelangen. Die Motivation für diesen Gestaltungsansatz liegt in der Annahme einer in traditionellen Systemen vorhandenen *kognitiven Bruchstelle* zwischen Interpretation und Anfrage.

2.3.1 Interpretation und Folgeanfrage - eine kognitive Bruchstelle im Retrievalzyklus

Unter einer kognitiven Bruchstelle im Retrievalzyklus soll jede sich im Verlauf eines Recherchedialogs ergebende zusätzliche mentale Belastung des Benutzers verstanden werden, die auf der Konfrontation mit einem systemseitigen Strukturwechsel beruht. Dem liegt die Annahme zugrunde, daß eine Veränderung systemseitiger Interaktionsbedingungen den Benutzer mit einem jeweils neuen, kognitiv zu bewältigenden Problem konfrontiert. Davon zu unterscheiden ist natürlich ein *benutzerseitiger* Bruch, der etwa aus einem Wechsel der Anfragestrategie erfolgen kann. In dem im Mittelpunkt stehenden Fall eines kognitiven Bruchs durch Strategiewechsel nach Ergebnispräsentation treffen beide Phänomene aufeinander. Die postulierte systemseitige kognitive Bruchstelle zwischen Ergebnisinterpretation kann je nach System und Retrievalart verschiedene Ursachen haben:

a) Große strukturelle Distanz zwischen Ergebnispräsentation und Anfragemodus

Unter der strukturellen Distanz sollen die Unterschiede in Gestaltungsmodus und Darstellung des logischen Aufbaus von Daten (Ergebnissen) und Anfragen verstanden sein. Das gilt im wesentlichen für typische, traditionelle Faktenretrievalsysteme (Datenbankschnittstellen), besonders wenn sie eine formale Abfrage-

schnittstelle verwenden. In diesen Fällen erhält der Benutzer als Ergebnis auf eine Anfrage eine Wertetabelle, die er interpretieren kann - die logische Struktur der Daten folgt aus ihrer räumlichen Anordnung und Kennzeichnung in der Tabelle. Ergibt sich aus der Interpretation der Daten eine Folgeanfrage, so muß die aus der Tabelle extrahierte Information in das Schema der Abfragesprache transformiert werden. Selbst bei stärker auf die Benutzerbedürfnisse zugeschnittenen Interfaces kann dieses Problem in ähnlicher Form auftreten: Bietet schon die Interfacestruktur einen Anhalt zur Umsetzung typischer Probleme, so bleibt dennoch die konzeptuelle Distanz erhalten - der Benutzer muß die Tabelle auswerten und seine Folgefrage in das konzeptuelle Schema des Interfaces einpassen (soweit es den Typus der Folgefrage modelliert).¹⁸

b) Kognitive Bruchstelle bei Strukturgleichheit von Anfrage und Ergebnis

Für (traditionelle) QBE-Systeme macht ein Gedankenspiel die kognitive Bruchstelle deutlich: Verwendete man *lediglich* die strukturelle Identität von Ergebnisdarstellung und Anfragedefinition im Sinne des QBE-Gedankens, so ginge der relationale, auf das Ergebnis bezogene Charakter der Anfragedefinition verloren; wesentliche Anhaltspunkte für vergleichende Fragestellungen wären nicht mehr umsetzbar, da die informationellen Bezugspunkte in Form bereits recherchierter Werkstoffinformationen fehlten. In diesem Kontext wäre eine wesentliche Klasse von Aufgabenstellungen für Werkstoffinformationssysteme (aber nicht nur für diese) bereits erheblich schwerer lösbar und die der visuellen Informationsdarstellung inhärenten Vorteile kaum mehr zu nutzen. Dagegen kämen die Nachteile des graphischen Anfrageprozesses deutlicher zum Tragen: Ohne die Orientierung an gegebenen Daten sind graphische Suchoperationen schwerer zu realisieren, da der Vorlagecharakter von *Daten* (nicht der tabellarischen *Datenstruktur*) als Orientierungshilfe fehlt. Der wesentliche Aspekt in diesem Sinne ist die Trennung von Ergebnis- und Anfragemodus als mental belastendes Element.

Einen Versuch, die Trennung zumindest partiell zu eliminieren, liegt bereits in der auf Formularymetapher und QBE-Gedanken beruhenden Ausgestaltung des Datenblattsuchmodus im Prototyp *Wing-M2* vor: Er verwendet ein- und dieselbe Maske zur Anfragedefinition und Ergebnisanzeige; allerdings ist die Typologie der Suchverfahren, die sich innerhalb dieses Musters abwickeln lassen, beschränkt.¹⁹

c) Moduswechsel zwischen Darstellung und Anfrage

Ein weiterer Gesichtspunkt liegt in dem in „traditionellen Systemen“ auftretenden Moduswechsel zwischen Anfrage und Ergebnis, der die konzeptuelle Di-

¹⁸ Als Beispiel dieser Fallvariante kann die Retrievalschnittstelle *Wing-M1* dienen, s.o. Kap. 1.3.1.3.1.

¹⁹ S.o. Kap. 1.3.1.3.2. Die strukturelle Ähnlichkeit von Datenblattrecherche und *Wing-Graph* ist Grundlage eines Gestaltungsvorschlags, der über die Kernimplementierung von *Wing-Graph* hinaus Datenblattsuche und graphisches Retrieval vereint, s.u. Kap. 8.3.3.

stanz zusätzlich erhöht: Liegt im bei einer Ergebnispräsentation eingeführten Moduswechsel (hier: graphische Informationsdarstellung des Anfrageergebnisses) eine potentiell positive systemseitige Anpassung an die Bedürfnisse des Benutzers, da die graphische Darstellung die Dateninterpretation durch den Benutzer erleichtern kann, so vergrößert sich doch die strukturelle Distanz zwischen Ergebnis- und Anfragemodus. Der Benutzer hat die Daten zwar im gewünschten Format zur Interpretation vorliegen, der Sprung zurück in das Anfragemedium wird aber gerade für vergleichende Fragestellungen um so größer. In einer solchen Konstellation bleibt die Chance ungenutzt, die dem geänderten Darstellungsmodus inhärenten Vorteile für das Retrieval zu operationalisieren, im Beispiel von *Wing-Graph* das visuelle Denken der Werkstoffexperten. Man könnte eine solche Dialogsituation überspitzt so charakterisieren, daß das Systemdesign auf eine (formal und visuell) optimale Ergebnispräsentation ausgerichtet ist, während die Vorzüge genau dieses Moduswechsels durch eine zu enge gestalterische Fixierung auf den linearen Ablauf eines *einzelnen* Anfrage-Ergebnis-Zyklus ungenutzt bleiben oder die Folgeanfrage gar erschweren.

Als Beispiele für diese Problemkonfiguration können Datenbankschnittstellen oder Spreadsheet-Programme dienen, die im Anschluß an eine Recherche die graphische Aufbereitung ermöglichen. Das ist über den Umweg einer File-Schnittstelle in der in-house-Datenbank des Kooperationspartners von *Wing-IIR*, MTU, möglich. Im System *HTM-DB* des *IAM/JRC Petten* ist die Datenvisualisierung über eine *DDE*-Schnittstelle²⁰ in ein externes, mit entsprechenden Makros versehenes Spreadsheet-Programm realisiert. Die Linearität des einzelnen Interaktionszyklus endet trotz optimaler Präsentation in einer Sackgasse.

d) Unterschiede der Abfragemächtigkeit von Retrievalsprachen

Ein weiterer Gesichtspunkt nimmt die Diskussion der logischen Mächtigkeit (Expressivität) der graphischen Anfragetypologie vorweg: Bei gegebener Struktur der Informationsbedürfnisse der Benutzer kann die Übersetzung in konkrete Anfragen in einem graphischen Retrievalsystem auf der anfragelogischen Seite anders aussehen als in einer „traditionellen“ (formalen, GUI-basierten) Schnittstelle: Bei Umsetzung eines bestimmten Suchtyps in eine visuelle Prozedur ergibt sich die Möglichkeit einer wesentlich aufwendigeren Interpretation als in den Fällen, in denen der Benutzer die Anfrage alphanumerisch formulieren muß, was die Übersetzung der Informationsbedürfnisse in Anfragen erleichtern kann.²¹ Auf jeden Fall gibt es ein Potential der Disparität

²⁰ *Dynamic Data Exchange*: Universelles Datenaustauschprotokoll für die Kommunikation mehrerer Anwendungsprogramme unter *MS-Windows*.

²¹ Das Argument ließe sich partiell auflösen, wenn man etwa bei der Interpretation natürlicher Eingaben entsprechendes Systemwissen voraussetzt. Beispiel: Hat ein System hinreichendes Wissen, wie eine Anfrage „Suche Werkstoffe, die einen ähnlichen Kurvenverlauf wie Waspaloy haben“ zu interpretieren ist, so können auch dort derartig vergleichende

zwischen graphischem Retrieval und anderen Schnittstellentypen hinsichtlich der Mächtigkeit der Retrievalsprache und der Form der Anfrageinterpretation.²²

e) Andersartige Informationsbedürfnisse nach Ergebnisinterpretation

Wichtiger noch als die grundsätzliche Disparität der Suchsemantik ist die Einführung gänzlich neuer Suchvarianten durch das graphische Retrieval, die gerade die spezifisch an der Schnittstelle zwischen Ergebnisinterpretation und Suchanfrage möglichen Suchtypen aufgreift: So ist in den in *Wing-IIR* entwickelten Retrievalschnittstellen ein Vergleich von Werkstoffen nur dergestalt möglich, daß die zu vergleichenden Werkstoffe vom Benutzer (evtl. mit weiteren Einschränkungen) angegeben werden, das System die gewünschten Daten zu diesen Werkstoffen recherchiert und als Tabellen ausgibt. Will der Benutzer einen Vergleich so durchführen, daß er, ausgehend von den Daten eines gegebenen Werkstoffes, zusätzliche Daten sucht (d.h. Selektion vergleichbarer/ähnlicher Daten), so kann er nicht direkt auf sie referieren, sondern muß sie in eine neue, nicht auf die Ausgangsrecherche bezogene Anfrage umsetzen (kognitive Bruchstelle). Gerade mit graphischen Suchoperatoren läßt sich der Anfragezyklus vereinfachen, wenn es dem Benutzer möglich ist, in direkter Referenz auf sein recherchiertes Ergebnis (in *Wing-Graph* eine Werkstoffkurve) eine vergleichende Anfrage zu definieren. Das Beispiel der vergleichenden Suche nach Werkstoffen macht deutlich, daß initiale und ergebnisbasierte Informationsbedürfnisse zwei sich überlappende, aber nicht deckungsgleiche Teilmengen innerhalb der mit einem Informationssystem zu lösenden Aufgabenstellungen bilden (vgl. Abb. 7).

Die letzte Beobachtung zeigt, daß die Bruchstelle zwischen Ergebnisbewertung und Anfrage nicht nur grundsätzliche Schwierigkeiten der Recherchefortsetzung in sich birgt, sondern auch Quelle veränderter Anfragebedürfnisse ist: Durch den Übergang in einen neuen Wissenszustand²³ entsteht eine veränderte Voraussetzung zur Fortführung des Retrieval und damit ein Gestaltungspotential für die Retrievalschnittstelle.

Den Zusammenhang von kognitiver Bruchstelle zwischen Ergebnispräsentation und Anfragedefinition und den *follow-up*-Informationsbedürfnissen versucht Abb. 7 zu verdeutlichen: Der Übergang vom ergebnisbasierten Informationsbedürfnis zur

Fragestellungen gelöst werden.

²² Diese Fragestellung ist unter den verschiedenen Gesichtspunkten immer wieder zu diskutieren, vgl. Kap. 3 (empirische Entwicklung einer Suchtypologie), Kap. 5 (kognitive Theorie), Kap. 6 (Implementierung und formale Suchsemantik), Kap. 7 (deren empirische Validierung) und 8 (Erweiterung und Generalisierung).

²³ Im Sinne von BROOKES' informationeller Elementargleichung $W(S) + \delta I = W(S + \delta S)$, die besagt daß neue Information (δI) eine Veränderung des Wissenszustands ($W(S)$) des Benutzers bewirkt ($W(S + \delta S)$), vgl. BROOKES 1980, INGWERSEN 1992:30ff.

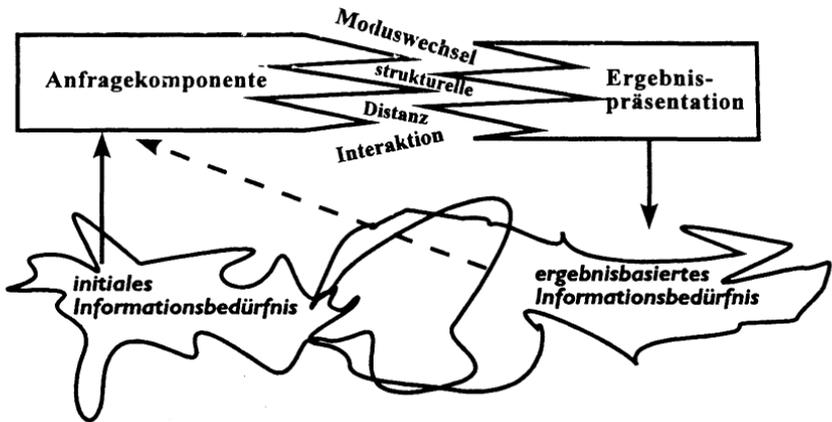


Abbildung 7: Kognitive Bruchstelle zwischen Ergebnisinterpretation und Folgeanfrage

Folgeanfrage ist durch die kognitive Bruchstelle erschwert. Der anfangs noch vage definierte Begriff einer kognitiven Bruchstelle wird durch die verschiedenen Aspekte schärfer gefaßt; eine weitergehende Binnendifferenzierung innerhalb der einzelnen Ursachenbereiche ist möglich. Sie würde allerdings den Rahmen dieser Untersuchung sprengen.

2.3.2 Verminderung der kognitiven Bruchstelle durch einheitliches Interface

Für das graphische Ergebnisretrieval kann man aus den genannten Aspekten die Hypothese ableiten, daß sich durch die Vereinheitlichung und Zusammenlegung von Ergebnis- und Anfragedisplay die typischen Probleme beim Übergang von der Ergebnisinterpretation zur Anfragedefinition mindern oder beseitigen lassen. Zwei Gesichtspunkte treffen zusammen: Die Strukturidentität von Anfrage und Ergebnis bei simultaner Präsentation sowie die Wahl des gewünschten Darstellungsmodus für die Recherche.

Ein einfaches Beispiel aus dem Anwendungsbereich Werkstoffinformation mag das verdeutlichen: Der Benutzer weiß, daß er für eine bestimmte Aufgabenstellung („Konstruktion einer Verdichterscheibe“) den Werkstoff *Waspaloy* verwenden kann und möchte sich deshalb die Meßdaten eines Zeitstandsversuchs ansehen. Diese Erstanfrage stellt er an das System und erhält als Ausgabe die gewünschten Meßwerte als Werkstoffkurve angezeigt. An dieser Stelle mag es für den Werkstoffachmann interessant sein, im hohen Temperaturbereich bis 800° C festzustellen, welche anderen Werkstoffe dort einen ähnlichen Kurvenverlauf und daher ein ähnliches physikalisches Verhalten aufweisen. Zu diesem Zeitpunkt kommt das graphische Ergebnisretrieval ins Spiel: Auf der Grundlage eines Suchergebnisses entsteht eine

Folgefrage, die sich unmittelbar auf die gegebenen Daten bezieht. Das Konzept der Einheit von Ergebnisanzeige und Folgerecherche ermöglicht dem Benutzer, die Kurve zu modifizieren bzw. mit visuellen Operatoren auf sie bezugnehmend seine Folgeanfrage zu definieren, ohne deshalb wieder in einen strukturell anderen Modus wechseln zu müssen. Im Idealfall ist ein zyklischer Prozeß eröffnet, innerhalb dessen der Benutzer beliebig viele Folgeanfragen stellen kann, ohne das einheitliche Interface verlassen zu müssen.

Konkret bedeutet das eine partielle Abstraktion von der Erstanfragesituation: Die Erörterung der kognitiven Bruchstelle im Übergang zu Folgeanfragen läßt ein hohes Optimierungspotential erkennen, das es rechtfertigt, *follow-up*-Recherchen in den Mittelpunkt der Systemgestaltung zu stellen. Damit sind initiale Anfragen (Erst Recherchen) zwar nicht prinzipiell ausgegrenzt, gehören aber nicht zum Kern des graphischen Retrieval. Gleichzeitig erlaubt dies für ein in den Kontext eines größeren System einzugliederndes Recherchemodul wie *Wing-Graph* die Abstraktion von der Gesamtkomplexität der Datenbank, d.h. das Systemdesign läßt sich auf diejenigen Datentypen und Frageformen einschränken, die für ein solches Ergebnisretrieval besonders sinnvoll erscheinen.

Zunächst noch offen ist allerdings, wie die Anfragetypologie als Strukturierung von Informationsbedürfnissen in geeignete graphische Operatoren zu überführen ist und wie deren Suchsemantik gestaltet werden sollte. Erst die konkrete Untersuchung der Anwendungsdomäne und die Gegebenheiten der visuellen Kognition erlauben diesbezüglich Hypothesen, auf deren Basis ein Gestaltungsentwurf für Interface und Interaktionstechniken möglich ist.

2.3.3 Grenzen des Ansatzes

Die partielle Komplexitätsreduktion des Suchraumes als Beschränkung der Leistungsfähigkeit eines graphischen Retrievalsystems ist bereits angeführt worden: Neben der notwendigen Ausklammerung ganzer Daten- und Anfragearten - nach textuellen Daten ist kein unmittelbares graphisches Retrieval im Sinne von *Wing-Graph* möglich²⁴ - kommt der Komplexitätscharakter der Meßdaten hinzu: Wo eine Anfrage durch sehr viele Parameter zu konkretisieren ist, die nicht direkt ihren Niederschlag im visuellen Display finden, dessen Ausprägung aber determinieren, nimmt die Bedeutung der graphischen Interaktion (nicht unbedingt der Einheit von Ergebnis- und Suchdisplay) ab, da sie nicht mehr den wesentlichen Teil der Anfragedefinition ausmacht. Das bedeutet anders herum gesehen, daß sich das graphische Retrieval auf

²⁴ D.h. graphisches Retrieval im Sinne von *Wing-Graph* ist durch Visualisierung in einer datenadäquaten und typischen Darstellungsform legitimiert; in anderen visuellen Informationssystemen ist die Visualisierung oder graphische Strukturierung von Daten (auch Texten) und Interface ein stärker akzessorischer und nicht ursprünglich den Daten inhärenter Aspekt, weswegen graphische Retrievalsysteme für die *Dokumentrecherche* verstärkt auf *visuelle Metaphern* zurückgreifen, s.u. Kap. 4.1.4.



Abbildung 8: Schema des graphischen Retrievalzyklus in Wing-Graph

die visuell darstellbaren Anfrageparameter beschränken soll und muß, um es als „reine Interaktionsform“ untersuchen und sein Innovationspotential abschätzen zu können. Mit steigender Komplexität zugrunde gelegter Datenstrukturen schränken sich die Anwendungsmöglichkeiten des graphischen Ergebnisretrieval ein.²⁵

Es kommt erschwerend hinzu, daß die geforderte Einbindung in ein multimodales Systemkonzept, die eingangs als Legitimation für die Funktionalitätsreduktion genannt wurde, auf die Systeminterpretation der Benutzer zurückwirken kann: Insofern ist offen, wie sich die Interpretation von Suchsemantik und Anfragetypologie der Benutzer bei verschiedenen Möglichkeiten der Recherche (z.B. in einem Formularmodus, natürlichsprachlich oder mit graphischem Retrieval) eben durch die multimodale Wechselwirkung ändert.²⁶

Neben die strukturellen Aspekte tritt das benutzerbezogene Problem der Vermittelbarkeit der Zusammenlegung von Ergebnis und Suche - die in *Wing-Graph* realisierte strukturelle und inhaltliche Einheit von Anfrage- und Ergebnisdarstellung kann zu Problemen führen, wenn die Trennung zwischen beiden Ebenen nicht ausreichend deutlich wird. Im Vorgriff auf die Testergebnisse zu *Wing-Graph* sei die Beobachtung genannt, daß es einigen Versuchspersonen schwer fiel, das Konzept „Werkstoffkurve als Suchhypothese zeichnen“ zu verstehen, da sie sich den Sinn eines solchen Vorgehens aufgrund der Einheit von Ergebnis- und Suchdisplay nicht sofort klarmachen konnten.

²⁵ Beispielsweise bei den extrem hochparametrischen Meßdaten der *HTM-DB*-Anwendung des IAM/JRC Petten.

²⁶ Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden und verbleibt weiteren modusvergleichenden Studien unter Einbeziehung des graphischen Retrieval vorbehalten.

2.4 Fazit

Aus der Struktur des traditionell linear ausgerichteten Retrievalablaufs in Faktendatenbanken und seiner Folgen für die Systemgestaltung konnte eine kognitive Bruchstelle zwischen Ergebnisinterpretation und Folgeanfragendefinition abgeleitet werden. Sie ist durch ein Bündel von Kriterien definiert, die sich durch den Ansatz zu einem zyklischen, graphischen Ergebnisretrieval in ihren negativen Auswirkungen abschwächen lassen sollen. Das Ziel ist eine Systemgestaltung, die dem Benutzer eine ergebnisbasierte Anfragefortführung ohne Strukturbruch erlaubt.

Die Anwendung dieses Gedankens im graphischen Retrieval ist vielversprechend, da dort neben der typischen strukturellen Distanz zwischen Ergebnis und Anfrage noch das Problem des Moduswechsels hinzukommt. Sie kann ein graphisches Retrievalsystem minimieren helfen. Abb. 8 zeigt abschließend eine schematische Darstellung der Einheit von Such- und Displayinterface im Kontext von ergebnisbasierten Informationsbedürfnissen.

3 Anwendungsdomäne

Werkstoffdatenbanken

Die Erörterung des wissenschaftlichen Kontextes von *Wing-Graph* hat einige Charakteristika der Anwendungsdomäne Werkstoffinformation bereits deutlich gemacht; der Blick auf den state-of-the-art von Werkstoffinformationssystemen und deren Benutzerschnittstellen soll aufzeigen, inwiefern eine visuelle Retrieval-schnittstelle sinnvolle Ergänzung der Systemfunktionalität sein kann. Dies ist anschließend mit der Diskussion der *Wing-Graph* zugrundegelegten Datenbasis und der auf visualisierte Informationsdarstellungen bezogenen Problemstellungen ihrer Benutzer für den Entwurf einer graphischen Retrievalkomponente zu konkretisieren. Die folgenden Parameter sind für die Entwicklung eines visuellen Retrievalhilfsmittels von Bedeutung:

- Struktur und Inhalt der Datenbasis
- Datengrundlage für das graphische Retrieval
- Bedeutung visualisierter Informationsdarstellungen für die Recherche nach Werkstoffdaten
- typische Fragestellungen der Datenbankbenutzer an graphische Informationsdarstellungen.

3.1 Werkstoffdatenbanksysteme

Vor Darstellung und Analyse des Anwendungskontextes von *Wing-Graph* ist an erster Stelle die allgemeine Bezugsebene zur Werkstoffwissenschaft bzw. deren informationssystembezogener Forschung relevant. Für eine solche „spezielle Informatik“¹ („Werkstoffdatenbank-Informatik“) gelten die Partikularitäten des Anwendungsbezugs: Zum einen prägen sachbezogene Charakteristika die Erkenntnisinteressen und Designentscheidungen, zum anderen muß man von einer wesentlichen Verzögerung bei der Übernahme neuer Strukturprinzipien und Arbeitsfelder aus der Kerninformatik ausgehen (Systemstrukturen, Datenmodelle, Schnittstellengestaltung etc.). Eine Einschränkung bezüglich der Klasse der betrachteten Systeme ist notwendig: Für den Werkstoffinformationsbereich existiert eine Reihe von *on-line*-Datenbanken mit bibliographischer Information zu werkstoffkundlicher Fachliteratur (MÜLLER-

¹ STEINMÜLLER 1993:64 unterscheidet zwischen der angewandten Informatik als allgemeiner Schnittstelle zwischen Informatik und Fachwissenschaft einerseits und den einzelnen „speziellen Informatiken“ (z.B. Rechts-, Wirtschafts- Medizininformatik etc.) andererseits.

LORENTZ 1988). Sie fallen aus dem gewählten Untersuchungsrahmen, da sie nicht dem Faktenretrieval, sondern dem Dokumentretrieval zuzuordnen sind. Betrachtungsgegenstand sind demnach solche Werkstoffinformationssysteme, die einen direkten Zugang zu Werkstoffdaten erlauben und ihn nicht lediglich vermitteln, d.h. Faktendatenbanken.² Dieser Typus von Informationssystemen hat sich aus den Werkstoffhandbüchern als klassischem Medium der Werkstoffinformation entwickelt (WESTBROOK & RUMBLE 1983:107f.). Geht man von den in einem Werkstoffinformationssystem modellierten Daten und ihren Eigentümlichkeiten aus, so lassen sich solche Systeme nach drei Kriterien unterscheiden (HOSSAIN & BARRY 1992:6, bes. Tab. 3):

a) Sozioökonomische Zuordnung:

- *In-house*-Datenbanken materialverarbeitender Betriebe, die zur Verwaltung eigener Datenbestände genutzt werden
- Systeme kommerzieller Datenbankanbieter (*on-line*-Faktendatenbanken), die allgemein zugänglich sind
- Informationssysteme von Werkstoffproduzenten, die der Information über die Produktpalette und damit zur Vermarktung dienen
- Experimentelle Forschungssysteme

b) Herkunft und Art der dokumentierten Daten:

- Informationeller Status der Daten: Normdaten und Sollwerte, in eigenen Testreihen erhobene Werte (Istwerte), Literaturdaten
- Detailliertheitsgrad der Daten (Abspeicherung umfangreicher Meßdaten vs. Überblicksinformation)
- Aufbereitungsverfahren (Interpolation, Berechnung aufgrund von Werkstoffmodellen etc.)

c) Verfügbare informationelle Zugangspfade des Systems (d.h. die in der Systemstruktur implizit repräsentierten Informationsbedürfnisse der Benutzer)

- Werkstoffauswahl durch Eigenschaftsspezifikation oder Normvergleich
- Retrieval von Information aller Art zu bekannten Werkstoffen (Handbuchcharakter)

Unter diesen Klassifikationsmerkmalen spielen die sich aus der inhaltlichen Struktur der Daten ergebenden Gestaltungsprobleme eine herausragende Rolle. MCCARTHY 1989:136 nennt die wichtigsten Faktoren:

- Data Structure Complexity
- Naming and Measurement Units,
- Summary and Abstraction levels,
- Sparse and Diverse Data, and
- Distributed Data Base Issues.

² Einen Überblick über das internationale Angebot an Werkstoffdatenbanken geben WESTBROOK & RUMBLE 1983:93-99 und BÜTTNER 1988.

Das an erster Stelle genannte Charakteristikum ist sicherlich das auffälligste:

Materials data have various peculiarities, for example, a single property of an engineering alloy determined by a typical material test can be shown to be influenced by several hundred parameters [...] (KRÖCKEL & STEVEN 1989:65).

Dabei besteht eine enge Wechselwirkung zwischen Datenstruktur, Datenbankinhalt und Retrievalproblematik: Je stärker Werkstoffeigenschaften parametrisiert sind, um so aufwendiger und kostenintensiver gestalten sich in der Regel die Testverfahren, und die Zahl der erfaßten Werkstoffe sinkt. Daraus resultiert dann wiederum ein geändertes Anfragebedürfnis: Eine große Zahl weniger stark parametrisiert erfaßter Werkstoffe bedingt eher ein Werkstoffselektionsproblem, Werkstoffinformationssysteme mit einer geringen, aber um so detaillierter gemessenen Werkstoffgrundlage haben einen stärker handbuchartigen, an der Funktion eines Nachschlagewerkes orientierten Charakter.

Die von MCCARTHY erörterten Problemfelder haben mit Ausnahme des letzten Punkts alle auch Gestaltungsentscheidungen der Systemprototypen von *Wing-IIR* beeinflußt, beispielsweise bei der Abbildung von Werkstoffbezeichnerkategorien („Umschlüsselung“), der Modellierung von Information verschiedenen Detaillierungsgrades oder der Gestaltung von Dialogkomponenten für hochparametrische Kenngrößen. Die stark differenzierten informationellen Strukturen machen schon *ex ante* Grenzen des graphischen Retrieval deutlich: Bei hochparametrischen Daten lassen sich jeweils nur ausgewählte Aspekte (Sichtweisen auf die Daten) visualisieren und für den graphischen Retrievalmodus nutzen. In *Wing-Graph* mit dem Anwendungsfall der MTU-Datenbank (s.u.) liegt der Schwerpunkt der Visualisierung auf Kenngrößen mit einfacherer Datenstruktur. Wie schon angedeutet, kann die Einbettung des graphischen Retrievalsystems *Wing-Graph* in ein multimodales Gesamtsystem, das auch den Zugang zu hochkomplexen Daten modelliert, verhindern, daß so eine unzulässige Komplexitätsreduktion entsteht.

Über die inhaltlich motivierten Gestaltungsaspekte hinaus ist frühzeitig die Notwendigkeit eines benutzeradäquaten Systementwurfs und einer Anpassung der Benutzerschnittstelle an die spezifischen Gegebenheiten der Anwendungsdomäne erkannt worden:³ KAUFMAN 1991:104 setzt "Making the search and retrieval system very easy to use" an die Spitze seiner Prioritätenliste für die Gestaltung von Werkstoffdatenbanken. Der Schwerpunkt der wissenschaftlichen Bemühungen lag und liegt ungeachtet dieser Erkenntnis auch im Kontext der intensiven internationalen Kooperationen⁴ weniger auf dem Aspekt der Gestaltung des Mensch-Maschine-

³ Vgl. schon WESTBROOK & RUMBLE 1983:49-53, wo allerdings die zeitbedingte Verhaftung in den damaligen technischen Möglichkeiten hinsichtlich der Interfacegestaltung deutlich wird.

⁴ *VAMAS* (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) Technical Working Area 10: Materials Data Banks, cf. REYNARD 1989, die verschiedenen CODATA-Aktivitäten (Commission on Data for Science and Technology, International Council of Scientific Un-

Dialogs denn auf Problemen der Datenmodellierung,⁵ ihrer Standardisierung bzw. Normierung (REYNARD 1992) und der Erschließung neuer Inhalte für Werkstoffdatenbanken.⁶

Immerhin ist auf dem Gebiet der Schnittstellengestaltung in den letzten Jahren eine Tendenz zur Integration neuerer Design- und Interaktionsparadigmen zu beobachten: So ist die auf einer sehr fein differenzierten Datenstruktur weitgehend anwendungsunabhängig modellierte Datenbankschnittstelle des *Institute for Advanced Materials* am *Joint Research Centre* der EU in Petten (*IAM/JRC*) in eine graphische Benutzerschnittstelle eingebettet.⁷ Ihr ist insofern eine Vorreiterrolle zuzusprechen, als - trotz aus der hohen Datenkomplexität und der damit verbundenen tiefen Verzweigung der Interaktion bei der Anfrageparametrisierung folgender Schwächen des Interfaces - die Grundforderung nach einer Verbesserung der Schnittstellengestaltung bereits umgesetzt wurde. Sonst weisen die verfügbaren kommerziellen⁸ wie experimentellen Werkstoffinformationssysteme in der Regel eine erhebliche Distanz zum *state-of-the-art* der Gestaltung von Benutzeroberflächen auf; eine Vielzahl von Designparadigmen konkurriert miteinander, ohne aber eine eindeutige Ausrichtung erkennen zu lassen. Es ist zu vermuten, daß in den kommenden Jahren eine Reihe weiterer Werkstoffdatenbanken vom verbreiteten *on-line*-Zugang über formale Abfragesprachen in *client-server*-Architekturen überführt werden, die dem Benutzer jeweils eine software-ergonomisch günstigere Zugangsumgebung zur Verfügung stellen.

Es ist für *Wing-Graph* von Bedeutung, daß die Informationsvisualisierung durch graphische Darstellungen einen Schwerpunkt in der (jüngeren) Forschung zu Werkstoffdatenbanken und deren funktionaler Ausgestaltung darstellt. KAUFMAN zählt "providing adequate graphics capabilities to the user" (KAUFMAN 1991:194) zu den wichtigsten Herausforderungen an die Systementwicklung. Zahlreiche Forschungsprojekte haben sich mit der Erfassung und Speicherung visualisierter Werkstoffdaten (GRATTIDGE et al. 1987, SCHENCK & DENNIS 1989) sowie der Berechnung und Darstellung verschiedener Diagrammformen (insbesondere Phasen-

ions), vgl. BARRETT 1989, sowie die im Rahmen der EU koordinierten europäischen Entwicklungen, vgl. KRÖCKEL & STEVENS 1987, 1989.

⁵ SARGENT 1991, SARGENT et al. 1992. Ein erstes Beispiel für eine objekt-orientierte Datenmodellierung auf der Basis einer inhaltlichen Hierarchie von Kunststoffklassen geben DEMAID, OGDEN & ZUCKER 1992 (bes. 462-467 und Abb. 2-8). Ein solcher Ansatz ist prinzipiell auch in *Wing-IIR* relevant (Nachteile des *relationalen* Modells bei inhaltlich bedingten hierarchischen Datenstrukturen), vgl. ROPPEL 1993A.

⁶ Vgl. zahlreiche Beiträge in GLAESER 1987, GLAZMAN & RUMBLE 1989, DOYAMA et al. 1991, KAUFMAN & GLAZMAN 1991, BARRY & REYNARD 1992. Diese Sammelbände bieten einen umfassenden Überblick über die derzeitigen Entwicklungen auf dem Werkstoffdatenbanksektor.

⁷ Einen Überblick (mit Beispielen zur Gestaltung des Interface) geben OVER et al. 1993.

⁸ Vgl. die software-ergonomische Bewertung kommerziell verfügbarer Werkstoffdatenbanksysteme in der Übersicht von LUDWIG 1993.

diagramme) befaßt (SANCHEZ, BECKER & CARLSSON 1991, SUNDMAN 1991). Damit bestätigt sich die bei der Analyse des Anwendungskontextes (s.u.) gewonnene Einsicht in die herausragende Bedeutung der Informationsvisualisierung.

Über die zentralen Aspekte der Gestaltung und funktionalen Differenzierung von Werkstoffinformationssystemen hinaus existieren mittlerweile eine Reihe experimenteller Systeme, die eine hybride Erweiterung durch wissensbasierte Zusatzkomponenten⁹ wie Expertensystemen (IWATA 1989, BALKWILL 1991, ANDERSON 1992), neuronalen Netzen (XU, ROCK & JONES 1991) oder *fuzzy logic*-Komponenten (HIRANO 1991) thematisieren. Sie machen zwar ebenfalls deutlich, wie neuere Entwicklungen der Informationstechnologie und KI in eine „spezielle Informatik“ hinüberdiffundieren, betreffen die Modellierung einer graphischen Retrievalkomponente aber nur unter dem Gesichtspunkt einer wissensbasierten Optimierung.

Aus der globalen Bewertung der Werkstoffdatenbankentwicklung lassen sich über die geforderte Einbindung graphischer Aufbereitungsmechanismen hinaus keine konkreten Designhinweise für das graphische Retrieval selbst ableiten. Man kann aber festhalten, daß die Visualisierung von Fakteninformation eine typische Funktionalitätskomponente von Werkstoffinformationssystemen ist und daher einen Ansatzpunkt für die visuelle Datenverarbeitung in Form des graphischen Retrieval bietet. Auf welcher materiellen Grundlage Informationsbedürfnisse der Werkstoffexperten mittels visueller Informationrepräsentationen in der Mensch-Maschine-Schnittstelle befriedigt werden können, ist nun durch die Vorstellung der Anwendungsdomäne für *Wing-Graph* und der Erfahrungen und Vorstellungen ihrer Benutzer bezüglich graphischer Datenaufbereitung zu klären.

3.2 Anwendungsfall MTU

Die in Kap. 1 geschilderten methodischen Prämissen - Ausschöpfen externer Wissensquellen zur fachlichen Beratung, empirisch basiertes *rapid prototyping* - machen für ein sich an den Gegebenheiten einer spezifischen Anwendungsdomäne orientierendes Projekt eine intensive Kooperation mit Fachleuten des Anwendungsgebietes notwendig. Im Fall von *Wing-IIR* handelt sich dabei um die Motoren- und Turbinen Union GmbH, München (MTU). Die MTU ist einer der führenden deutschen Produzenten von Flugzeugturbinen und schweren Dieselmotoren. Die mit *Wing-IIR* kooperierende Werkstoffentwicklungs- und Datenbankabteilung befaßt sich vornehmlich mit der Entwicklung, Prüfung und Datenhaltung von Hochtem-

⁹ Vgl. VANCOILLE et al. 1992:296, die den zur Standard-Datenbankfunktionalität komplementären Aspekt der ergänzenden Verwendung wissensbasierter Techniken betonen.

peraturwerkstoffen (hochwarmfeste Stähle, Nickelbasis- und Titanlegierungen) für den Flugzeugturbinenbau.

Für die Auswahl des Kooperationspartners waren die folgenden Gesichtspunkte wesentlich:¹⁰

- a) Der Anwendungspartner mußte bereits über eine Datenbankapplikation verfügen, die als Grundlage der Forschungsprototypen von *Wing-IIR* dienen konnte. Beim Kooperationspartner MTU ist eine Werkstoffdatenbank implementiert, die als hierarchisch strukturierte Mainframe-Anwendung realisiert ist und mit der etwa 50 Benutzer (Werkstoffwissenschaftler und Maschinenbauingenieure) arbeiten.
- b) Der Kooperationspartner muß die Möglichkeit bieten, einerseits empirische Untersuchungen der verschiedenen in *Wing-IIR* entwickelten Systemprototypen durchzuführen, andererseits bei der Entwicklung der Systeme das benötigte Expertenwissen nutzen zu können. Letzteres war für *Wing-Graph* eine essentielle Voraussetzung, da in vielen Einzelfragen der Gestaltung schon im Vorfeld der Systementwicklung eine intensive Konsultation mit den Werkstoffachtleuten des Kooperationspartners notwendig war.
- c) Im Arbeitsbereich muß eine Mindestbandbreite sachbezogener Fragestellungen auftreten, die sowohl für die Gestaltung der konkreten Datenbankschnittstelle als auch für die Anwendungsdomäne Werkstoffinformation im allgemeinen relevant sind (Generalisierungsaspekt). Da an der empirischen Überprüfung von *Wing-Graph* Werkstoffexperten aus verschiedenen Arbeitsgebieten und mit heterogenen Informationsbedürfnissen teilnahmen, ließ sich diese Forderung erfüllen.

Der zweite Kooperationspartner von *Wing-IIR*, das *IAM-JRC* in Petten, beteiligte sich erst zu einem späteren Zeitpunkt (Herbst 1992) am Projekt. Seine Datenbank-anwendung (die *high temperature materials database*, HTM-DB, OVER et al. 1993) konnte daher für die Kernimplementierung von *Wing-Graph* keine Rolle mehr spielen; die anhand dieses zweiten Anwendungsgebietes gewonnenen Erkenntnisse zur Aufgabentypologie sind unter dem Gesichtspunkt der Erweiterung und Generalisierung von *Wing-Graph* innerhalb der Anwendungsdomäne Werkstoffinformation von Bedeutung.

3.2.1 Datenbankanwendung und Datenmodell des Anwendungsgebietes

Das Datenbanksystem der MTU ist als Mainframe-Anwendung unter Verwendung des relationalen Datenbanksystems DB2 implementiert. Sie enthält Tabellen¹¹ zu

¹⁰ Näheres zum Anwendungspartner MTU in WOMSER-HACKER 1990 und 1992.

¹¹ Angabe von Spaltenbezeichnungen der Datenbanktabellen in Versalien - sie sollen das Ver-

a) Werkstoffbezeichnungen und Synonymrelationen zwischen verschiedenen Bezeichnerklassen:

- Werkstoffsprechbezeichnung: SPRCH und
- (Werkstoff-)Aliassprechbezeichnung: ASPRCH sowie
- Werkstoffspezifikationen: SPZFK und
- (Werkstoff-)Aliasspezifikationen: ALSPZ.

Die Abbildung der verschiedenen Bezeichnerklassen aufeinander („Um-schlüsselung“) ist bei der Gestaltung der verschiedenen Systemprototypen von *Wing-IIR* wichtig, da ihr Verständnis Voraussetzung für den korrekten Zugriff auf verschiedene Arten von Meßdaten ist, aber den Benutzern, die in der Regel mit den Details der Daten- und Bezeichnerzuordnung nicht vertraut sind, große Probleme bereitet.¹² Für die Gestaltung von *Wing-Graph* wurde vom Problem der Bezeichnerabbildung abstrahiert, da die Kernimplementierung von *Wing-Graph* ausschließlich auf detaillierten Meßdaten fußt, die über die Bezeichnungskategorie *Werkstoffspezifikation* eindeutig ansprechbar sind, d.h. *Wing-Graph* verwendet nur eine Bezeichnerkategorie,¹³

- b) Daten über Spezifika der Meßwertreihen („Ausprägungen“ (ASPRG)) zu Werkstoffspezifikationen bezüglich verschiedener Kenngrößen. Die wenigen Mehrfachbelegungen einer Werkstoffspezifikation mit unterschiedlichen Ausprägungsdaten (Wärmebehandlungsart: WRMBH, Form und Halbzeug: FRMHZ etc.) konnten ebenfalls für *Wing-Graph* vernachlässigt werden,
- c) den eigentlichen Meßwertreihen als Kern der Datenbasis: 19 verschiedene Meßgrößen, „Kennwerte“, gegliedert in 6 verschiedene Gruppen, den sog. Kennwertarten (KNW1n - KNW6n). Die Kennwerte bilden die materielle Grundlage für *Wing-Graph* und werden im folgenden Abschnitt näher dargestellt,
- d) der chemischen Zusammensetzung der Werkstoffe - in der Kernimplementierung von *Wing-Graph* nicht behandelt,
- e) Textinformation über die Meßwertreihen (TEXTE) und zu
- f) Überblicksinformationen bezüglich verschiedener Werkstoffeigenschaften in einem Datenblatt.¹⁴

ständnis der in Anhang 10.6 wiedergegebenen SQL-Beispielstatements erleichtern helfen.

¹² Zuordnungsschema der Bezeichnerklassen und Diskussion der Probleme der Benutzer bei MARX 1992:3-7.

¹³ Ein Beispiel für die Komplexitätsreduktion in *Wing-Graph*; die entsprechende Funktionalität für die Abbildung der Bezeichnerklassen ist durch das Werkzeugobjekt *Werkstoffliste* in *Wing-M2* abgedeckt.

¹⁴ Diese Tabelle ist zuerst für die Systemprototypen von *Wing-IIR* eingeführt worden und beruht auf einem Strukturvorschlag der MTU (Datenmodell und Daten). Sie hat in der *in-house*-Datenbank der MTU kein Pendant. Vorschläge zur Integration des graphischen

In *Wing-IIR* wurde auf verschiedenen Datenbankgrundlagen (Paradox, Oracle, SQLBase) ein strukturidentisches Abbild der MTU-Datenbank mit der zusätzlichen Erweiterung um das Datenblatt aufgebaut. Dabei stellen die Daten allerdings lediglich ein - mit etwa 4MB Umfang immerhin relativ großes - *subset* der MTU-Anwendung dar. Die einzelnen Datensätze sind unterschiedlich umfangreich und können sowohl Einzeldaten (z.B. einen Beschreibungstext) als auch ausführliche Meßreihen (z.B. eine Spannungs-Dehnungs-Kurve eines Werkstoffs) enthalten. Aus naheliegenden Gründen standen nur die allgemein zugänglichen Teile der Daten (*public data*) zur Verfügung,¹⁵ d.h. Prospektdaten von Werkstoffproduzenten ebenso wie Normdaten (deutsche und internationale Luftfahrtnormen, die z.T. ebenfalls als Meßwertreihen vorliegen). Grundsätzlich ist bei den Prospektdaten davon auszugehen, daß es sich nicht direkt um die im Versuch gemessenen Rohdaten handelt, sondern bereits um mit statistischen Verfahren aufbereitete Werte, die im folgenden der Einfachheit halber dennoch als „Meßwerte“ bezeichnet werden sollen.¹⁶ Den logischen Zusammenhang der verschiedenen Tabellen der Datenbank zeigt Abb. 9.

Strukturell und inhaltlich weist das Anwendungsbeispiel MTU typische Merkmale von Werkstoffinformationssystemen auf: Die Datenbankanwendung enthält Kennwerte unterschiedlich stark ausdifferenzierter Struktur (s.u.), die Daten setzen sich sowohl aus Meßdaten als auch aus Norm-Sollwerten zusammen und die in der MTU-Anwendung modellierten Zugangsformen lassen noch deutliche Bezüge zu textuellen Informationsmedien erkennen (Werkstoffdatenhandbuch auf EDV-Basis, Mittel zur Datenarchivierung). Nicht wenige Werkstoffdatenbanken sind unmittelbar aus umfangreichen gedruckten Handbüchern hervorgegangen oder als Shell zur Einbindung von Handbuchdaten-Korpora konzipiert.¹⁷ Das trifft teilweise auch für die MTU-Datenbank zu, die eher als rechnergestütztes Ablagesystem für Meßwerte denn als Recherchemedium angelegt ist.

Wie das Schema von Datenstruktur und Zugriffsweg zeigt, ermöglicht die Datenbankanwendung der MTU dem Benutzer trotz des flexiblen relationalen Datenmodells lediglich einen hierarchischen Zugang zu den Daten. Er erfolgt immer über die Auswahl eines Werkstoffes bzw. einer Werkstoffspezifikation, für die in weiteren Schritten der gewünschte Kennwert und die Ausprägung (d.h. die Meßreihe) der Werkstoffspezifikation zu diesem Kennwert selektiert werden müssen, bevor das

Retrievals in die Recherchemöglichkeiten auf der Ebene der Überblicksinformation enthält Kap. 8.3.3.

¹⁵ Aufgrund der sehr aufwendigen und langwierigen Meßverfahren (im Extremfall bis zu 100 000 (!) Stunden Dauer) ist die Erhebung mancher Daten extrem kostenintensiv; derartige, von der MTU selbst gewonnene Meßreihen, sind in *Wing-IIR* nicht verfügbar.

¹⁶ Bei den Prospektdaten ist aufgrund in der Datenbank fehlender Information über ihr Zustandekommen bzw. ihre Validierung keine exakte Angabe zum zugrunde gelegten Bewertungsmodell möglich.

¹⁷ Beispielsweise das kommerzielle Werkstoffinformationssystem *M/Vision*, vgl. LUDWIG 1993:17-19. Die Probleme der Übertragung komplexer multimedialer Datenstrukturen solcher Werkstoffhandbücher diskutieren GRATTIDGE, LUND & WESTBROOK 1992.

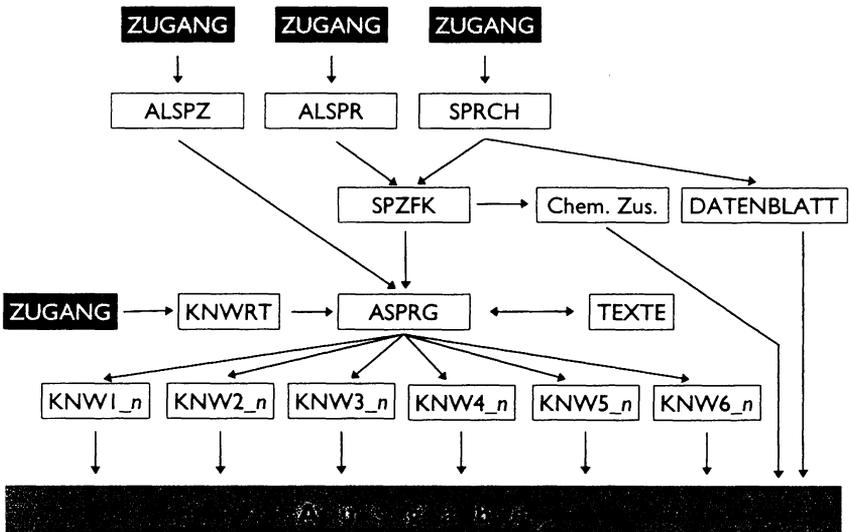


Abbildung 9: Aufbau und hierarchisches Zugriffsschema des MTU-Datenbankzugangs

System die Meßdaten anzeigt. Die Datenbankschnittstelle der MTU enthält keine Funktionen zur Visualisierung recherchierter Meßwertreihen. Über eine File-Schnittstelle kann der Benutzer die Daten mit Statistik- und Graphikprogrammen zur Darstellung bringen (reine Displayfunktion). Die Benutzeroberfläche ist als zeichenorientierte Maskenfolge gestaltet, deren Bedienung über Funktionstasten zu steuern ist.

3.2.2 Auswahl der Datenbasis für Wing-Graph

Im folgenden werden die verschiedenen Kennwerttabellen der MTU-Datenbank in Hinblick auf ihre Eignung zur Verwendung in einer visualisierten Informationsdarstellung untersucht und die (Unter-)Auswahl der Meßwerttypen für *Wing-Graph* begründet. Tab. 1 zeigt im Zusammenhang die verschiedenen Kennwerttabellen und deren Belegung im in *Wing-IIR* verwendeten Ausschnitt der MTU-Datenbank. In der Übersicht werden die inhaltliche Gruppierung der einzelnen Werkstoffkennwerte, ihre Randparameter und Belegung in der MTU-Datenbank deutlich, soweit sie für *Wing-IIR* als Subset zur Verfügung stand. Bei schwach belegten Kennwerten sind zusätzlich die Namen der Werkstoffspezifikationen angeführt, für die Messungen vorliegen.

Eine Displaykomponente zur graphischen Darstellung von Meßwertreihen ist grundsätzlich unabhängig vom Belegungsumfang der Datenbasis; für die Implementierung eines graphischen Retrievalverfahrens ist dagegen eine Mindestgröße der Datenbasis erforderlich, da bei geringer Zahl vorhandener Werkstoffmessungen

der Rechercheweg über graphische Operatoren nicht plausibel ist: Sind wie bei den bruchmechanischen Kennwerten der MTU-Datenbank (Kennwertart 6) jeweils nur 2-4 Werkstoffe belegt, können die zugehörigen Bildkurven problemlos gemeinsam dargestellt werden, ein Rechercheproblem als Werkstoffselektion oder -vergleich kann nicht auftreten bzw. ist mit der vorhandenen Datenbasis nicht zu lösen. Ein Ergebnisretrieval entfällt, da alle vorhandenen Datensätze direkt anwählbar und dem Fachmann bekannt sind.

Unter diesem Gesichtspunkt fallen einige Kennwertarten von vornherein für die Modellierung in *Wing-Graph* weg: Der Gleitmodul (Kennwert 12), die Härte (Kennwert 22), Spannungs-Dehnungs-Kurven (Kennwertart 3), Kennwerte zur dynamischen Festigkeit (Kennwertart 5) und bruchmechanische Kennwerte (Kennwertart 6). Von den übrigen Kennwerten scheiden zusätzlich einparametrische und nicht in Kurvenform darstellbare Kennwerte aus (Dichte, Schmelzbereich, *Poisson-Zahl*). Es verbleiben die folgenden Kennwerte (in Klammern jeweils die Spaltenbezeichnungen der unabhängigen Variablen der Messung):

- Kennwert 11: Elastizitätsmodul (EMOD)
- Kennwert 13: Längenausdehnungskoeffizient (WRMAK)
- Kennwert 14: Wärmeleitfähigkeit (WRMLF)
- Kennwert 15: Spezifische Wärmekapazität (SPZWK)
- Kennwert 21: Zugversuch (Zugfestigkeit ZGFST, Streckgrenze STRCK, Bruchdehnung BRCHD und Brucheinschnürung BRCHN)
- Kennwert 41: Zeitstandfestigkeit (Spannung SPNG, Zeit bis Bruch ZTBSB und Enddehnung ENDDH)
- Kennwert 42: Zeitdehngrenze (Spannung SPNG, Zeit (Zeitstand) ZZEIT und Dehngrenze DEHNG)

Mit Ausnahme der Wärmeleitfähigkeit und der Zeitdehngrenze sind sie in der Kernimplementierung von *Wing-Graph* enthalten. Sie decken ein Spektrum von Kennwerten ab, das unter verschiedenen Gesichtspunkten und für unterschiedliche Aufgabenstellungen relevant ist; es handelt sich um diejenigen Kennwerte, die den Versuchspersonen am vertrautesten sind und an denen sie das größte Interesse haben.¹⁸

Da es sich um unterschiedlich stark parametrisierte Meßverfahren handelt, ist das Komplexitätsspektrum der Werkstoffeigenschaften grundsätzlich berücksichtigt; es ist aber darauf zu verweisen, daß die unterschiedliche Belegung der Datenbasis - insgesamt inhomogene Füllung der Datenbank und Auftreten zahlreicher Datenlücken - für Werkstoffinformationssysteme durchaus typisch ist: Eine zwangsläufige Folge der hohen Kosten bei der Meßwerterhebung. Die Gestaltungstrategie,

¹⁸ ROPPEL 1993B:16ff. gibt eine Übersicht zu den Interessenschwerpunkten der verschiedenen werkstoffkundlichen Aufgabengebiete und den dazu relevanten Werkstoffkennwerten. Gleichzeitig wird dargestellt, welche Kennwerte den elementaren Informationsbedürfnissen genügen (d.h. auf die am wenigsten verzichtet werden kann). Dies deckt sich mit der für *Wing-Graph* getroffenen Auswahl.

Kennwert	Name	relevante Spalten (Meßparameter)	Spezifikationen	
Kennwertart 1: Physikalische Werte				
1	1	Elastizitätsmodul	Temperatur, Elastizitätsmodul	106
1	2	Gleitmodul	Temperatur, G-Modul	7: WL1.4324, WL1.6608, WL1.7734 WL1.8154, WL3.3214 WL3.7144, WL3.7154
1	3	Längenausdehnungskoeffizient	Temperatur, Wärmeausdehnung	116
1	4	Wärmeleitfähigkeit	Temperatur, Wärmeleitfähigkeit	104
1	5	spezifische Wärmekapazität	Temperatur, spez. Wärmekapazität	67
1	6	Dichte	Dichte	140
1	7	Schmelzbereich	Solidustemperatur, Liquidustemperatur	56
1	8	Poisson-Zahl	Poisson-Zahl	---
Kennwertart 2: Statische Festigkeit				
2	1	Zugversuch	Temperatur, Zugfestigkeit, Streckgrenze, Bruchdehnung, Brucheinschnürung	128
2	2	Härte	Härtemessung, Härte, Nebenbedingungen in der Bemerkung	6: WL1.3551, WL1.5924, WL1.6359, WL1.6722, WL1.6723, WL1.8564
Kennwertart 3: Spannungs-/Dehnungskurven				
3	1	Spannungs/Dehnungskurven (monoton)	Temperatur, Spannung, Dehnung in %	2: WL3.3214, WL3.7144
3	2	Spannungs-/Dehnungskurven (zyklisch)	Temperatur, Spannung, Dehnung in %	WL3.7144
Kennwertart 4: Zeitstand/Kriechen				
4	1	Zeitstandfestigkeit	Temperatur, Spannung, Zeit bis Bruch, Enddehnung	108
4	2	Zeitdehngrenze	Temperatur, Spannung, Zeit (Zeitstand), Dehnung	48
Kennwertart 5: Dynamische Festigkeit				
5	1	HCF - high cycle fatigue	Formzahl, Prüffrequenz, R-Wert, Temperatur, Mittelspannung, Spannungsausschlag, Lastwechsel bis Bruch, Lastwechsel Dauerf.	5: WL1.4544, WL2.4668, WL3.7124, WL3.7144, WL3.7154
5	2	LCF - low cycle fatigue - (lastgesteuert)	Formzahl, Prüffrequenz, R-Wert, Haltezeit, Temperatur, Mittelspann., Spannungsausschlag, Lastwechsel 0,4 mmA, Lastwechsel bis Bruch, Lastwechsel Dauerf.	---
5	3	LCF - low cycle fatigue - (dehnungsgesteuert)	Formzahl, Prüffrequenz, R-Wert, Haltezeit, Temperatur, Elastizitätsmodul, Delta-ET, Delta-EE, Delta-EP, Sigma-M, Sigma-A, Lastwechsel 0,4 mmA, LastwechselVersag., Lastwechselb.Bruch, LastwechselDauerf.	WL3.7154
Kennwertart 6: Bruchmechanische Kennwerte				
6	1	Spannungsintensitätsfaktor	Temperatur, Spannungsintensitätsfaktor, in Bemerkung; jeweils eine Zeile: Arith. Mittel, Höchstwert, Mindestwert, Standardabweichung	4: WL1.4548, WL1.6604, WL3.7144, WL3.7154
6	2	Rißfortschritt	Prüffrequenz, Haltezeit, R-Wert, DA/DN, Delta-K, Bemerkung: in Luft, in NaCl etc., Temperatur	2: WL3.3214, WL3.7144

Tabelle 1: Übersicht zu den Kennwerttabellen in der MTU-Datenbank

Wing-Graph auf die umfangreich belegten Kennwerte zu beschränken, steht mit dieser Erkenntnis nicht im Widerspruch: Es sind diejenigen Kennwerte, auf die Werkstoffexperten in einer Rückfallstrategie zugreifen, wenn bei einer Recherche zu anderen Kennwerten keine Daten vorliegen. Auch für Aufgabenstellungen zu Kennwerten, für die das graphische Retrieval unmittelbar keine Rolle spielt, kann daher ihr Einsatz über den Umweg von Aufgabenreformulierungen sinnvoll sein. Es lassen sich für Kennwerte der MTU-Datenbank Regeln aufstellen, in welcher Reihenfolge jeweils bei fehlenden Daten zu einem Kennwert auf eine Alternativkenngröße zurückgegriffen wird; am Ende der Regelketten stehen die einfacheren und gut dokumentierten Kenngrößen, die insofern einen weiten Anwendungsbereich haben und von Werkstoffachtleuten als besonders wichtig eingeschätzt werden.¹⁹ Zum besseren Verständnis seien die in *Wing-Graph* verwendeten Werkstoffkenngrößen kurz erläutert:²⁰

Kennwertart 1: Physikalische Kennwerte

Bei den physikalischen Eigenschaften handelt sich um niederparametrische, z.T. lediglich einparametrische Werkstoffeigenschaften, die meßtechnisch (relativ) einfach zu erfassen sind und daher in der Datenbank gut belegt sind. Unter ihnen sind die gebräuchlichsten Standardkennwerte, die von verschiedenen Interessenschwerpunkten der Benutzer her eine wichtige Rolle spielen.

Kennwert 11: Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul ist eine Meßgröße für das Elastizitätsverhalten von Festkörpern und dient als Maß für die durch Formänderung in einem Werkstück gespeicherte Energie: Er mißt den Widerstand, den ein Werkstück gegen eine elastische Formänderung aufbringt (gemessen in GPa).²¹ Gegen die Temperatur aufgetragen, eignet er sich zur Visualisierung im Liniendiagramm bei linearer Skalierung der Achsen. Er ist in der MTU-Datenbank gut belegt und als Standardkennwert bei vielen werkstofflichen Fragestellungen relevant. Als ein „Basiskennwert“, der den Werkstoffachtleuten den Anwendungspartners unabhängig von ihren spezifischen Aufgabenstellungen vertraut ist,²² diene der Elastizitätsmodul als Grundlage für den Benutzertest von *Wing-Graph*.

Kennwert 13: Längenausdehnungskoeffizient (α -Wert, Wärmeausdehnung)

Der Längenausdehnungskoeffizient bestimmt die relative Längenzunahme des Werkstücks bei konstantem Druck und Erhöhung der Temperatur (thermische Ausdehnung, α -Wert, gemessen in $10^{-6}K^{-1}$).²³

¹⁹ Vgl. WOMSER-HACKER 1992 mit einer Übersicht der Ableitungsregeln für die Rückfallstrategien.

²⁰ Siehe auch die zusammenfassenden Darstellungen der Anwendungsdomäne bei WOMSER-HACKER 1990 bzw. WOMSER-HACKER 1992.

²¹ ILSCHNER, Lemma *Elastizität*, in GRÄFEN 1991:231-233; DOMKE 1987:311.

²² Cf. ROPPEL 1993B, Kap. 6, Anhang: Bewertung der Wichtigkeit von Werkstoffeigenschaften.

²³ ILSCHNER, Lemma *Ausdehnung, thermische*, in GRÄFEN 1991:50f.

Kennwert 15: Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität eines Körpers ergibt sich aus dem Verhältnis von Wärmezufuhr einerseits und Masse des Körpers sowie dadurch erzielter Temperaturdifferenz andererseits. Sie wird in $\text{J/kg} \cdot \text{K}$ angegeben und gegen die Temperatur gemessen (HÜTTE 1991:66ff).

Kennwertart 2: Statische Festigkeit

Die statische Festigkeit läßt Aussagen über das Verhalten eines Werkstücks bei gleichbleibender Belastung zu; in der Datenbasis der MTU war für die Übernahme für das graphische Retrieval der Zugversuch relevant:

Kennwert 21: Zugversuch

Beim Zugversuch²⁴ überlagern sich verschiedene physikalische Phänomene: Sinkende Festigkeit bei steigender Temperatur; zugleich Ausscheidungen am Werkstoff als entgegenwirkendes Phänomen. In der Tabelle zum Zugversuch sind vier Kenngrößen zusammengefaßt: Die Zugfestigkeit (gemessen in GPa) als ein Maß der am Werkstück vor Beginn der Einschnürung im Zugversuch angelegten Höchstlast und die Streckgrenze, die im Regelfall angibt, bei welcher Belastung eine Dehnung von 0,2 % (0,2%-Dehngrenze oder $s_{0,2}$) auftritt.²⁵ Ferner die nach Überschreiten der Höchstlast bis zum Bruch des Werkstücks auftretende Einschnürung der Bruchstelle (Brucheinschnürung) und die Bruchdehnung selbst (Gesamtdéhnung des Werkstücks bis zum Bruch) - letztere in der *Wing-IIR*- Datenbasis nicht belegt und daher in *Wing-Graph* nicht verwendet.

Kennwertart 4: Zeitstand/Kriechen

Im Hochtemperaturbereich lassen sich die Festigkeitseigenschaften metallischer Legierungen im sog. Zeitstand- oder Kriechversuch bestimmen, bei dem die Festigkeit des Werkstoffs bei verschiedenen Temperaturen in Langzeitversuchen untersucht wird. Für *Wing-Graph* kam aufgrund der Datenbasis nur die Zeitstandfestigkeit in Frage.

Kennwert 41: Zeitstandfestigkeit

Eine Meßreihe der Zeitstandfestigkeit ergibt sich jeweils aus dem Zusammenhang von Versuchslaufzeit (Zeit bis zum Bruch der Meßprobe), der Enddehnung beim Bruch und der zum Bruchzeitpunkt angelegten Spannung.

Aus diesen Werten lassen sich unterschiedliche Kriechkurven anfertigen. Entweder mit einem Scharparameter (mehrere Graphen) oder mit einer parametrisierten Kurve, bei der ein durch graphische oder rechnerische Auswertung gewonnener Parameter mehrere Einflußgrößen ausdrückt. Für *Wing-Graph* wurden Isochronen mit einer Laufzeit von 1000h ausgewählt, für Diagramme,

²⁴ KLEINHANSL, Lemma *Zugversuch* in GRÄFEN 1991:1160-1163.

²⁵ DOMKE 1986:311ff; KUBMAUL, Lemma *Spannungs-Dehnungs-Diagramm* in GRÄFEN 1991:946f.

die die Spannung zum Bruchzeitpunkt in Abhängigkeit von der Temperatur angeben.

3.2.3 Struktur und Visualisierungsform der in *Wing-Graph* verwendeten Daten

Die Kennwerttabellen haben prinzipiell eine einheitliche Struktur: Name der Werkstoffspezifikation und Nummer der Meßreihe (Ausprägung) bilden zusammen einen eindeutigen Schlüssel. In weiteren Spalten meist die Temperatur als unabhängige, die entscheidende(n) Meßgröße(n) als abhängige Variablen der Messung sowie weitere Randparameter und Zusatzinformationen wie Bemerkungen zur Testdurchführung oder das Meßdatum (*TIMESTAMP*). Wegen der geringen Zahl von Mehrfachausprägungen zu einzelnen Spezifikationen verwendet *Wing-Graph* die Werkstoffspezifikation (d.h. den Werkstoffnamen) als Datenschlüssel. Durch Zusatzparameter differenzierte Kenngrößen (etwa Versuchslaufzeit (Zeit bis Bruch) bei der Zeitstandfestigkeit) werden als eigenständige Meßgrößen für die Visualisierung präsentiert (nur Zeitstandfestigkeit). Damit ergibt sich für *Wing-Graph* folgende Struktur:

Werkstoff (SPZFK)	Temperatur (TMPRT)	abhängige Meßgröße	Parameter 1	Parameter 2	..	Parameter n
Werkstoff_1	T_1	Meßwert	Wert	Wert	..	Wert
Werkstoff_1	T_2	Meßwert	Wert	Wert	..	Wert
...
Werkstoff_1	T_n	Meßwert	Wert	Wert	..	Wert
Werkstoff_2	T_1	Meßwert	Wert	Wert	..	Wert
Werkstoff_2	T_2	Meßwert	Wert	Wert	..	Wert
...
Werkstoff_2	T_n	Meßwert	Wert	Wert	..	Wert
Name der Kurve	Werte auf der Abszisse	Werte auf der Ordinate	direkt dargestellte Daten			

Tabelle 2: Struktur der in *Wing-Graph* verwendeten Werkstoffdaten

Ein Beispiel für einen in *Wing-Graph* verwendeten Datensatz zur Streckgrenze der deutschen Luftfahrtnorm WL1.1194 gibt Tab. 3. Neben den ausgelassenen Informationen über Versuchs- bzw. Eintragsdatum, Ausprägungs- und fortlaufende Probennummer und den im Beispiel nicht belegten weiteren Kenngrößen des Zugversuchs ist nur ein zusätzlicher Parameter in der Bemerkungsspalte belegt; er läßt auch innerhalb einer Ausprägung je nach Zustand des Werkstoffs verschiedene Datensätze entstehen, die je als Kurve darstellbar sind. Bei komplexeren Kennwerten kann eine ganze Reihe solcher Parameter auftreten und unterschiedlich belegt sein; *Wing-Graph* abstrahiert von diesem Problem, da es bei den verwendeten einfachen Kenngrößen kaum eine Rolle spielt. Sie sind aber bei komplexeren Meßgrößen ent-

scheidend für die Selektion der gewünschten Datenuntermengen einer Kenngröße und müssen zumindest alphanumerisch spezifizierbar sein, der eigentliche visuelle Rechercheprozess zur direkt dargestellten abhängigen Variablen der Messung bleibt davon grundsätzlich unberührt.

Spezifikation	Temperatur	Streckgrenze	Bemerkung
WLI.1194	20	375	ZUSTAND: .4
WLI.1194	20	410	ZUSTAND: .5
WLI.1194	200	295	ZUSTAND: .4
WLI.1194	200	330	ZUSTAND: .5
WLI.1194	250	275	ZUSTAND: .4
WLI.1194	250	305	ZUSTAND: .5
WLI.1194	300	255	ZUSTAND: .4
WLI.1194	300	280	ZUSTAND: .5
WLI.1194	350	225	ZUSTAND: .4
WLI.1194	350	245	ZUSTAND: .5
WLI.1194	400	195	ZUSTAND: .4
WLI.1194	400	210	ZUSTAND: .5

direkt dargestellte Daten **Zusatzparameter**

Tabelle 3: Beispiel einer zwei Datensätze umfassenden Ausprägung zur Streckgrenze

Bevor aus den in der Messung gewonnenen Rohdaten die zum Eintrag in die Datenbank geeigneten Informationen (Datensätze) entstehen, ist die Fülle des ursprünglichen Datenmaterials durch statistische und werkstoffkundliche Modelle zu bewerten. Beispielsweise kann aus den Rohdaten unter der Annahme, daß ein Polynom dritten Grades den Kenngrößenverlauf adäquat beschreibt, ein validierter Datensatz entstehen. Im Idealfall müßte das Datenmodell den Entstehungsprozeß der Daten widerspiegeln, d.h. die Koeffizienten und Konfidenzintervalle des für die Datenvalidierung verwendeten Berechnungs- und Auswertungsmodells enthalten, aus denen sich für beliebige Temperaturwerte die Höhe der Kenngröße bestimmen ließe. In der MTU-Datenbank sind solche Metadaten nicht enthalten, wesentliche Information damit nicht repräsentiert. *Wing-Graph* kann daher auf solche werkstoffkundliche Information nicht zurückgreifen werden, obwohl sie den Interpretationsprozeß graphischer Anfragen stützen könnte.²⁶

Neben der Bestimmung der Datenstruktur ist die Entscheidung über die Art der Visualisierung der Information für das graphische Retrieval wesentlich. Obwohl grundsätzlich eine ganze Reihe von Darstellungsformaten in Frage kommt, liegt nahe, für *Wing-Graph* dasjenige Format zu wählen, das

²⁶ Bei der Interpretation einer graphischen Anfrage des Benutzers durch das System wäre es hilfreich, über Wissen zur Verlässlichkeit der Daten einer bestimmten Kenngröße zu verfügen und gegebenenfalls die Suchsemantik der Anfrage im Bereich des Konfidenzintervalls zu modifizieren.

- a) generell im Bereich der Werkstoffinformation (traditionelle Printmedien und Werkstoffinformationssysteme) am gebräuchlichsten ist²⁷ und
- b) den Werkstoffachleuten des Anwendungsgebietes am vertrautesten ist.

Dabei handelt es sich um das Darstellungsformat Liniendiagramm: Der Meßparameter (z.B. der Elastizitätsmodul) wird auf der Y-Achse gegen die Temperatur als unabhängiger Variable auf der X-Achse aufgetragen. Ein Datensatz einer Werkstoffspezifikation bildet als visuelle Einheit je eine Werkstoffkurve. Die Kurve entsteht durch die Verbindung der einzelnen Datenpunkte auf der Basis eines formalen Beschreibungsmodells für die gewählte Kenngröße. Die Interpolation der Meßwerte, die den visuellen Eindruck eines stetigen Wertekontinuums vermittelt, entsteht in *Wing-Graph* durch einen einfachen Polygonzug, d.h. die Datengrundlage wird abschnittsweise durch lineare Gleichungen interpoliert.

3.2.4 Verwendung visualisierter Information und graphisches Retrieval

Die Bedeutung von visualisierter Information war der Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung, abgeleitet aus der Stellung von graphischen Informationsdarstellungen als wesentlichem Informationsmedium in den traditionellen Wissensquellen der Werkstoffexperten (Werkstoffhandbücher, Werkstofflexika, Datenblätter etc.). Hinzu kommt das im Rahmen von Benutzertests häufig geäußerte Bedürfnis nach Ergänzung der getesteten Prototypen um eine graphische Ausgabekomponente.²⁸ Daraus läßt sich nicht mehr ableiten als die Feststellung, daß graphische Darstellungen häufig benutzt werden und ein unerläßliches Medium der Informationsinterpretation sind. Über die Fragestellungen und Anwendungsgebiete solcher Visualisierungen und ihre Einbindung in ein Retrievalmodell ist damit noch nichts ausgesagt. Analysiert man aber das im Rahmen von *Wing-IIR* entstandene empirische Material mit Hinblick auf das in Kapitel 2 vorgestellte Modell eines graphischen Ergebnisretrieval, ist eine Klassifikation der Suchanfragen von Werkstoffexperten dahingehend möglich, daß die Verwendbarkeit graphischer Retrievalzyklen für typische Probleme der Werkstoffexperten abgeklärt wird. Dies kann auf der systemunabhängigen Grundlage aufgabengebietsspezifischer, natür-

²⁷ Der Beleg hierfür ergibt sich z.B. aus den oben verwendeten typischen Nachschlagewerken zur Werkstoffkunde (DOMKE 1986, GRÄFEN 1991, HÜTTE 1991), wo die in *Wing-Graph* verwendeten Kenngrößen als Liniendiagramm dargestellt sind sowie aus den visuellen Ausgabemöglichkeiten typischer Werkstoffinformationssysteme (vgl. LUDWIG 1993, OVER et al. 1993).

²⁸ Einzelhinweise in den Testauswertungen zu den Benutzerstudien der einzelnen Systemprototypen von *Wing-IIR*, cf. GEHRMANN & MARX 1991:9, 12, 21, 34, 38, 53; MARX & PFLÜGER 1992:9f., SCHUDNAGIS 1991B:9f.

lichsprachlicher Problemformulierungen erfolgen. Teilt man das für *Wing-IIR* erhobene Problemkorpus²⁹ nach Anfragen ein, die

- a) keinen Bezug zu graphischer Informationsaufbereitung aufweisen, da sie sich auf textuelle Daten beziehen (Beispiel: „In welchem Lieferzustand/Wärmebehandlungszustand liegt ein bestimmter Werkstoff vor?“ (MARX 1990:61, Frage 5.7)),
- b) zu einer Ergebnissituation führen, in der sich die Ergebnisinformation visualisieren läßt und die daher Ausgangspunkt des Ergebnisretrieval sein kann (typisches Problem des Daten-Nachschlagens zu bekanntem Werkstoff, „Einzelsuche“, Beispiel: „Sind Daten zur 0,1% Zeitdehngrenze vom IN713C mit Laufzeit größer 1000 Stunden verfügbar“ (MARX 1990:54, Frage 0.10)),
- c) schon von der Aufgabenformulierung her an graphischen Aspekten der Darstellung ansetzen (können) (z.B. Suche nach Werkstoffen durch Kennwertparametrisierung, „Profilsuche“ Beispiel: „Welche Nickelbasislegierungen weisen einen besonders niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf?“ (MARX 1990:57, Frage 2.1)) oder
- d) die eine werkstoffvergleichende und damit ebenfalls als Ausgangspunkt für das Ergebnisretrieval geeignete Zielrichtung haben („Werkstoffvergleich“, Beispiel: „Nenne mir einen Werkstoff, der in der Längenausdehnung zwischen Ti6-4 und INCO718 liegt“ (MARX 1990:59, Frage 3.9)),

so entsteht die in Tab. 4 wiedergegebene Verteilung der Anfragetypen. Soweit eine Zuteilung der Beispielanfragen zu Kategorie b) *oder* c) bzw. b) *oder* d) möglich war, erfolgte sie zu c) bzw. d), d.h., daß die Bedeutung von Fall b) an sich noch deutlicher als in der Tabelle ausgedrückt zum Tragen kommt (in immerhin 20 der 33 Aufgaben vom Typ c) oder d)).

In 54 Aufgabenstellungen, also in knapp 2/3 aller Fälle ist ein Ansatzpunkt für graphisches Retrieval auszumachen, dabei allerdings in (maximal) 40 Situationen (20 vom Typ b) und zusätzliche 20 aus c) und d)) nur unter der ergänzenden Hypothese, daß sich bei der graphischen Darstellung von Kennwerten eines oder mehrerer Werkstoffe ein Anlaß zu einem zusätzlichen Ergebnisretrievalzyklus bietet. Diese abstrakte Analyse des Anfragekorpus ist nun durch eine Betrachtung der konkreten Verwendung graphischer Informationsdarstellungen im Kontext werkstoffkundlicher Fragestellungen zu ergänzen. Die folgende Zusammenstellung von für die Gestaltung von *Wing-Graph* relevanten Hinweisen ist das Ergebnis zahlreicher Gespräche mit den *Wing-IIR* beratenden Werkstoffingenieuren sowie einer Befragung von Vertretern aller werkstoffkundlich relevanten Arbeitsgebiete des Kooperationspartners MTU. Für die Befragung der Werkstoffexperten war der für *Wing-Graph* gewählte Ansatzpunkt - auf einer Standardrecherche mit visualisiertem Ergebnis aufsetzendes graphisches Retrieval - als Ausgangssituation vorgegeben.

²⁹ Das Korpus ist vollständig wiedergegeben bei MARX 1990:53-64 (Anhänge 0 - 6).

Aufgabengebiet	Kategorie a)	Kategorie b)	Kategorie c)	Kategorie d)	Summe
Werkstoffdatenbank und Werkstoffent- wicklung	5	8	5	8	26
Werkstoffprüfung	1	3	1	—	5
Werkstoffberatung	9 ³⁰	1	3	4	17
Konstruktion	1	— ³¹	6	2	9
Versuch	12 ³²	2	—	—	14
Qualitätssicherung	1	6	1	3	11
Summe	29	20	16	17	82

Tabelle 4: Klassifikation des Anfragekorpus von *Wing-IIR*

3.2.4.1 Strukturierung nach Arbeitsgebieten

Bereits bei den ersten Benutzerstudien in *Wing-IIR* hatte sich herausgestellt, daß innerhalb der Anwendungsdomäne Werkstoffinformation eine Binnendifferenzierung nach Aufgabengebieten der Datenbankanwender sinnvoll ist (Tab. 4). Bedingt durch die unterschiedlichen Arbeitsgebiete treten differierende werkstoffkundliche Erkenntnisinteressen auf, sowohl hinsichtlich der Inhalte der Datenbank als auch bezüglich der Anfragestrategien (Präzisierungsniveau von Recherchen). Bei dem befragten Personenkreis handelt es sich neben den ständigen Kontaktpersonen von *Wing-IIR* um Vertreter verschiedener Abteilungen der MTU, die als Benutzer der Datenbank auftreten und schon an früheren Tests von Prototypen im Rahmen von *Wing-IIR* teilgenommen hatten. Es konnten alle für die Arbeit an der Werkstoffdatenbank relevanten Abteilungen berücksichtigt werden. Im einzelnen sind dies:

- a) Entwicklungsbereich (Werkstofftechnik, Entwicklung und Prüfung neuer Werkstoffe und Legierungen, Werkstoffberatung, Werkstoffdatenverwaltung und -datenbankmanagement, 2 Werkstoffingenieure),
- b) Datenaufbereitung/Werkstoffdaten (Überprüfung und Normierung erhobener/gemessener Werkstoffdaten unterschiedlicher Provenienz),
- c) Festigkeit (Prüfung der Festigkeit von Werkstoffen unter verschiedenen Bedingungen, 2 Werkstoffingenieure),
- d) Konstruktion (Konstruktion von Bauteilen für Triebwerke und Motoren) und
- e) Schadensanalyse (Untersuchung von in Test und Praxis aufgetretenen Schäden an Bauteilen).

³⁰ V.a. Fragestellungen zu textuellen, graphisch nicht darstellbaren Informationstypen.

³¹ Die in den Kategorien c) und d) enthaltenen Probleme sind eigenschaftsbezogene Selektionsprobleme bezüglich verschiedener Kennwerte und unter Vorgabe eines Globalparameters („Nickelbasiswerkstoff“); insofern auch Typus b) von Bedeutung.

³² Vgl. o. Fn. 30.

Da je Abteilung (und Aufgabengebiet) nur jeweils ein bis zwei Vertreter zur Verfügung standen, lassen sich individuelle Präferenzen aus den folgenden Angaben nicht herausfiltern; ihnen war bewußt, daß sie als typische Repräsentanten ihres Aufgabengebietes befragt wurden.

3.2.4.2 Einordnung der Arbeit mit Datenvisualisierungen

Die Benutzer der Werkstoffdatenbank interpretieren und verarbeiten recherchierte Daten in der Postselektionsphase üblicherweise auf dreierlei Weise:

- a) Interpretation von Daten in tabellarischer Darstellung,
- b) Betrachtung und Verwendung graphischer Datenaufbereitungen (Werkstoffkurven) und
- c) Weiterverarbeitung der Daten mit Hilfe von Werkstoffgleichungen und -funktionen in speziellen Rechenprogrammen (z.B. *finite element*-Programme). Diesen Bereich decken die zahlreichen numerischen Berechnungsprogramme zur HTM-DB Petten ab.³³

Die Relevanz der Verwendung graphischer Darstellungen von Werkstoffinformationen wurde durchgängig unterstrichen: Generell arbeiten alle Datenbankbenutzer der MTU mit graphischen Darstellungen, wobei die Interpretationsstrategien nach spezifischen Fragestellungen zu differenzieren sind. Dabei verlangen sie immer sowohl Tabellendarstellungen als auch graphische Aufbereitungen; Ausnahmen ergeben sich nur, wenn sich die Daten nicht visualisieren lassen (Texte, eindimensionale Kennwerte wie die Dichte). Die graphische Aufbereitung eines Datensatzes ist eine komplementäre Ergänzung der tabellarischen Darstellung, da die visuelle Darstellung besser als die Tabellenausgabe sofort auf Anomalitäten („Ausreißer“) in einem Datensatz aufmerksam machen kann (konkretes Beispiel: Visuelle Larson-Miller-Extrapolation als Kontrollmoment für Datensätze bei Zeitstandversuchen).

3.2.4.3 Inhaltliche Schwerpunkte der Arbeit mit graphischen Darstellungen

Die Auswahl der Kenngrößen wurde in der Befragung der Werkstoffexperten ebenfalls überprüft. Dabei ist zu fragen, ob bei der graphischen Aufbereitung Schwerpunktbildungen festzustellen sind, bzw. ob die Kurvendarstellung für bestimmte Kennwerte ergiebiger ist als für andere. Während einige Abteilungen den allgemeinen Bedarf an graphischen Aufbereitungen betonen und eine Schwerpunktbildung verneinen (z.B. Entwicklungsabteilung), verweisen andere Abteilungen auf bestimmte Kennwerte, für die die graphische Aufbereitung besonders wichtig ist:

³³ Im Rahmen der Datenbankanwendung des zweiten Kooperationspartners von *Wing-IIR* wurden für alle wesentlichen rechnerischen Verfahren zur (Meß-)Datenauswertung (z.B. *Larson-Miller*-Verfahren zur Extrapolation von Kriechdaten) Berechnungsprogramme implementiert, deren Ergebnisse ebenfalls graphisch ausgegeben werden und Gegenstand des graphischen Retrieval sein könnten, cf. OVER et al. 1993:9ff., IAM/JRC 1993.

- Allgemein: Physikalische Kennwerte, statische Festigkeit, Spannungs-Dehnungskurven, *low* und *high cycle fatigue*,³⁴ Kriechkurven
- Alle physikalischen Werte, *low cycle fatigue*, Kriech- und Rißfortschritt (Festigkeitsabteilung)
- Aufgabenabhängige Schwerpunktbildung (Datenaufbereitung)
- Festigkeitskurven (verschiedene Parameter), Kriechfestigkeit, Schwingfestigkeit (Schadensanalyse)

Zusätzlich ist die Anwendung graphischer Darstellungen in Sonderbereichen möglich, z.B. Visualisierung technologischer Eigenschaften (*fretting*, Schweißbarkeit), die keinen Funktionsgraph im engeren Sinn ergeben, sondern eine Darstellung einer festgelegten Wertungsskala. Über eine abteilungsbezogene Differenzierung hinaus erscheint das engere Kriterium der aufgabenbezogenen Bewertung der Anwendung graphischer Darstellungen besonders relevant, d.h. die Bandbreite der verschiedenen denkbaren Aufgaben ist innerhalb einer Abteilung größer als prinzipielle (und exklusive) Differenzen zwischen den Abteilungen als solchen. Das Differenzierungsproblem löst sich allerdings, wenn man annimmt, daß Abteilungs- und Aufgabendifferenzierung sich nur partiell decken: Wo mit einer Abteilung ein bestimmter Aufgabentyp abgegrenzt ist, werden aufgabenspezifische Präferenzen zu abteilungs-spezifischen. Für die Gestaltung von *Wing-Graph* bestätigen diese Angaben die zunächst strukturell und materiell begründete Kennwertauswahl mit Schwerpunkt auf physikalischen Kennwerten.

3.2.4.4 Zusammenhang von Kurveninterpretation und Arbeitsziel

Die Zuordnung der Kurveninterpretation unmittelbar zum „eigentlichen“ Arbeitsziel (z.B. Gehäusekonstruktion) wurde lediglich von einem Fachmann bejaht, was kaum repräsentativ ist; anhand der Beurteilung folgender prototypischer Wertungsaussagen kann man allerdings auf einen engen Bezug zwischen Kurveninterpretation und externem Arbeitsziel schließen:

- Allgemein: Wertungen wie „die Kurve nimmt einen vernünftigen Verlauf“ u.ä. sind üblich.
- Konkrete Beispiele:
 - a) Für das gewünschte Bauteil eignet sich die gegebene Kurve nicht, weil sie im Bereich von 600° C zu steil abfällt.
 - b) Bei der Auslegung des Bauteils X muß bei einem geeigneten Werkstoff die Kurve des Kennwerts Y im Temperaturbereich Z linear/stark ansteigend etc. verlaufen.
 - c) Der Werkstoff Z hat für den Kennwert X einen gerade noch akzeptablen Kurvenverlauf, besser geeignet wäre aber eine flachere Kurve.

³⁴ Hochparametrische Meßverfahren zum Ermüdungsverhalten von Werkstoffen bei zyklischer Belastung; dazu keine geeignete Datengrundlage in *Wing-Graph*.

Die exemplarischen Verbalisierungen des Zusammenhangs von visualisierter Information und globaler Problemstellung sind denkbar und strukturell zutreffend; damit ist ein vager Hinweis auf das visuelle Denken gegeben, der eine grundsätzliche Plausibilität graphischer Rechercheverfahren begründet.

3.2.4.5 Fragestellungen bei der Arbeit mit visualisierten Daten

Grenzt man die Fragestellung enger auf die Interaktion mit der Datenbank, also die eigentlichen Recherchezyklen ein, so stellt sich die Frage, welche Aufgabentypen ein „graphisches Ergebnisretrieval“ rechtfertigen können. Der in Kap. 2 aufgezeigte konzeptuelle Rahmen von *Wing-Graph* als aufgesetztem Retrievalwerkzeug ist mit der Aufgabentypologie der Werkstoffexperten zu korrelieren. Im folgenden sind zu visualisierungsbezogenen Fragestellungen, wie sie sich aus den empirischen Untersuchungen von *Wing-IIR* und Vorgesprächen mit den beratenden Ingenieuren ergeben, abteilungsspezifische Relevanzbeurteilungen wiedergegeben.

- Kurve in ihrer Charakteristik nicht zufriedenstellend

relevant	nicht relevant
häufig: Datenaufbereitung bejahend: 2 x Entwicklung, Festigkeit/Statik, Konstruktion	Schadensanalyse, Festigkeit/rotierend
- Suche nach alternativem Werkstoff

relevant	nicht relevant
gelegentlich: Datenaufbereitung, Schadensanalyse bejahend: 2 x Festigkeit, 2 x Entwicklung),	Konstruktion
- Auch bei zufriedenstellender Kurve (vorliegende Ergebnisdarstellung) Interesse an Alternativen

relevant	nicht relevant
gelegentlich: Datenaufbereitung, Schadensanalyse bejahend: 2 x Festigkeit, 2 x Entwicklung, Konstruktion	
- Prinzipielles Ausloten von Vergleichsmöglichkeiten

relevant	nicht relevant
gelegentlich: Datenaufbereitung bejahend: 2 x Entwicklung	Schadensanalyse, 2 x Festigkeit, Konstruktion
- Suche nach weiteren (Streu-)Messungen zum gleichen Werkstoff (andere Ausprägung):

relevant	nicht relevant
gelegentlich: Datenaufbereitung bejahend: Schadensanalyse, Festigkeit/rotierend, 2 x Entwicklung	Konstruktion, Festigkeit/Statik

Jeden der analytisch gewonnenen Vorschläge benötigen einige Abteilungen, weitere Vorschläge trugen die befragten Fachleute nicht vor; dabei zeigt sich eine starke Differenzierung innerhalb der Abteilungen: Die Abteilung Entwicklung benötigt alle Verfahren, während in den Abteilungen Konstruktion, Festigkeit oder Schadensanalyse nur einige der Probleme auftreten.

Je nach Erkenntnisinteresse wird die Kurve mehr im Detail bzw. mehr global beurteilt (oft abteilungsabhängig: genaue Detailanalyse in der Festigkeitsprüfung gegenüber größerem Informationsbedarf bei der Konstruktionsabteilung). Für die Modellierung einer Kurvenretrievalkomponente ist die Granularität der interpretierenden Betrachtung von Bedeutung; die folgenden hypothetischen Problemstellungen sollten ergründen, inwiefern an eine Kurve mit unterschiedlichem Blickwinkel je nach Aufgabe herangegangen wird:

- Globale visuelle Interpretation: „Für Werkstoffproblem A kommt die Betrachtung des Kurvenverlaufs als Ganzes in Betracht“.

relevant	nicht relevant
gelegentlich: 2 x Entwicklung bejahend: Datenaufbereitung, Konstruktion, Schadensanalyse	nur zur Weiterverarbeitung in Numerikprogrammen: 2 x Festigkeit

- Visuelle Detailanalyse: „Bei Problem B kommt es lediglich/vor allem auf den Kurvenverlauf im Bereich 500-700 °C an“.

relevant	nicht relevant
gelegentlich: Entwicklung bejahend: Datenaufbereitung, 2 x Festigkeit, Konstruktion, Schadensanalyse	

- Weitere Fälle (von den Befragten benannt):
 - Betrachtung einzelner diskreter Werte
 - Kurvenverlaufsbeurteilung z.B. wesentlich benötigt zur Risikoabschätzung für die Einsetzbarkeit eines Werkstoffs in einem bestimmten Kontext

Bei der graphischen Aufbereitung als Vorbereitung des graphischen Retrieval sind Funktionen zur geeigneten Ausschnittsvisualisierung sinnvoll, die Kurveninterpretation verläuft z.T. in verschiedenen Stadien; für die abschließende Auswahl eines Werkstoffs ist in der Regel ein bestimmter Temperaturbereich entscheidend.

Neben dem Detailniveau der visuellen Dateninterpretation ist die Frage nach der Bedeutung der konkreten Kurvenformen und ihres Zusammenhangs mit dem Konzept der Ähnlichkeit von Werkstoffen bedeutsam, da graphische Retrievalverfahren auf - vom Benutzer oder dem System - vorgegebenem Datenmaterial aufsetzen können und daher nach ähnlichen Werkstoffen relativ zu einer Vorlage suchen. Zu diesem Fragenkomplex konnten nur vage und widersprüchliche Erkenntnisse gewonnen werden, was mit der unterschiedlichen Interpretation des Ähnlichkeitsbegriffs

zusammenhängt; aus der Werkstoffberatung ergaben sich folgende Hinweise auf die Interpretation von „Ähnlichkeit“ im Kontext der Werkstoffrecherche: Generell ist der Begriff „Ähnlichkeit“ bei der Suche nach Werkstoffen im Detail, d.h. beim konkreten Vergleich von Kenngrößenkurven schwer zu definieren. Die Suche nach einem zu einem vorgegebenen Kurvenverlauf ähnlichen Werkstoff wird oft als Frage nach „gleich guten oder besseren Werkstoffen“ verstanden. Was eine solche Aussage in Hinsicht auf den Kurvenverlauf bedeutet, ist je nach Kenngröße unterschiedlich. Bei näherer Bestimmung der Randparameter (z.B. Beschaffungskosten) kann Ähnlichkeit *auch* als „gleich gut oder sogar etwas schlechter“ interpretiert werden. Die Ähnlichkeit im engeren Sinn ist gegeben durch eine größtmögliche Überdeckung der potentiellen Streubereiche zweier Kennwertkurven, wobei der mögliche (und z.T. erhebliche) Streubereich eines Meßverfahrens zu einem Werkstoff bei der Suchsemantik eines Recherchesystems zu berücksichtigen und von Kennwert zu Kennwert unterschiedlich groß ist. Gleichzeitig lassen sich exakte Angaben zu solchen Streubereichen nur sehr schwer machen.³⁵ Abgesehen von Streubereichen können Kennwertkurven als ähnlich erachtet werden, wenn sie den gleichen Globalverlauf aufweisen. Wie bei der Beurteilung verschiedener visueller Interpretationsstrategien gilt für die Beurteilung der Ähnlichkeit von Werkstoffen, daß sie sich u.U. auf Kurventeile beschränken läßt. Generell verläuft die Beurteilung der Ähnlichkeit in hohem Maße aufgabenabhängig. Abschließend zu diesem Problemkomplex sei eine Bestimmung des Ähnlichkeitsbegriffs zitiert, die eine Arbeitsgruppe der MTU für die Entwicklung der *fuzzy*-Komponente von *Wing-M2* erstellt hat, die aber auch für *Wing-Graph* gültig ist.

Verfahren zur Ermittlung eines 'ähnlichen' Werkstoffs

1. Werkstoffe werden, insbesondere im Rahmen einer Datenbank, durch einen Vektor von Einzeleigenschaften (chemische Zusammensetzung, Zugfestigkeit, E-Modul, etc.) beschrieben. Die Frage: Welcher Werkstoff ist ähnlich zu einem vorgegebenen? setzt voraus, daß klar ist, in welcher Hinsicht der Werkstoff ähnlich sein soll. Selten wird ein Nutzer dabei nur einen Parameter (z.B. Zugfestigkeit) im Auge haben. In den meisten Fällen wird er eine größere Zahl nennen müssen und dabei das Problem haben, die relative Wichtigkeit dieser Parameter bei seiner Fragestellung zu bestimmen.
2. In unserer Praxis wird der Nutzer aus der Beschäftigung mit einer Anwendung des Werkstoffes in einer Komponente die Frage nach der Ähnlichkeit stellen. Die Bedeutung, die die einzelnen Werkstoffkenngrößen für diese Komponente haben,

³⁵ Das hängt mit vielen Faktoren zusammen:

- Mit der dem Begriff des Streubereiches inhärenten Vagheit prädiktiver Aussagen zu Meßverfahren,
- dem Status als schwer zu explizierendem Erfahrungswissen und
- daraus folgend auch dem hohen Wert solcher Informationen, die ungenügend weitervermittelt werden.

bestimmt dann die Gewichtung. D.h. ähnlich sind Werkstoffe im aktuellen Fall dann, wenn sie bei gleicher Gewichtung der Werkstoffkenngrößen möglichst nahe beieinander liegen.

[...] (BREITKOPF 1994:1).

Diese Definition der Ähnlichkeit (bzw. einer Auffindungsprozedur) betont die Rolle hochparametrischer Kenngrößen bzw. die Komplexität der Ähnlichkeit bei Berücksichtigung einer großen Menge von Dimensionen. Sie bleibt aber im Ergebnis vage, was den visuellen Vergleich von Kenngrößen Kurven anbelangt („möglichst nahe beieinander liegen“).

Interessant ist die unter den Fachleuten differierende Einschätzung, ob bei verschiedenen Meßgrößen stark unterschiedliche Kurvenverlaufsformen auftreten: Während sie von den meisten Werkstoffingenieuren bejaht wurde (2 x Festigkeit, Entwicklung, Konstruktion), vertrat ein Vertreter der Entwicklungsabteilung die Ansicht, daß die Werkstoffe der MTU-Datenbank in der Regel die gleichen Kurvenverläufe aufweisen. Unterschiedliche Verläufe sind demnach bei folgenden Kennwerten zu erwarten:

- Physikalische Werte, Streckgrenze (2 x Festigkeit)
- α -Wert (Längenausdehnung), Dehngrenze (Entwicklung)
- Allgemein: Elastizitätsmodul; bei bestimmten Werkstoffen kann zum gleichen Kennwert die Kurvenform extrem unterschiedlich sein, z.B. konkaver vs. konvexem Kurvenverlauf³⁶

Für diesen Problembereich liegen disparate Antworten je nach Abteilung vor. Daraus ist zu folgern, daß die Wertung von der individuell divergierenden Vorstellung eines visuellen Ähnlichkeitsbegriffs bestimmt ist. Entscheidend ist, daß die Mehrzahl der Werkstoffexperten von unterschiedlichen Verläufen ausgeht, eine Tatsache, die für das graphische Retrieval von Bedeutung ist (Suchstrategien, Vorgabe typischer Verläufe etc.).

Neben der unterschiedlich genauen Analyse graphischer Darstellungen kann sich eine Erweiterung der Recherche ergeben, wenn eine synoptische Betrachtung mehrerer Kennwertdarstellungen erforderlich ist (etwa folgendermaßen: „Die Betrachtung der Kurve zum Kennwert X macht nur Sinn, wenn auch die Kurve zum Kennwert Y interpretiert werden kann“). Diese Interpretationsstrategie ist für komplexe Problemstellungen typisch, wobei bestimmte Kenngrößenkombinationen besonders häufig auftreten. Eine solche Erweiterung der Kurvenbetrachtung kann schon „innerhalb“ eines Kennwerts gegeben sein: Vor allem bei Zeitstandmessungen (Kriechkurven) spielt die Betrachtung von Kurvenscharen (Isothermen, Isochronen) eine Rolle. Die gleichzeitige Betrachtung mehrerer Kennwertkurven zu einem Werkstoff oder parametrisierte Kurvenscharen eines Kennwertes treten also häufig bei der Dateninterpretation

³⁶ Was sich allerdings anhand der Datenbasis von *Wing-IIR* kaum bestätigen läßt (wenige Ausnahmen zu ansonsten für den Großteil der Werkstoffe homogenen Kurvenverlaufsformen der Kenngröße).

auf; sie sind um so wichtiger, je komplexer die Aufgabenstellung ist, je mehr verschiedene Aspekte in eine werkstoffkundliche Entscheidung einfließen müssen.

3.2.4.6 Einzelfragen zur Gestaltung des graphischen Retrieval

Die oben erörterten Fragestellungen beziehen sich ausnahmslos auf den „traditionellen“ Umgang mit graphischen Informationsdarstellungen und versuchen, aus den erfahrungsbedingten Wertungen Hinweise für die Gestaltung einer graphischen Retrievalkomponente abzuleiten. Im folgenden sind darüber hinaus zwei Detailprobleme angesprochen, die erst bei der Arbeit mit einer graphischen Retrievalkomponente auftreten können. Die *ex ante*-Beurteilung der Fragen nach unscharfer Interpretation von graphischen Benutzereingaben und nach den Kriterien für die Auswahl graphischer Vorgaben zur Werkstoffselektion (Ikonenmengen von Werkstoffkurven) kann kaum mehr als erste Hinweise zur Gestaltung der entsprechenden Systemfunktionalität ergeben. Dies nicht zuletzt deshalb, weil es schwer fällt, sich eine graphische Retrievalkomponente als sinnvolles Arbeitswerkzeug vorzustellen und die Werkstofffachleute dem Vorhaben anfangs eher skeptisch gegenüber standen.

Zum Problem der Interpretation graphischer Anfragedefinitionen durch das System

Hat der Benutzer die Möglichkeit, durch direkt-manipulative graphische Verfahren Werkstoffkurven zu Suchhypothesen zu transformieren oder sie direkt einzugeben, (etwa durch Setzen von Suchpunkten im Koordinatensystem oder durch Veränderung gegebener Werkstoffkurven), so ist nicht davon auszugehen, daß die so aufgebaute graphische Anfrage mittels eines *exact match* in der Datenbank zu beantworten ist, da dem graphischen Konstrukt nicht der gleiche Exaktheitsanspruch wie einer alphanumerischen Formulierung beigemessen werden kann. Die Suchanforderung ist vielmehr vage zu interpretieren: Setzt der Benutzer einen Suchpunkt bei 433° C und Elastizitätsmodul 187,5 GPa, sollte das System schon aufgrund der an fixen Temperaturwerten („Stützpunkte der Messung“) erhobenen Daten daraus einen Suchbereich machen, der wenigstens den nächstliegenden Stützpunkt der Messung inkludiert (z.B. Temperatur zwischen 430 °C und 440 °C und Elastizitätsmodul zwischen 185 GPa und 190 GPa). Dabei ist zu klären, wie eng- oder weitmaschig und in Bezug auf welche Kriterien solche Interpretationsspielräume gewählt werden sollen. Die Fachleute bewerteten die in Tab. 5 wiedergegebene Vorschlagsliste für Interpretationsverfahren.

Eine Analyse der Aussagen macht deutlich, daß verschiedene Kriterien zum Zuge kommen können, die befragten Fachleute aber nicht in der Lage waren, prädiktiv genaue Anhaltspunkte für die Ausgestaltung der Anfrageinterpretation zu liefern. In welchem Umfang und gestützt auf welche Kriterien die Anfrageinterpretation zu implementieren ist, ist nur durch die empirische Untersuchung des Retrievalverhaltens mit graphischen Suchoperationen zu ermitteln.³⁷

³⁷ Man vergleiche die *ex-ante*-Angaben etwa mit den Aussagen zu Toleranzspielräumen bei

vorgeschlagenes Interpretationskriterium	Bewertung
<p>Möglichst eng, aber auf jeden Fall die beiden nächsten „Fixpunkte“ gut belegter Temperaturwerte umfassend (im Beispiel 427 °C und 538 °C, Ableitung aus der Datenstruktur: Stützpunkte der Meßverfahren)</p> <p>Unterschiedlich eng, von Kennwert zu Kennwert verschieden</p>	<p>Keine konkrete Antwort</p> <p>Allgemein bejahend, mit starker Differenzierung nach Kennwerten; (explizit zustimmend: Entwicklung, Konstruktion)</p>
<p>Unterschiedlich eng, je nach gewähltem Temperaturbereich</p>	<p>Bejahend: Festigkeit/Statik, Entwicklung, Konstruktion</p> <p>Beispiel: Zugfestigkeit im oberen Temperaturbereich stark differierend</p>
<p>Unterschiedlich eng je nach Benutzer bzw. Aufgabenstellung;</p> <p>Allgemeine Bewertung:</p> <p>plausibel, doch kaum relevant:</p> <p>Verfahren nicht benötigt</p> <p>keine relevanten Fragestellungen:</p>	<p>Bejahend: Entwicklung, 2 x Festigkeit, Konstruktion</p> <p>Datenaufbereitung</p> <p>Schadensanalyse</p> <p>Entwicklung</p>

Tabelle 5: Interpretationskriterien für die Bewertung graphischer Anfragen

Zur Auswahl typischer Werkstoffe als Rechercheeinstieg

Für den Aufbau einer Erstselektionskomponente als ikonisches Interface zur Arbeit mit Werkstoffkurven ist die Klassifikation von Werkstoffen eine wichtige Voraussetzung. Insbesondere die Festlegung von Mengen typischer Werkstoffe - bezogen auf ein bestimmtes Kriterium - spielt für die Interfacestrukturierung eine große Rolle. Daher stellt sich die Frage nach Typisierbarkeit von Werkstoffen; Tab. 6 gibt an, welche Gliederungskriterien die Fachleute als sinnvoll erachten.

Allgemein gelten ausgewählte Referenzwerkstoffe als eine geeignete Ausgangsbasis zur Selektion und Bewertung von Werkstoffen. Das gebräuchlichste Verfahren zur Auswahl solcher Mengen typischer Werkstoffe ist dabei das Kriterium der Konstruktion bzw. der Verwendung von Werkstoffen in bestimmten Bauteilen: Je nach Bauteil ergeben sich sehr große (z.B. bei Gehäusen) oder sehr kleine (z.B. aushärtbare Nickelbasislegierungen für Turbinenschaufeln) Mengen verwendbarer Werkstoffe. Zusätzlich lassen sich werkstoffkundliche Kriterien wie die Gruppierung von Werkstoffen zu „Werkstoff-Familien“ in einer Werkstoffhierarchie³⁸ heranziehen. Individuelle und abteilungsspezifische Präferenzen könnten überdies die benutzer-

der Anfragebewertung, die im Rahmen des Benutzertests von *Wing-Graph* gemacht wurden: Dort wird die unscharfe Interpretation wesentlich positiver bewertet als Kontext der Vorab-Befragung, s.u. Kap. 7.2.2.1.7.

³⁸ Vgl. die unter anderem auf Wissen über Werkstofffamilien aufsetzende experimentelle Retrievalhilfe *Wing-SJM* zur Bestimmung ähnlicher Werkstoffe bei Datenlücken, cf. ROPPEL 1993A.

Vorgeschlagenes Ordnungskriterium	Bewertung
Konstruktionsbedingte Ordnung: Gliederung nach Bauteilen (z.B. Gehäuse, Turbine) Untergliederung nach Bauteilgruppen für Gehäuse, Rotor, Schaufeln	Allgemein üblich 2 x Festigkeit, Entwicklung
Werkstoffkundliche Ordnung: Gliederung nach Werkstofffamilien	Konstruktion.
Mehrparametrische Ordnung: Gliederung in baugruppenspezifische Werkstofffamilien, z.B. Guß-, DS-, SC-Werkstoffe für Turbinenlauf- und -leitschaufeln	Entwicklung
Inhaltliche Ordnung Ordnung nach Leistungskriterien (z.B. „Kurvenverlauf von Werkstoff Z für Schaufeln im Bereich 700 C° besonders geeignet“)	Konstruktion

Tabelle 6: Ordnungskriterien für Werkstoffauswahlmenüen

spezifische Parametrisierung solcher Werkstoffmenüen im Sinne eines adaptierbaren Interfaces rechtfertigen. Wichtiger noch als die Bestimmung möglicher Kriterien für die Auswahl typischer Werkstoffe ist die grundsätzliche Bestätigung des Vorschlags, graphisches Retrieval zusätzlich zum Einsatz als Ergebnisretrieval, das auf einem Retrievalzyklus aufsetzt, zum Ersteinstieg bei der Werkstoffrecherche zu nutzen, indem den Benutzern Ikonenmenüen mit den Kennwertverläufen typischer Werkstoffe angeboten werden.

3.3 Fazit

Die Vorstellung des Anwendungsgebietes Werkstoffinformation im engeren Rahmen der Werkstoffdatenbankanwendung des Kooperationspartners MTU und die Auswahl der Datengrundlage bilden eine notwendige Voraussetzung für die Verwirklichung einer graphischen Retrievalkomponente, sagen aber noch nichts über deren praktische Verwendbarkeit bei typischen Informationsbedürfnissen der Datenbankbenutzer aus. Die dabei getroffene Datenauswahl hält der Gegenüberstellung mit den Interessen und spezifischen Fragestellungen der Werkstoffexperten stand. Anhand der sowohl in der Fachliteratur üblichen als auch im engeren Anwendungskontext gebräuchlichen Darstellungsformate zeigt sich, daß für das graphische Retrieval nach Werkstoffinformation Liniendiagramme der geeignete Ausgangspunkt sind - eine Festlegung, die noch anhand kognitionspsychologischer Erkenntnisse theoretisch zu überprüfen ist (Kap. 5).

Die weit verbreitete und als sehr wichtig eingestufte Verwendung graphischer Informationsdarstellungen bei der Informationsbeschaffung und -interpretation durch Werkstofffachleute belegt von der Seite der Datenbankbenutzer her das erhebliche Anwendungspotential für eine graphische Retrievalhilfe. Die in Kap. 2 ent-

wickelte Einordnung des graphischen Retrieval als „aufgesetztem“ Modus, der sich an einen initialen Retrievalvorgang und dessen (graphische) Ergebnispräsentation anschließt, bestätigt sich: Bei der Interpretation von Informationsvisualisierungen sind vergleichende, sich auf vorgegebene Daten beziehende Fragestellungen besonders relevant. Durch die Vorlage von Werkstoffkurven können sich im Anschluß an ein initiales Informationsbedürfnis - in Analogie zur Benutzung eines Werkstoffhandbuches das Nachschlagen der Daten eines Werkstoffes und deren anschließende Visualisierung - Anschlußfragestellungen ergeben, die durch die graphische Retrievalkomponente abzudecken sind.

Dabei fällt auf, daß differenziert nach verschiedenen Aufgabengebieten von Werkstoffexperten eine große Bandbreite vergleichender und ergebnisbasierter Fragestellungen auftritt. Ein heterogenes Bild ergibt sich bezüglich der individuellen wie systemseitigen Deutung graphischer Formverläufe. Wenn auch grundsätzlich deutlich wird, daß hier ein wesentliches Problemfeld der Implementierung einer graphischen Retrievalkomponente liegt, sind Detaildifferenzierungen erst auf der Basis empirischer Erkenntnisse möglich.³⁹

Es wäre freilich verfrüht, bereits eine konkrete Auswahl visueller Operatoren für das graphische Retrieval festzulegen. Diese zentrale Strukturentscheidung soll erst im Zusammenspiel mit theoretischen Erkenntnissen zur Wahrnehmung von visualisierter Information erfolgen. Zusätzlich ist die Verwendung des graphischen Retrieval als „Erstmedium“ des Rechercheprozesses nicht ausgeschlossen; vielmehr gibt es Hinweise auf die Eignung nach bestimmten Kriterien strukturierter Werkstoffmengen in visualisierter Form für den Retrievaleinstieg.

Abschließend ist zu bemerken, daß die befragten Fachleute sich in der Vorstudie überwiegend skeptisch zur Anwendbarkeit einer graphischen Retrievalkomponente für Werkstoffrecherchen äußerten, obwohl sie die Bedeutung der graphischen Informationsdarstellung für eine angemessene Interpretation der Daten betonten. Die Bedenken lassen sich möglicherweise auf den Umstand zurückführen, daß zum Zeitpunkt der Befragung noch kein Systementwurf bzw. demonstrierbarer Prototyp vorlag, die Experten mithin auf vage Vorstellungen von Funktionsfähigkeit und Design eines graphischen Faktenretrievalsystems zurückgreifen mußten. Die negative *ex ante*-Einschätzung steht auf jeden Fall in deutlichem Widerspruch zu den Ergebnissen und Systembewertungen der Evaluierung von *Wing-Graph* durch den gleichen Personenkreis (Kap. 7.2.3).

³⁹ Vgl. Kapitel 7 und die Folgerungen zur Ausdifferenzierung der graphischen Recherchese-mantik in Kapitel 8.

4 Graphische Informationssysteme und visuelle Sprachen

Nach Einordnung in den Projektkontext, Entwicklung eines Modells für das zyklische (graphische) Retrieval und Vorstellung der konkreten Anwendungsdomäne und ihrer Voraussetzungen für graphische Retrievaloperationen folgt in diesem Kapitel ein Blick auf den Stand der Forschung bezüglich graphischer Informationssysteme und damit ein perspektivischer Wechsel zur Problematik der Systemgestaltung. Drei Gesichtspunkte stehen im Mittelpunkt:

- a) Motivation und Begründung der Verwendung graphischer Darstellungsmittel und Interaktionstechniken,
- b) Zusammenhang von Visualisierung und thematischer Ausrichtung der einzelnen Systeme bzw. der konkrete Bezug der Visualisierungsform zu den visualisierten Daten und Strukturen und
- c) Techniken der Ausgestaltung graphischer Mensch-Maschine-Interaktion und visuelle Dialogformen (visuelle Sprachen).

Sie bilden die analytische Leitlinie bei der Untersuchung der einzelnen Bereiche, in denen visuelle Informationssysteme zum Einsatz kommen. Die Betrachtungsgrundlage ist wegen der inzwischen existierenden Fülle von Systemvorschlägen und Anwendungsgebiete mit Hinblick auf das Problem des graphischen Retrieval in Faktendatenbanken eingeschränkt: Graphische Datenbankschnittstellen, visuelle Abfragesprachen und visuelles Information Retrieval stehen im Mittelpunkt; andere Domänen für den Einsatz visueller Informationssysteme (z.B. visuelles Programmieren) kommen nur am Rande zur Sprache. Das Ziel ist es einerseits, das graphische Ergebnisretrieval von *Wing-Graph* in den Forschungskontext einzuordnen, andererseits aus der Vielzahl von Designvorschlägen Hinweise für die Gestaltung von *Wing-Graph* abzuleiten. Auf die Darstellung visueller Informationssysteme folgt die Interpretation des graphischen Retrieval als visueller Sprache und zugleich eine Klassifikation der im System *Wing-Graph* verwendeten graphischen Dialogebenen.

Die Epitheta *graphisch* oder *visuell* haben in der jüngeren Entwicklung von Informationssystemen eine wechselnde, letztlich inflationäre Verwendung gefunden, die eine inhaltliche Unterscheidung zwischen „visuellen“, „graphischen“ oder „graphisch-interaktiven“¹ Systemen erschwert. Dies wird durch die Tendenz verstärkt,

¹ Der Begriff „interaktiv“ kennzeichnet eine Übergangsphase in der Entwicklungsgeschichte der Computergraphik, als interaktives Arbeiten am Rechner noch keine Selbstverständlich-

seit der Einführung graphischer Benutzerschnittstellen als Gestaltungsumgebung prinzipiell jedes auf dieser Interaktionsmethode basierende Programm als „graphisches System“ zu kennzeichnen.² Mit graphischen Systemen ist als fachlicher Bezugspunkt die graphische Datenverarbeitung angesprochen; für sie ist die gleiche definitorische Weite auszumachen. WILLIM definiert sie wie folgt:

Unter der grafischen Datenverarbeitung versteht man allgemein die Erstellung, Erfassung, Bearbeitung, Darstellung und Manipulation von bildlichen Darstellungen mittels einer programmgesteuerten Rechanlage (WILLIM 1989:19).

Die Definition ist sehr weit gefaßt, da sie sowohl

- a) Systeme, die graphische Techniken als *wesentliches* und für das System *charakteristisches* Mittel zur Arbeit auch an Daten einsetzen, die prinzipiell nicht (nur) graphischer Natur sind³ als auch
- b) Systeme, die graphische Information darstellen, speichern oder nach ihnen recherchieren

umfaßt, also auch Datenvisualisierungssysteme oder das graphische Retrieval von *Wing-Graph*.⁴ FOLEY et al. wählen in ihrem Standardwerk zu *computer graphics* für die Interpretation des verwandten Begriffes „Computergraphik“ eine historische Perspektive und inkludieren grundsätzlich jede Behandlung graphischer Information als graphische Datenverarbeitung:

Computer Graphics started with the display of data on hardcopy plotters and cathode ray tube (CRT) screens soon after the introduction of computers themselves. It has grown to include the creation, storage, and manipulation of models and images of objects. These models come from a diverse and expanding set of fields, and include physical, engineering, architectural, and even conceptual (abstract) structures, natural phenomena, and so on (FOLEY et al., 1990:1).⁵

Die globale Charakterisierung der graphischen Datenverarbeitung, der Computergraphik und der graphischen Informationssysteme hat auch Vorteile: Bei *Wing-Graph* ist auf jeden Fall ein Problem der Klasse b) gegeben: Das System präsentiert dem Benutzer Fakteninformation in graphischer Darstellungsweise (Visualisierungsproblem).

keit war, vgl. FOLEY et al. 1990:xi, die bei der zweiten Auflage ihres Klassikers zur Computergraphik „interaktiv“ aus dem Titel entfernten.

² So der Vorschlag von DALY 1991 zur Gestaltung von *graphical management systems*, der Datenbanktechnologie, graphische Benutzerschnittstellen und *User Interface Management Systems (UIMS)* vereint, vgl. auch BROWN, TOOK & DALY 1990.

³ Eine ähnliche Unterscheidung bezüglich der in einem System modellierten Information nehmen ENCARNAÇÃO & NEUMANN 1980:287 vor.

⁴ Cf. die ausführliche Behandlung von Präsentations- und Businessgraphik bei WILLIM 1989:49ff.

⁵ So im Ergebnis auch MAGNENAT-THALMANN & THALMANN 1986:4ff., die eine anwendungsbezogene und ebenfalls strukturell unsystematische Sachgebetsbeschreibung der *informatique graphique* geben.

Die Visualisierung erstreckt sich aber gerade auf die *Anfragezusammenstellung*, so daß ein typischer Fall der Klasse a) (Rechercheproblem) vorliegt. Es treffen also Aspekte der „Graphik mit dem Computer“ mit solchen der „Graphik für den Computer“ im Sinne eines zusätzlichen und neuen Gestaltungsmittels zusammen.

4.1 Visualisierung in Datenbank- und IR-Benutzeroberflächen

Entsprechend den oben genannten Vorgaben enthält die folgende Übersicht zu visuellen Informationssystemen eine Schwerpunktbildung für den Datenbankbereich und schließt zentrale Fragestellungen der Computergraphik⁶ von vorneherein aus, da sie für den Kontext einer graphischen *Retrievalschnittstelle* zu Werkstoffinformation nicht relevant sind.⁷

Die Möglichkeit, die Datenbankgestaltung und den Zugang zu Datenbanken mit Hilfe visueller Mittel zu verbessern, hat ihren Ausgangspunkt bei dem Problem der Darstellung komplexer Strukturzusammenhänge, die in klassischen alphanumerischen Darstellungsformen nur unzureichend zu bewältigen sind. Hinzu kommt der Bedarf nach Datenbanksystemen, die graphische Daten verwalten und zugänglich machen, wobei beide Problemkreise oft zusammen fallen (komplexe Struktur visueller Daten).⁸ Visuelle Elemente des Interfaces können vornehmlich zwei Aspekte der Datenbankfunktionalität stützen:

- Die Definition, Modifikation und Manipulation des Datenmodells durch visuelle *data definition und manipulation languages*
- Der Datenbankzugang (Retrievalproblem) durch Verwendung visueller Elemente bei der Abfrage im Rahmen sog. *visual query systems*.

Vernachlässigt man den Aspekt der visuellen Natur der in einer Datenbank verwalteten Daten selbst, so ergibt sich nach BATINI et al. 1992:153 die folgende Definition visueller Abfragesysteme (*visual query systems*):

⁶ Einen erschöpfenden Überblick hierzu geben CHANG 1989 (Perspektive der Systemgestaltung), FOLEY et al. 1990 und WILLIM 1989 (allgemein zu Computergraphik).

⁷ Obwohl es auch auf diesem Gebiet interessante Ansätze zur direkt-manipulativen graphischen Dialoggestaltung im engeren Sinn gibt, wie der Vorschlag von ALLAN, WYVILL & WITTEN 1989 beweist, die die Direktmanipulation für die Modifikation geometrischer Modelle (*polygon meshes*) in der Computergraphik verwenden; vgl. auch CROS & BROCK 1988:448ff., VAN EMMERIK 1989 und 1990. Die Probleme der geeigneten Strukturierung des Handlungsraumes und der Bedeutungszuweisung für graphische Benutzeraktionen in einer visuellen Sprache existieren dort in ähnlicher Weise wie für Operationen über einer Datenbank.

⁸ Vgl. ENCARNACÃO & NEUMANN 1980:288-292 und KLINGER & PIZANO 1989, die sich ausführlich mit der konzeptuellen Modellierung visueller Daten (hier: geographische Daten) befassen.

Visual Query Systems (VQS) are query systems using visual representations to denote the domain of interest and express related requests; they may be seen as an evolution of query languages adopted in database management systems.

Ausgehend von dieser Definition kommen sie zu einer viergliedrigen Klassifikation existierender Datenbankabfragesysteme in Hinblick auf ihre visuellen Eigenschaften:

- a) Ausgangs- und Vergleichspunkt sind formale Abfragesprachen (bei BATINI et al. wie in *Wing-IIR* der Standard für relationale Datenbanksysteme, d.h. SQL), in denen die Anfrage als linearer Zeichenstring ohne besondere visuelle Merkmale repräsentiert ist,
- b) Abfrageschemata auf der Grundlage des *Query-by-Example*-Gedankens, bei denen die Tabellenstruktur der relationalen Datenbank zur Visualisierung herangezogen wird,
- c) im engeren Sinne graphische Anfragemöglichkeiten, typischerweise auf der Basis einer erweiterten Visualisierung der Datenbankstruktur und der logischen Zusammenhänge der Abfrage und
- d) ikonische Abfragesysteme, die Ikonen als visuelle Elemente zur Repräsentation von Inhalten und Strukturen verwenden (BATINI et al. 1992:158ff.).

Die Schwerpunkte visueller Datenbankschnittstellen liegen auf den Varianten c) und d), die allein graphische Elemente im engeren Sinn als Designelemente einführen. Dabei hat sich eine besondere Vielfalt experimenteller Informationssysteme, die visualisierte Datenbankstrukturen vom Typ c) verwenden, herausgebildet.

Für das klassische Information Retrieval in Dokumentkollektionen stellt sich das gleiche Problem einer visuellen Interfacegestaltung. Im Gegensatz zu Datenbanken zeichnen sich Dokumentkollektionen als Datenbasis für Retrievalsysteme typischerweise durch eine sehr komplexe und kaum zu formalisierende inhaltliche und logische Struktur aus, weshalb die oben für Faktenretrievalsysteme geschilderten Visualisierungsstrategien für diesen Bereich kaum greifen. Obwohl der Interfacegestaltung, zu der man den Einsatz visueller und graphischer Verfahren bei der Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion rechnen kann, traditionell in der Information-Retrieval-Forschung wenig Beachtung geschenkt wurde,⁹ sind in den letzten Jahren doch einige bemerkenswerte Systemprototypen entstanden, die verschiedene Aspekte der Informationsvisualisierung im Dokumentretrieval aufzeigen.

⁹ CROUCH & KORFHAGE 1990:310: "[...] graphics technology has not been fully incorporated into existing sophisticated information retrieval systems. Research in the application of graphics technology has generally been limited to the enhancement of user-system interaction through the utilization of window management techniques and man-machine communication devices (such as the mouse)." Als Beispiele, die belegen, daß Schnittstellengestaltung inzwischen im Information Retrieval verstärkt Beachtung findet, sind etwa die graphischen Schnittstellen für Bibliothekskataloge (OPACs) *Marian* (FOX et al. 1993) und *VisualMelvyl* (GILLESPIE 1991). Weitere Beispiele und Literaturübersicht zur Schnittstellengestaltung von Information Retrieval-Systemen bei SHAW 1991, bes. 165ff.

Die Ausgangslage für den Einsatz visueller Elemente in Retrievalschnittstellen schildern CROUCH & KORFHAGE 1990:305f:

Since skilled users often find it difficult to formulate effective search requests and to interact usefully with document retrieval systems, less competent users may be faced with insurmountable problems. [...] In these circumstances, it is essential to consider the use of visual representations in information retrieval systems as a means of simplifying the user-system interaction for both novice and experienced users.

Abgesehen davon, daß der von CROUCH & KORFHAGE unausgesprochen angenommene Zusammenhang zwischen Visualisierung und Vereinfachung (oder: Verbesserung?) der Mensch-Maschine-Schnittstelle keineswegs selbstverständlich ist, deutet die Aussage auf ein Dilemma der traditionellen Information Retrieval-Forschung hin: Jahrzehnte der Entwicklung, Verbesserung und Verfeinerung formaler Retrievalmodelle haben das grundlegende Problem der Interaktion mit Dokumentkollektionen als extrem komplexen informationellen Strukturen nicht wesentlich vereinfachen können. Visualisierung bietet sich dort als zusätzliche Gestaltungsstrategie an, findet aber gerade wegen der Komplexität keinen einfachen Ansatzpunkt vor.

Die Darstellung visueller Informationssysteme ist nach den Verwendungsformen graphischer Mittel in Anlehnung an die Kategorisierung von BATINI et al. 1992 gegliedert. Dabei handelt es sich im einzelnen um

- a) die Visualisierung von Datenstrukturen und ihre Verwendung für den Anfrageaufbau mit direkt-manipulativen Mitteln,
- b) ikonische Schnittstellengestaltung als typisches Merkmal graphischer Benutzerschnittstellen und visueller Sprachen,
- c) die Recherche nach graphischer Information mit visuellen Mitteln und das Aufgreifen von Vorlagestrukturen,
- d) die metaphernbasierte Gestaltung von Recherchesystemen und
- e) die Interaktion mit Liniendiagrammen.

4.1.1 Datenstrukturvisualisierungen

Ausgangspunkt graphischer Datenstrukturvisualisierungen ist einerseits die logische Mächtigkeit der zugrundegelegten Sprachen für Datendefinition, -manipulation und -abfrage,¹⁰ andererseits die hohe Komplexität der zu modellierenden Daten und der auf sie bezogenen Anfragen. Hinzu kommt aus der Sicht der Mensch-Maschine-Interaktion die Schwierigkeit, formale Abfragesprachen dem Benutzer zu vermitteln:

All of these models and languages have achieved only minimal success with untrained end users whenever anything more than trivial queries are involved [...]. The most promising approach appears to be the development of visual aids for end users,

¹⁰ V.a. SQL als Abfragesprache und das *entity-relationship*-Modell für relationale Datenstrukturen.

and attempts have been made to add visual front ends to existing models (ORMAN 1992:227f; vgl. auch ORMAN 1991:471).

Als Visualisierungsmittel bieten sich elementare geometrische Formen an, die die strukturellen Zusammenhänge verdeutlichen: Rechtecke, Kreise, Baumstrukturen, semantisch interpretierbare Kanten zwischen den Strukturelementen, jeweils ohne inhaltlichen Bezug zur Datenbasis und in einer per Konvention vereinbarten Beziehung zum visualisierten Sprachelement (z.B. Spaltenbezeichnung, logische Verknüpfung etc.).

Auf dieser Basis sind zahlreiche Datenstrukturvisualisierungen entstanden, die ihren Schwerpunkt auf der Entwicklung graphischer Manipulationssprachen für *entity-relationship*-Modelle haben:¹¹

- System *Gordas* (ELMASRI & LARSON 1985, LARSON 1986): Direkt-manipulative Browsingoperationen für *E-R*-Schemata
- CZEJDO, REDDY & RUSINKIEWICZ 1988: Graphische Umsetzung von SQL, Direktmanipulation von Tabellen zur Anfragedefinition
- System *PICASSO* (*PIC*tured *A*ided *S*ophisticated *S*ketch of *D*atabase *Q*ueries) (KIM, KORTH & SILBERSCHATZ 1988): Graphische Datenbankabfragesprache für das *universal relations*-Datenmodell
- System *SUPER* (AUDDINO, AMIEL & BHARGAVA 1991): Behandlung komplexer Objektstrukturen in einem erweiterten *E-R*-Modell (*ERC+*). Kombination graphischer dargestellter *ER*-Schemata mit *QBE*-ähnlichen Formularfenstern (tabellarische Anfragedarstellung)
- System *CANDID* (SCHNEIDER & TREPIED 1989, 1990): Darstellung von Datenentitäten und -relationen in visualisierten objekt-orientierten Hierarchieschemata, die direkt-manipulativ modifiziert werden können; zusätzlich graphische Definition von *Venn*-Diagrammen¹² als Suchanfragen

Abb. 10 zeigt als Beispiel ein Anfrageschema von *CANDID*. Es repräsentiert unterschiedliche Objekttypen durch verschiedene Ausführungen von Rechtecken, Pfeile differenzieren logische Relationen (*is-a*-Beziehung, Objektidentität). Die visuellen Muster geben keine inhaltsbezogene Information, sondern die logische Struktur des Datenbankschemas wieder. Der Benutzer kann mit dem visuellen Vokabular des Systems sowohl Datenbankstrukturen aufbauen (*visual data definition language*) als auch direkt-manipulativ Anfragen „zusammenbauen“. *CANDID* ist ein typischer Vertreter dieses Typs graphischer Datenbankschnittstellen, bei denen lediglich im Detail

¹¹ Eine Diskussion der formalen Expressivität und der Leistungsfähigkeit der vorgeschlagenen Modellierungsmethoden kann im Rahmen dieser Arbeit nicht erfolgen; vgl. aber zu diesem Thema die Diskussion der Übersetzung visueller Operationen in formale Abfragestrings in *Wing-Graph* in Kap. 6.3 und 8.1.2.

¹² Die typische Visualisierungsform in der Mengenlehre. In neueren Ansätzen in modifizierter Weise auch im Textretrieval verwendet, vgl. HEARST 1994 (System *Cougar*) und SPOERRI 1994 (System *InfoCrystal*).

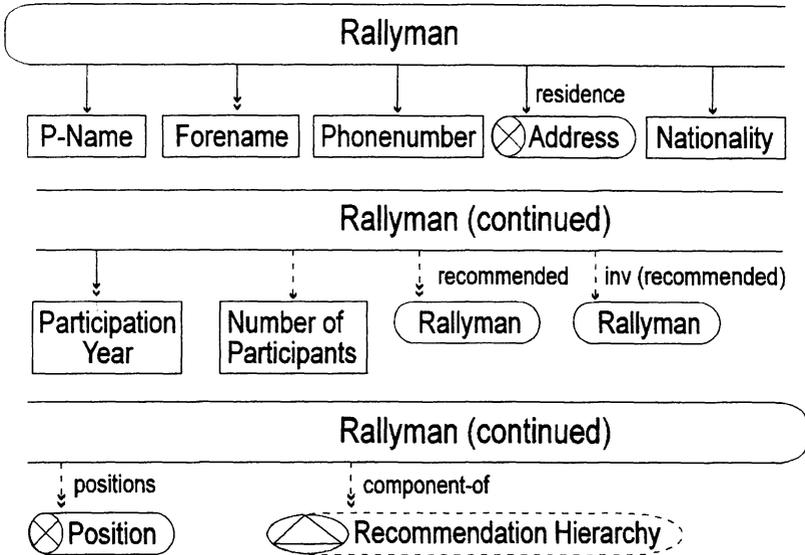


Abbildung 10: Graphisches Anfrageschema in CANDID (nach SCHNEIDER & TREPIED 1990:75)

die zur Darstellung verwendeten Muster variieren, ansonten aber das gleiche Gestaltungsprinzip verwendet wird: Visualisierung und direkte graphische Manipulation logischer Strukturen.

Abstrahiert man von den konkreten formalen Modellen, auf denen sie aufgebaut sind, so ist offensichtlich, daß jeweils „nur“ diese technisch bedingte Formalisierung des Datenbankwissens zur Visualisierung herangezogen wird: Es besteht keine Verbindung zwischen *Inhalt* der Datenbasis und der Art ihrer Visualisierung. Damit ergibt sich zwar prinzipiell eine leistungsfähige, da anwendungsunabhängige Form der Visualisierung,¹³ es wird aber ein Defizit im Begründungszusammenhang für den Einsatz der Visualisierung selbst deutlich: Die Überlegenheit graphischer Darstellung und Manipulation von Strukturen gegenüber anderen, insbesondere formalen Datenbanksprachen ist einfach vorausgesetzt („Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“); zugleich wird auf den „ungeübten, von komplexen Strukturen ohne graphische Hilfsmittel überforderten Benutzer“ verwiesen.¹⁴ Die Wahl konkreter graphi-

¹³ Diese Gestaltungsmethodik denken CATARCI, SANTUCCI & ANGELACCIO 1993 mit der formalen Spezifikation *graphischer Primitive* für graphische Abfragesprachen konsequent weiter.

¹⁴ Vgl. die fast überall gleichlautende Beschwörung der Mächtigkeit graphischer Systeme bei CAMPBELL, EMBLEY & CZEJDO 1987:89, KIM, KORTH & SILBERSCHATZ 1988:169, AUDDINO, AMIEL & BHARGAVA 1991:172, PAREDAENS & THYSENS 1991:709, um nur einige aufzuführen.

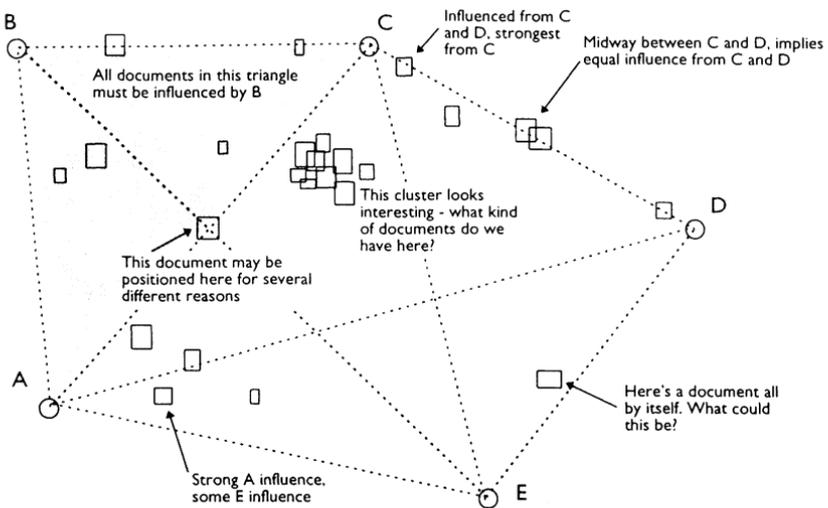


Abbildung 11: Beispielanfrage in Vibe (KORFHAGE 1991:138)

scher Formen ist im einzelnen aber unbegründet und unmotiviert. Eine Diskussion der kognitiven Voraussetzungen der visuellen Wahrnehmung und der Verarbeitung der Visualisierung durch den Benutzer findet nicht statt,¹⁵ obwohl erste empirische Untersuchungen immerhin die Nützlichkeit derartiger Visualisierungsstrategien unterstreichen.¹⁶ Gleichfalls weitgehend unbestimmt verbleibt die Zuordnung von logischen Operationen und Handlungen des Benutzers im Interface, immerhin zeigen die Systeme das Bestreben, der direkten Manipulation der visuellen Strukturen eine möglichst umfassende logische Mächtigkeit zu verleihen.

Vergleichbar mit den graphischen Anfragemöglichkeiten in Datenstrukturvisualisierungen ist ein Visualisierungsvorschlag für das Information Retrieval: Die starke implizite Bezugnahme auf inhaltliche Strukturierungskriterien schlägt KORFHAGE 1991 mit dem System *Vibe* vor.¹⁷ In einer zweidimensionalen Repräsentation des Suchraums kann der Benutzer inhaltlich definierte *points of interest (POIs)* setzen. Aus ihnen baut das System ein Netzwerk von Beziehungen auf, in das es die Dokumente einordnet, die es zur durch die *POIs* definierten Anfrage finden kann (Abb. 11). Aus der so gewonnenen visuellen Anordnung des *result sets* lassen sich Folgerungen über den inhaltlichen Bezug einzelner Dokumente (oder graphisch

¹⁵ Nicht zuletzt aufgrund dieser Beobachtung hat der Versuch, für das vergleichsweise gut vorstrukturierte und erforschte Visualisierungsproblem von *Wing-Graph* eine theoretische, kognitionspsychologische Basis zu finden, eine zentrale Bedeutung für diese Arbeit (Kap. 5).

¹⁶ DAVIS 1990 zeigt, daß besonders bei komplexen Anfragen (*multi-table join*) Strukturdiagramme den Retrievalerfolg heben.

¹⁷ *Visualization by Example*. vgl. auch PARMANTO 1992, OLSEN 1993.

dargestellter Dokumentcluster) ziehen: Je näher ein Dokument oder Dokumentcluster an einem *POI* liegt, um so stärker ist die inhaltliche Beziehung zu diesem Anfrageterm. Betrachtet man das abgebildete Beispiel einer solchen visuellen Dokumentanordnung, so sieht man, daß das Verfahren um so besser funktionieren kann, je deutlicher die Beziehung einzelner Dokumente zu einzelnen *POIs* ist; paßt ein „optimales“ Dokument auf alle Referenzpunkte *gleich* gut (oder schlecht), so kann das Display dies kaum in geeigneter Weise zum Ausdruck bringen (an sich wäre bei n Suchtermen eine n -dimensionale Repräsentation notwendig, wollte man alle Beziehungen im richtigen Maßstab abbilden).

Im Kontext des graphischen Retrieval von *Wing-Graph* ist der bedeutendste Kritikpunkt an Datenstrukturvisualisierungen der einer fehlenden *kognitiven Entlastung* des Datenbankbenutzers von der Metaebene der technischen Datenverwaltung: Trotz aufwendiger Visualisierungsstrategien muß sich der Benutzer nach wie vor mit der logischen Struktur des Datenmodells und den möglichen Operationen darüber auseinandersetzen: Zwar gibt die Visualisierung eine gewisse Stütze, der wesentliche Nachteil der mentalen Belastung beim Erlernen formaler Sprachen bleibt aber erhalten. Den größten Vorteil haben solche Visualisierungen bei sehr komplexen Anfragen, die in textueller oder tabellarischer Form unüberschaubar werden können¹⁸ - in diesem Sinn sind solche *visual query systems* eher auf den professionellen Datenbankverwalter als den „gewöhnlichen“ Datenbankbenutzer mit inhaltlichen Rechercheproblemen zugeschnitten. Die Systemgestaltung muß einen Zielkonflikt lösen: Je enger sich die Visualisierung am logischen Datenbankmodell orientiert, um so genereller läßt sich das resultierende *visual query system* einsetzen und um so stärker ist der Benutzer gezwungen, sich mit Strukturaspekten auseinanderzusetzen, die nicht mit seinen informationellen Suchproblemen für ihn unmittelbar erkennbar verbunden sind.

Als Gestaltungsleitlinien können aus den geschilderten Systemen immerhin die folgenden Kriterien abgeleitet werden: Der positive Charakter visueller *Vorlagestrukturen* im Sinne des *Query-by-Example*-Gedankens, die bei thematischer Unabhängigkeit das aktive Gedächtnis des Benutzers entlasten können und sich in graphischen Benutzerschnittstellen gut realisieren lassen; die Verlagerung logischer Datenbankoperationen auf die Ebene direkt-manipulativer Aktionen des Benutzers; und schließlich der allgemeine Visualisierungsgedanke, der davon ausgeht, daß logische Zusammenhänge in visualisierter Form einfacher zu vermitteln sind.

4.1.2 Ikonische Datenbankschnittstellen

Das zweite im engeren Sinn graphische Modell der Gestaltung von Datenbankschnittstellen sind ikonensierte Systeme. Die Verwendung von Ikonen ist eines der wesentlichen Merkmale graphischer Benutzerschnittstellen; ursprünglich einge-

¹⁸ So auch BATINI et al. 1992:166 in ihrer Komplexitätsklassifikation verschiedener Datenbankinterfacetypen. Es ergibt sich so allerdings ein gewisser Widerspruch zur immer wieder angesprochenen Zielgruppe *naive user*, vgl. oben Fn. 14.

führt mit der *Xerox Star*-Software (vgl. ROGERS 1989:108), können sie als "computer displayed object which offers visual information to the user and can be the target of a user's operation"¹⁹ in vielfältiger Weise verwendet werden: Als *Datenikonen* (z.B. Dokumente) repräsentieren sie Objekte des Interface, über denen Aktionen des Benutzers ausgeführt werden, als *Funktionsikonen* (z.B. Kopierer, Mülleimer) sind ihnen selbst funktionale Aspekte zugeordnet. Gegenüber der Betonung der formalen und strukturellen Zusammenhänge bringen ikonische Datenbankschnittstellen drei wesentliche Aspekte der Visualisierung und graphischer Benutzerschnittstellen im allgemeinen ins Spiel:²⁰

- a) Die Möglichkeit der Entwicklung und des Einsatzes von Metaphern bei der Systemgestaltung als Vermittlungsinstanz zwischen Weltwissen des Benutzers und Systemfunktionalität bzw. Mensch-Maschine-Interaktion, die meist auf ikonische Elemente zurückgreift,²¹
- b) die eidetische Referenz²² auf in der Datenbasis vorhandene Objekte oder Objektklassen, die die Überwindung der Trennung von formaler Struktur und inhaltlichem Interesse des Benutzers am Datenbestand selbst (nicht dessen logischer Zusammenhänge und Zugangsmechanismen) erleichtert und
- c) die der technologischen Entwicklung graphischer Schnittstellen zu attribuierende Rolle von Ikonen als deren wesentliche Elemente.²³

Die Unterscheidung zwischen diagrammatischen Interfaces, wie sie oben vorgestellt wurden, und ikonischen Retrievalschnittstellen gründet auf der eidetischen oder symbolischen Bezugnahme der Ikonen zur Anwendungsdomäne des Systems; ansonsten werden ikonische Elemente als funktionale Steuerungsmittel auch bei der Manipulation von Datenstrukturvisualisierungen verwendet. Die Nutzung der Bildhaftigkeit schränkt die Operationalisierbarkeit ikonischer Schnittstellen für den Datenbankzugang ein, da die bildliche Umsetzung die Auswertung der Datenbank erforderlich macht und über den generischen Strukturbezug hinausgeht.

¹⁹ TONOMURA & ABE 1989:69. Vgl. auch CHANG 1989:278: "Historically, the term 'icon' has been associated primarily with religious images. It was introduced into computing to denote a symbolic representation that can be used to direct data manipulation operations."

²⁰ Zur Verwendung von Ikonen in graphischen Schnittstellen vgl. vor allem die Arbeiten von ROHR (1984, 1986, 1988, und 1990); Möglichkeiten der formalen Behandlung der Ikonenverwendung im Sinne von CHANGS *pure icons* bleiben hier außer Betracht (vgl. CHANG et al. 1987).

²¹ Das beste Beispiel der Metapherverwendung ist nach wie vor die Büro- bzw. Schreibtischmetapher für Bürosoftware, die die weitgehendste Abbildung einer Arbeitsumgebung in der Systemoberfläche leistet - mit allen positiven und negativen Konsequenzen (Metapherbruch bei Abweichung von der 1:1-Umsetzung im Interface), cf. KRAUSE 1986, 1993:339f.

²² Wenigstens bei direkt repräsentationalen Ikonen; CHANG 1989:280 unterscheidet repräsentational-eidetische, symbolisch-abstrakte Ikonen und solche, die per Konvention ihre Bedeutung durch ein beliebiges graphisches Zeichen erhalten.

²³ Die situative Gebundenheit des Gestaltungsraums an technisch Vorgaben wie Software-Toolkits, Oberflächenstandards - mit Ikonen als einem graphischen Designelement unter vielen - kommt in Kap. 6 zur Sprache.

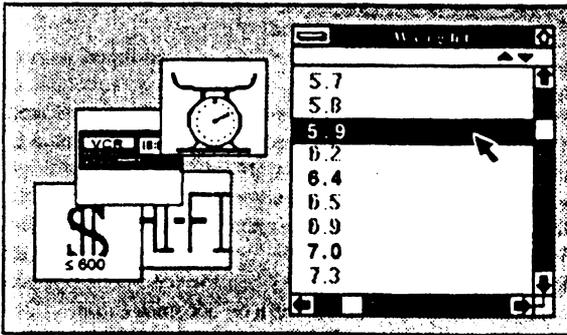


Abbildung 12: IconicBrowser: Ikonische Beispielanfrage
(TSUDA et al. 1989:134 Abb. 8)

Ein gutes Beispiel für eine ikonische Retrievalschnittstelle gibt das System *IconicBrowser*,²⁴ in dem Ikonen verschiedene Klassen einer objekt-orientierten Datenbank (zu Elektrogeräten) repräsentieren (als *abstract/symbolic icons*, Abb. 12) und zum Aufbau einer Anfrage herangezogen werden können. Daneben sind eigene

Ikonenklassen für logische Verknüpfungen und Parametrisierungen der Objektikonen vorhanden (z.B. *join*- oder *union*-Ikone, Parametrisierungen für Preis, Gewicht etc.), die für komplexe Anfragen Objektikonen verknüpfen können. Neben dem repräsentationalen Aspekt der Ikonen wird ihre räumliche Anordnung durch *spatial parsing* für Mengenoperationen genutzt.

Für *Wing-Graph* lassen sich mehrere Verwendungspunkte für ikonische Elemente festmachen: Zum einen bietet die visuelle Informationsdarstellung einzelner Datensätze in Werkstoffkurvenikonen einen Einstiegspunkt in das System, indem sie eine visuelle Datenvorselektion ermöglichen und so die Ausgangssituation für ein graphisches Ergebnisretrieval herstellen, zum anderen als funktionale Ikonen im Sinne des WOB-Modells, die als Werkzeugobjekte des Interfaces auf andere Elemente einwirken und wesentliche Bereiche der Leistungsfähigkeit des Systems verfügbar machen.

Die Nachteile eines stark ikonensbasierten Ansatzes liegen auf der Hand: Die bildliche Zuordnung von visuellem Informationsgehalt der Ikonen und der tatsächlichen Datenbasis erfordert bei großen Datenmengen immer eine Abstraktionsleistung auf typisierte Repräsentanten oder Superklassen, da die Beschränktheit sowohl der Oberfläche als auch der visuellen Aufnahmefähigkeit des Benutzers keine beliebigen großen visuellen Auswahlmengen zulassen. Funktionale Ikonen bleiben solange ein gutes Gestaltungsmittel, als die Bandbreite der Systemleistungen noch durch solche beschränkt verfügbaren visuellen Strukturierungsmittel darstellbar ist und sie eine möglichst geschlossene Metapher repräsentieren, die den Benutzer in seinem Verständnis vom System zusätzlich stützen kann.²⁵

²⁴ TSUDA et al. 1989. Vgl. auch TONOMURA & ABE 1989, die *MediaBench* vorstellen, eine Schnittstelle für eine Film-Datenbank: Mittels sog. *Videolcons* kann man Filmsequenzen in der Datenbank suchen. Die graphische Recherche orientiert sich am eidetischen Gehalt der Ikonen.

²⁵ Werkzeugsystem und Formulatmetapher im WOB-Modell sind schon wesentlich abstrakter gehalten als z.B. die Schreibtischmetapher, ihr unmittelbarer Weltbezug ist weniger offensichtlich, daher auch schwerer zu vermitteln.

4.1.3 Suchen mit visuellen Mitteln und Aufgreifen von Vorlagestrukturen

Einen Sonderfall unter den visuellen Datenbanksystemen nehmen Schnittstellen zu Bilddatenbanken ein, da neben allgemeinen Visualisierungsstrategien die bildliche Datenbasis als sachbezogene Motivation graphischer Gestaltung hinzukommt. In *Wing-Graph* liegen dem Retrievalvorgang keine Bilddaten zugrunde, daher ist das zentrale Problem des *image retrieval*, die Entwicklung leistungsfähiger *image analysis*- und *pattern matching*-Algorithmen, hier ohne Relevanz.²⁶ Ordnet man aber die Art der Visualisierung in *Wing-Graph* zwischen Datenbankstrukturvisualisierungen als abstraktem graphischem Gestaltungsmittel und Schnittstellen zu Bilddatenbanken mit direktem eidetischem Bezug zwischen Oberflächenelementen und inhärent visueller Datengrundlage ein, so zeigt sich eine Mittelstellung der Informationsvisualisierung in *Wing-Graph*: Die verwendete graphische Form der Liniendiagramme ist den Daten zwar nicht inhärent, geht aber über die Darstellung eines logischen Strukturzusammenhangs hinaus: Die diagrammatische Darstellung visualisiert Zusammenhänge innerhalb einer einheitlichen Datenmenge (Kennwertmeßreihe zu einem Werkstoff) und ermöglicht über ihre Gestalt den Weg zu einer *inhaltlichen* Interpretation der Daten. Die Beschränkung auf die Verwendung eines solchen Verfahren ist also nicht unmittelbar *inhaltsbezogen*-partikulär, sondern basiert auf der passenden Struktur der einzelnen Datenentitäten (Meßreihen). Der wesentliche Bezugspunkt ist die Interfacegestaltung und das Verhältnis visueller und direkt-manipulativer Mittel bei der Ausformung der Retrievaloperationen.

Neben den zahlreichen Modellen, die semantische Bildbeschreibungen als intelligentes Retrievalwerkzeug verwenden, ohne dem Benutzer die dateninhärente visuelle Modalität zur Verfügung zu stellen,²⁷ sind unter den Bilddatenbankschnittstellen vor allem die Ansätze beachtenswert, die in der Schnittstelle selbst visuelle Operationen über den Daten oder Suchhypothesen zulassen, eine Gestaltungstrategie, die bei *Wing-Graph* im Mittelpunkt steht. Ein solches System beschreiben CHARLES & SCRIVENER 1990, die den Benutzer aus visuellen Vorlagen *depictive queries* erstellen lassen, mit denen in der Datenbasis recherchiert wird. Solche Anfragen werden durch eine deskriptive Spezifikationskomponente (*descriptive query*) ergänzt. CHARLES & SCRIVENER gehen auch auf den Gedanken des iterativen bzw. zyklischen Retrieval ein: Suchergebnisse werden in ihrem System visuell präsentiert und lassen auf der Basis der Ergebnisinterpretation eine Modifikation (*refinement*) der Ausgangsanfrage,

²⁶ Vgl. aber als Überblick TAMURA & YOKOYA 1984, ARNDT 1990; allenfalls der Aspekt erweiterter formaler Abfragesprachen auf der Basis von SQL als logische Grundlage des Retrievals (z.B. STÖGERER 1990, WESTLAKE & KLEINSCHMIDT 1990) ist auch für *Wing-Graph* prinzipiell von Interesse.

²⁷ Vgl. MACGREGOR & LEE 1989, RABITTI & STANCHEV 1989, RABITTI & SAVINO 1991.

mithin eine zyklische Retrievalstrategie zu.²⁸ Ihr Ausgangspunkt ist auf das Konzept von *Wing-Graph* übertragbar, wenn man die visuelle Darstellungsform von Werkstoffinformation als für die adäquate Dateninterpretation unerlässlich ansieht:

In current approaches to pictorial databases, then, there is a failure to handle effectively the problem of searching for a picture, or pictures, on the basis of depiction. [...] The problem is that humans find it difficult to use natural descriptive systems (such as language) to adequately describe certain properties of the visual world or information depicted in pictorial representations (CHARLES & SCRIVENER 1990:494).

In diesem Sinn sind Liniendiagramme von Werkstoffkennwerten (oder anderer Information) ein depiktiver Teil der „visuellen Welt“ - es stellt sich das gleiche Problem.²⁹

Die Möglichkeiten der graphischen Spezifikation von Suchhypothesen über Bilddatenbeständen erweitern CAMPANAI, DELBIMBO & NESI 1991 und DELBIMBO, CAMPANAI & NESI 1992, indem sie dem Benutzer eine dreidimensionale Interaktionstechnik ermöglichen: Ausgehend von einer Ikonenmenge, die einerseits typische Bildelemente (Haus, PKW etc.), andererseits elementare visuelle Operationen (Rotation, Verschiebung etc.) repräsentieren, kann der Benutzer ein Suchbild aufbauen, das vom System visuell geparkt und in einen SQL-String als Zugang zur Datenbasis übersetzt wird. Dieses Beispiel zeigt den Übergang zu Techniken der *virtual reality*: Ausgehend von Vorlageprimitiven und ikonisch repräsentierten Operationen erstellt der Benutzer eine Raumkonfiguration als Suchmuster.

Damit ist ein zweiter Aspekt der Recherche mit visuellen Mitteln angesprochen, der auch für *Wing-Graph* eine zentrale Rolle spielt: Die graphische Recherche mit Hilfe von Vorlagestrukturen. Das Aufgreifen vorgefertigter Strukturen bietet sich in den unterschiedlichsten Domänen an:

- a) Nach einem Baukastenprinzip arbeitet das System von WAKIMOTO et al. 1990: Für das Retrieval von Schaltplänen kann der Benutzer selbst Teildia-gramme zusammenbauen, deren Bestandteile (*similarity retrieval*) und strukturelle Beziehungen (*retrieval based on relationship*) vom System als Suchhypothese interpretiert werden.

²⁸ CHARLES & SCRIVENER 1990:496. Ein weiterer Ansatz, der mit direkt-manipulativ erstellten visuell-abbildenden Anfragen arbeitet, wurde schon in Kapitel 2 unter dem Aspekt erweiterter QBE-Systeme vorgestellt: Das System *Art Museum*, das ohne direkte Vorlagestrukturen arbeitet, dem Benutzer aber die freie visuelle Anfragedefinition erlaubt (*sketching*).

²⁹ Weitere Beispiele für diesen graphischen Zugangsweg zur Bildrecherche: HAMANO 1988 schlägt ein System vor, bei dem der Benutzer *key images* recherchieren kann; eine Objektkontur ist die Suchhypothese, recherchiert wird mittels einer Ähnlichkeitsanalyse. Den Gedanken *ikonischer Abstraktion* wenden BORDOGNA et al. 1989 auf die Suche in astronomischen Bilddatenbanken an: Man kann dort mit einer Art „Malkasten“ ikonische Anfragehypothesen skizzieren, die vom System interpretiert und im Bilddatenarchiv auf Entsprechungen überprüft werden.

- b) Ein gutes Beispiel der Verwendung visueller Vorlagen sind Recherchesysteme für chemische Strukturdatenbanken. Neben den auf die Visualisierung beschränkten *molecular modeling systems*³⁰ gibt es eine Reihe von Anwendungen, die die graphische Qualität von Moleküldarstellungen als Mittel für das Retrieval verwenden.³¹ Bei ihnen setzt der Benutzer aus einem Baukasten von Strukturmerkmalen (z.B. Benzolring, Einfach- und Doppelbindungen etc.) ein Molekül oder eine Teilstruktur zusammen, die in der Datenbank gesucht wird. Die direkte Manipulation wird zusammen mit einer inhaltlich motivierten Strukturierung genutzt, um Suchhypothesen zu erstellen: Wie bei *Wing-Graph* wird auf das visuelle Vorstellungsvermögen des Benutzers bezüglich der Datengrundlage zurückgegriffen; die graphische Qualität von Interface und Interaktion ist nicht akzessorischer Natur, sondern bestimmt den funktionalen Kern des Systems.³²
- c) Ein zweites domänenbezogenes Beispiel kommt aus dem Bereich geographischer Informationssysteme, die Recherchen mit Hilfe kartographischer Daten erlauben: JUNGERT 1990³³ stellt eine geographische Datenbank vor, die über eine ikonische visuelle Sprache (*Graqla - graphical query language*) die Definition raumbezogener Recherchen zu Landkarten(ausschnitten) erlaubt: Verschiedene geographische Bezugsformen (relative Lage, Überschneidung, Inklusion etc.) kann der Benutzer aus einer Ikonenmenge selektieren und auf einen Kartenausschnitt anwenden. *Graqla* operationalisiert die visuellen Eigenschaften der Vorlagekarte für die Recherche *und* die Strukturierung der Interfacefunktionalität (ikonische Sprache).

Die Beispiele für graphischen Zugang zu Bilddatenbanken und Aufgreifen von Vorlagemustern lassen einige Gestaltungshinweise für das Retrieval von Werkstoff-Kennwertkurven in *Wing-Graph* erkennen:

- a) Die Möglichkeit einer direkten graphischen Spezifikation bzw. Produktion von Suchhypothesen durch den Benutzer, was übertragen auf *Wing-Graph* das Zeichnen von Kennwertkurven bedeutet, ein Verfahren, das zwar die größte expressive Freiheit beim Anfrageaufbau bietet, aber die höchsten technischen Anforderungen an die Interaktionstechnik des Benutzers stellt.

³⁰ Vgl. WEBER et al. 1988; PALMER 1992, die verschiedene Ansätze der computerbasierten Molekülvisualisierung vorstellen.

³¹ Etwa die graphische Rechercheschnittstelle der *Beilstein Chemical Abstracts*.

³² Auf den graphischen Zusammenbau von Molekülstrukturen als Suchhypothesen - wenn auch weniger durch direkt-manipulative Verfahren - setzen auch die von COHAN 1987, ALLEN et al. 1991 und KURITA et al. 1991 vorgestellten Recherchesysteme.

³³ Vgl. auch JUNGERT 1984, 1986 und CHANG & JUNGERT 1990, die das der Retrievalschnittstelle zugrundegelegte Raumdatenmodell diskutieren.

- b) Die Verwendung einer ikonischen Vorstrukturierung des Suchraums, die eine einfache Vorauswahl ermöglicht und eine visuelle Repräsentation des Datenbankinhalts verwendet. Sie erlaubt es, schon beim Einstieg in die Recherche die visuelle Interpretationsfähigkeit des Benutzers zur Bewertung von ikonischen Vorgaben in Hinsicht auf ein bestimmtes Informationsbedürfnis auszunutzen.
- c) Die Bedeutung visueller Vorlagestrukturen bei der Anfragestellung: Gerade für ein graphisches Ergebnisretrieval ist bei Annahme einer *restringierten autonomen graphischen Produktionsfähigkeit* des Benutzers (Punkt a)) die Vorgabe geeigneter Ausgangshypothesen in Form von Ikonen (Punkt b)) oder aus vorangegangenen Recherchen ein mächtiges Hilfsmittel.

Für Bilddatenbankschnittstellen entfällt das Begründungsproblem für den Einsatz visueller Elemente: Durch die Modalität der Daten ist hinreichend Grund gegeben, die Visualisierung des Interfaces auf der Retrievalseite und für die Interaktion des Benutzers mit den Bilddatenbanken voranzutreiben. Offen bleibt, wie leistungsfähige Systeme sein können, bei denen der Benutzer mit *visual sketches* seine Suchhypothesen selbst zusammenstellen („malen“) kann. Empirisches Material hierfür fehlt völlig und die relativ wenigen genannten Systeme sind experimentelle Forschungsprototypen, bei denen die Möglichkeit ihres praktischen Einsatzes in Datenbeständen realistischer Größenordnung fraglich ist. Ungeachtet dieser kritischen Betrachtung ist in der eigenhändigen „visuellen Produktion“ des Benutzers eine potentiell sehr leistungsfähige Gestaltungschance für *Wing-Graph* zu sehen (Zeichnen von Kenngrößenkurven als Suchhypothesen).

4.1.4 Verwendung visueller Metaphern

Auf einer sehr viel höheren Ebene als der konkreten Verwendung bestimmter graphischer Muster oder Vorlagestrukturen können *visuelle Metaphern* als Übertragung eines Weltausschnitts auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion dazu beitragen, komplexe Rechercheprobleme angemessen zu veranschaulichen. Es kann kaum überraschen, daß sie vor allem für das Textretrieval entwickelt worden sind, da dort anders als bei Datenbankstrukturen keine durch eine einheitliche und überschaubare Menge visueller Elemente und Operationen abzubildenden semantischen Strukturen vorliegen. Zwei Beispiele aus der IR-Forschung sollen dies verdeutlichen.

Auf der Basis raumbezogener Visualisierungsvorschläge von ROBERTSON, MACKINLAY & CARD 1991, die dreidimensionale manipulierbare Kegelbäume (*Cone Trees*) als Navigationsmetapher einführen, hat HEMMJE 1993, 1994 das Textretrievalsystem *LyberWorld* entwickelt. In *LyberWorld* kann man einerseits beim Anfrageaufbau Deskriptoren durch räumliches Navigieren in 3-D-Bäumen (*LyberTrees*, Abb. 13) selektieren, andererseits wird für Auswertung der Dokumentenmenge im *result set* eine einheitliche visuelle Metapher mit konkretem Weltbezug verwendet: Das

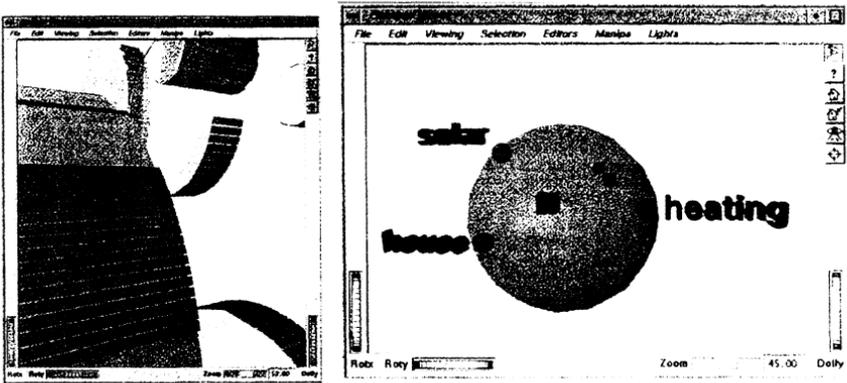


Abbildung 13: „LyberTree“ und „LyberWorld“ (HEMMJE 1993:59, Abb. 5, 1993:61, Abb. 8)

System präsentiert ein dreidimensionales Planetensystem, in dem die einzelnen Anfrageterme die Planeten darstellen, die vom Benutzer hinsichtlich ihrer Größe, d.h. Gewichtung (Gravitationskraft) und Position zu der im Zentrum der Galaxie befindlichen Ergebnismenge verändert werden können. Je nach Stärke des Bezugs zwischen Einzeldokument und „Termp Planeten“ sind die Dokumente in drei Dimensionen positioniert, d.h. zu den einzelnen Planeten hin ausgerichtet. Das System greift den Gestaltungs- und Interaktionsgedanken der *virtual reality* auf, d.h. mit geeigneten Darstellungs- und Interaktionsmitteln (stereoskopisch-dreidimensionale Darstellung, Wahrnehmung über Spezialbrille, 3D-Maus als Navigationsinstrument) bewegt sich der Benutzer unmittelbar im visualisierten Informationsraum und kann diesen verändern. *LyberWorld* zeigt, wie inhaltsunabhängige visuelle Metaphern bei der Gestaltung von Retrievalschnittstellen eingesetzt werden können. Obwohl bisher keine empirischen Ergebnisse vorliegen, ist zu vermuten, daß sie abstrakteren Visualisierungen mit ähnlicher Funktionalität (wie in *Vibe*) überlegen sein dürften, da die Vermittlung der semantischen Zuordnung von graphischem Element und Systemfunktionalität auf der Basis einer geschlossenen Metapher geschieht.³⁴

Eine stärker inhaltsbezogene Metapher zeichnet das System *BookHouse*³⁵ aus, das Recherchen in einer Datenbasis mit fiktionaler Literatur ermöglicht und dazu das Interface als Bibliothek visualisiert: Der Benutzer kann sich wie ein Bibliotheksbesucher in den virtuellen Räumen des *BookHouse* bewegen, einzelne Bücher „aus dem Regal nehmen“ und sich über deren Inhalt informieren. Die zugrundege-

³⁴ Das schließt natürlich die schon zu *Vibe* getroffenen Kritikpunkte (graphische *Polysemien*) nicht aus; es ist offen, wie sich zwangsläufig auftretende Metaphernbrüche auf die Arbeit des Benutzers auswirken.

³⁵ Zur visuellen Gestaltung von *BookHouse* vgl. AGGER & JENSEN 1989; zur Retrieval- und Navigationsfunktionalität der visualisierten Bibliotheksschnittstelle vgl. MARK PEJTERSEN 1993, bes. 18-24.

legte Klassifikation fiktionaler Literatur ist die Grundlage einer visuellen Interfacegestaltung mit starken ikonischen Elementen. Die Mensch-Maschine-Interaktion ist in nahezu maximale Nähe³⁶ ihres lebensweltlichen Bezugsrahmens gerückt; dem Benutzer stehen verschiedene Recherche- und Navigationsstrategien (analytische Suche, *browsing*, Suche nach vergleichbaren Items) zur Verfügung (MARK PEJTERSEN 1993:19f., Abb. 10 und 11). Fraglich ist immerhin, ob die (wenigstens graphische) 1:1-Übertragung des Rechercheverhaltens auf die andersartigen Arbeitsbedingungen in der Interaktion mit einem computergestützten Recherchesystem nicht auch deren Nachteile mit transferiert.³⁷

Lyberworld und *BookHouse* illustrieren die Weiterentwicklung der Interfacegestaltung über die bloße Systemeinbettung in graphische Benutzerschnittstellen hin zu einer umfassenden graphischen Erschließung des Handlungsraumes in der Mensch-Maschine-Interaktion, ein Aspekt, der eine Designleitlinie in *Wing-Graph* ist; insofern kann man von graphischer Interaktion und graphischem Retrieval im engeren Sinn sprechen: Graphisches Retrieval als Modellierungsform der Mensch-Maschine-Interaktion, bei der zum einen visuelle Operationen die Arbeit mit dem System prägen, die zum anderen auf eine Visualisierung der funktionalen Bezugspunkte (d.h. in Retrievalsystemen: der Datengrundlage) referieren.

4.1.5 Exkurs: Verwendung von Liniendiagrammen in Informationssystemen

Der letzte Aspekt der Verwendung visueller Mittel in Informationssystemen betrifft das konkrete Darstellungsformat „Liniendiagramm.“ Systeme, die mit Kurvendarstellungen arbeiten und nicht lediglich eine Darstellungsfunktion realisieren, sind naturgemäß von besonderem Interesse für das graphische Retrieval mit Liniendiagrammen. Bei den folgenden drei Beispielen handelt es sich zwar nicht um Recherchesysteme, sie sollen aber den unterschiedlichen Verwendungszusammenhang von Liniendiagrammen in Informationssystemen verdeutlichen:

Bereits MILLER 1969 schlägt vor, den Benutzer mit Hilfe eines Lichtgriffels (*light pen*) die Eingabe ihn interessierender Punkte im Koordinatensystem eines statistischen Graphen selbst vornehmen zu lassen und das System so zu einer Neuberechnung und Anzeige des Graphen zu veranlassen. Dem liegt die Annahme zugrunde, daß Manager graphische Repräsentationen verstehen und mit ihnen arbeiten können, ohne das dahinter liegende mathematische Modell zu kennen: "Because the graphic display is a mirror-image of the mathematical analysis as performed by the computer, it is sufficient that the businessman see and work only from the display"

³⁶ Dieser Effekt wäre wohl nur noch durch die Hardwaretechniken der *virtual reality* zu verstärken.

³⁷ Zudem ist anzunehmen, daß um so stärkere Metaphernbrüche generiert werden, je mehr die Interfacegestaltung dem „wirklichen“ Vorbild näher kommt.

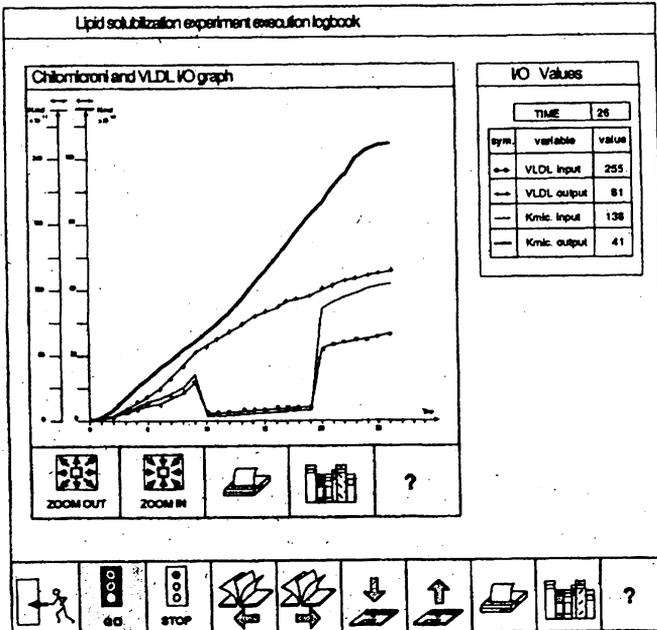


Abbildung 14: Ikonisches Interface mit direkter Grapheneingabe
(BARICHELLA et al. 1990:261, Abb. 2)

(MILLER 1969:128). Über die Feststellung der hohen Aussagekraft graphischer Präsentationen und ihrer leichten Interpretierbarkeit durch den Benutzer hinaus gibt MILLER aber keine konkreten Hinweise auf die Grundlagen der Nutzung visueller Information.³⁸

Für ein Simulationsexperiment zur Lipidlösung im Rahmen des Lebermetabolismus haben BARICHELLA et al. 1990 ein visuelles Informationssystem entwickelt, das mehrere hier relevante Aspekte visueller Informationssysteme verdeutlicht: Die metaphorische Einbettung der Systemfunktionalität am Beispiel eines Logbuchs (bzw. Laborprotokolls) bildet den Designrahmen: Sie läßt in der Umsetzung im Interface eine an den visuellen und strukturellen Charakteristika der Buchgestaltung orientierte Modellierung von Darstellung und Systemnavigation zu (Blättern im System, hierarchische Informationsstrukturierung entsprechend der Gliederung eines Buches). Die Interaktion des Benutzers mit dem System wird durch eine ikonische Präsentation der wesentlichen funktionalen Aspekte (Navigation, Zooming,

³⁸ MILLER 1975:293: "Graphical representation of data is a rapid, concise, and effective way of communicating complex information. Or, to rephrase, a picture is worth a thousand words."

Hilfe, Simulationsablauf etc.) gestützt. Graphische Darstellungsformen finden sowohl in diagrammatischer Form (Ablaufschema des Experimentes) als auch als Fakteninformationsvisualisierung (Liniendiagramme wie in *Wing-Graph*) Verwendung. BARICHELLA et al. 1990:261f schlagen die direkte Eingabe von Meßkurven durch den Benutzer zur Steuerung des Simulationsverlaufs vor (Abb. 14):

The proposed visual communication environment is based on the three elementary interaction entities that physicians use in their conventional environment: (a) icons, that is, visual signs that the user can immediately recognize and interpret [...]; (b) texts, which are here alphanumeric strings and tables, sometimes combined; and (c) graphs, which describe input to and output from the systems studied or the evolution of the systems' states

Das Simulationssystem ist allerdings kein Retrievalsystem, die Eingabe von Graphen dient der Steuerung von Simulationsparametern auf der Basis der Annahme, daß der Benutzer mit der visuellen Spezifikation von Kurvenformen auf die in der graphischen Form repräsentierte Bedeutung eines funktionalen Zusammenhangs zurückgreifen kann, die in exakter numerischer Eingabe kaum darstellbar wäre.³⁹ Eine nähere Auseinandersetzung mit den kognitiven Grundlagen der Graphenwahrnehmung findet aber nicht statt: Der Begründungszusammenhang für den Einsatz eines direkt-produktiven Verfahrens zur Eingabe von Simulationsgraphen beruht allein auf der empirischen Beobachtung und Übertragung traditioneller, d.h. den Domänenexperten vertrauter Darstellungsformate.

MCILRAITH 1989 schlägt ein wissensbasiertes System zur Interpretation der Kurvenform von Meßdaten vor: Durch eine geeignete Wissensbasis soll der menschliche Interpretationsprozeß bei Vorlage visueller Daten simuliert und der Auswertung durch das System zugänglich gemacht werden (Abb. 15). Das impliziert einen Perspektivenwechsel: Hier ist nicht die Art der graphischen Interaktion, sondern der Transfer der menschlichen Interpretationsleistung bezüglich des graphischen Darstellungsformats auf das System von Interesse. *Wing-Graph* verfolgt eine genau entgegengesetzte Gestaltungsstrategie: Die Interpretationsleistung bezüglich vorgelegter Daten verbleibt beim Benutzer und er wird durch visuelle Interaktionsmöglichkeiten in der Umsetzung von Recherchen unterstützt. Das *qualitative data modeling* von MCILRAITH ist über diesen Kontrastierungsaspekt hinaus wegen seiner impliziten multimodalen Leistungsfähigkeit interessant: Die Wissensbasis des von MCILRAITH diskutierten Systems ermöglicht eine natürlichsprachliche Charakterisierung der Kurvenformen, ein Gestaltungsaspekt, der für die Einbettung von *Wing-Graph* in die multimodale Retrievalschnittstelle *Wing-M2* relevant sein könnte: Im Interface wird eine dargestellte Kurve in einer *qualitative curve description* als beispielsweise aus den visuellen Elementen "average gradual concave curve + long

³⁹ BERETTA et al. 1986:161 "In this way, the physician specifies the inputs to the system, taking into account the shape of the curves only, which assume certain meanings among definite ranges, rather than the precision of a single number. "

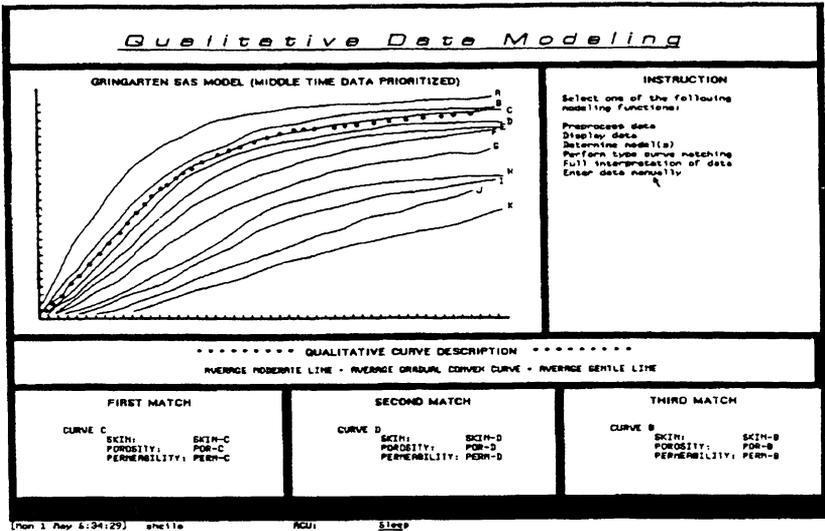


Abbildung 15: Oberflächengestaltung für das qualitative data modeling
(MCLRAITH 1989:116, Abb. 6)

gradual convex curve“ beschrieben (vgl. Abb. 15). Ein solcher „intermodaler“ Transformationsvorgang könnte Grundlage einer multimodalen „Kurvenformübersetzung“ zum natürlichsprachlichen Zugang zu graphischer Information sein.⁴⁰

4.2 Visuelle Sprachen für Informationssysteme

Betrachtet man visuelle Informationssysteme aus einer semiotischen Perspektive, so liefert das Konzept *visueller Sprachen* (*visual languages*) ein geeignetes Modellierungsvehikel für die graphische Interaktion des Benutzers mit dem System. Visuelle Sprachen - definiert als „systematic use of visual representations to convey meaning“⁴¹ - machen es möglich, die Verwendung graphischer Methoden hinsichtlich ihrer Bedeutung für Darstellung und Interaktion genauer zu charakterisieren. Das Konzept der visuellen Sprachen hat sich vor allem im Bereich des visuellen Programmierens bzw. der Programmstrukturvisualisierungen entwickelt⁴² und ist

⁴⁰ Vgl. entsprechende Gestaltungsvorschläge zur Erweiterung von *Wing-Graph* in Kap. 8.3.2.

⁴¹ SELKER & KOVED 1988:39; vgl. MYERS 1990:99: "“Visual Languages’ refer to all systems using graphics [...]”, eine sehr allgemeine Definition, die der Präzisierung der Charakteristika visueller Sprachen kaum dienlich ist.

⁴² Eine Forschungsübersicht zu visuellem Programmieren und Programmvisualisierungen geben MYERS 1986, 1990 und MURRAY & MCDAID 1993. Auf die große Verbreitung wie Bedeutung von *graphic languages* in der menschlichen Kommunikation im allgemeinen weist MCKIM 1980:142ff. hin.

inzwischen auf andere Anwendungsgebiete übertragen worden - prinzipiell liegen allen bisher in diesem Kapitel vorgestellten Systemen (implizit oder explizit) visuelle Sprachen zugrunde: Die visuelle Zugänglichkeit der Systemfunktionalität erlaubt es dem Benutzer, jeweils unabhängig von Anwendungsbereich der Systeme und ihrer konkreten Visualisierungsstrategie mit graphischen „Äußerungen“ (*visual sentences*) mit dem System zu interagieren. Den graphischen Darstellungs- und Interaktionsmöglichkeiten der visuellen Sprachen, wie sie sich in der Benutzerschnittstelle äußert, steht die Interpretationsfähigkeit des Systems hinsichtlich der vom Benutzer erstellten oder modifizierten Konstrukte gegenüber: Erst das *visual parsing* des Systems läßt eine wechselseitige Interaktion mit graphischen Elementen zu.

4.2.1 Klassifikation visueller Sprachen

Die bereits eingeführte Unterscheidung zwischen ikonischen Systemen und stärker auf eine graphische Interaktion im engeren Sinne konzentrierte Ausgestaltungen findet sich in CHANGS Klassifikation visueller Sprachen wieder. Chang unterscheidet in der Weiterentwicklung von SHUS Klassifikation des visuellen Programmieren (SHU 1986:13)

Visual Programming Languages
 Iconic Visual Information Processing
 Languages Supporting Visual Interaction
 Visual Information Processing Languages (CHANG 1990:2).

Das Konzept von *Wing-Graph* für ein graphisches Retrieval in Faktendatenbanken paßt in das Schema: Die Verwendung visueller Operationen über graphischen Informationsdarstellungen zur Definition von Faktenrecherchen stellt eine die Interaktion mit der Datenbank stützende visuelle Sprache dar, deren genaue Ausformung in der Implementierung noch aussteht (Kap. 6). Durch den Systemzugang über Kennwertkurven-Symbole bekommt das Modell des graphischen Retrieval eine zusätzliche ikonische Komponente, die durch einen ebenfalls ikonischen Gestaltungsvorschlag für komplexe, kenngrößenübergreifende Anfragen noch erweitert wird.⁴³

CHANG ordnet visuelle Sprachen weiter nach Adäquatheit der Visualisierung (*visibility; adequacy in visualization*), Sprachniveau, d.h. Leistungsfähigkeit der Sprache für die Modellierung komplexer Abläufe (*language level; adequacy in representing processes by procedural or non-procedural means*) und Bezugsumfang (*language scope; adequacy in representing objects for different applications*).⁴⁴ In *Wing-Graph* liegt der Schwerpunkt der Leistungsfähigkeit der graphischen Anfragedefinitionssprache auf der Kongruenz mit den in Kap. 3 vorgestellten typischen

⁴³ Als struktureller Erweiterungsvorschlag exemplarisch implementiert, vgl. Kap. 8.1.6.

⁴⁴ CHANG 1990:3, übernommen aus SHU 1986:20f., der verschiedene Systeme nach diesen drei Kategorien beurteilt (SHU 1986:21ff.).

Problemstellungen der Werkstoffexperten (Ebene des *cognitive task modeling*), weniger auf der Leistungsfähigkeit des *visuellen parsing*. Aus den empirisch gewonnenen typischen Aufgabenstellungen ist in *Wing-Graph* eine Suchartenklassifikation abzuleiten⁴⁵ und die vorgegebenen visuellen und logischen Merkmale des verwendeten Darstellungsformats vereinfachen den Übersetzungsprozeß *Benutzeraktion* → *SQL-Anfrage* weitgehend: Während visuelle Sprachen potentiell einen hohen Aufwand an Systemwissen erfordern, um eine vom Benutzer vorgenommene graphische Interaktion richtig deuten (*parsen*) zu können,⁴⁶ ist die Interaktion in *Wing-Graph* vorstrukturiert und der Interpretationsprozeß des Systems auf die Suchtypen zugeschnitten. Damit ist eine wichtige Vorgabe für die Implementierung von *Wing-Graph* gegeben: Da sich eine logische Unterscheidung verschiedener Typen von Anfragen ausmachen läßt,⁴⁷ kann das visuelle Parsing entsprechend einfach gestaltet werden, da nur eine kleine Menge von Anfragetypen zu analysieren ist.

Überprüft man das Konzept des graphischen Retrieval von *Wing-Graph* anhand der drei Gütekriterien von CHANG bzw. SHU, so liegen die Leistungspotentiale sicherlich im Bereich der adäquaten Visualisierung und der Anwendbarkeit auf verschiedene Datengrundlagen. Ersteres ergibt sich aus der Übernahme der aus Empirie bzw. Tradition gewonnenen typischen Darstellungsformate für Fakteninformation, letzteres daraus, daß letztlich nicht *domänenbezogene* Charakteristika über die Visualisierungsart entscheiden, sondern die logische Struktur der Datengrundlage (numerische Meßreihen) und die Wechselwirkung zwischen ihr und den Informationsbedürfnissen der Benutzer das Darstellungsformat festlegt. Daraus kann man die triviale Beobachtung ableiten, daß alle Domänen, in denen eine solche Struktur der Daten auftritt, für diese Visualisierungsform und daher für das graphische Retrieval herangezogen werden können - die domänenspezifischen Unterschiede kommen dann vor allem auf der Ebene der Suchsemantik für graphische Suchoperationen zum tragen.⁴⁸ Dagegen ist die Mächtigkeit hinsichtlich des *language level* aus den gleichen Gründen stärker beschränkt: Das Aufsetzen auf einem bestimmten - schon vorgegebenen - Informationsformat limitiert die Mächtigkeit der graphischen Retrievalsprache, die nicht beliebig ausgestaltet werden kann, ohne ihren engen Bezug zum den Anwendern (Werkstoffexperten) vertrauten visuellen „Rahmen“ zu verlieren. Nimmt man diese Einschränkung als gegeben hin, verbleibt dennoch ein

⁴⁵ Dazu fehlt an dieser Stelle noch die kognitive Theorie; die Grundsätze lassen sich aber schon im Vorgriff erläutern.

⁴⁶ Man vergleiche etwa den Vorschlag für das *visuelle Parsing* von diagrammatisch aufbereitetem Text (komplexes Tafelbild - *informal conversational graphics*) von LAKIN 1986 (bes. LAKIN 1986:73ff. und 76f., Abb. 25f.).

⁴⁷ So in Kap. 3 angedeutet; theoretische Begründung in Kap. 5; Festlegung der Suchtypologie in Kap. 6.

⁴⁸ Vgl. die Überlegungen zu einer wissensbasierten Generalisierung der Semantik-Komponente von *Wing-Graph* und die Generalisierung anhand von Wirtschaftszeitreihen (beides in Kap. 8).

relativ breiter Skopus der Sprache: Auf der Basis einer bestimmten Strukturierung von Daten ist ein „universelles“ Anwendungsfeld gegeben, die Generalisierung über den Sektor Werkstoffinformation hinaus drängt sich auf.

4.2.2 Semiotische Sichtweise

Interessanter noch als die Binnendifferenzierung visueller Systeme von CHANG und SHU bzw. BATINI et al. 1992, ist der Rückbezug auf den Sprachaspekt selbst und damit das Ausgreifen der traditionellen Trias von Syntax, Semantik und Pragmatik in der Semiotik.⁴⁹ Mit LAKIN 1986:49 sind die visuellen Sprachen innerhalb der Semiotik einer *visuellen Linguistik* zuzuordnen, wobei bei visuellen Sprachen nach eidetischer Bildbehandlung und Verarbeitung graphisch-textueller Symbole (z.B. Ikonen) zu unterscheiden ist. Die in der Literatur vorhandenen Ansätze zur formalen Modellierung visueller Sprachen⁵⁰ kranken allerdings an einer zu starken Orientierung an der Funktionalität des Systems (formale Semantik visueller Sprachelemente), d.h. die Mensch-Maschine-Schnittstelle wird einseitig modelliert, ohne ausreichende Berücksichtigung des Handlungsraumes und der Informationsbedürfnisse des Benutzers.

Die starke Domänenanbindung einerseits und die visuelle und inhaltliche Vorstrukturierung des Funktionalitätsumfanges der Faktenrecherche in numerischen Datenreihen andererseits geben dagegen die Chance, schon bei der Definition der visuellen Syntax und Semantik Aspekte der Pragmatik zu berücksichtigen: Die verschiedenen Möglichkeiten einer visuellen Syntax für *Wing-Graph* stellen objektiv einen sehr großen Anfrageraum zur Verfügung; die ihm zuzuordnende Semantik - besonders kritisch hinsichtlich einer kohärenten Benutzerführung und der Vermeidung des Aufbaus widersprüchlicher oder multipler Interpretationsmuster - bildet zwar die Schnittstelle zur Datenbank (als interpretierbares graphisches Konstrukt), generalisiert aber gleichzeitig jede einzelne Struktur der Handlungssyntax als für eine mögliche Recherche sinnvolles Handlungsergebnis. Hier muß eine restringierende Analyse der Pragmatik visuellen Handelns einsetzen: Nur so läßt sich der Suchraum sinnvoll eingeschränken, so daß „ausuferndes“ und meist ergebnisloses Recherchieren vermieden und die Wissensbasis für das *spatial parsing* minimiert wird. Das vorausgesetzte Werkstoffwissen der potentiellen Benutzer beeinflusst die Modellierung der Handlungssyntax und ihrer semantischen Interpretation. Bei den gegebenen technischen Voraussetzungen ist der Handlungsraum der graphischen Interaktion klar abgegrenzt: Deiktische Gesten mit einem Zeigeelement in Kombination mit zusätzlichen syntaktischen Markierungen (gedrückte Maustasten für

⁴⁹ MORRIS 1962:88: "The advantage of the three-dimensional analysis is that the validity of all these points of view can be recognized, since they refer to three aspects of one and the same phenomenon."

⁵⁰ Vgl. bes. HARADA & KUNII 1984, HELM & MARRIOTT 1991, CATARCI, SANTUCCI & ANGELACCIO 1993.

click & drag) sind die Voraussetzung für die Zusammenstellung eines visuellen Abfragealphabets, dessen Struktur (wie reagiert das System visuell auf eine bestimmte Zeigegeste) aus der Aufgabentypologie und der visuellen Struktur des Informationsformates abzuleiten ist.

Das Ziel ist, für den „Interaktionskern“ des Systems, die graphische Modifikation und Erstellung von Kenngrößenkurven, eine Reihe visueller Operationen zusammenzustellen, die in funktionaler Hinsicht eine den Informationsbedürfnissen angesichts graphischer Datendarstellung angemessene Suchsemantik bereitstellen und sie so repräsentieren, daß der das visuelle Konstrukt wahrnehmende Benutzer eine korrekte Zuordnung zur semantischen Deutung herstellen kann. Eine solche visuelle Sprache ist zwar eine logische Reduktion der notwendigerweise zugrundgelegten formalen Datenbanksprache, da die visuellen Abfrageoperationen nur einen Teilbereich ihrer Semantik abbilden, in Relation zur *Pragmatik* einer formalen Sprache durch den Benutzer kann die Visualisierung aber dennoch eine *Komplexitätserweiterung* bedeuten: *Idealiter* kann der Benutzer seine anhand vorgelegter Kurven entstehenden Informationsbedürfnisse mit Hilfe visueller Operatoren in Anfragekonstrukte umsetzen, deren logische Interpretation durch das System ein Komplexitätsniveau erreicht, das die tatsächlichen Anfragetechniken in formalen Sprachen weit überschreitet.⁵¹

Im Vorgriff auf die in *Wing-Graph* implementierten Suchverfahren ein Beispiel: Liegt dem Benutzer eine Werkstoffkurve vor, so kann als typisches ergebnisbasiertes Informationsbedürfnis eine Recherche nach weiteren, ähnlichen Werkstoffen in einem „Streuband“ um die gegebene Kurve notwendig sein. Unter Bezug auf die graphische Vorlage läßt es sich durch eine relativ einfache Mausoperation graphisch definieren und durch das System als Anfragekonstrukt auswerten. Das formalsprachliche Pendant weist eine Komplexität auf, die seine direkte Verwendung durch den Benutzer ausschließt.⁵² Zurückzuführen ist die Komplexitätsverschiebung nicht zuletzt auf den eher globalen Bezug graphischer Interpretation zu den gegebenen Daten: Da nicht das Einzeldatum, sondern die visuelle Struktur des gesamten Datensatzes im Mittelpunkt steht, referiert eine graphische Anfrage auf ein komplexeres Datenmuster als eine lokale Einzelbetrachtung (und -recherche) mit einem ausgewählten numerischen Wert. In dieser Argumentation ist implizit ein zusätzliches Differenzierungsmerkmal für das graphische Retrieval enthalten: Der Benutzer erhält nicht lediglich eine andere Interaktionsform für die Realisierung seiner Informationsbedürfnisse, sondern mit dem funktionalen Inventar des graphischen Retrieval lassen sich grundsätzlich *andere* Rechercheformen durchführen, der

⁵¹ Was sich natürlich auch auf das beschränkte Operatoreninventar z.B. von SQL zurückführen läßt; insofern ist zur Behandlung graphischer Anfragen auch die Modifikation der formalen Sprache selbst eine denkbare Alternative.

⁵² Vgl. die Beispiele zur Übersetzung graphischer Operationen in SQL-Statements in Anhang 10.6.

tatsächliche Handlungsraum des Benutzers ist keine echte Untermenge typischer Anfragestrategien in formalsprachlichen Schnittstellen.⁵³

Geht man über die Ebene einer einzelnen graphischen „Äußerung“ des Benutzers hinaus, so steht mit der klassischen Strukturierung textuell repräsentierter Sprache eine geeignete Interpretationsmetapher für die graphischen Interaktionsmöglichkeiten des Benutzers zur Verfügung: Der Benutzer erzeugt aus elementaren visuellen Operationen (Markieren eines rechteckigen Bereiches, Zeichnen einer Kurvenskizze etc.) als visuellem Alphabet *visual sentences* im Rahmen der vom System zugelassenen Syntax. Das zyklische Ergebnisretrieval, das sich aus den graphischen Anfragen und „Antworten“ des Systems zusammensetzt, läßt einen „visuellen Text“ mit dialogischer Struktur entstehen. Auf der Systemseite sind durch die vordefinierte Struktur des visuellen Informationsformates Syntax und Semantik eindeutig vorgegeben: Als Antwort auf die Anfrage des Benutzers visualisiert das System die in der Datenbank gefundenen Datensätze,⁵⁴ auf die der Benutzer wiederum unmittelbar das visuelle Alphabet graphischer Anfrageoperatoren zur Definition von Folgeanfragen anwenden kann.

Der so entstandene zyklische Interaktionskern des graphischen (Ergebnis-) Retrieval findet seine Grenzen dort, wo die Visualisierung nicht mehr unmittelbar auf die dargestellte Information selbst zurückgreifen kann, so z.B. bei der Verwendung logischer Operationen über Kennwertgrößen hinweg (komplexe *join*-Anfragen): Soll auch auf diesem abstrakteren Niveau der Anfragekonstruktion eine direkt-manipulative Interaktionssyntax zum Einsatz kommen, verbleiben die typischen Mechanismen der *Visual Query Systems*: Einführung arbiträrer graphischer Symbole mit zugeordneter Wirkung auf die Datenbank als logische Anfragekonstrukte mit nur bedingtem Bezug zu gewohnten Wahrnehmungs- und Interpretationsmustern. Diese zweite graphische Dialogebene bedingt zwar das Durchbrechen der homogenen visuellen Syntax des Interaktionskerns und konfrontiert den Benutzer mit einer weiteren Bedeutungsschicht graphischer Interaktionen, erhöht aber die Expressivität des Systems. Eine dritte Schicht visueller Interaktion kommt mit der Einbettung des graphischen Retrieval in eine direkt-manipulative Benutzerschnittstelle hinzu: Auch die Mehrzahl der unmittelbar mit dem Aufbau von Anfragen verbundenen Aktionen des Benutzers erfolgen über wenigstens partiell „graphische“ Aktionen (Öffnen von Fenstern, deren Positionierung, Textmarkierung etc.) und damit mit Hilfe einer visuellen Sprache.

⁵³ Inwieweit dieses Argument auch im Vergleich mit anderen nicht-formalsprachlichen Schnittstellen in *Wing-IIR* gültig ist, sei hier offengelassen. Ein ähnlicher Vergleich der Anfragepragmatik läßt sich auch für linguistische Variable in natürlichsprachlichen Anfragen anstellen.

⁵⁴ Soweit kein Nullergebnis vorliegt oder das *result set* so umfangreich ist, daß eine Nachselektion des Benutzers aus einer textuell repräsentierten Liste erforderlich ist.

4.2.3 Visuelle Sprachelemente für Wing-Graph

Konkretisiert man diesen Gedankengang für die Gestaltung von *Wing-Graph*, so ergeben sich folgende Gestaltungshinweise: Die in Kap. 3 vorgenommene Beurteilung des Verwendungszusammenhangs graphischer Datendarstellungen ergibt zusammen mit der für *Wing-IIR* abgeleiteten Differenzierung des Problemraums für Werkstoffdatenrecherchen den Handlungsrahmen für den Einsatz des graphischen Retrieval. Die wichtigste Folgerung daraus ist, daß das System eine in Anlehnung an die Informationsbedürfnisse der Benutzer erstellte Suchtypenstruktur erhält. Die Visualisierung der Suchsemantik muß der Suchformenklassifikation angepaßt sein und kann sich auf einfache graphische Repräsentationen beschränken; es bieten sich sowohl die vorgegebene Visualisierungsstruktur der Daten selbst (d.h. Werkstoffkurven) als auch einfache visuelle Muster (farblich hinterlegte Flächen, einfache geometrische Formen) an. Das Ergebnis ist ein Suchformeninventar, auf das der Benutzer sein Informationsbedürfnis abbilden muß und aus dem er die geeignete Suchform auswählt. So legt er die Art der graphischen Interaktion mit dem System fest und kann eine Anfrage definieren.

Im ungünstigsten Fall muß der Benutzer die Bedeutung jedes arbiträr eingeführten graphischen Elementes als Teil einer Datenbankabfrage explizit erlernen. Man kann gewissermaßen nicht von visuellen *Universalien* ausgehen, deren semantische Interpretation durch den Benutzer von vornherein feststeht: Versuchen etwa CATARCI, SANTUCCI & ANGELACCIO 1993 eine graphische Retrievalsprache auf der Basis von zwei visuellen Primitiven - Auswahl von Knoten in einer Netzstruktur und Zeichnen von Kanten zwischen verschiedenen Knoten⁵⁵ - so erscheint die von ihnen vollzogene *formale* Definition einer auf diese Primitive zugeschnittenen logischen Datenbanksprache als das geringere Problem. Warum genau diese graphischen Primitive für die visuelle Gestaltung ausgewählt wurden, bleibt ungeklärt. Der Begründungszusammenhang für visuelle Interaktions- und Darstellungsmittel reicht über das bekannte Argumentationsmuster vermeintlich evidenter Vorzüge der Graphik nicht hinaus:

The well-known advantages of using images instead of text turn out to be particularly relevant in man-machine interaction. [...] the visual approach attracts user attentions and stimulates a full coverage of all the available system facilities (CATARCI, SANTUCCI & ANGELACCIO 1993:75).

Immerhin steht für *Wing-Graph* die Annahme im Mittelpunkt, daß die Berücksichtigung theoretischer Einsichten in die kognitiven Eigenheiten der Graphenwahrnehmung es erlaubt, die graphischen Operatoren so zu wählen, daß ihre per Konvention definierte semantische Interpretation durch das System dem Benutzer leicht zugänglich ist. Es ist anzunehmen, daß die Orientierung an einer vertrau-

⁵⁵ CATARCI, SANTUCCI & ANGELACCIO 1993:80: "The main idea is to express any query-oriented user interaction with a database in terms of two simple graphical operations: the selection of a node and the drawing of a labeled edge."

ten Visualisierungsform diesen Lernprozeß erleichtert: Muß der Benutzer eines visualisierten *E-R*-Diagramms die Bedeutung der verschiedenen graphischen Elemente ohne „Vorbild“ aus seiner gewohnten informationellen Umgebung erlernen, so besteht hier die Vermutung, daß die auf das bekannte Format bezogenen visuellen Operationen schneller zu vermitteln sind.

Die Überlegungen beziehen sich nur auf den Systemkern von *Wing-Graph*, das graphische Ergebnisretrieval mittels visueller Operatoren. Die schon angesprochene Recherchezugangsmöglichkeit über Werkstoffkurvenikonen, die allgemeine Verwendung ikonischer Systemelemente als Werkzeugobjekte zur Differenzierung der Systemfunktionalität im Rahmen des WOB-Modells⁵⁶ und die konzeptuelle Erweiterung der Suchfunktionalität von *Wing-Graph* in Kap. 8 machen deutlich, daß neben dem Systemkern als *language supporting visual interaction* eine weitere Funktionalitätsebene hinzutritt, die wesentlich durch ikonische Elemente repräsentiert sind. Konkrete visuelle Aktionen des Benutzers - Mausoperationen, die graphische Konstrukte bezüglich visualisierter Informationsdarstellungen als Anfragehypothesen in einem vorgegebenen Bezugsrahmen definieren - sind der Kern des Systems und haben unmittelbaren Bezug zur semiotischen Analyse des Darstellungsformates, wie es in Kap. 5 näher dargestellt wird. Die funktionale *Umgebung* dieser Komponente von *Wing-Graph* ist durch ikonische Repräsentationen bestimmt, d.h. ein höherer visueller Abstraktionsgrad der Interaktion des Benutzers mit dem System wird erreicht.

4.3 Fazit

Der *state-of-the-art* visueller Informationssysteme liefert nur auf den ersten Blick ein durch die Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten von Visualisierungstechniken disparat erscheinendes Bild. Im Rückblick ergeben sich wenige wesentliche Beobachtungen, die diesen Bereich der Informationstechnologie charakterisieren können: Graphische Benutzerschnittstellen haben gerade für diesen Typus von Informationssystem einen wesentlichen Fortschritt gebracht, da sie ein graphisches Arbeiten im engeren Sinn überhaupt erst ermöglichen. Der Zusammenhang zwischen Generalität der Systemfunktionalität und den möglichen Visualisierungsstrategien ist deutlich: Je enger der inhaltliche Bezug des Systems zu seiner Anwendungsdomäne ist, um so besser lassen sich bestimmte Visualisierungsmethoden begründen. Verglichen mit den typischen Vertretern visueller Datenbankschnittstellen ist das Visualisierungs- und Recherchemittel Liniendiagramm auf der Abstraktionsskala visueller Sprachen auf einem deutlich höheren graphischen Konkretheitsniveau angesiedelt, aber immer noch weit von eidetischer Referenz als Extrem einer *concrete graphic language* entfernt.⁵⁷

⁵⁶ Vgl. oben Kap. 1.3 und KRAUSE 1994, KRAUSE et al. 1994.

⁵⁷ MCKIM 1980:153; MCKIM 1980:149 führt eine *graphic abstraction ladder* ein, die visuelle Sprachen nach ihrer eidetischen Konkretheit bzw. dem Maß graphischer Abstraktion ordnet.

Ein genereller Mangel empirischer Untersuchungen zu den diskutierten experimentellen visuellen Informationssystemen ist eine zwar kaum überraschende, aber nicht unwichtige Beobachtung. Die Ansätze tragen zwar ein hohes Innovationspotential in sich, bleiben aber methodisch unvollständig, da sie nicht belegen können, was theoretische Grundlage der Designvorschläge ist: Die Überlegenheit (zumeist ja nicht: funktionale Andersartigkeit) der visuellen Gestaltungsmittel.

Das Konzept der visuellen Sprachen konnte als leistungsfähiges Modellierungsinstrument auf das graphische (Ergebnis-)Retrieval angewandt werden und ergibt einen interpretatorischen Rahmen für die graphische Retrievalsprache von *Wing-Graph*. Ihrer hier noch abstrakten Diskussion ist im folgenden Kapitel die Konkretisierung anhand kognitionspsychologischer Erkenntnisse hinzuzufügen; damit soll der methodische Anspruch eingelöst werden, visuelle Gestaltungsmittel nicht auf der Basis globaler Hypothesen über deren Überlegenheit gegenüber „traditionellen“ Gestaltungsmitteln zum bestimmenden Designparameter zu machen.

5 Visuelle Wahrnehmung und graphische Informationsdarstellung

Die Übersicht über die verschiedenen Formen *visueller Informationssysteme* hat das Potential visueller Gestaltungs- und Rechercheverfahren deutlich gemacht, ohne daß im einzelnen immer geprüft worden wäre, wie sich die postulierte Eignung einer graphischen Systemgestaltung theoretisch begründen läßt. Im Rahmen von *Wing-Graph* kommt dem Rekurs auf den Kenntnisstand der Wahrnehmungs- und Kognitionspsychologie hinsichtlich der Interpretation und Verarbeitung visueller Information beim Menschen eine doppelte Bedeutung zu. *Wing-Graph* baut zum einen auf einer graphischen Benutzerschnittstelle auf,¹ zum anderen, und das ist der wesentliche Punkt, greift die graphische Recherchefunktionalität selbst explizit auf die visuellen Fähigkeiten des Benutzers zurück: Das *visuelle Denken* und das Arbeiten mit visualisierten Informationsdarstellungen wird vom Endpunkt eines Interaktionsvorganges, an dem es lediglich der Interpretation und dem besseren Verständnis recherchierter Daten dient, in den produktiven Zyklus des graphischen Ergebnisretrieval eingebunden. So ist es möglich, den von den Datenbankbenutzern bevorzugten Darstellungsmodus für die Datenrecherche zu nutzen. Für die visuelle Gestaltung eines solchen Systems ist eine Vielzahl von Fragestellungen relevant:

- Wie läßt sich numerische Information visualisieren (Format, Skalierung, Menge der Information) ?
- Welche Fragestellungen bzw. Recherchetypen können bevorzugt mit visualisierter Information beantwortet werden ?
- Wie wichtig ist visuelles Denken für die Problemlösung mit einer Datenbankschnittstelle?
- Wie lassen sich visuelle Vorstellungen auf den Recherchezyklus übertragen?

Die in Kap. 3.2.4 vorgestellten Präferenzen der Datenbankbenutzer können diese Fragen *empirisch* nur in dem sehr engen Rahmen der gewählten Anwendungsdomäne beantworten. Es existieren aber zahlreiche wissenschaftliche Studien zu den verschiedenen Darstellungsformaten und ihren wechselseitigen Vor- und Nachteilen, die diese ersten empirischen Hinweise verfeinern und validieren können (Kap. 5.1).

¹ Die Besonderheiten, Vorzüge und Nachteile graphischer Benutzerschnittstellen werden im Rahmen dieser Arbeit nicht *in extenso* diskutiert. Es sei auf die inzwischen zahlreichen vergleichenden Studien zu diesem Thema verwiesen, cf. u.a. WHITESIDE et al. 1985, BENBASAT & TODD 1993.

Neben stark kontextgebundene Benutzerstudien treten kognitionspsychologische Theorien der menschlichen Graphenwahrnehmung: Die Betrachtung der visuellen Wahrnehmung und Informationsverarbeitung des Menschen ist in ihnen für den speziellen Anwendungsfall graphischer Informationsdarstellungen konkretisiert: Im Zusammenspiel mit Modellen der angewandten Kognitionspsychologie lassen sich Wahrnehmung und Interpretation solcher Visualisierungsmethoden auch von theoretischer Seite her deuten (Kap. 5.2) und zugleich die visuelle Rechensprache von *Wing-Graph* weiter konkretisieren (Kap. 5.3). Aufbauend auf einem Verständnis der Nutzung graphisch dargebotener numerischer Information kommt der visuellen Vorstellungsfähigkeit (*mental imagery*) eine Brückenfunktion zur Einordnung in ein Modell des graphischen Retrieval zu, bei dem der Benutzer die visualisierte Darstellung selbst mit Hilfe visueller Operationen zur Retrievalfortsetzung verwendet. Ihre Operationalisierung durch Einführung der Handlungskomponente des graphischen Retrieval dynamisiert die Einheit von Anfrage- und Ergebnisdarstellung.

5.1 Visualisierung von Information

Verschiedene Formen rechnerbasierter Informationsvisualisierung für Rechensysteme sind bereits in Kapitel 4 vorgestellt worden, wobei es sich zumeist nicht um die direkte Visualisierung von Fakten, sondern um akzessorische und mehr oder weniger willkürlich eingeführte Darstellungskonzepte für Strukturmuster oder Prozeßabläufe handelte. Das *Wing-Graph* zugrundeliegende visuelle Format des Liniendiagramms ist dagegen bereits aus sich selbst heraus interpretierbar, d.h. seine visuelle Struktur gibt die zugrundeliegende Information direkt wieder. Die konkrete graphische Gestalt eines Liniendiagramms ist nur ein Typus einer umfangreichen Palette heute gebräuchlicher Faktendarstellungsformen, die unter die Definition von Diagrammen als graphischen Darstellungen von WANDMACHER 1993:349 fallen:

Ein Diagramm ist eine zweidimensionale Konfiguration von Punkten und anderen graphischen Elementen wie Linien- oder Kurvensegmenten und regelmäßigen geometrischen Formen. Ein Diagramm kann auch alphanumerische Zeichen, Wörter oder Zahlen zur Beschriftung und Erläuterung enthalten. [...] Ein Diagramm repräsentiert Informationen oder Daten, die auch durch eine Folge oder Liste mit beschreibenden Aussagen repräsentiert werden können.

WANDMACHERS Definition umfaßt auch graphische Darstellungen, die nicht lediglich der Darstellung numerischer Information dienen, also Grundrisse, Datenflußpläne oder Strukturdiagramme. Sie beschreibt lediglich die Bestandteile eines Diagramms oder einer graphischen Darstellung und gibt keinen Aufschluß über das Verhältnis von (graphischem) Darstellungsmittel und visualisierter Information.

BERTIN 1974:150 definiert graphische Darstellungen mit Hinblick auf den Wahrnehmungsprozeß:

Man bezeichne als GRAPHISCHES BILD die visuell erfassbare, bedeutungstragende Form, die mit einem Minimum an Zeitaufwand wahrgenommen werden kann.

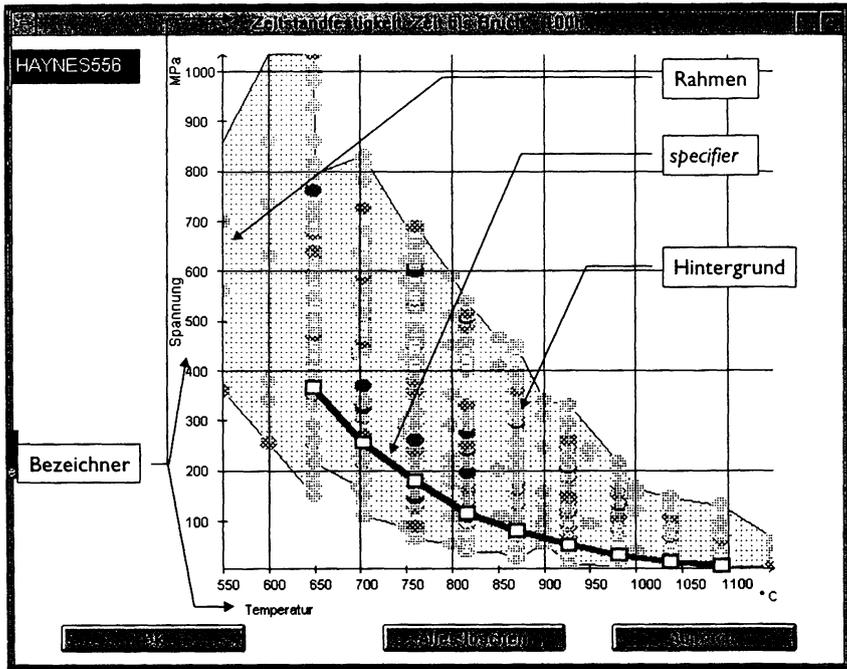


Abbildung 16: Basisanalyse graphischer Informationsdarstellungen nach KOSSLYN (KOSSLYN 1989:188 Abb. 1)

In dieser Definition steckt ein normatives Element, d.h. BERTIN postuliert, daß für eine bestimmte Informationsstruktur eine Darstellungsform bestimmbar ist, die die schnellstmögliche Interpretation der Daten erlaubt. In seiner umfassenden semiotischen Analyse aller wesentlichen graphischen Darstellungsmöglichkeiten geht BERTIN von der Annahme aus, daß es sich bei graphischen Darstellungen und Diagrammen um monosemiotische Systeme handelt, da „die Betrachtung einer Zeichenverbindung die Kenntnis der Bedeutung jedes einzelnen Zeichens voraussetzt“ (BERTIN 1974:10) und gelangt über die Untersuchung der Mittel graphischer Darstellung (Farbe, Muster, Größe, Richtung, Helligkeit, Form) zu einem *Konstruktionssystem* für graphische Darstellungen (Diagramme, Netze, Karten), das prinzipiell alle Formen der Informationsvisualisierung umfaßt. Die darzustellende Information teilt er in *Invariante* (Begriffsinhalt) und dargestellte *Komponenten* (visuelle Variablen, d.h. die konkrete Ausprägung der Daten bezüglich der Invariante) auf (BERTIN 1974:24ff.).

In *Wing-Graph* liegt nach der Analyse von BERTIN ein Darstellungsproblem für ein Diagramm mit zwei Komponenten (Temperatur und Meßwert als visuelle Variablen) und der Werkstoffkenngroße als identifizierender Invariante vor (BERTIN

1974:201ff.). Die unabhängige Komponente hat eine gerichtete Struktur, die die Darstellung beeinflusst (Abtrag der Temperatur von links nach rechts auf der X-Achse bei steigenden Werten). Das Liniendiagramm erlaubt die Überlagerung mehrerer graphischer Einzelkonstruktionen (Datensätze, d.h. einzelne Kurven) in einer Darstellung bei gemeinsamer Struktur der unabhängigen Komponente und ist - so BERTIN - besser wahrnehmbar als ein für die gleiche Information konstruiertes Säulendiagramm (Histogramm). Auf der Basis des analytischen Konstruktionsverfahrens von BERTIN bestätigt sich die Auswahl des Liniendiagramms als Darstellungsformat für *Wing-Graph*, wobei die Detailspekte der Formatwahl noch nicht einbezogen sind (Werteschwankungen, Skalenwahl etc.).

Aus der dem Konstruktionsmodell BERTINS entgegengesetzten Perspektive, der Analyse *gegebener* Informationsdarstellungen, hat Stephen KOSSLYN ein Interpretationsschema für Diagramme entwickelt, dessen Grundbestandteile den Konstruktionselementen BERTINS ähneln. Danach besteht ein Diagramm aus vier *basic level graphic constituents* (KOSSLYN 1989:187f., cf. Abb. 16),

- a) dem fakultativen Hintergrund (*background*) der Darstellung, der leer, aber auch durch ein graphisches Muster oder zusätzliche visuelle Information gefüllt sein kann,
- b) ihrem Rahmen (*framework*), der die dargestellten Informationskategorien visuell repräsentiert und die Graphik strukturiert bzw. eingrenzt (z.B. Koordinatenachsen für *Temperatur* und *Werkstoffkenngröße*),
- c) dem *specifier*, der die bezüglich der Informationskategorien konkret im Diagramm enthaltene Information visualisiert und
- d) den *Bezeichnern (labels)*, die die semantische Interpretation der visuellen Muster von Rahmen und Bezeichner erlauben.

In den in *Wing-Graph* verwendeten Liniendiagrammen bilden die Skalierung der Darstellung durch Koordinatenachsen und -gitter den äußeren und inneren Bewertungsrahmen, dessen Bedeutung durch die verschiedenen Bezeichner bestimmt ist; vor einem fakultativen Hintergrund erscheinen *Werkstoffkurven* als *specifier* des gegebenen Rahmens. Das Schema erlaubt die semiotische Analyse einer beliebigen Informationsdarstellung (KOSSLYN 1989:189f., 194ff.):

- a) Syntax des Diagramms: Beurteilung nach den Prinzipien der visuellen Wahrnehmung, den Gestaltungsgesetzen und den Verarbeitungskapazitäten des Gedächtnisses.
- b) Semantische Ebene: Bewertung des Diagramms nach inhaltsbezogenen Akzeptanzprinzipien.
- c) Pragmatik: Zweckangemessenheit, Zielerferenzen, Kontext.

Als interpretatives *ex post*-Modell dient es primär der Untersuchung und Qualitätsbeurteilung schon existierender Darstellungen und verlangt profundes kognitionspsychologisches Wissen bei seiner Anwendung. Es sagt als statisches Modell zwar

nichts über den *Prozeß* der Informationsgewinnung aus graphischer Information aus, liefert aber eine korrekte Analyse und Bewertung von Diagrammen.² Daher kann man es zur Modellierung des graphischen Retrievalprozesses als zyklischer Mensch-Maschine-Interaktion insofern nutzen, da die Vier-Elemente-Struktur ein geeignetes Analyse- und Beschreibungsinstrumentarium für das in *Wing-Graph* verwendete Diagrammformat abgibt (Abb. 16).

5.1.1 Graphische Darstellung numerischer Information

Der heuristische Ausgangspunkt einer Modellbildung für das Verständnis graphischer Information setzt bei der Vielfalt und der positiven Bewertung der Verwendung graphischer Informationsdarstellungen an. Sowohl in traditionellen papiergebundenen Medien als auch in rechnergestützten Informationssystemen sind Diagramme ein weit verbreitetes Darstellungsmittel für numerische Information. Allein ein leistungsfähiges Spreadsheet-Programm der neuesten Generation bietet dem Benutzer meist weit über ein Dutzend verschiedene Möglichkeiten, Information graphisch darzustellen, ganz abgesehen von der Leistungsbandbreite dedizierter Visualisierungssysteme für Informationsgraphiken und Prozeßsimulationen.³ Der Angebotsvielfalt steht eine Vielzahl von Verwendungszwecken und Anwendungsmöglichkeiten gegenüber.⁴

Die Visualisierungsmethoden für numerische Information, insbesondere Säulen-, Linien- und Tortendiagramme sind kulturgeschichtlich eine relative junge „Erfindung“. Zwar sind schon aus dem Mittelalter und der Antike verschiedene Formen der Informationsvisualisierung bekannt, die z.B. Planetenbewegungen als graphische Zeitreihen abbilden (TUFT 1983:28). Dabei handelt es sich jedoch um vereinzelte graphische Formen, die zudem nicht *rein numerische* Information visualisieren. Mangels geeigneter Verbreitungsmedien konnten sie sich nicht generell durchsetzen. Erst der englische Ökonom und Statistiker William PLAYFAIR führte Ende des 18. Jahrhunderts die graphische Darstellung numerischer Information in die ökonomische Analyse ein.⁵ Er entwickelte ein reiches Inventar verschiedener graphischer Darstellungsformen, die er untereinander mischte: Abb. 17 zeigt eines der PLAYFAIRSchen Diagramme, in dem er nicht nur Säulen- und Liniendiagramm verbindet, sondern zusätzlich noch Regentenzeiten englischer Herrscher als Zeitreihe abbildet.

² Vgl. die ausführliche Beispielanwendung des Modells bei KOSSLYN 1989:215ff.

³ Beispielsweise *SL-GMS (SL Graphical Modeling System)*, ©Sherrill-Lubinski Corporation, Corte Madera/CA), *MatLab*® (©The MathWorks Inc., Natick/MA), *XRT/Graph*™ (©KL Group Inc., Toronto), *Quinn-Curtis Charting Tools* (©Quinn-Curtis Inc., Needham/MA) oder *SPICE* (©Cadforce Systems Inc., St. Laurent/Canada). Da diese Systeme ihre Funktionsbandbreite auf den *Darstellungsaspekt* beschränken und nicht der (graphischen) Recherche dienen, erübrigt es sich, sie näher vorzustellen.

⁴ MILLER 1975:293, PINKER 1990:74.

⁵ Cf. FIENBERG 1979:165f; CLEVELAND & MCGILL 1984:531; CASNER 1990:16.

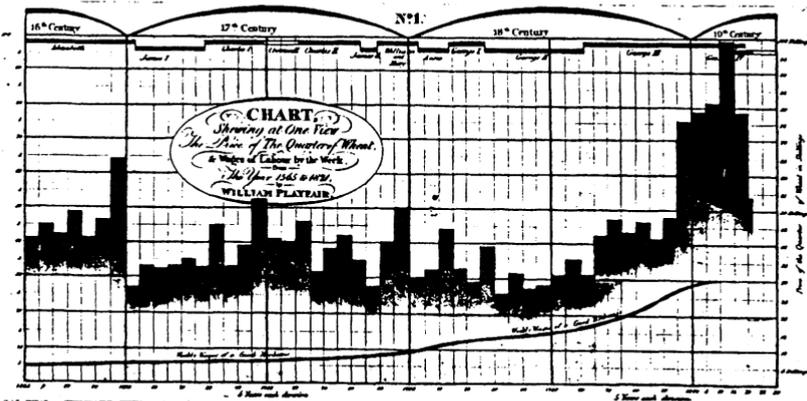


Abbildung 17: Kombinierte Darstellung von PLAYFAIR (TUFT 1983:34)

Seit PLAYFAIR und verstärkt mit der Verbreitung statistischer Methoden haben sich zahllose Formen der graphischen Darstellung herausgebildet, die die klassischen Typen der Säulen- und Liniendiagramme teils modifizieren (3D-Darstellung, Einbettung der Graphik in eine visuelle passende Umgebung etc.), teils neue Formate einführen (z.B. Polardarstellung, Polygondarstellung mehrdimensionaler Größen). Die gebräuchlichsten Formen graphischer Informationsdarstellungen, zu denen auch das Liniendiagramm gehört, gibt Abb. 18 wieder.⁶ Ihre allgemeinen Vorzüge gegenüber nicht-graphischer Informationsdarstellung beschreibt die DIN-Norm 66234 Teil 5 Beiblatt 1 auf einer holistischen Ebene:⁷

- deutliche Datenreduktion und Platzersparnis bei qualitativen Informationen
- hohe Informationsdichte bei schneller Erlernbarkeit und sicherer Interpretierbarkeit
- Erleichterung beim Abschätzen und Vergleichen von Größen sowie beim Erkennen von Anomalien und Fehlern
- günstig zur Darstellung zeitlicher oder räumlicher Verläufe
- Erleichterung beim Erkennen von Zyklen und Tendenzen
- Erleichterung beim Erkennen räumlicher und funktionaler Beziehungen
- Erzeugung bildhafter Symbole und daraus folgendes schnelles Unterscheiden, Klassifizieren und Wiedererkennen von Bildschirmhalten

Sie gelten auch für die Anwendung von Diagrammen im Bereich der Werkstoffinformation, wie Kap. 3.2.4 schon empirisch belegen konnte:

⁶ Vgl. TULLIS 1988:399-404, HERCZEG 1994:81-84. Eine erschöpfende Darstellung von diagrammatischen Darstellungsformaten unter Berücksichtigung ihrer Anwendungsmöglichkeiten geben BERTIN 1974 und TUFT 1983.

⁷ Zitiert nach HERCZEG 1994:79f.

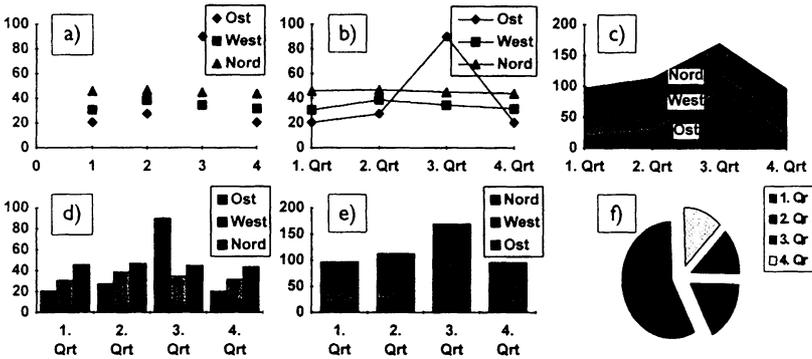


Abbildung 18: Beispiele typischer Diagrammformate

- a) Punktdiagramm b) Liniendiagramm c) Flächendiagramm
 d) Säulendiagramm e) Stapeldiagramm f) Tortendiagramm

- a) Umfangreiche Meßreihen lassen sich *übersichtlich zu einem einzelnen graphischen Konstrukt*, einer Werkstoffkurve, zusammenfassen.
- b) Die Form der Kurve macht Entwicklungstendenzen deutlich und hebt Anomalien (Ausreißer in einer Meßreihe) hervor.
- c) Der *funktionale Zusammenhang* (i.d.R. von Temperatur und gemessener Kenngröße) ist gut zu erkennen und zu interpretieren.

In analytischer Sichtweise lassen sich Diagramme und numerische Informationsrepräsentation als unterschiedliche Kodierungsformen auffassen. Am Beispiel zweier Datensätze der MTU-Datenbank und ihrer Visualisierung in Wing-Graph sei die Gegenüberstellung von sprachlicher bzw. alphanumerisch tabellarischer und graphischer Informationsdarstellung in Anlehnung an den Vergleich graphischer Informationsrepräsentation und der „Reproduktion durch Sätze“ (*sentential representation*) nach LARKIN & SIMON 1987:75ff konkretisiert (Abb. 19).

Dabei ist die Tabelle nur bedingt eine *sentential representation*, da die in ihr enthaltenen Aussagen („Der Werkstoff IN718 hat bei einer Temperatur von 21 °C einen Elastizitätsmodul von 200 GPa“) teilweise durch die räumliche Anordnung der Information, also ebenfalls ein graphisches Gestaltungsmittel, kodiert ist. Umgekehrt enthält auch das Diagramm alphanumerische Bezeichner.

Beide Formate weisen auf der Mikroebene Modalitätsmischungen von textuellen und graphischen Elementen auf, die die Interpretation innerhalb des graphischen bzw. alphanumerischen Repräsentationsparadigmas unterschiedlich stark beeinflussen. In beiden Darstellungsformaten ist die gleiche Information enthalten, d.h. sie sind *informationell äquivalent* (LARKIN & SIMON 1987:67). Sie unterscheiden sich aber in dem kognitiven Aufwand bei der Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen: Während die Frage nach Kurvenform und Lage der Kurven zueinander leichter mit Hilfe des Diagramms zu beantworten sein dürfte, kann man eine Frage

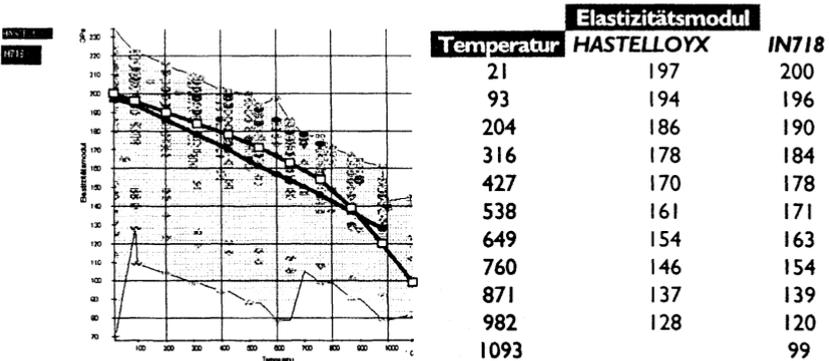


Abbildung 19: Vergleich alphanumerischer und graphischer Informationsdarstellung

nach dem exakten Wert der Messung an einem bestimmten Temperaturniveau leichter mit der Tabelle beantworten. Den Kurvenverlauf erkennt man „auf einen Blick“ (*«coup d’oeil»* (BERTIN 1974:150)), die entsprechende Information wäre aus der Tabelle als Frage nach dem funktionalen Zusammenhang nur durch eine aufwendige Berechnung abzuleiten. Umgekehrt repräsentiert ein Tabelleneintrag explizit eine bestimmte Werteausprägung, die aus dem Koordinatensystem nur durch einen komplexen Abschätzungsprozess unter Orientierung an den Skalen der Achsen abzuleiten wäre. Die Darstellungen haben somit bei identischer Informationsbasis keine rechnerische Äquivalenz (*computational equivalence*):

Two representations are informationally equivalent, if all the information in the one is also inferable from the other, and vice versa. Each could be constructed from the other. Two representations are computationally equivalent, if they are informationally equivalent and, in addition, any inference that can be drawn easily and quickly from the one can also be drawn easily and quickly from the information given explicitly in the other, and vice versa (LARKIN & SIMON 1987:67).

Die Gegenüberstellung gibt ein gutes Beispiel für die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Repräsentationsarten, beantwortet aber nicht die Frage, warum die Unterschiede existieren und sagt nichts über die Auswahl *eines bestimmten* graphischen Formates bei gegebener Datengrundlage und Problemstellung aus.

In *Wing-Graph* beruht die Auswahl des Formates Liniendiagramm bis zu diesem Punkt auf den Aussagen der Werkstoffexperten und der Übernahme des traditionellen Darstellungsformates aus den typischen Informationsmedien für Werkstoffdaten, in denen überwiegend Liniendiagramme zum Einsatz kommen. Diese Begründung wäre methodisch ausreichend, wollte man lediglich sicherstellen, daß für den engen Kontext der Anwendungsdomäne die richtige Wahl zu Verfügung steht. Damit wäre die Aussagekraft der Designlösung aber stark eingeschränkt, da sie auf idiosynkratischen Traditionen gerade der Werkstoffdomäne beruhen könnte. Deshalb ist die bezüglich des graphischen Formates unspezifische Darstellung der Vorzüge graphischer

Informationsdarstellung, wie sie DIN 66234 T. 5 Beibl. 1 gibt, durch eine Analyse empirischer Studien zu verschiedenen graphischen Formaten zu ergänzen.

5.1.2 Empirische Studien zu verschiedenen Visualisierungsformaten

Bei der kaum zu übersehenden Fülle empirischer Studien zu Visualisierungsformaten⁸ lassen sich zwei wesentliche Erkenntnisinteressen ausmachen: Die Unterscheidung verschiedener graphischer Darstellungsformen (etwa kontrastive Vergleiche von Säulen- und Liniendiagrammen) und die Gegenüberstellung von graphischen und tabellarischen Darstellungsarten.

Beide Fragestellungen sind für das graphische Retrieval relevant: Zum einen, um die Entscheidung für das Repräsentationsformat Liniendiagramm zu begründen, zum anderen, um die typischen Fragestellungen an ein bestimmtes Informationsformat und der sich daraus ergebenden Folgerungen für die Auswahl graphischer Rechercheverfahren abzuleiten. Der Vergleich von tabellarischer und graphischer Darstellung gibt wesentliche Aufschlüsse über die Auswahl bestimmter Suchverfahren. Aus der für das *Wing-Graph* zugrunde gelegte Anwendungsgebiet Werkstoffinformation entwickelten Anfragetypologie lassen sich die Aufgabenstellungen herausfiltern, die für die Umsetzung im graphischen Retrieval geeignet erscheinen.

Es muß zunächst festgestellt werden, daß die einzelnen Studien in der Regel auf sehr eng definierte Anwendungskontexte ausgelegt sind, sich daher nur bedingt vergleichen lassen und widersprüchliche Ergebnisse zu Tage fördern. Zudem entstammen die verschiedenen Studien sehr unterschiedlichen Forschungsgebieten mit jeweils eigenen Erkenntnisinteressen: Neben zahlreichen Studien aus Psychologie⁹ und *Human Factors*-¹⁰ bzw. *Human-Computer Interaction*-Forschung (POWERS et al. 1984) liegt ein deutlicher Schwerpunkt der Forschung zu Informationsformaten im Bereich der Management- und Verbraucherforschung¹¹ sowie der Statistik.¹²

Obwohl frühe Studien in der Regel globale Fragestellungen verfolgen, ohne dabei die experimentellen Bedingungen für den Vergleich verschiedener Informations-

⁸ Tabellarische Übersichten zu den wichtigsten Studien finden sich bei DESANTIS 1984:473f. (Tab. 2), JARVENPAA & DICKSON 1988 und LOHSE 1991A:31-40 (Tab. 2.1).

⁹ Frühe Studien schon von WASHBURNE 1927 und CARTER 1947, zusammenfassend jetzt LOHSE 1991A; didaktisch ausgerichtete Untersuchungen liegen auch aus dem Bereich der Pädagogik vor (bereits THOMAS 1933, WEINTRAUB 1937).

¹⁰ Maßgebliche Studie in der älteren Literatur: SCHUTZ 1961; in jüngerer Zeit z.B. SIMCOX 1984 bzw. HOLLANDS & SPENCE 1992.

¹¹ Zu nennen sind neben anderen vor allem die Arbeiten von DESANTIS, DICKSON und JARVENPAA (DICKSON, DESANTIS & MCBRIDE 1986, JARVENPAA & DICKSON 1988, JARVENPAA 1989; zusammenfassend DESANTIS 1984).

¹² Frühzeitig CROXTON & STEIN (1932), aus der neueren Literatur vgl. SIMKIN & HASTIE 1987 sowie die neueren Handbücher zur Gestaltung von Informationsdarstellungen (vgl. unten Kap. 5.2.3.1, Fn. 32).

formate exakt zu parametrisieren, werden ihre Ergebnisse tendenziell von der neueren Forschung bestätigt: Bei allen meßbaren Unterschieden in der Leistungsfähigkeit (Lesbarkeit, Verständnis, Arbeitsgeschwindigkeit, Fehlerrate) verschiedener Informationsformate lassen sich die jeweiligen Vorteile eines bestimmten Formats nur aus einem genau präzisierten Kontext heraus würdigen:

It is to be remembered that different kinds of graphs are appropriate with different materials and in different contexts. Even though the research evidence may suggest one particular form as being simpler to interpret than another, the subject matter to be presented in graphic form must often dictate the most suitable graph for ease of interpretation (WEINTRAUB 1937:348).

So hatte schon WASHBURNE 1927:475 argumentiert: "The line graph is the form most favorable to the recall of relative increase, decrease, and fluctuation (dynamic comparison)." Diese Feststellungen sollte man bei der Würdigung der zahlreichen Detailergebnisse bedenken, da sie die oft „normativen“ Schlußfolgerungen in der Literatur in den richtigen Kontext stellen.

THOMAS 1933 konnte bei der Untersuchung des Verständnisses verschiedener Informationsformate (Torten-, Säulen- und Liniendiagramm, zweidimensionales Diagramm, bebildertes Diagramm) feststellen, daß Schüler verschiedener Jahrgangsstufen bei der Interpretation des Liniendiagramms die größten Schwierigkeiten hatten.¹³ CARTER 1947 kommt bei einem Vergleich verschieden aufwendig gestalteter Tabellen und Liniendiagramme zu dem Schluß, daß zum einen die *Detailgestaltung* des Formates großen Einfluß auf das Informationsverständnis hat und gleichzeitig

within the limits of the material investigated, a table in which every point is given is as rapid, and more accurate to use, than any other method of presenting data (CARTER 1947:649).

Diese Folgerung schwächt CARTER allerdings ab:

7. Graphs should not be used as a technique for presenting data unless an interpretation of the shape of the curve presented is important; or unless the speed and accuracy with which the graph is used is relatively unimportant (CARTER 1947:650).

CULBERTSON & POWERS 1959 wiesen in einer empirischen Studie eine Überlegenheit des Balkendiagramms gegenüber dem Liniendiagramm nach, wobei in diesem Versuch keine komplexen Verlaufsformen zu beurteilen waren (Einzelvergleiche statistischer Daten, pädagogischer Kontext).

Im Rahmen eines Experimentes, das typische Kurven- bzw. Verlaufsformen berücksichtigt,¹⁴ kommt SCHUTZ 1960:107 zu einem gegenteiligen Ergebnis, was die

¹³ THOMAS 1933:494; am vorteilhaftesten schnitt das Tortendiagramm ab; so auch das Ergebnis der Vergleichsstudie von PETERSON & SCHRAMM 1954:188, in der allerdings keine Liniendiagramme untersucht wurden. Anders CROXTON & STEIN 1932:60 (Überlegenheit von Balkendiagrammen bei der Genauigkeit der Interpretation).

¹⁴ Zur Beurteilung von Kurvenformen und ihre Modellierung als Kompatibilitätsfunktion im Sinne der *fuzzy-set*-Theorie siehe auch SIMCOX 1984.

Interpretation und Beurteilung von Trends betrifft: Danach sind Liniendiagramme den Balkendiagrammen für die Beurteilung von Zeitreihen vorzuziehen.

Am Beispiel eines logistischen Planspiels konnten LUCAS & NIELSEN 1980 die als Hypothese angenommene Überlegenheit graphischer Informationsdarbietung (ohne nähere Spezifizierung des Formats) nicht generell nachweisen; allerdings war dort die Trennung Graphik vs. „traditionelle“ Formate an einen Wechsel der Arbeitsumgebung (nur mit Graphik Arbeit am Bildschirm, also Mensch-Maschine-Interaktion) gekoppelt und starken technischen Einschränkungen unterworfen (LUCAS & NIELSEN 1980:991). In einer Präzisierung der Untersuchung (LUCAS 1981), die speziell den Vergleich von Tabellen und Graphik in der Mensch-Maschine-Umgebung betrachtete, waren keine wesentlichen Unterschiede zwischen (Linien-) Graphik und tabellarischer Darstellung auszumachen.¹⁵ Interessant an dieser Studie ist das Ergebnis, daß die Versuchspersonen, die sowohl Tabellen als auch graphische Darstellungen zur Verfügung hatten, am besten abschnitten,¹⁶ mithin ein Argument für multimodale Informationspräsentation.

GHANI 1981 führt ein zusätzliches, psychologisch motiviertes Beurteilungskriterium ein, indem er die Unterscheidung zwischen Benutzern eines *feeling type* bzw. eines *thinking type* zur Grundlage einer Differentialuntersuchung zwischen verschiedenen Informationsformaten macht und ihnen die graphische bzw. tabellarische Darstellung zuordnet. Er kommt auf der Basis eines ökonomischen Planspiels zum Ergebnis, daß die tabellarische Darstellungsform tendenziell überlegen ist. Drei Aspekte sind von besonderer Bedeutung:

- a) Bei der Wahl des Formates (Graphik oder Tabelle) bevorzugten die Versuchspersonen das ihnen vertrautere Medium (GHANI 1981:82).
- b) Nach einem durch das Testdesign erzwungenen Wechsel des Formates verschlechterte sich die Performanz der Versuchspersonen unabhängig von der Richtung des Modalitätswechsels (GHANI 1981:78ff.).
- c) Die Benutzertypologie konnte experimentell bestätigt werden, d.h. *feeling types* arbeiteten besser mit Graphik und umgekehrt (GHANI 1981:87f.).

Diese Ergebnisse sind wichtige Hinweise auf die Ausgestaltung multimodaler Aspekte des graphischen Retrieval, wenn es um das Zusammenspiel von numerischer und/oder graphischer Anfragemöglichkeiten geht und bestätigen die Annahme eines sich negativ auswirkenden Modalitätsbruchs bei der Verwendung graphischer Informationsdarstellungen in traditionellen Datenbankschnittstellen.

Bei POWERS et al. 1984 ist die tabellarische Darstellung im Ergebnis der graphischen überlegen, was die Autoren auf die mangelnde Erfahrung ihrer Versuchspersonen

¹⁵ LUCAS 1981:762; wohl aber waren beide Versuchsanordnungen mit Mensch-Maschine-Interaktion der Tabellendarstellung auf Papier unterlegen, LUCAS 1981:763. Eine nachteilige Beurteilung für 3-D-Diagramme im Vergleich mit Tabellen geben WATSON & DRIVER 1983.

¹⁶ LUCAS 1981:764f; zu einem ähnlichen Ergebnis, nämlich der Überlegenheit der Kombination tabellarischer und graphischer Formate, kommen auch POWERS et al. 1982:556ff.

sonen mit graphischen Darstellungsformen zurückführen (POWERS et al. 1984:557), ohne allerdings die Problematik der Zuordnung von Aufgabentyp und Darstellungsformat ausreichend zu erörtern, in anderen Worten: "[...] the match between the task demands and the display format is of paramount importance when designing displays" (JARVENPAA 1989:285).

DICKSON, DESANCTIS & MCBRIDE 1986 konnten ebenfalls keine generelle Überlegenheit graphischer Informationsformate feststellen (dort Balkendiagramme verglichen mit Tabellen). In der Präzisierung der Ergebnisse kommen sie zu dem Schluß: "For a task activity that involves seeing time dependent patterns in a large amount of data, graphs are a good choice of format" (DICKSON, DESANCTIS & MCBRIDE 1986:46). Die gleiche vage Folgerung hatten bereits CARTER 1947 und SCHUTZ 1961 gezogen.

Die vielfältigen und unterschiedlichen Ergebnisse empirischer Studien fassen JARVENPAA & DICKSON 1988 zusammen und erarbeiten einen Gestaltungsleitfaden für Informationsformate, wonach sich das tabellarische Format lediglich für das Ablesen von Einzeldaten empfiehlt. Liniendiagramme sollten danach bei folgenden Aufgabenstellungen eingesetzt werden:

- Quick summary of data
- Detecting trends over time
- Comparing points and patterns of different variables
- Forecasting activities
- Information reporting when a vast amount of information is presented and relatively simple impressions are to be drawn

(JARVENPAA & DICKSON 1988:772, Tab. VII).

Diese Aspekte sind typisch für die Interpretation von Werkstoffdaten: Der Gesamtverlauf einer Kenngröße läßt sich leichter in graphischer Form beurteilen, das Kurvenformat betont die Trends der Kenngrößenentwicklung und erlaubt einen direkten visuellen Vergleich mehrerer Datensätze. Bei sehr umfangreichen Meßreihen kann die Kurvenform einen schnellen Überblick verschaffen und ihre visuelle Gestalt erlaubt die Extrapolation über die gegebenen Daten hinaus.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß sich hinter den z.T. so disparat wirkenden Forschungsergebnissen im Detail eine Fülle unterschiedlicher experimenteller Randbedingungen verbirgt; große Differenzen bestehen bezüglich der Versuchsteilnehmer, ihrer Erfahrung mit verschiedenen Informationsdarstellungsformaten, aber auch in Bezug auf die jeweils gewählten Formate, die an sie im Test herangetragenen Fragestellungen und die gemessenen Parameter.¹⁷ Nicht zuletzt das spezifische Erkenntnisinteresse der Forscher beeinflusst die experimentelle Ausgestaltung der empirischen Untersuchungen. DESANCTIS faßt das Dilemma der Fülle disparater Forschungsergebnisse knapp zusammen:

¹⁷ Überblick bei DESANCTIS 1984:468, Tab. 1.

There are many empirical studies on the effectiveness of various graph types, yet practical guidelines on graph selection cannot be formulated because of conflicting results and lack of systematic effort in the research (DESANCTIS 1984:469).

In ihrem Vorschlag für einen geordneten methodischen Rahmen zur weiteren Forschung über Verwendung und Nutzen von verschiedenen Informationsformaten schlägt sie ein abgestuftes Modell vor, das auf der einfachsten Ebene die Charakteristika von Informationsformat, Benutzer und Aufgabenkontext berücksichtigt, um auf der Grundlage dieser Erkenntnisse in Verbindung mit einer Analyse kognitiver Aspekte (Entscheidungsstrategien etc.) zum Verständnis der Grapheninterpretation als Grundlage der Problemlösung und letztlich der Entscheidungsfindung zu gelangen (DESANCTIS 1984:481, bes. Abb. 1). Damit wird ein wesentliches Defizit der empirischen Forschung zu verschiedenen Informationsformaten deutlich, das bis vor kurzem noch vollständige Fehlen eines Bezugs zu Erkenntnissen über die menschliche Informationsverarbeitung, wie sie die Kognitionspsychologie erarbeitet hat. Der von PINKER 1981, 1990 erstmals vorgenommenen kognitiven Modellbildung über die menschliche Graphenwahrnehmung kommt daher eine Schlüsselrolle in der Verbindung von Kognitionspsychologie und empirischen Forschungen zu verschiedenen Informationsdarstellungsformaten zu (dazu unten Kap. 5.2.3.3).

Ein Trendwechsel in der empirischen Forschung ist allerdings bereits zu erkennen: "[...] there has been a tacit shift from the experimental factors paradigm towards a more theoretical, information-processing approach from psychology" (LOHSE 1991A:21). Erste empirische Untersuchungen, die in direktem Bezug zu kognitionspsychologischen Theorien über die visuelle Informationsverarbeitung stehen, liegen bereits vor: SIMKIN & HASTIE 1987 stützen sich in ihrer Untersuchung der Informationsverarbeitungsstrategien bei der Wahrnehmung von Säulen-, Torten- und Liniendiagrammen auf CLEVELANDS *elementary perception tasks*¹⁸ und ULLMANS *visual routines* (ULLMAN 1984) und setzen sie in Bezug zu PINKERS Modell des Graphenverstehens (SIMKIN & HASTIE 1987:459, s.u. Kap. 5.2.3). Im Rahmen des Informationsverarbeitungsansatzes für das Verständnis menschlicher Wahrnehmung und Problemlösung bestätigten sie in einer empirischen Studie das Modell von PINKER und leisten einen Beitrag zur Integration von Theorie und Empirie auf diesem Gebiet. Damit wird klar, daß eine stärkere Differenzierung der empirischen Forschung diesen Brückenschlag leisten kann: Statt holistischer Vergleiche verschiedener Informationsformate verspricht die Betrachtung von elementaren kognitiven Operationen und Prozessen ein besseres Verständnis (und vor allem eine plausible *Erklärung*) der Leistungsfähigkeit verschiedener graphischer Darstellungsformate zu liefern.¹⁹

¹⁸ CLEVELAND & MCGILL 1984, CLEVELAND 1985, ausführliche Diskussion der theoretischen Aspekte visueller Wahrnehmung und Kognition in Kap. 5.2.

¹⁹ So auch der Ansatz von HOLLANDS & SPENCE 1992, wo Diagrammformen hinsichtlich der kognitiven Operationen bei Größenwahrnehmung und Proportionseinschätzung verglichen werden. Vgl. auch LEGGE, GU & LUEBKER 1991.

Zum Abschluß der Betrachtung empirischer Studien zu verschiedenen Informationsformaten lassen sich in Hinsicht auf die Modellierung und Gestaltung eines graphischen Retrievalsystems für Faktendatenbanken folgende Feststellungen treffen:

- a) *Grundsätzlich* kann nicht von einer Überlegenheit graphischer Darstellungsformate ausgegangen werden;²⁰ die empirische Forschung läßt aber zu, von einer prinzipiellen Berechtigung der Anwendung graphischer Darstellungsformate zu sprechen. Dieser Schluß ist eine elementare Voraussetzung für das graphische Retrieval, da bei *grundsätzlicher* (also nicht kontextuell näher bestimmter) Überlegenheit tabellarischer Darstellungen und ihrer Interpretation der Begründungszusammenhang für die Einführung graphischer Darstellungs- wie Retrievalverfahren weitgehend entfiel: Er leitete sich in diesem Fall nur aus Beobachtungen in der Anwendungsdomäne ab und enthielt kein Generalisierungspotential.
- b) Die Forschung bestätigt die Annahme, daß erst nach einer Präzisierung des Kontextes hinsichtlich der Benutzer- und Aufgabentypologie eine Aussage über das zu wählende bzw. für eine bestimmte Aufgabenstellung optimale Informationsdarstellungsformat möglich ist: "unfortunately, no one graphic format will prove superior to other formats. Each graphical display is a canonical representation for a certain class of problems" (LOHSE 1991A:68).
- c) Die aus den vorgegebenen Informationsmedien der Werkstoffexperten abgeleitete Präferenz für die Darstellung in Liniendiagrammen läßt sich durch die empirischen Studien bestätigen, da ihre Vorteile in der Beurteilung globaler Zusammenhänge liegen (Trends, Verlaufsentwicklung, Abschätzung der Extrapolation). Solche Problemstellungen sind zentral für die Beurteilung von Werkstoffinformation in graphischer Form.
- d) Zur sachlichen Rechtfertigung der Formatwahl kommt das Erfahrungswissen der Interpreten graphischer Darstellungen hinzu: Die empirischen Studien zeigen, daß die Erfahrung mit einem bestimmten Format eine wesentliche Rolle bei der Informationsgewinnung- und -verarbeitung des Betrachters spielt, eine zusätzliche Legitimation für das den Werkstoffachleuten vertraute Medium Liniendiagramm.

Im folgenden sind die teilweise disparaten empirischen Ergebnisse zur Verwendung von Diagrammen als Informationsmedium durch eine kognitionspsychologischen Erkenntnissen verpflichtete Betrachtung der Wahrnehmungsprozesse bei der Diagramminterpretation zu ergänzen. Sie sollen die Grundlage für die Entwicklung eines kognitiven Modells für das graphische Retrieval bilden, das sowohl dem Kenntnisstand der Kognitionspsychologie gerecht wird als auch eine Realisierung als Systemprototyp zuläßt und Gestaltungshinweise für ein graphisches Retrievalsystem erbringt.

²⁰ GAHNI 1981:101f. "The popular notion that graphics are better than tables is not necessarily true. Indeed, in the context studied here, graphics lead to poorer quality decisions and longer decision times."

5.2 Visuelle Wahrnehmung und Informationsverarbeitung

Der visuellen Wahrnehmung und Informationsverarbeitung kommt für das graphische Retrieval eine Schlüsselrolle zu, da aus ihren Charakteristika die besonderen Möglichkeiten der Arbeit mit visualisierter Information abgeleitet werden: Letztlich liegt der Hypothese der Andersartigkeit einer graphischen Retrievalschnittstelle im Sinne von *Wing-Graph* die Annahme unterschiedlicher mentaler Verarbeitungspfade für graphische Information und textuelle Daten zugrunde:

The human memory can be regarded as consisting of two different functional entities. The one, containing relational knowledge (spatial relations between elements), seems to be something like visual spatial memory; the other, containing propositional knowledge (hierarchical list of properties) is often called linguistic memory (ROHR 1986:326).²¹

Zunächst muß man zwischen der eigentlichen Wahrnehmung (*visual perception*) und der Weiterverarbeitung der wahrgenommenen Information (*visual cognition* im engeren Sinn, PINKER 1985:13) unterscheiden. Zu diesen Problembereichen tritt die Betrachtung der visuellen Vorstellungsfähigkeit (*visual imagery*) als bedeutendes Subproblem der *mental imagery* (vgl. KOSSLYN 1990:73f.).

Ohne die psychophysikalischen Details der visuellen Wahrnehmung darstellen zu können,²² ist natürlich die visuelle Wahrnehmungsfähigkeit des Menschen der Ausgangspunkt des graphischen Retrieval, da „Sehen“ für die Arbeit mit beinahe jedem Informationssystem eine *conditio sine qua non* ist. Es ist daher spezifisch danach zu fragen, welche Rolle die Fähigkeit des Menschen, bestimmte Muster (wie etwa Liniendiagramme von Werkstoffkennwerten) wahrzunehmen, im Kontext einer Datenbankschnittstelle einnimmt. Betrachtet man die Anwendungssituation näher, so ergeben sich mehrere Verbindungen zwischen visueller Kognition und graphischem Retrieval:

- a) Vorgegebene Information und Metainformation (etwa der Rahmen einer Informationsdarstellung) werden wahrgenommen und in ihrer Bedeutung erkannt.
- b) Daten werden interpretiert und verglichen, wobei die visuelle Vorstellungsfähigkeit eine wichtige Rolle einnimmt.²³

²¹ So auch PAIVIOS *dual coding*-Hypothese über *perception and imagery*, vgl. Kap. 5.2.3.

²² Eine Darstellung der neurobiologischen Grundlagen der *early vision* (MARR 1982:41ff.) hätte einen so allgemeinen Bezug zum hier betrachteten Problem, daß daraus kein unmittelbarer Erkenntnisgewinn mehr zu ziehen wäre. Es sei dazu aber auf die verständliche und konzise Einführung bei RESNIKOFF 1989:149ff. verwiesen; detaillierte Darstellung neurophysiologischer Ansätze bei GORDON 1989:92ff.

²³ Damit ist schon die Annahme vorgegeben, daß *visual imagery* eine Rolle spielen kann, etwa im Vergleich mit der Interpretation von Daten auf der Basis rein numerischer Darstellungsweisen.

- c) Die Zielvorstellung ist die Operationalisierung der Interpretation und der „internen“ Analyse der visuellen Information mit einer visuellen Sprache. Mental visualisierte Informationsbedürfnisse soll der Benutzer im gleichen Modus auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle übertragen können.

5.2.1 Das Standardmodell der visuellen Informationsverarbeitung

Das Standardmodell²⁴ der visuellen Informationsverarbeitung operiert mit den Prozesseinheiten Langzeitgedächtnis (*long term memory, ltm*) und Kurzzeitgedächtnis (*short term memory, stm*) und gibt bezüglich der Hirnorganisation den Grobrahmen vor, innerhalb dessen die visuelle Wahrnehmung abläuft und der als Vorverständnis kognitionspsychologischen Erklärungsmodellen zugrunde liegt (Abb. 20): Die Übernahme des wahrgenommenen Bildes aus dem sensorischen (hier: ikonischen) Speicher in das Kurzzeitgedächtnis unterliegt dabei verschiedenen Steuerungskriterien. Beispielsweise nimmt man eine Kurve um so deutlicher wahr, je mehr sie sich von ihrem Darstellungshintergrund abhebt (*Unterscheidbarkeit*), besonders markierte Elemente (helle Farbe, auffälliges Muster) werden gegenüber nicht hervorgehobenen Bestandteilen eines Diagramms bevorzugt.

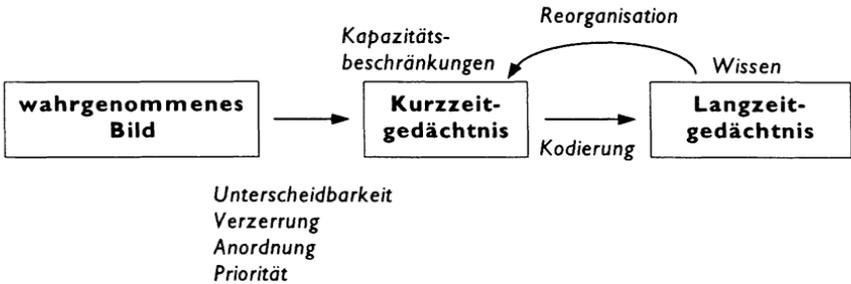


Abbildung 20: Standardmodell der visuellen Informationsverarbeitung
(KOSSLYN 1989:190)

Im Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnis findet die eigentliche Verarbeitung der Information durch kontrollierte kognitive Prozesse unter Zuhilfenahme von Wissen aus dem Langzeitgedächtnis statt. Der visuellen Darstellung kann dadurch eine Bedeutung zugewiesen werden (Interpretation). Das Arbeitsgedächtnis ist in seiner Kapazität eingeschränkt, d.h. nur etwa sieben Informationseinheiten (*chunks*) können zu einem Zeit-

²⁴ "[...] the contemporary 'canonical theory'", KOSSLYN 1985:500, bzw. KOSSLYN 1989:190, cf. auch SPOEHR & LEHMKUHLE 1982, die den *information processing approach* der visuellen Wahrnehmung detailliert darstellen, und WANDMACHER 1993:20ff (mit Bezug zur Software-Ergonomie).

punkt gespeichert sein (vgl. HERCZEG 1994:61ff.). Aus dem Kurzzeitgedächtnis gelangt die Information in kodierter Form zur Speicherung ins Langzeitgedächtnis.

5.2.2 Visuelle Wahrnehmung und Objekterkennung

Die erste Stufe der visuellen Wahrnehmung führt vom zweidimensionalen Reizmuster auf der Retina des Betrachters zu einem visuellen Repräsentationsformat der Information im Gehirn, in dem Formen und Muster zu erkennen sind (*shape* bzw. *pattern recognition*). Die Wahrnehmungs- und Objekterkennungsprozesse versucht die Kognitionspsychologie auf unterschiedliche Weise zu erklären, wobei der je nach Theoriemodell stärkere oder schwächere Rückgriff auf vorhandenes Wissen im Gehirn eine zentrale Rolle spielt: Da man eine prinzipiell unendliche Vielfalt visueller Muster erkennen und interpretieren kann, ist zu fragen, welches Vorwissen über visuelle Eigenschaften, Beziehungen und Muster dafür nötig ist. Ältere Erklärungsversuche für die visuelle Wahrnehmung, insbesondere die *template matching* (SELFRIDGE & NEISSER 1960) und *feature detection models* (SELFRIDGE 1959) greifen bei der Objekterkennung auf vorgefertigte Strukturen (*templates*) bzw. Strukturelemente (*features*) zurück. Ihnen läßt sich entgegenhalten, daß sie die Gesamtstruktur eines visuellen Objektes vernachlässigen, dessen Bedeutung nicht aus der Erkenntnis von Primitiven heraus deutlich wird. Die Annahme fest kodierter Formmuster (*templates*) bzw. graphischer Substrukturen (*features*) wird der Tatsache nicht gerecht, daß die Mustererkennung mehr leistet, als die 1:1-Zuordnung von visuellem Reiz und mental repräsentierter Form.²⁵ Gegen solche Erklärungsmodelle der Wahrnehmung führt PINKER 1985:13f aus, daß sie weder erkennen lassen, wie die Übersetzung psychophysikalischer Reizzustände auf der Retina in die elementaren Strukturen und Muster abläuft, noch angeben können, welche Aufgabe der *template theory* im Gesamtprozeß von Wahrnehmen und Erkennen letztlich zukommt.

Von einem völlig anderen Ausgangspunkt her versucht die Gestalt-Psychologie mit ihrer phänomenologischen Methodologie die Grundprinzipien der visuellen Wahrnehmung in den Gestaltgesetzen festzumachen (vgl. WERTHEIMER 1922/3). Obwohl sie eine Reihe wichtiger Wahrnehmungsgesetze beschreibt, die für die Anordnung visueller Information eine große Rolle spielen (u.a. die Gestaltprinzipien der Nähe, Gruppierung und Symmetrie visueller Muster), kann sie keine adäquate Erklärung zu ihren Annahmen liefern: Der postulierte topologische Isomorphismus von wahrgenommener visueller Struktur und korrelierender Hirnaktivität²⁶ ist nach neueren Erkenntnissen über die neurophysiologischen Vorgänge bei der Wahrnehmung nicht zu halten.²⁷

²⁵ Cf. PINKER 1985:6ff., BRUCE & GREENE 1985:168ff., CHASE 1986:28/2ff., GORDON 1989:102ff.

²⁶ So die Theorie der Hirnaktivität als Erklärungsmodell für die Gestaltgesetze, wie sie KÖHLER 1947 vorschlug.

²⁷ Vgl. CHASE 1986:28/3, GORDON 1989:63ff.

MARR 1982 hat diesen Theorien ein *computational model* entgegengesetzt, das den Wahrnehmungs- und Erkennungsprozeß als ein *bottom-up*-gesteuertes Prozeßsystem mit verschiedenen Niveaus darstellt (MARR 1982:37 Tab. 1-1). Der Ausgangspunkt ist das psychophysikalische Reizmuster (*image*) auf der Retina, das vergleichbar einem unstrukturierten Bitmap aus einzelnen Pixeln nur die unterschiedliche Reizintensität kodiert. Aus ihm entsteht durch Anwendung elementarer visueller Routinen ein *primal sketch*, der bereits Informationen über die geometrische Struktur des *image* enthält. Der *primal sketch* repräsentiert Strukturinformation durch visuelle Primitive wie Liniensegmente, Kontrastübergänge, Gruppierung von Elementen und Grenzen zwischen verschiedenen Bereichen. In einem weiteren Schritt wird mit dem sog. *2½-D sketch* ein Repräsentationsformat aufgebaut, das die geometrische Oberflächenstruktur in einem Koordinatensystem kodiert und erste Informationen über die Raumbeziehungen enthält (Richtungsvektoren auf den Oberflächen der geometrischen Formen des Bildes als Andeutung von Raum und Perspektive). Am Ende der Bildererkennung steht die vollständige *3-D-model representation*. Sie bildet Formen als 3-D-Modelle ab, wobei die Kodierung mit Hilfe objektzentrierter Koordinatensysteme in einer modularen hierarchischen Repräsentation erfolgt. Der entscheidende Gedanke von MARR ist, für jede Ebene eine Menge von Algorithmen (visuellen Routinen) angeben zu können, durch deren Anwendung das Repräsentationsformat mit den Daten des *image* instantiiert wird (Marr 1982:24f). Den visuellen Wahrnehmungsprozeß analysiert MARR als modular strukturierten Prozeß (MARR 1982:99ff).

Geht man von *bottom-up*-gerichteten Analyseprozessen aus, so kommt man zu einem gegenüber der Annahme eines Musterabgleichs von *features* oder *templates* entgegengesetzten Schluß bezüglich der Wahrnehmung visueller Information: Nicht die Gesamtstruktur wird als Muster oder Gestalt wahrgenommen, sondern durch elementare Erkennungsprozesse (z.B. *edge detection*, *curve tracing*) von unten her aufgebaut, die auf einer Basisrepräsentation visueller Information operieren.²⁸ Der Fokus verschiebt sich von den erkannten *Mustern* zu den *Prozeduren*, die der Erkennung dienen:

It is suggested that the perception of spatial relation is achieved by the application to the base representations of visual routines that are composed of sequences of elemental operations. Routines for different properties and relations share elemental operations. Using a fixed set of basic operations, the visual system can assemble different routines to extract an unbounded variety of shape properties and spatial relations (ULLMAN 1984:154).

Eine der elementaren Wahrnehmungsoperationen bezieht sich nach der Studie von JOLICEUR 1988 auf die Verarbeitung von Informationen, die auf einer gemeinsamen

²⁸ Kanten, Linien, Gruppen, Grenzen etc. (MARR 1982:37), nicht zu verwechseln mit visuellen Strukturprimitiven (*features*). Vgl. auch den kompositionalen Ansatz (*recognition-by-components*, *RBC*) von BIEDERMAN 1987, 1990.

Kurve liegen (*curve tracing operation*). Übertragen auf die Wahrnehmung visueller Information in den Liniendiagrammen von *Wing-Graph*, läßt sich daraus die Vermutung ableiten, daß sie eine geeignete Form der Visualisierung sind, da sie bereits durch einen elementaren Wahrnehmungsprozeß zu erschließen sind. Soweit man sich nur auf die relative Position der Kurvenpunkte eines Datensatzes bezieht, sind Liniendiagramme die einfachste und effektivste Kodierungsform, da zur Entschlüsselung der Information weniger prozessualer Aufwand betrieben werden muß und ihre visuelle Gestalt *an sich* einen geringeren Informationsgehalt hat als z.B. ein Balkendiagramm, aber die gleiche Menge an Inhalten kodiert und daher weniger Redundanz aufweist.²⁹ Diese Beobachtung gibt einen ersten Hinweis für das Verständnis der Grapheninterpretation, die erkenntnistheoretische Distanz zwischen psychophysikalischen Theorien der Wahrnehmung und dem Problem der Modellbildung für das graphische Retrieval ist aber beträchtlich.³⁰

Die knappe Darstellung kognitiver Wahrnehmungstheorien bietet keine *konkrete* Erkenntnis über die Verarbeitung bestimmter Visualisierungsformen beim Menschen, ist aber die theoretische Folie, vor der die Fokussierung auf die Probleme der Graphendarstellung und -wahrnehmung gesehen werden muß.

5.2.3 Modelle der Wahrnehmung und Interpretation von Diagrammen

Die ältere Literatur zu Gestaltung und Verwendung graphischer Darstellungsformate schenkte in der Regel kognitiven Aspekten der Informationswahrnehmung kaum Beachtung. Es existieren zwar zahlreiche Handbücher der Diagrammgestaltung, die beschreiben, welche Darstellungsformate für welche darzustellende Information zu verwenden sind, und sie geben in der Regel detaillierte Gestaltungsanweisungen (auch mit „schlecht gestalteten“ Gegenbeispielen), versuchen aber nicht zu erklären, warum bestimmte Formate besonders geeignet sind oder wie kognitive Prozesse bei der Wahrnehmung graphischer Information verlaufen könnten.³¹ Das Werk von TUFTE sticht aufgrund seiner exquisiten Gestaltung unter diesem Typus von Handbüchern für das Design von Informationsdarstellungen hervor. TUFTE strebt vor al-

²⁹ Vgl. RESNIKOFF 1989:166ff, der zeigt, wie sich der Informationsgehalt visueller Konturen im Sinn der Signalverarbeitung mathematisch als Bitzahl bestimmen läßt. Vergleicht man danach die Balken und Linien in den entsprechenden Diagrammformen, zeigt sich der höhere visuelle Verarbeitungsaufwand und Informationsgehalt der Balken bei grundsätzlich gleicher Menge dargestellter Information.

³⁰ Konnektionistische Theorien, die die „Mikrostruktur der Kognition“ in neuronalen Netzwerken modellieren, scheiden unter diesem Aspekt aus. Der *parallel distributed processing (pdp)*-Ansatz von RUMELHART & MCCLELLAND 1986 hat eine hohe funktionale Beschreibungsadäquatheit, da er auf der vernetzten Struktur des menschlichen Gehirns aufbaut, läßt sich aber mangels gleichzeitiger Erklärungsmächtigkeit für die Modellierung des graphischen Retrieval nicht unmittelbar fruchtbar machen.

³¹ Vgl. KARSTEN 1923, MONKHOUSE & WILKINSON 1971, TUFTE 1983.

lem eine umfassende Darstellung gelungener graphischer Aufbereitungsformen an; dabei verläßt er sich auf eine intuitive Prinzipienbildung für die Gestaltung, ohne im wissenschaftlichen Sinn gültige Theoreme ableiten zu wollen:

Design is choice. The theory of the visual display of quantitative information consists of principles that generate design options and that guide choices among options. The principles should not be applied rigidly or in a peevish spirit; they are not logically or mathematically certain; and it is better to violate any principle than to place graceless or inelegant marks on paper (TUFTE 1983:192).

Daß die intuitive Hermeneutik von TUFTE ihre Berechtigung als Gestaltungsleitfaden hat, ist an ausgewählten Gestaltungsfragen überprüft worden: Auf den Designempfehlungen von TUFTE aufbauend, haben GINGRAS et al. 1988 verschiedene Varianten von Säulendiagrammen getestet und konnten zumindest einige seiner Vorgaben bestätigen (GINGRAS et al. 1988:637). Daß die von TUFTE geforderte Vermeidung redundanter Darstellungsmittel nicht *durchgehend* validiert werden konnte, überrascht kaum, da die Reduktion bei TUFTE auch *ästhetisch* motiviert ist und daher nicht nur der (sinnvollen) Eliminierung überflüssiger und mental belastender Elemente des Diagramms dient.

TUFTE bildet mit seiner Darstellung einen methodischen Gegenpol zum analytischen Ansatz von BERTIN: Er verläßt sich in seinen Konstruktionshinweisen auf intuitiv gewonnene Kriterien, die auch ästhetische Prinzipien erfüllen sollen. BERTIN kommt dagegen durch eine rigorose Analyse von Datengrundlage und Darstellungsmitteln zu einem semiotischen Konstruktionssystem. Beide Ansätze validieren die Auswahl des Liniendiagramms für *Wing-Graph* angesichts des Darstellungsproblems *Werkstoffkenngröße*, beiden gemeinsam ist auch der fehlende Rekurs auf die kognitiven Voraussetzungen der Informationswahrnehmung. In der jüngeren Forschung finden sich aber Studien, die den Bezug zur Wahrnehmungs- und Kognitionspsychologie herstellen und neben der semiotischen Analyse des Diagramm-Lesens nach BERTIN im folgenden zu erörtern sind:

- a) Die Untersuchung der bei der Diagramminterpretation ablaufenden elementaren Wahrnehmungsprozesse (CLEVELAND 1985) und
- b) ein integriertes kognitives Modell der Diagramminterpretation auf der Basis von Graph-Schemata für unterschiedliche Diagrammformate, das sowohl die Ebene der visuellen Wahrnehmungsprozesse als auch die Weiterverarbeitung der Information berücksichtigt (PINKER 1990).

5.2.3.1 Diagrammwahrnehmung durch elementary perception tasks

Die neuere Generation von Studien zu Konstruktion und Analyse von graphischen Darstellungen³² hebt wesentlich stärker auf kognitionspsychologische Erkenntnisse

³² CHAMBERS et al. 1983, SCHMID 1983, CLEVELAND 1985; vgl. KOSSLYNS Evaluierung der neueren Generation von Gestaltungshandbüchern (KOSSLYN 1985).

ab; die Bandbreite empirischer und kognitionspsychologischer Forschung ist als Grundlage des Wissens über graphische Informationsformate dort bereits anerkannt:

[...] design research in cartography can be characterized by five different approaches and research methodologies, including

I. Indirect Research Approach

- (a) Empirical methods
- (b) Adaptation of studies in other fields

II. Direct Research Approach

- (c) Census of User Reaction
- (d) Task-oriented Research
- (e) Psychophysical research (SCHMIDT 1983:10).

Die im Zitat auf die Kartographie im engeren Sinn bezogene Klassifikation erstreckt sich auch auf die Problematik der visuellen Informationsgestaltung im allgemeinen.

William CLEVELAND (CLEVELAND & MCGILL 1984, CLEVELAND 1985) gibt eine wahrnehmungspsychologische Analyse der Wahrnehmung von Diagrammen. Er geht von elementaren graphischen Wahrnehmungsaufgaben (*elementary graphical-perception tasks*) aus, die bei der Dekodierung eines Diagramms mit quantitativer Information zu bewältigen sind und kommt zu folgender Liste von Vergleichsoperationen, die nach der Zuverlässigkeit der *perception tasks* geordnet ist:

1. Position auf einer gemeinsamen Skala [...]
2. Position auf identischen, aber von unterschiedlichen Orten ausgehenden Skalen
3. Streckenlängen
4. Steigungen
5. Winkelgrößen
6. Flächengrößen
7. Farbton - Farbsättigung - Farbdichte (übersetzt nach CLEVELAND 1985:254, vgl. CLEVELAND & MCGILL 1984:532, WANDMACHER 1993:359).

Mit Hilfe dieser Operationen kann der Betrachter Informationen aus einem Diagramm ablesen, also z.B. in einem Liniendiagramm den Winkel abschätzen, den zwei Kurvensegmente einschließen, und daraus eine Schlußfolgerung über die Entwicklung des abgebildeten funktionalen Zusammenhangs ableiten. Die Auswahl genau *dieser perception tasks* ist nicht explizit begründet, geht aber aus psychophysikalischen Gesetzen und empirischen Versuchen hervor, in denen CLEVELAND die Zuverlässigkeit der verschiedenen Wahrnehmungsaufgaben untersucht (CLEVELAND 1985:241-255). Dabei wurden Versuchspersonen mit je einer Wahrnehmungsaufgabe konfrontiert, sollten also z.B. in einer Vorlage verschiedene Winkelgrößen vergleichen, Streckenlängen abschätzen oder Steigungen bewerten. Aus der Güte der Einschätzung durch die Versuchspersonen schließt CLEVELAND auf die Zuverlässigkeit der elementaren Wahrnehmungsoperationen.

Cleveland unterscheidet die *elementary perceptions tasks* von (bewußten) *graphical-cognition tasks*, die bei der Analyse der Skalenbeschriftungen und -einteilungen

aufzutreten. Während die *elementary perception tasks* auf einer tieferen Ebene der Wahrnehmung angesiedelt sind und den *visual routines* bei der Weiterverarbeitung eines *primal sketch* in MARRS Theorie der visuellen Wahrnehmung entsprechen, verlangen die *graphical-cognition tasks* einen höheren kognitiven Aufwand (CLEVELAND 1985:232). Ohne dies weiter zu konkretisieren, erklärt CLEVELAND mit der Annahme elementarer Wahrnehmungsaufgaben die unterschiedlichen Interpretationsleistungen bei graphischer bzw. alphanumerischer Kodierung der Information. Daraus kann man folgern, daß Form und Lage zweier Kurvenstücke in einem Liniendiagramm schon durch elementare Wahrnehmungsroutinen entschlüsselt werden können, während visuelle Operationen bei numerischer Repräsentation Vergleichbares nicht leisten: Die visuelle Wahrnehmung zweier Zahlen ermöglicht erst vermittelt über die Entschlüsselung der Bedeutung der einzelnen Ziffern (*graphical-cognition task*) ihren Vergleich. In einer weitergehenden empirischen Studie auf der Basis von CLEVELANDS Unterscheidung kommen LEGGE, GU & LUEBKER 1991:129 zu dem Schluß "that the major contributor to the superiority of graphical displays is the preattentive, parallel-processing capacity of spatial vision."

CLEVELANDS Modell ist insofern zu kritisieren, als es an lokalen Phänomenen wie Winkel- und Längenbeurteilung und dem Einfluß der Farbwahl ansetzt, ohne den Prozeß der Graphenwahrnehmung als Ganzes zu würdigen. Im Detail lassen sich der genannte Kriterienkatalog und die elementaren Routinen der Verarbeitung visueller Information bestätigen, doch entsteht aus einer solchen *bottom-up*-Perspektive kein geschlossenes Erklärungsmodell für den Wahrnehmungs- und Interpretationsprozeß graphischer Information. CLEVELANDS Wahrnehmungsexperimente betrachten jede *perception task* gesondert und berücksichtigen keine Wechselwirkungen untereinander oder mit textueller Information. Ein Diagramm enthält aber in der Regel graphische *und* alphanumerisch kodierte Information, beide Arten von Interpretationsprozessen spielen eine Rolle und bedingen sich gegenseitig. Die visuelle Abschätzung eines Größenverhältnisses bleibt ohne Bedeutung, solange der Interpret nicht erkennt, zu welcher Information sie zuzuordnen ist, also z.B. *welcher Werkstoff* im Vergleich von Kenngrößenkurven eine bessere Lage aufweist. Die Zuordnung ist mit den elementaren Wahrnehmungsaufgaben nicht zu bewältigen, sondern erfolgt über einen bewußten Prozeß: Das Ablesen der Legende. Weitere Beispiele der Verschränkung der beiden Prozeßniveaus sind offensichtlich, z.B. das Errechnen der exakten Werthöhe nach erster „graphischer“ Einschätzung.

Aus Clevelands Analyse ergeben sich für das graphische Retrieval mit Liniendiagrammen unterschiedliche Folgerungen: In Liniendiagrammen ist Information (einzelne Wertepaare einer Meßreihe) durch ihre Position auf einer gemeinsamen Skala kodiert, die Verbindung durch Liniensegmente zu einer Kurve gruppiert sie und bildet ein Darstellungsformat, das durch besonders zuverlässige *elementary perception tasks* dekodiert werden kann. Die Diagrammdarstellung als Modalitätsmischung vermengt alphanumerische und graphische Elemente, deren Interpretation unterschiedlich aufwendig ist. Da das graphische Retrieval gerade die Vorteile der elementaren graphi-

schen Wahrnehmungsaufgaben nutzen soll, muß es Operationen bereitstellen, die kaum „bewußte“ kognitive Aktionen wie das Ablesen der Position auf einer alphanumerischen Skala erfordern. Im weiteren Sinn bedeutet das auch eine Auswahl der mit einem graphischen Retrievalsystem bevorzugt zu lösenden inhaltlichen Aufgabenstellungen: Soweit eine werkstoffkundliche Fragestellung exakt repräsentierte Werte spezifiziert, kann man bei ihrer Lösung nur bedingt auf die Leistungsfähigkeit der graphischen Elementarroutinen zurückgreifen. Stehen die graphische Form des Datensatzes oder visuell erfäßbare Proportionsverhältnisse im Mittelpunkt des Interesses, so lassen sie sich durch entsprechende graphische Anfrageverfahren umsetzen. Denkt man die visuelle Anfragekomponente eines graphischen Retrievalsystems zum traditionellen Diagrammformat hinzu, so kann man feststellen, daß die wahrnehmungspsychologische Analyse von Cleveland sich auf sie ausdehnen läßt, d.h. für die aus dem graphischen Anfrageaufbau entstehenden zusätzlichen visuellen Konstrukte im Diagramm gelten dieselben Annahmen wie für die *ex ante* visuell kodierte Information.

5.2.3.2 BERTINs semiotische Analyse des Interpretationsprozesses

Die elementaren Wahrnehmungsprozesse sind die Voraussetzung für die eigentliche Interpretation und Weiterverarbeitung der graphischen Information auf einer höheren kognitiven Ebene. Jacques BERTIN, dessen Konstruktionsmodell für graphische Darstellung bereits erwähnt wurde, sieht den Interpretationsvorgang bei der Betrachtung einer graphischen Darstellung in Analogie zum Leseprozess und teilt ihn in drei Schritte auf: Mit der *externen Identifizierung* weist der *Graphleser* den *Komponenten* und *Invarianten* der betrachteten Graphik Bedeutung zu, d.h. er identifiziert das Diagramm durch Analyse von *Rahmen*, *Bezeichnen* und *Hintergrund* und „löst aus dem gesamten Erkenntnisbereich den in der Graphik behandelten, genau begrenzten Teilbereich heraus“ (BERTIN 1974:148). Der zweite Schritt der *internen Identifizierung* bedeutet die Zuordnung von graphischen Variablen zu den dargestellten Komponenten. Der dritte Schritt, die „Wahrnehmung der ursprünglichen Beziehungen“ erlaubt schließlich die in der Darstellung konkret visualisierte Informationsmenge zu interpretieren, d.h. aus der Anordnung der graphischen Variablen kann der Interpret Schlußfolgerungen über ihre konzeptuelle Bedeutung ziehen. Am Beispiel von Abb. 16 muß der Interpret erkennen, daß die Darstellung Informationen über die Invariante *Elastizitätsmodul von WASPALOY* kodiert und zu ihrer Darstellung die Komponenten *Temperatur in °C* und *Elastizitätsmodul in GPa* verwendet sind.

Die graphische Variable der Linienform der Werkstoffkurve als Farb-/Muster-Kombination erlaubt Schlußfolgerungen über die *ursprünglichen Beziehungen*, d.h. der Interpret kann ablesen, wie hoch der Elastizitätsmodul der Kurve bei einer bestimmten Temperatur ist. Zu beachten ist, daß keiner der drei Schritte des Diagramm-Lesens durch rein graphische Operationen zu bewältigen ist, in jedem Fall muß auch auf textuelle Elemente zurückgegriffen werden.

Die semiotische Betrachtung ergänzt CLEVELANDS Analyse kognitiver Prozesse bei der Graphenwahrnehmung durch die Betonung des Interpretationsprozesses beim „Lesen“ eines Diagramms: Die drei Schritte des Interpretationsvorganges beruhen auf den elementaren Wahrnehmungsoperationen. Besonders deutlich wird das bei der Wahrnehmung der ursprünglichen Beziehungen: Um z.B. das relative Verhältnis zweier Kurven zueinander erkennen zu können, müssen nicht nur Farbe und Muster (*color, hue, pattern*) erkannt, sondern auch ihre Position auf der gemeinsamen Werteskala (*position among a common scale*) erkannt werden. Es kommt allerdings das Problem der multimodalen Mischung von Repräsentationsformaten auf der Detailebene hinzu: Wie die Prozesse der Wahrnehmung visueller Elemente des Diagramms mit der Entschlüsselung alphanumerischer Information in Rahmen und Legende gekoppelt werden, um die an das Diagramm gestellten Fragen beantworten zu können, läßt BERTIN offen. Ein Modell der Graphenwahrnehmung, das diese Fragen zu beantworten versucht, ist im folgenden vorzustellen.

5.2.3.3 PINKERS Modell der Graphenwahrnehmung

Die Verklammerung von psychophysikalischen Prozessen im Sinne CLEVELANDS mit einem Modell für das Verstehen eines Diagramms leistet PINKER 1981, 1990 in seiner kognitiven Theorie der Graphenwahrnehmung. Er geht im direkten Anschluß an BERTIN davon aus, daß der „Leser“ einer Informationsgraphik

- a) durch das Lesen der Legenden erschließt, worauf sich die Graphik bezieht, (BERTINS *externe Identifizierung*),
- b) die relevanten Variationsmöglichkeiten der Graphik erkennt und den zugrundegelegten konzeptuellen Variablen zuordnet (BERTINS *interne Identifizierung*) und schließlich
- c) mittels einer geeigneten Abbildungsfunktion in der Lage ist, die visuell wahrgenommene Information in Relation zur Skala der konzeptuellen Variablen zu setzen (BERTINS *ursprüngliche Beziehungen*) (PINKER 1990:75).

Die analytische Deutung des Lese- und Interpretationsvorgangs korreliert PINKER mit den Komponenten des Standardmodells der visuellen Informationsverarbeitung. Dazu postuliert er zwei mentale Wissensstrukturen, mit denen die Interpretation durchgeführt wird: Zum einen eine visuelle Beschreibung (*visual description*) der visuellen Information, zum anderen eine im Langzeitgedächtnis gespeicherte Menge von *graph schemas* für verschiedene Typen von Informationsdarstellungen, die den Interpretationsprozeß steuern.

Die visuelle Beschreibung kodiert das mittels elementarer visueller Routinen im Sinne CLEVELANDS bzw. ULLMANS aus dem wahrgenommenen Bild (visueller Array, MARRS *primal sketch*) ermittelte Wissen, z.B. das Größenverhältnis zweier Balken eines Balkendiagramms oder die Position eines graphischen Elementes im Diagramm. Auf die Struktur der Beschreibung haben nicht nur einzelne visuelle

Bewertungsprozesse, sondern auch die Gestaltgesetze Einfluß, die den visuellen Input ordnen (Gruppierung von Information nach den Gesetzen der Ähnlichkeit, Nähe etc.). PINKER nimmt an, daß die visuelle Beschreibung als Wissensrepräsentation ähnlich den Szenenanalysen (*frames*) der KI (vgl. MINSKY 1975) aufgebaut ist, d.h. das Diagramm ist in seine Einzelteile hierarchisch aufgegliedert und die Knoten des so entstehenden Baums sind teilweise untereinander durch semantische Relationen vernetzt. Die Beschreibung eines Liniendiagramms teilt sich auf der obersten Ebene in den Rahmen und den *specifier*. Beide sind im Baum durch Teil-Ganzes-Beziehungen (*part-of-relations*) weiter untergliedert, bis hinunter zu ihren elementaren visuellen und textuellen Bestandteilen (Linienstücke, Beschriftungen, Wertemarkierungen etc.). An die Knoten des Schemas sind sog. *message flags* angehängt, die den Übersetzungsprozeß von visueller Kodierung in quantitative Information repräsentieren (*conceptual message equations*, PINKER 1990:96). Ihre Art und Menge hängt vom verwendeten Graph-Schema ab (s.u.), bei einem Balkendiagramm hängt etwa an den Knoten, die die Höhe einzelner Balkens kodieren, ein *message flag*, das durch die Absolutwerte der visuell wahrgenommenen Höhe instantiiert werden kann. Die Wahrnehmung des Diagramms (Instantiierung des Graph-Schemas) und die Lösung der an es herangetragenen konzeptuellen Fragen besteht demnach auf der Detailebene aus der Wertebelegung bzw. -abfrage der einzelnen *message flags* mit ihren *conceptual message equations*. Die Kodierung des Graph-Schemas ist den Kapazitätsbeschränkungen des Arbeitsgedächtnissen unterworfen, d.h. Information gelangt nur selektiv in die visuelle Beschreibung:

[...] the visual description that is encoded is, in fact, a small subset of the complete visual description, and [...] noise in the MATCH and message assembly processes causes only a subset of that reduced visual description to be translated into conceptual message information (PINKER 1990:107).

Entscheidend ist, daß PINKER zusätzlich zum Aufbau der visuellen Beschreibung postuliert, daß der Diagrammleser über mentale Graph-Schemata verfügt, die den Aufbau der visuellen Beschreibung beeinflussen. Für jedes ihm bekannte Diagrammformat, das dem Diagrammleser bekannt ist, verfügt er über ein prototypisches, nicht-instantiiertes Schema, das eine abstrakte Beschreibung des Diagrammtypus darstellt und bei der Wahrnehmung eines konkreten Beispiels mit dessen Daten gefüllt wird. PINKER nimmt also an, daß im Langzeitgedächtnis abstrakte Information über verschiedene Graphenformate zur Verfügung steht, eine These, die den Einfluß des Erfahrungswissens bei der Diagramminterpretation erklären hilft. Die Zuordnung von Graphenschema und visueller Beschreibung vermittelt eine *MATCH*-Funktion, die Schemata im Langzeitgedächtnis mit dem wahrgenommenen Graphen abgleicht und das passendste Schema selektiert und instantiiert.

Aus dem instantiierten Graphenschema läßt sich eine *konzeptuelle Nachricht* zur Beantwortung der an das Diagramm gestellten *konzeptuellen Fragen* aufbauen, die den wesentlichen Informationsgehalt des Diagramms zur Analyse bereitstellt, je

nach graphischer Struktur also eine unterschiedlich strukturierte Informationsmenge. Die konzeptuellen Fragen kann der Diagrammler über Inferenzprozesse beantworten (beispielsweise durch Regeln wie „liegen zwei Punkte auf gleicher Höhe horizontal nebeneinander, so bedeutet dies *stabiles Verhalten*“).

Die Nutzung der abstrakten Graphschemata hat Auswirkungen für die Wahrnehmung des Diagramms: Da das Graph-Schema schon Informationen darüber, wie ein Graph aufgebaut ist, enthält, kann neben die *bottom-up*-Prozesse der visuellen Kodierung eine *top-down*-gerichtete Steuerung treten. Das Graph-Schema lenkt den Aufbau der konzeptuellen Nachricht des Diagramms bzw. die Beantwortung der konzeptuellen Fragen des Lesers an das Diagramm. Das bedeutet, daß das Erfahrungswissen die Wahrnehmung steuern hilft und die Effizienz der Wahrnehmung steigert. PINKER leitet aus der Verschränkung von *bottom-up*- und über Inferenzprozesse vermittelten *top-down*-Strategien ein Prinzip der Graphenkomplexität ab (*Graph Difficulty Principle*):

A particular type of information will be harder to extract from a given graph to the extent that inferential processes and top-down encoding processes, as opposed to conceptual message look-up, must be used (PINKER 1990:108).

Das Modell sagt zunächst mehr über die postulierten Informationsstrukturen bei der Interpretation von Graphiken als über ihr Zustandekommen aus; PINKER definiert daher eine Reihe von Prozessen, die das in Abb. 21 visualisierte Zusammenspiel der einzelnen funktionalen Einheiten erst ermöglichen:

- a) *bottom-up*-Kodierung der visuellen Beschreibung aus dem visuellen Array entsprechend CLEVELANDS bzw. ULLMANS elementaren visuellen Routinen,
- b) die *MATCH*-Funktion, die unter verschiedenen *graph schemata* das jeweils am besten passende auswählt (*goodness-of-fit*-Mustervergleich im Langzeitgedächtnis) und es mit der Information in der visuellen Beschreibung instantiiert (vgl. ANDERSON & BOWER 1973),
- c) *top-down*-Prozesse der Kodierung, bei denen das Wissen aus dem Graph-Schema die Instantiierung steuert und in Verschränkung mit den elementaren *bottom-up*-Routinen Information selektiv auswertet,
- d) der Prozeß der *message assembly*, der die graphische Information in die konzeptuelle Information übersetzt,
- e) Prozesse der Befragung der Informationsgraphik, die intern ablaufen und schließlich
- f) Inferenzprozesse, die es dem Interpretieren ermöglichen, die gewünschten Informationen aus der Graphik abzuleiten (PINKER 1990:101ff.).

Dem Betrachter soll es möglich sein, auf der Basis eines im Einzelfall für einen bestimmten graphischen Typus instantiierten *graph schema* die *conceptual message* der Graphik abzuleiten bzw. im Wechselspiel mit dem *graph schema* und der *conceptual message* seine Informationsbedürfnisse zu stillen (Abb. 21). Bezüglich der

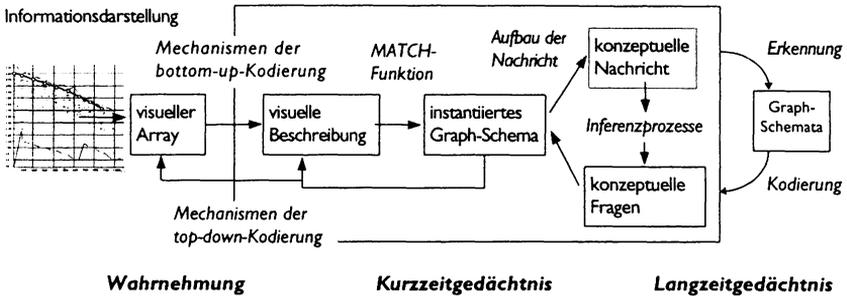


Abbildung 21: PINKERs Modell der Graphenwahrnehmung (LOHSE 1991A:79 Abb. 3.1 nach PINKER 1990:104 Abb. 4.19)

dabei ablaufenden Prozesse bleibt das Modell vage: Wie Inferenzprozesse und die Übersetzung der Repräsentation in die konzeptuelle Nachricht im Detail ablaufen, ist weitgehend offen (PINKER 1990:104ff). Das liegt vor allem an der inhomogenen empirischen Grundlage der Graphenwahrnehmung.

Aus dem PINKER-Modell lassen sich die unterschiedlichen Vorteile verschiedener Diagrammformate ableiten: PINKER nimmt an, daß im Graph-Schema für Liniendiagramme Prädikate visueller Eigenschaften vorhanden (und instantiiert) sind, die die Form einer Kurve beschreiben (z.B. „flacher Verlauf“, „starke Krümmung“, „S-förmig“ etc.). Sie übersetzt der Diagrammläser in die entsprechende konzeptuelle Nachricht über den durch das Liniendiagramm ausgedrückten funktionalen Zusammenhang („stagnierender Trend“, „starke Zunahme“, „Zufallsentwicklung“ etc., PINKER 1990:109f.). Dem liegt die Annahme zugrunde, daß sich solche Prädikate für Kurvenstücke leicht, für andere Darstellungsformen (oder gar eine Tabelle) nur schwer kodieren lassen oder erst über Inferenzprozesse erschlossen werden können:

This makes line graphs especially suited to representing functions of one variable over a range of a second, the covariation versus independence of two variables, and the additive versus interactive effects of two variables on a third and so on (PINKER 1990:109).

Bei einem Balkendiagramm ist der Entwicklungstrend eines Datensatzes nicht durch ein einzelnes Prädikat kodiert, sondern der Interpret muß ihn in einem aufwendigen Prozeß *top-down* durch die „Befragung“ des Diagramms errechnen. Die Eignung verschiedener graphischer Formate für unterschiedliche Fragestellungen erklärt sich aus deren Beziehung zwischen Art und Kodierung visueller Muster und den Aufgaben, die der „Leser“ mit dem Diagramm lösen will:

[...] graphs will be easy to comprehend when the visual system naturally encodes the geometric features of the graph with visual predicates that stand in one-to-one correspondence (via the graph-schema) with the conceptual message that the reader is seeking (PINKER 199:121f).

Unter Rückgriff auf die Auswahl der kodierten *message flags* und die Komplexitätsbewertung der kognitiven Prozesse lassen sich demnach Vorhersagen machen, wie gut eine bestimmte Fragestellung mit unterschiedlichen Darstellungsformen zu beantworten ist. Das PINKER-Modell stellt ein analytisches Schema bereit, das die in Kap. 5.1.2 diskutierten disparaten empirischen Ergebnissen deuten helfen kann:

This [sc. the graph-schema based model] illustrates the purpose-specificity of graphs, which has frequently been noted in the graph comprehension literature, and which is an inescapable consequence of the present theory: Different types of graphs are not easier or more difficult across the board, but are easier or more difficult depending on the particular class of information that is to be extracted (PINKER 1990:111).

Dabei ist die schon bei CLEVELAND angeklungene Unterscheidung zwischen visueller Kodierung über elementare Wahrnehmungsprozesse und der Beantwortung von Fragen durch (aufwendigere) Inferenzen über der visuell kodierten Information z.B. zur exakten Werteberechnung entscheidend. Da ein voll entwickeltes Graph-Schema aufgrund der Kapazitätsbeschränkungen des Kurzzeitgedächtnisses zu einem Zeitpunkt nur partiell im Kurzzeitgedächtnis aktiv sein kann, um zur Interpretation genutzt zu werden, stellt sich die Frage, wie das Wechselspiel von Wahrnehmung und Interpretation der visuellen bzw. alphanumerischen Elemente des Diagramms als Modalitätsmischung konkret vonstatten geht. Nach PINKER steuern das instantiierte Graph-Schema und die externen Fragestellungen die (selektive) Wahrnehmung und Interpretation. Offen bleibt, ob die wechselweise Bearbeitung von im Kurzzeitgedächtnis aktiven *chunks* einen sequentiellen Wechsel der Bearbeitungsstrategie erfordern, oder ob die unterschiedlichen Repräsentationsformate durch verschiedene, parallel laufende Prozesse bearbeitet werden können (vgl. HERCZEG 1994:61ff). Damit ist ein Kernproblem der Verarbeitung multimodaler Information auf der Mikroebene der Kognition angesprochen. Stelle sich heraus, daß für die Verarbeitung textueller bzw. graphischer Information jeweils ein explizites „Umschalten“ im Arbeitsgedächtnis erforderlich ist, wäre dies ein starkes Argument gegen Modalitätsmischungen schon auf der Detailebene (z.B. Mischung graphischer und verbaler Argumente in Menüs, vgl. KRAUSE 1993:332-338.)³³

Mit Bestimmtheit sagen läßt sich mit Bezug auf die Diagrammwahrnehmung aber nur, daß die für die Ableitung exakter Werte aus visuellen Prädikaten notwendigen Inferenzen aufwendiger und zeitraubender sind als die Kodierung der visuellen Prädikate („steiler Verlauf“, „parallel“ etc., s.o.) selbst.³⁴ Das kann aber auch

³³ Hier sind aus der Sicht der Kognitionspsychologie noch viele Fragen offen; zu fragen ist, ob sich Abarbeitungsstrategien für multimodale Information nicht durch neuronale Ansätze modellieren ließen (vgl. oben Fn. 30 und RUMELHART & MCCLELLAND 1986); immerhin ist aber ein sequentieller Zugriffsalgorithmus für die *chunks* im Kurzzeitgedächtnis experimentell gut abgesichert, was solchen Überlegungen zur Parallelverarbeitung enge Grenzen setzt, vgl. HERCZEG 1994:61.

³⁴ Mit Hilfe der experimentell bestimmbareren Zeiten für unterschiedliche Operationen im Arbeitsgedächtnis hat LOHSE 1991A sein *presentation planning*-Modell zur Diagrammdarstellung aufgebaut, s.u. im folgenden Kapitel.

umgekehrt gelten: In einer Tabelle sind die exakten Werte unmittelbar zugänglich, während die Berechnung der in den visuellen Prädikaten des Liniendiagramms schon enthaltenen Information bei der Errechnung aus tabellarischem Material aufwendige Inferenzprozesse auslöst.³⁵ Das Problem der Funktionsweise des Kurzzeitgedächtnisses bei der Verarbeitung multimodaler Information wirft weitergehende Fragen auf, die im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden können. Mehrere Gründe sprechen aber für die Verwendung von PINKERS Theorie als Basis eines Modells für das graphische Retrieval:

- a) Entgegen der den semiotischen Kategorien von syntaktischer, semantischer und pragmatischer Analyse verpflichteten Untersuchung der Graphenwahrnehmung von KOSSLYN 1989 bietet das PINKER-Schema den Vorteil, als *prozessuales* Modell den Ablauf der Informationsverarbeitung bei der Wahrnehmung eines Diagramms zu erklären. In ein solches Ablaufschema lassen sich die für das graphische Retrieval notwendigen Zusatzkomponenten (Handlungen des Benutzers und Aktionen des Systems) integrieren.
- b) Es bildet das Erfahrungswissen des Diagrammlesers ab und vereint die Erklärung strukturinhärenter Vorteile eines visuellen Formates mit den auf Vorwissen und unterschiedlichen Fragestellungen beruhendem Wahrnehmungsstrategien. Es steht im Einklang mit den in Kap. 3 geschilderten Beobachtungen über den Verwendungszusammenhang von Diagrammen durch Werkstoffachtleute. Konkret ist anzunehmen, daß sie über ein gut entwickeltes mentales Schema für Liniendiagramme verfügen, das ihnen die schnelle Dekodierung der als visuelle Muster dargestellten funktionalen Zusammenhänge von Werkstoffkenngrößen zur Trendbeurteilung erlaubt.
- c) Die Grobkörnigkeit der funktionalen Einheiten des Modells (Abb. 21) läßt sich auf die Mensch-Maschine-Interaktion übertragen, ohne den (psycho-physikalischen) Details der menschlichen Kognition einerseits oder kognitivistischen Postulaten über mentale Repräsentationen andererseits verhaftet zu sein. Die Entwicklung eines modifizierten Modells der Diagramminterpretation für das graphische Retrieval ist bewußt auf die funktionalen Einheiten des PINKER-Schemas bezogen.

Zum Verständnis und zur Modellierung des graphischen Retrieval ist es nicht notwendig, PINKERS Graph-Schemata detailliert nachzuvollziehen, da keine Differentialanalyse unterschiedlicher Diagrammformate erfolgt und die Überlegungen zum graphischen Retrieval zu einer Klassifikation graphischer Suchverfahren führen sollen, die für unterschiedliche Diagrammformate gültig ist. Daher sind die Schemata auf die Elemente der Diagrammanalyse von KOSSLYN reduziert: Danach unterscheiden sich Informationsdarstellungen grundsätzlich danach, welche Information

³⁵ Damit ist das Problem der informationellen und rechnerischen Äquivalenz angesprochen (LARKIN & SIMON 1987), vgl. oben Kap. 5.1.1.

jeweils Hintergrund, Rahmen, Bezeichner und *specifier* als *conceptual message* vermitteln können, um die graphische Anfragestellung zu stützen. Bei der *Anwendung* des Modells ist weniger zu klären, ob und wie der Grapheninterpret als Benutzer der graphischen Retrievalschnittstelle Information wahrnimmt, sondern wie er die graphische Darstellung zur weiteren Recherche mit dem System nutzen kann.

5.2.4 Exkurs: Computermodelle für die Informationsvisualisierung

Die Verwendung kognitiver Theorien der Diagrammwahrnehmung für das graphische Retrieval ist nur eine Möglichkeit, sie für die Mensch-Maschine-Interaktion fruchtbar zu machen. Eine andere naheliegende Anwendung ist die automatische Erstellung von Diagrammen auf der Basis der oben geschilderten empirischen und theoretischen Erkenntnisse im Kontext des Forschungsgebietes *intelligent presentation planning*.³⁶ Unter den inzwischen zahlreichen Arbeiten zum *presentation planning* seien diejenigen kurz vorgestellt, die sich mit der automatischen Auswahl von Diagrammformaten für die Darstellung numerischer Information befassen und das gleiche *Darstellungsproblem* wie *Wing-Graph* (Auswahl eines geeigneten Diagrammformats) aufweisen.

GNANAMGARI³⁷ bestimmt in seinem relativ einfach strukturierten System *BHARAT* durch eine Analyse der darzustellenden Datengrundlage das jeweils am besten geeignete graphische Darstellungsformat: Bei Daten, die Teile eines Ganzen darstellen, wählt *BHARAT* ein Tortendiagramm, bei Verlaufsdaten ein Liniendiagramm und sonst ein Balkendiagramm (*default design*).

Das System *BOZ* (CASNER 1990) versucht, für die Lösung komplexer Aufgabenbeschreibungen mit Hilfe visualisierter Informationsdarstellungen (Flugpläne, statistische Datendarstellungen) ein Simulationsmodell für die visuelle Problemlösungsfähigkeit aufzubauen. Komplexe logische Operatoren (z.B. numerische Berechnungen) sind durch visuelle ersetzt (*perceptual operator substitution*): Die traditionellen logischen Problemlösungsverfahren bei der Arbeit mit tabellarischer Information werden in der Interaktion mit dem graphischen Display durch die Wahrnehmungsoperationen substituiert. Die These CASNERS zielt auf die aufgabenabhängige Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Informationsdarstellungen ab; seine Simulation ließ sich experimentell zumindest teilweise bestätigen (CASNER 1990:148).

MACKINLAY bietet mit seinem System *APT (A Presentation Tool)*, MACKINLAY 1986A, 1986B 1988, 1991) einen noch weiter verfeinerten Ansatz: Zum einen stellt

³⁶ Forschungsüberblick hierzu bei ROTH & HEFLEY 1993, vgl. auch ARENS, MILLER & SONDHEIMER 1991.

³⁷ GNANAMGARI, S. (1981). Information Presentation through Default Displays. *Unpublished Ph.D. Thesis*, University of Pennsylvania, Philadelphia/PA; zit. nach LOHSE 1991A:69, 267 und MACKINLAY 1986A:16.

er seine Systementwicklung explizit im Rahmen eines semiotischen und an BERTIN orientierten theoretischen Modells vor, das die graphische Informationsdarstellung als sprachliches Kommunikationsvehikel begreift und analysiert. Zum anderen modelliert er mit Hilfe der Prädikatenlogik eine Beschreibungsalgebra für Diagramme als graphische Sprache, mit der sich visuelle Informationsdarstellungen kodieren und implementieren lassen (MACKINLAY 1986A:31ff.). Auf dieser Basis entwickelt er ein System zur automatischen Erstellung von graphischen Informationsdarstellungen, wobei er auf der kognitiven Analyse der Grapheninterpretation von Cleveland (*perceptual tasks*) aufsetzt (MACKINLAY 1986A:67ff.). Dabei arbeitet das System in mehreren Schritten: Zunächst errechnet *APT* auf der Grundlage einer Analyse der darzustellenden Information und mit Hilfe der kompositionalen Algebra Gestaltungsvorschläge (Generationskomponente), die es anschließend anhand kognitiver Effektivitätskriterien evaluiert (Testkomponente). Der am Ende verbleibende beste Vorschlag wird schließlich visualisiert (Darstellungskomponente, MACKINLAY 1991:288, Abb. 16.6.). Trotz der Beschränktheit der in *APT* verfügbaren Darstellungsformate (Säulendiagramme und Scatterplots) besticht der Ansatz durch die fundierte theoretische Basis und den formalen Ansatz, der eine Implementierung erheblich erleichtert.³⁸

Abschließend sei das rechnergestützte Modell der Analyse graphischer Informationsdarstellungen von LOHSE 1991A, 1991B vorgestellt: Aufbauend auf einer Untersuchung der empirischen und theoretischen Modelle zur Informationsdarstellung und -wahrnehmung kommt er zu einem prädiktiven Modell des Graphenverstehens, das aus Informationsformat und Aufgabenanalyse Hypothesen über Komplexität und Ablauf der Problemlösungsstrategien in der Interaktion mit Diagrammen aufstellt:

The basic premise of UCIE is that people use different information processing strategies to extract information from different types of graphic displays for answering different questions (LOHSE 1991A:106).

LOHSE geht vom kognitionspsychologischen *state-of-the-art* der Grapheninterpretationsforschung aus und legt das Grapheninterpretationsmodell von PINKER zugrunde (LOHSE 1991A:78ff.). Sein System *UCIE* (*Understanding Cognitive Information Engineering*) geht beim Einsatz kognitionspsychologischen Wissens noch eine Ebene tiefer als PINKER, da es experimentell bestimmte durchschnittliche Reaktions-, Verarbeitungs- und Fixierungszeiten zur Grundlage seiner Berechnungen macht.³⁹ Damit steht LOHSE im methodischen Kontext des *GOMS*-Modells für die Analyse der Mensch-Maschine-Interaktion.⁴⁰ Es entsteht so ein Simulationsalgorithmus, der

³⁸ Eine Variation des *APT*-Ansatzes, die auch Datenlücken und komplexe Datenrelationen berücksichtigt, stellen ROTH & MATTIS 1990 vor.

³⁹ Beispielsweise 1200 msec, um etwas aus dem Gedächtnis zu holen, ebenfalls 1200 msec für den Vergleich zweier Items im Gedächtnis etc.; ausführlich bei LOHSE 1991B:142.

⁴⁰ Cf. CARD, MORAN & NEWELL 1983, OLSON & OLSON 1990.

Hypothesen über den tatsächlichen Ablauf der Grapheninterpretation für verschiedene Fragestellungen verwendet und die Dauer des Interpretationsprozesses errechnet. Das Modell wurde experimentell an verschiedenen Datentypen (und Anwendungsgebieten) überprüft, wobei sich drei Typen von Fragestellungen simulieren lassen: Wahrnehmung und Interpretation von Einzeldaten, Vergleich zweier Datenpunkte sowie Bewerten und Interpretieren von Trends (LOHSE 1991A:140). Im Rahmen der experimentellen Überprüfung von *UCIE* entwickelt LOHSE eine Theorie der „kognitiven Ökonomie graphischer Entscheidungshilfen“ (*decision aids*), die bei der Gestaltung von visualisierten Informationsdarstellungen helfen soll. Eine wesentliche Zielrichtung der kognitiven Ökonomie ist die Hilfestellung bei Designentscheidungen für Informationsformate auf der Detailebene:

The design of decision aids does not affect decision making behavior at low levels of task complexity, but at high levels of task complexity a well-designed decision aid can enhance information processing by reducing cognitive overhead and ultimately can improve observable measures of decision making performance (LOHSE 1991A:174).

LOHSES These betont die Rolle der Detailgestaltung gegenüber den globalen Features eines Darstellungsformates, was insofern für *Wing-Graph* relevant ist, als dort auf aus der Datenbasis erarbeitetem Metawissen beruhende Zusatzinformationen die Komplexität des graphischen Displays erhöhen; mit der These von Lohse kann angenommen werden, daß ein gut gestaltetes Display zwar wegen seiner zusätzlichen Komplexität längere Bearbeitungszeiten, aber bessere Ergebnisse im Retrieval- oder Interpretationsvorgang zeitigt.⁴¹

Die verschiedenen Modelle und Systemprototypen zur automatischen Gestaltung von visualisierten Informationsdarstellungen belegen die methodische Trendwende, die mit dem Erstarken der jungen Disziplin Kognitionswissenschaft einherging: Neben die traditionelle empirische und experimentelle Arbeitsweise treten theoretische Modelle über die Funktionsweise der menschlichen Wahrnehmungs- und Denkfähigkeit.

Für das graphische Retrieval verdeutlichen solche Modelle den Perspektivenwechsel vom *Darstellungs-* zum *Recherche*problem bei der Arbeit mit numerischer Information: Es lassen sich mit ihnen zwar nach Aufgabentypologie, Benutzercharakteristika und Datengrundlage optimierte Darstellungsformen bestimmen, wodurch die Modelle Generalität und Anwendbarkeit gewinnen, damit ist aber noch nichts über die Einbettung der Informationsvisualisierungen in einen Retrievalkontext gesagt. Die Ansätze des *presentation planning* weisen über die konkrete Implementierung von *Wing-Graph* mit dem Formatbeispiel Liniendiagramm hinaus

⁴¹ Zur konkreten Ausgestaltung solcher „Hilfen“ cf. u. Kap. 6.2.1.2; im Vorgriff auf die Erörterung des Tests von *Wing-Graph* sei angemerkt, daß dort die zusätzliche Komplexität (etwa auch in Form von Skaleneinteilungen etc.) bei bestimmten Aufgabenstellungen die Lösungsstrategien der Versuchspersonen (positiv) beeinflusste, s.u. Kap. 7.2.2.1.1.

auf den Aspekt der Generalisierbarkeit des graphischen Retrieval: In einem kombinierten Präsentations- und Retrievalsystem ließen sich das geeignete visuelle Darstellungsformat automatisch bestimmen und für jede Diagrammvariante geeignete graphische Operationen für das Retrieval bereitstellen.

Da die Überlegungen, die zur Auswahl eines bestimmten Formates führen, in engem Zusammenhang mit den durch ein Diagramm zu beantwortenden Fragen stehen, könnte eine einzige Wissensbasis beide Auswahlaufgaben übernehmen. Solche Überlegungen weisen weit über den in *Wing-Graph* gesetzten Kontext hinaus und sind als Hinweis auf die zukünftige Zusammenführung von *presentation planning* und Retrievalfunktionalität zu verstehen.

5.3 Ein Modell für das graphische Retrieval

Das Modell der Graphenwahrnehmung von PINKER bildet im Rahmen des graphischen Retrieval nur einen Teil des Arbeitsprozesses ab: Das Verständnis und die Interpretation der visualisierten Daten durch den Benutzer. Es gilt nun, einen Brückenschlag von der Interpretation zur Problemlösung mit graphischen Retrievaloperationen im Rahmen eines Modells zu finden, das die visuelle Interpretationsfähigkeit des Menschen adäquat umsetzt. Es kommen zusätzliche Einflußgrößen hinzu, die für die Betrachtung der Graphenwahrnehmung nicht relevant waren:

- Annahmen über die visuelle Vorstellungsfähigkeit und die graphische Produktionsfähigkeit der Systembenutzer (Handlungsaspekt),
- externe Faktoren wie die verwendete Hardware (Zeigeinstrumente etc.),
- die Anwendungsdomäne und ihre Aufgabentypologie und
- die Strukturierung des visuellen Handlungsraums des Benutzers durch das System (Vorgabe von visuellen Operatoren).

Auf der Basis dieser Modifikationen lassen sich Hypothesen über die geeignete Auswahl von Suchverfahren, die Ausgestaltung des Interaktionsablaufs und die Einbettung in weitere Systemfunktionalität treffen. Auf der globalen Betrachtungsebene ist das Modell um den *Rechercheaspekt* zu erweitern, d.h. die Interpretation visueller Information wird in einer *Handlungs-* und einer *Systemkomponente* für die Mensch-Maschine-Interaktion operationalisiert. Das graphische Ergebnisretrieval als zyklischer Dialogprozeß zwischen visueller Datenbankschnittstelle und Benutzer beinhaltet auf der Systemseite zusätzlich zur Darstellungsfunktion eine Recherchekomponente, die die Datenbankabfrage ermöglicht, eine Interpretationskomponente, die eine visuelle Anfragedefinition des Benutzers in eine formale Datenbankabfrage übersetzt und eine Interaktionskomponente, die dem Benutzer die Anwendung graphischer Suchverfahren (Suchverfahrensauswahl und interaktive -umsetzung als visuelle Sprache) ermöglicht. Es entsteht ein Kreislauf, in dem der Benutzer ausgehend von visueller Vorlageinformation einen Retrievaltypus wählt und eine graphische Anfrage definiert, die das System anschließend in der Datenbank überprüft. Die Rechercheergebnisse stellt das System wieder im visuellen Format dar,

der Kreislauf schließt sich. Abb. 22 verdeutlicht diesen zyklischen Vorgang. Dabei ist auch die situative Einbettung des graphischen Retrieval als ergebnisbasierte Recherchealternative innerhalb eines multimodalen Gesamtsystems berücksichtigt.

Im graphischen Retrievalkreislauf nimmt die visuelle Informationsverarbeitung des Benutzers den entscheidenden Platz ein, da sie der Ausgangspunkt jeder Benutzeraktion ist, aber auch während der Handlungsschritte des Benutzers im direkten Wechselspiel von visueller Anfrageoperation, veränderter graphischer Repräsentation von Information und Anfrage und weiteren Handlungsschritten schon innerhalb eines einzelnen Anfrageaufbaus ein zyklisches Moment einführt (s.u. Abb. 23).

Die Verbindung von Ergebnis und erneuter visueller Interpretation eröffnet die Möglichkeit zyklischen Arbeitens über mehrere Anfragen hinweg. Den Einstieg in das graphische Retrieval findet der Benutzer vor allem über visuelle Vorlageinformation, also über die typische Situation für das Ergebnisretrieval. Die Zugangswege bilden einerseits der Übergang aus einer mit nicht-graphischen Mitteln geführten Recherche (Einbindung in *Wing-M2*, wo Suchbedingungen innerhalb einer graphischen Benutzerumgebung alphanumerisch zu spezifizieren sind), andererseits die ikonischen Auswahlmengen typischer Werkstoffe. Ausstiegsstellen aus dem Recherchezyklus ergeben sich, wenn

- a) das System keine Information zu einer Recherche findet und der Benutzer keine graphische Recherche anschließen möchte,
- b) die Interpretation der zuletzt visualisierten Daten das Informationsbedürfnis abschließend befriedigt oder
- c) der Benutzer in einen anderen Modus wechselt (tabellarische Anzeige, numerische Weiterverarbeitung) oder nicht visualisierbare Information recherchieren möchte.

Die Ausstiegsunkte aus dem Kreislauf bieten die Möglichkeit, in einen anderen Systemmodus zu wechseln oder die Rechercheabfolge insgesamt zu beenden. In den Kreislauf des graphischen Retrieval als *aufgesetztem Modus* steigt der Benutzer nach Durchlaufen eines Anfragezyklus auf traditionelle Weise ein. Einen systeminhärenten Rechercheinstieg erreicht er, indem er als aus vorgegebenen Werkstoffikonenmengen einen Datensatz selektiert, aus einer textuellen Liste verfügbarer Datensätze auswählt oder ein graphisches Suchverfahren anwendet, das keine Vorlageinformation voraussetzt (Direkteinstieg in den Zyklus mittels einer graphischen Operation).

Eine Verfeinerung des Modells ergibt sich, wenn man die Abfolge der drei Komponenten stärker aufbricht und visuelle Interpretation und Interaktion mit dem System betrachtet. Das PINKER-Modell als Theorie der Graphenwahrnehmung ist unmittelbar übertragbar für graphische Rechercheverfahren, die auf der schon vorgegebenen Information aufsetzen. Der Fall benutzerseitiger Produktion graphischer Anfragen läßt sich ebenfalls in das Modell einpassen: Im Produktionsprozeß entsteht ein neues visuelles Muster, das in einem zyklischen Interpretationsprozeß während der Anfragedefinition in das instantiierte *graph schema* eingeordnet werden

kann. Der ursprüngliche Prozeßablauf des Interpretationsvorgangs, wie ihn PINKER vorschlägt, wird um zwei Komponenten erweitert: Zum einen kann eine schon extern vorgegebene Aufgabenstellung die konzeptuellen Fragen des Benutzers an die Informationsdarstellung beeinflussen, zum anderen gerade die dargestellte Information (bzw. ihre *conceptual message*) ein neues und graphisch zu bewältigendes Informationsbedürfnis beim Benutzer auslösen. Beide Formen von Stimuli oder Auslösern für ein mit graphischen Mitteln zu lösendes Recherchebedürfnis greifen auf die visuelle Vorstellungsfähigkeit des Benutzers zurück: Aufgrund der Vorgabe der „visuellen Rahmenbedingungen“ des Diagramms durch Rahmen, Hintergrund und Bezeichner kann der Betrachter visuelle Vorstellungen vom Idealverlauf einer Kurve in Bezug zur Vorlage bilden oder sich vorstellen, in welchem Bereich des Diagramms gewünschte Werkstoffkurven liegen sollen.

Auf der Basis der graphischen Interpretation der vorgelegten Information entscheidet er sich für eine bestimmte Anfrageform, die er mit visuellen Operationen realisiert, wobei eine ständige interpretative Rückkopplung mit dem veränderten visuellen Display stattfindet: Ein *pre-search*-Kreislauf von Anfragedefinition und Reinterpretation der visuellen Darstellung. Den Retrievalkreislauf komplettiert die nach Ende der Anfragedefinition eingeschaltete Systemkomponente mit dem Retrieval- und Visualisierungsprozeß für die neu recherchierte Information. Den Kreislauf des graphischen Retrieval auf der Basis des PINKER-Schemas zeigt Abb. 23, wobei die Darstellung im Vergleich mit Abb. 22 auf das eigentliche graphische Retrieval beschränkt ist und Aspekte der Einbettung in ein multimodales System ausgeklammert sind. Im Zentrum stehen zwei zyklische Prozesse, zum einen der eigentliche Retrievalzyklus aus Interpretation, Anfrageaufbau und Recherche durch das System, zum anderen ein innerer Kreislauf, der schon während der Modifikation des visuellen Displays durch die graphische Anfragedefinition abläuft und die Interpretation beeinflusst.

Das modifizierte Kreislaufschema sagt noch nichts über die unterschiedliche Bewältigung verschiedener Aufgabenstellungen und Rechercheverfahren aus. Interpretiert man mittels einer teleologischen Reduktion das instantiierte Graphenschema auf der Basis der KOSSLYNschen Vier-Elemente-Analyse visueller Informationsformate, so lassen sich für typische Aufgabenstellungen bei der Werkstoffrecherche die Prozeßpfade des Interaktionsvorganges ablesen: In Abhängigkeit von Fragestellung und gebotener Information (*conceptual message*) wird je nach (An-)Frageotypus eine schwächere oder stärkere „Befragung“ des Informationsdisplays notwendig sein. Vier Einflußgrößen sind in diesem Modell für die Kategorisierung verschiedener Suchwege entscheidend:

- a) Die Rolle der visuellen Vorstellungsfähigkeit (*visual imagery*) bei der Anfragedefinition,
- b) der Einfluß der graphischen Produktionsfähigkeit im Kontext der Mensch-Maschine-Interaktion (Interaktionswerkzeug, Hilfestellung durch das System etc.),

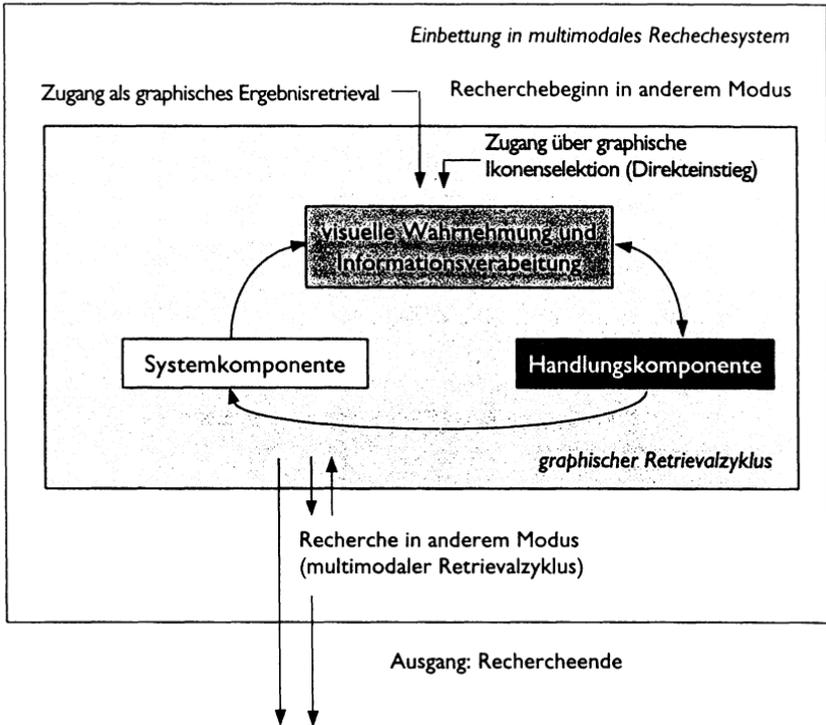


Abbildung 22: Kreislaufmodell des graphischen Retrieval

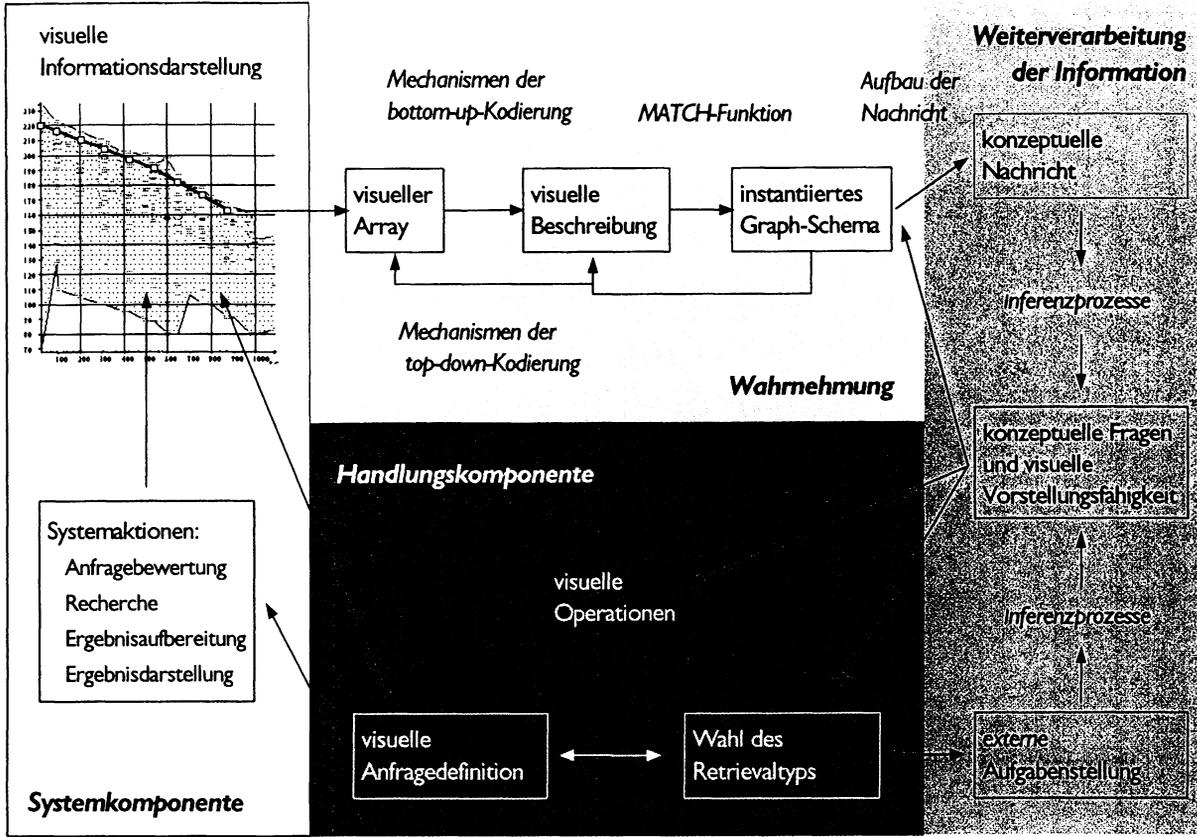
- c) das Ausmaß, in dem bei der graphischen Anfragedefinition auf die schon dargestellte Information zurückgegriffen werden kann (Bezug der Anfrage zum *specifier* des visuellen Displays) und
- d) die Komplexität, die sich aus dem Modell für den graphischen Anfragedefinitionsvorgang selbst ergibt.

Die beiden ersten Faktoren, visuelle Vorstellungen und ihre Operationalisierung erweitern das Ausgangsschema des Pinker-Modells und sind entscheidend für die Bildung eines Zyklus von Wahrnehmung, Handlung und Recherche und damit für die konkrete Auswahl der Interaktionsverfahren in *Wing-Graph*.

5.3.1 Visuelles Denken und Visuelle Vorstellungsfähigkeit (*visual imagery*)

Visuelles Denken als die Fähigkeit, sich (auch) ohne äußeren Stimulus Vorstellungen visueller Natur von beliebigen Dingen zu machen, kann sich von unbewußten Träumen bis zum bewußt gesteuerten visuellen Denkprozeß in Diagrammen und

Abbildung 23: Modifiziertes Kreislaufmodell für das graphische Retrieval in Wing-Graph



Strukturmustern als Organisations- und Planungshilfe auf sehr verschiedene Art manifestieren und den unterschiedlichsten Aufgaben dienen.⁴²

Ohne größere Schwierigkeiten kann man sich bei Benennung eines Objektes „ein Bild von ihm machen“, d.h. es sich visuell vorstellen, ein Phänomen, das angesichts der Verwendung visueller Informationsdarstellungen für das graphische Retrieval genutzt werden soll.

Bei den Vorstudien zu *Wing-Graph* hat sich gezeigt, daß Werkstoffachtleute über die rein interpretative Nutzung graphischer Informationsformate hinaus ihr visuelles Wissen für die Darstellung funktionaler Zusammenhänge nutzen. Es fällt ihnen leicht, ein bestimmtes Kenngrößenverhalten eines Werkstoffs als Kurve zu skizzieren, auch ohne Vorlage graphisch dargestellter Daten, auf die die Skizze sich beziehen könnte. Um eine solche Vorstellung vom gewünschten Verlauf einer Kurve graphisch wiederzugeben, bedarf es des Rückgriffs auf visuelle Vorstellungen, d.h. die Werkstoffachtleute nutzen die Fähigkeit, visuell zu denken. Der Transfer visueller Vorstellungen auf einen graphischen Retrievalprozeß ist bisher sowohl von der Seite der Kognitionspsychologie als auch der IR-Forschung unerforscht. Erste Hinweise auf die Korrelation von visueller Vorstellungsfähigkeit und computerbasierten Graphiksystemen resultieren in einem funktionalen Vergleich der bei der *mental imagery* ablaufenden Prozesse mit der Leistungsbandbreite typischer Computergraphik-Systeme: WEBER & KOSSLYN 1986 vergleichen den Funktionsumfang von Graphikprogrammen mit Erkenntnissen über die visuelle Vorstellungsfähigkeit, gehen aber über die reine funktionale Kontrastierung beider „Graphiksysteme“ nicht hinaus und vergleichen die mentalen Operationen über mentalen Bildern (Rotation, Größenänderung, Verschiebung etc.) mit entsprechenden Features von Graphikprogrammen.

Schon seit der Antike hat das visuelle Vorstellungsvermögen zu Spekulationen über die Funktionsweise menschlicher Denkprozesse Anlaß gegeben, und in PLATONS Annahme individuell unterschiedlicher Wachstäfelchen im Gehirn, in die sich die visuelle Information einprägt und auf die man beim Visualisieren zurückgreifen kann, ist bereits die Kernfrage nach der Repräsentationsform visuellen Wissens angelegt (PLATON, *Theaitetos*, 191c-e). Unter der visuellen Vorstellungsfähigkeit sind die Phänomene zu verstehen, die bei Denkprozessen auftreten, in denen visuelle Elemente unabhängig von der Wahrnehmung eine Rolle spielen: Auch ohne optische Stimuli kann man sich bildliche Vorstellungen von Objekten machen.⁴³ Während man bei der Betrachtung der visuellen Wahrnehmung selbst relativ eng an das untersuchte Phänomen herankommt, entzieht sich die visuelle Vorstellungsfähigkeit in stärkerem Maße einer unmittelbaren Beobachtung, da sie, anders als die visuelle Wahrnehmung, keine direkte „Schnittstelle zur Außenwelt“ hat:

⁴² Eine Reihe sehr illustrativer Beispiele für geplantes und gezielt erlernbares visuelles Denken gibt MCKIM 1980:94ff, 134ff.

⁴³ Das beste, wenn auch weit vom Kontext dieser Arbeit entfernte Beispiel visuellen Vorstellens sind Träume, vgl. MCKIM 1980:96.

The study of mental imagery is interesting in part as a bridge between perception and mental activity. As such, it is the cognitive faculty "closest to the neurology" [...] (KOSSLYN 1990:94).

Die relative Unzugänglichkeit visueller Vorstellungen ist mitverantwortlich dafür, daß auf diesem Gebiet wesentliche Fragen umstritten sind: Unter den verschiedenen Modellen zur Erklärung der visuellen Vorstellungsfähigkeit nahmen in den 70er und 80 Jahren PAIVIO bzw. PYLYSHYN die beiden Extrempositionen der sog. *imagery debate* ein.⁴⁴

Während PYLYSHYN die Existenz dedizierter (analoger) mentaler Strukturen im Gehirn für visuelle Vorstellungen leugnete und die visuelle Vorstellungsfähigkeit als Epiphänomen einer für alle Modi von Information einheitlichen propositionalen Repräsentationssprache ansah (Standpunkt des *Propositionalismus*),⁴⁵ geht PAIVIO davon aus, daß für sprachliche und visuelle Informationen im Gehirn jeweils unterschiedliche Repräsentationsformen zur Verfügung stehen (*Logogene* und *Imagene*), die durch repräsentationale, referentielle und assoziative Prozesse verarbeitet werden (Standpunkt des *Depiktionalismus*, der für visuelle Information eine analoge visuelle Kodierung annimmt, PAIVIO 1971, CLARK & PAIVIO 1987:8f.). Danach spiegelt die mentale Repräsentation die unterschiedliche ursprüngliche Darstellungsform - Sprache oder bildliche Information - der im Gehirn kodierten Information wider.⁴⁶ Die Stärke von PAIVIOs Modell liegt in seiner Erklärungsmächtigkeit für eine Vielzahl experimentell beobachteter Phänomene im Zusammenhang mit der visuellen Vorstellungsfähigkeit.⁴⁷

Das *dual-coding*-Modell könnte im Kontext von *Wing-Graph* die unterschiedliche Leistungsfähigkeit sprachlicher und visueller Vorstellungsfähigkeit erklären: Auf der einen Seite numerisch-exakte Wissensinterpretation, auf der anderen visuelle Vorstellungen, die sich nicht direkt in exakte Werte umsetzen lassen. Die Dualität der mentalen Repräsentation könnte als Begründung des Leistungspotentials des graphischen Retrieval herangezogen werden, da der Benutzer unter Nutzung der Möglichkeiten seiner visuellen Vorstellungsfähigkeit die Übersetzung eines mentalen Bildes von einem gewünschten Kurvenverlauf in eine konkrete (visuelle) Datenbankabfrage selbst leisten kann und sie nicht oder kaum wie bei der Verarbeitung linguistischer Variablen über Systemwissen (etwa *fuzzy logic*-Algorithmen) zu vermitteln ist. In den Begriffen der *dual coding*-Hypothese kann man diese Annahme so fassen:

⁴⁴ Zum Verlauf der *imagery debate* im einzelnen KOSSLYN 1990:87-94.

⁴⁵ Vgl. PYLYSHYN 1973:22: "the image has lost all its picturelike qualities" und PYLYSHYN 1984:225ff., PRIBBENOW 1993:8.

⁴⁶ Was natürlich nicht ausschließt, daß beide Repräsentationsformen bezüglich Vorlageinformation in *einem* Format genutzt werden (z.B. durch eine verbale Bildbeschreibung neben der visuellen Repräsentation), vgl. HÄNNGGIs Modell der Informationsverarbeitung beim visuellen Vorstellen (HÄNNGGI 1989:36, Abb. 1).

⁴⁷ Zusammenfassend PAIVIO 1991:342ff., bes. 346-359.

Mittels des analogen, imaginalen Systems wird vorwiegend konkrete (wahrnehmungsbezogene) Information repräsentiert, wobei die Informationseinheiten in Strukturen höherer Ordnung innerhalb eines räumlichen Formats organisiert werden. [...] Visuelle Information kann aufgrund der räumlichen Anordnung simultan oder räumlich verarbeitet werden. Abstrakte (linguistische) Informationen werden primär im verbalen System verarbeitet und sequentiell strukturiert (HÄNGGI 1989:51).

Letztlich hat sich keine der beiden Extrempositionen vollständig durchsetzen können. In der neueren „Array-Theorie“ der visuellen Vorstellungsfähigkeit wird zwischen Repräsentation im Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis und im Langzeitgedächtnis unterschieden (KOSSLYN et al. 1979, 1984). Bei einer visuellen Vorstellung füllt sich danach im Arbeitsgedächtnis aus Wissen aus dem Langzeitgedächtnis ein *visual buffer* im Format eines *arrays*, der der entsprechenden Repräsentationsform der tatsächlichen visuellen Wahrnehmung strukturverwandt ist:⁴⁸

The visual buffer supports representations that depict information. That is, portions of the medium are filled, and each filled location corresponds to a portion of the depicted object such that the 'distances' among the portions in the medium are monotonically related to the actual distances among the corresponding portions on the planar projection of the object. When one has the experience of 'seeing with the mind's eye', we take this to be indicative of a depictive representation being processed in the medium. [...] We theorize that the visual buffer is used to support images derived from memory and from the eyes during perception proper (Kosslyn et al. 1984:199).

Auf ihm können verschiedene Operationen der visuellen Vorstellungsfähigkeit ablaufen (Parsing des Bildes, Suchen nach Teilen, Rotation, Formänderung, Skalierung etc., vgl. KOSSLYN et al. 1984:204 Tab. 1.), die jeweils als einzelne Module operieren und - soweit man das beim gegenwärtigen Stand der Forschung sagen kann - mit entsprechenden Abläufen bei der visuellen Wahrnehmung strukturverwandt oder identisch sind:

We expect that the non-imagery abilities themselves are composed of distinct representations, buffers, and processing modules (plus associated algorithms, see Marr, 1982). Some of these modules may in fact be recruited in imagery tasks, specifically when performance can be improved by organizing the stimulus material more effectively (KOSSLYN et al. 1984:240).

⁴⁸ Vgl. PINKER & KOSSLYN 1983:52f. Es sei am Rande darauf verwiesen, daß auch die Array-Theorie von (mindestens) zwei Repräsentationsformaten im Langzeitgedächtnis ausgeht: "One stores lists of facts about objects, including descriptions of how parts are put together, their size, the names of superordinate categories, and so on. [...] The other stores encodings of the 'literal' appearance of the object (not a description). In our computer simulation model, the literal appearance is stored as a list of coordinates, which indicates where points should be placed in the visual buffer to depict the stored pattern" (KOSSLYN et al. 1984:199). Ob diese Form der Speicherung im Langzeitgedächtnis der neuronalen Realität gleichkommt, erscheint aber mehr als fraglich.

Die Andersartigkeit der Verarbeitung visueller Information im Vergleich mit einer alphanumerischen oder propositionalen Darstellung kann daher wie für die visuelle Wahrnehmung auch für die visuelle Vorstellungsfähigkeit angenommen werden und ist in den leistungsfähigen Operationen über visuellen Repräsentationen begründet. Auf der Basis der Array-Theorie ergibt sich also im Zusammenhang mit den empirisch belegten Vorteilen visueller Informationsformate die Vermutung, daß sprachliche⁴⁹ und im Sinn von *Wing-Graph* graphische Interaktionswege nicht einfach gestalterische Varianten für einen identischen Funktionsraum sind, sondern daß sich ihnen unterschiedliche, sich nur teilweise überlappende Untermengen der benutzerseitigen Informationsbedürfnisse zuweisen lassen.

Die wenigstens partielle Analogiebildung der Verarbeitung mentaler Bilder zur visuellen Wahrnehmung erlaubt es, die visuelle Vorstellungsfähigkeit in das von PINKER entwickelte Modell der Diagrammwahrnehmung einzugliedern und für sie die oben eingeführte Terminologie (Rahmen, Bezeichner, Hintergrund, *specifier*) zu verwenden. Dabei muß man unterscheiden, in welcher Situation eine visuelle Vorstellung auftritt oder genutzt wird: Nach der Art des Stimulus kann man „freies Visualisieren“ ohne Bezug zu einer visuellen Vorlage von visuellen Vorstellungen unterscheiden, die sich anhand einer konkreten Vorlageinformation bilden.

Im Kontext des graphischen Retrieval können beide Varianten auftreten: Erstere, wenn nur Rahmen, Bezeichner und Hintergrund vorgegeben sind und der Benutzer „autonom“ eine Kurvenvorstellung in diesen Rahmen einpassen muß, letztere, wenn zusätzlich Werkstoffkurven (*specifier*) in der Darstellung vorhanden sind, von denen ausgehend man eine visuelle Vorstellung vom Kurvenidealverlauf als Recherchegrundlage entwickeln kann (typische Situation des Ergebnisretrieval).

Zur Frage nach einem vorhandenen visuellen Stimulus tritt die der Zielrichtung oder Aufgabenstellung („warum und zu welchem Zweck entsteht eine visuelle Vorstellung?“). Während bei Fehlen einer visuellen Vorlage von vornherein nur eine externe Fragestellung (vorgegebenes inhaltliches Suchproblem) in Betracht kommt, kann bei vorhandener Vorlageinformation eine neue Problemstellung aus der Vorlage selbst entwickelt werden (Stimulus zur Recherchefortsetzung durch die dargestellte Information selbst): Der Benutzer sieht eine Kurve, interpretiert sie und entwickelt ausgehend von seiner Interpretation eine (visuelle) Vorstellung vom Idealverlauf der Kurve oder einer zu seiner Problemstellung besser passenden Kurve. Greift man die in den empirischen Studien über graphische Informationsdarstellungen herausgearbeiteten Erkenntnisse auf, so eignen sich Aufgabenstellungen, die einen globalen Bezug zu Vorlageinformation haben, für den graphischen Recherchemodus in besonderem Maß: Die visuelle Vorstellungsfähigkeit erlaubt es, vorgelegte Information auf einer vom Detail weiter entfernten Ebene zu würdigen (Kurvenform-

⁴⁹ Dazu gehören alle auf ein alphanumerisches Zeichensystem gestützten Zugangswege (natürlich- und formalsprachliche Abfrage, maskenorientierte Dialoge etc.).

beurteilung), während konkrete Vorstellungen über ein gesuchtes Datum leichter alphanumerisch zu verwirklichen sind.⁵⁰

Es findet aber bei Bildung einer visuellen Vorstellung eine Konzentration auf den visuellen Aspekt und damit (bei vorhandener Vorlageinformation) eine Abstraktion von der Gesamtheit der Information statt, d.h. es ist anzunehmen daß die visuelle Vorstellung wenig oder keine alphanumerische Detailinformation aus der Vorlage übernimmt (schematisch in Abb. 24 dargestellt). Die Dichotomie von strukturbezogener, im Detail weniger exakter visueller Vorstellung und konkreter sprachlicher Repräsentation („Der Werkstoff X hat bei 650 °C einen Elastizitätsmodul von genau 178 GPa“) gilt es mittels des graphischen Retrieval ins Positive zu wenden: Das graphische Retrieval gibt ein Instrumentarium an die Hand, das die Festlegung der visuellen Suchvorstellung mit graphischen Mitteln durch den Benutzer erlaubt und doch vom System exakt zu interpretieren ist.

Eine Übertragung der visuellen Vorstellung in eine alphanumerische Repräsentation mit der notwendigen Folge der Präzisierung entfällt weitgehend. In einer „traditionellen“ Schnittstelle bliebe die Aufgabe, ein „textuelles Pendant“ zu einer visuellen Formvorstellung zu erhalten, vollständig beim Benutzer; mit einer graphischen Suchdefinition muß er dagegen den Modus nicht verlassen und kann seine Anfrage mit visuellen Mitteln konkretisieren. Der Übersetzungsprozeß ist ins System verlagert, ohne das positiv zu wertende Phänomen einer „vagen Anfragedefinition“ auf der Seite des Benutzers zu beseitigen, soweit man darunter die alphanumerische Klarifikation einer ursprünglich visuellen Vorstellung versteht. Ein Vergleich mit vagen Ausdrücken („linguistischen Variablen“) in natürlichsprachlichen Schnittstellen macht die Besonderheit des graphischen Retrieval deutlich: Wählt ein Benutzer eine vage Anfrageformulierung, die sein Informationsbedürfnis aus seiner Sicht bereits vollständig umreißt („Werkstoffe mit hohem Längenausdehnungskoeffizienten im extremen Temperaturbereich“), so bleibt die Übersetzungsleistung für die linguistischen Variablen auf der Seite des Systems, allenfalls gestützt durch Metabewertungen der interpretativen Systemperformanz durch den Benutzer.⁵¹ Im Rahmen des graphischen Retrieval kann der Benutzer dasselbe „vage“ Informationsbedürfnis durch Definition z.B. eines visuellen Bereiches in einem vorgelegten Koordinatensystem umsetzen, ohne die Suchgrenzen alphanumerisch präzisieren zu müssen. Insofern verbleibt die Vagheitsbehandlung auf der Seite des Benutzers. Dahinter steht die Hypothese, daß sich mit visuellen Mitteln vage Vorstellungen in

⁵⁰ Die Begründung dieser Annahme kann man in der Übertragung von CLEVELANDS Unterscheidung von *elementary perception tasks* (bzw. PINKERS *top-down* und *bottom-up*-Strategien) auf die visuelle Vorstellungsfähigkeit finden.

⁵¹ WOMSER-HACKER 1994 entwirft auf der Basis der *fuzzy logic* einen Systemvorschlag, der linguistische Variablen in einer natürlichsprachlichen Werkstoffdatenbankschnittstelle interpretiert: Inhaltliches Wissen über werkstoffkundliche Zusammenhänge dient der Ermittlung einer Zuordnungsfunktion zu *fuzzy sets*, mit der die genannten vagen Anfragen interpretierbar sind, vgl. auch KRAUSE, WOLFF & WOMSER-HACKER 1994.

Externe Aufgabenstellung:
 „Suche nach Werkstoff, der für die Konstruktion einer Schaufel zum Triebwerk X besser geeignet ist als Werkstoff Y“

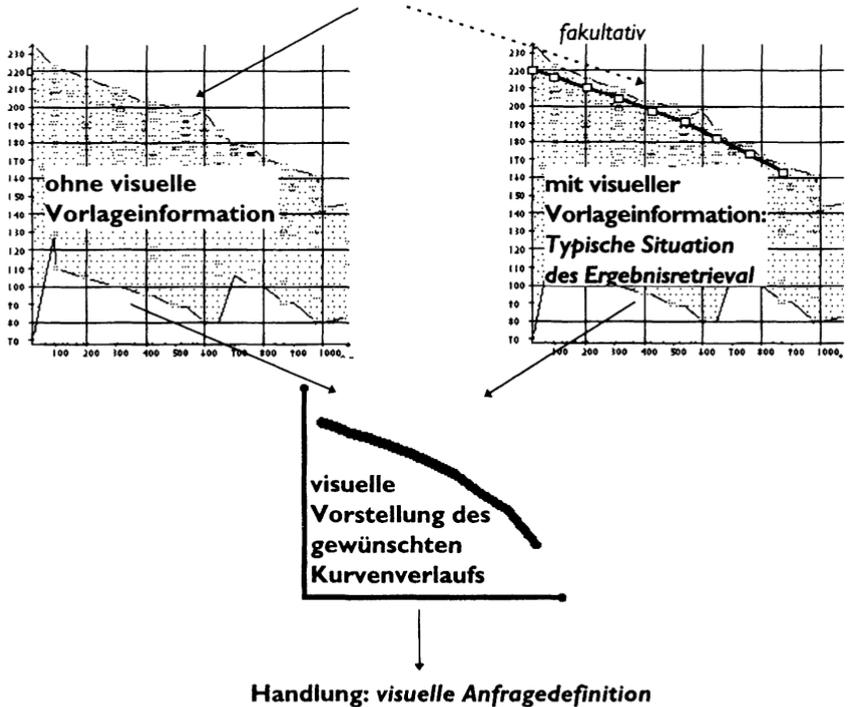


Abbildung 24: Visuelle Vorstellung und graphisches Retrieval

einer Weise explizieren lassen, die dem System eine „exakte“ Deutung im Sinne einer Übersetzung in eine formale Abfragesprache erlaubt.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß eine vollständige Dichotomie von alphanumerischer und graphischer Anfragedefinition eine Überspitzung darstellt, die durch *multimodale* Elemente der Informationsvisualisierung auf der Detailebene relativiert wird: In jedem Fall einer visuellen Darstellung numerischer Information ergibt sich schon aus dem Basisschema eine Mischung visueller mit alphanumerischen Elementen (Bezeichner zu Zuordnung der visuellen Information, Bezifferung der Skalen zur Niveaueverortung etc.). Selbst wenn ein Benutzer über eine stark ausgeprägte visuelle Vorstellungsfähigkeit verfügt, die es ihm erlaubt, beliebige Hypothesen über gewünschte Kurvenverläufe zu skizzieren, verbleibt doch das Problem deren Einbindung in den „numerischen Rahmen“ der gewählten Datengrundlage, d.h. die visuelle Form allein genügt nicht zu einer visuellen Anfragedefinition, die nicht eine

bloße Mustersuche sein soll. Die Frage der Modalitätsmischung wird in der *visual imagery*-Forschung allerdings kaum aufgeworfen, da sie sich auf die *visuellen* Eigenheiten des „inneren Sehens“ konzentriert. Die Tendenz zur Analogiebildung zwischen tatsächlicher Wahrnehmung und Verarbeitung mentaler Bilder als durch verschiedene Bildbearbeitungsmodule strukturiertem Prozeß (KOSSLYN et al. 1984:200ff, bes. Abb.1) läßt aber die Hypothese zu, daß die schon für die eigentliche Graphenwahrnehmung festgestellten Unterschiede zwischen Verarbeitung visueller Elemente und kognitiv aufwendigerer Werteinterpretation auch auf die visuelle Vorstellungsfähigkeit übertragbar sind oder sich dort noch verstärken. Greift man den Vergleich von Tabellen und Diagrammen nochmals auf, so wäre die Frage zu stellen, inwieweit die visuelle Vorstellungsfähigkeit auf das tabellarische Darstellungsformat überhaupt anwendbar ist. Zu vermuten ist, daß die aufgabenspezifische Überlegenheit von Diagrammen auf der Ebene visueller Vorstellungen noch weit deutlicher zum Tragen kommt, weil in der visuellen Vorstellung eine Reduktion stattfindet, die die visuellen Strukturen eines Diagramms im Vergleich zu alphanumerischen Elementen noch stärker in den Vordergrund stellt.⁵²

5.3.2 Der Handlungsaspekt des graphischen Retrieval

Die visuellen Vorstellungen angesichts der graphischen Darstellung quantitativer Information und die sich daraus ergebenden Fragen des Betrachters an das Diagramm sprengen noch nicht ihr klassisches Verwendungsparadigma. Erst die Übertragung *visueller* Vorstellungen und Fragestellungen mit *visuellen* Mitteln auf den Retrievalprozeß transzendiert die funktionale Zuordnung von Diagrammdarstellungen als reiner Interpretationsgrundlage. Die Einführung einer Handlungskomponente erweitert den Interpretationsprozeß zum Retrievalzyklus im Sinne der Einheit von Ergebnis- und Anfragedarstellung des graphischen Retrieval. Damit sind sowohl Fragen nach dem allgemeinen Zusammenhang von Kognition und Handlungsregulation als auch im Detail Probleme der graphischen Produktionsfähigkeit und externer Restriktionen des Handelns durch das Interaktionswerkzeug aufgeworfen.

5.3.2.1 Kognition und Handlungsregulation

Der entscheidende Schritt zum graphischen Retrieval liegt in der Annahme, daß sich der Interpretation der Information eine Handlungskomponente zuordnen läßt, d.h. die wahrgenommene graphische Information und/oder die visuellen Vorstellungen der Benutzer angesichts des vorgegebenen Darstellungsrahmen sollen im graphischen Retrieval graphische Anfragedefinitionen als Handlungen auslösen. Im Sinne der Arbeitspsychologie ist „*Handeln* [...] zielgerichtetes Verhalten, wobei das Ziel

⁵² Führt man diesen Gedanken weiter, so fragt sich, ob man mit Hilfe des *mentalen* Bilds einer Werkstoffkurve überhaupt noch Berechnungen von Wertenniveaus im Sinne der Instantiierung von *message flags* eines Graph-Schemas vornehmen kann oder ob das mentale Bild nicht weitgehend auf die visuellen Aspekte von Rahmen und *specifier* reduziert ist.

und die Bemühung, es zu erreichen, *bewußt* sind“ (VOLPERT 1990:6). Im Sinne von *Wing-Graph* ist das bewußte Ziel die Selektion einer bestimmten Datenmenge aus der Werkstoffdatenbank und ihre Visualisierung. Das zielgerichtete Verhalten, das zu diesem Ergebnis führen soll, besteht in der Interaktion des Benutzers mit der Dialogschnittstelle von *Wing-Graph*.

Zwischen Kognition und Aktion, d.h. zwischen der Wahrnehmung bestimmter Phänomene und einer Reaktion durch Handeln besteht auf der Seite der psychologischen Forschung noch immer eine Kluft, d.h. die Frage, wie und warum wahrgenommene Information in Aktionen umgesetzt werden kann, läßt sich nicht abschließend beantworten (VOLPERT 1990:1f.). Einen Versuch, den Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Handlung zu klären, stellt die *Handlungsregulationstheorie* dar, deren zentraler Begriff die *Regulation von Arbeitstätigkeiten* als Gestaltung und Strukturierung des menschlichen Handlungsstroms ist (HACKER 1986 109ff., VOLPERT 1990:7, 13ff.). Sie strukturiert Handlungen in „Vorwegnahme-Veränderungs-Rückkoppelungs-Zyklen“ (sog. VVR-Einheiten): „Geleitet durch das Ziel als Vorwegnahme und Vornahme des Ergebnisses entsteht in der Tätigkeit ein Resultat, das zum Vergleich rückgekoppelt wird zu der Gedächtnisrepräsentation des Ziels“ (HACKER 1986:140). Eine VVR-Einheit kann selbst wieder VVR-Einheiten enthalten, d.h. sie ist hierarchisch-rekursiv organisiert, der Handlungsprozeß kann als rekursive Ausführung auf den einzelnen Ebenen der Hierarchie gesehen werden (Abb. 25).

Angewandt auf das graphische Retrieval bedeutet das auf der obersten Ebene den Abgleich der in ihrer visuellen Darstellung interpretierten Information mit der Zielvorstellung des Benutzers: Man betrachtet eine im Liniendiagramm dargestellte Werkstoffkurve und gleicht sie mit der visuellen Vorstellung eines gewünschten Kurvenverlaufs ab. Auf diesen Vergleich folgt der handelnde Eingriff in die Dialogsituation, im Beispiel von *Wing-Graph* durch Auswahl eines graphischen Suchverfahrens, anschließend daran die Umsetzung der graphischen Anfrage durch visuelle Operationen. Auf den unteren Ebenen der VVR-Hierarchie findet eine ständige Rückkoppelung von graphischer Anfragedefinition, Wahrnehmung der veränderten graphischen Darstellung und Abgleich mit der Zielvorstellung des Benutzers statt: Durch den Aufbau eines graphischen Suchkonstruktes verändert sich das visuelle Display und kann erneut mit dem Zielmuster verglichen werden. Schließlich weist das graphische Anfragekonstrukt die gewünschte Gestalt und damit die angestrebte Suchsemantik auf, der Handlungsprozeß ist für einen einzelnen Durchlauf des graphischen Retrievalzyklus beendet. Auf der Ebene globaler Strategien lassen sich die einzelnen Zyklen als übergeordnete VVR-Einheit sehen, an deren Anfang z.B. ein bestimmtes Konstruktionsproblem für ein Triebwerksgehäuse steht und an deren Ende nach mehreren sequentiellen Retrievalzyklen eine passende Werkstoffauswahl vorliegt.

Die Umsetzbarkeit solcher umfassender Handlungsstrategien ergibt sich erst aus der handlungstheoretischen Begründung der Vorteile eines *einzelnen* graphischen Retrievalzyklus: Die Handlungsregulationstheorie nach HACKER gliedert die Hierarchie der VVR-Einheiten in ihrer vertikalen Dimension von unten her in eine

sensorische, eine perzeptiv-begriffliche und eine intellektuelle *Regulationsebene* auf (VOLPERT 1990:26ff, HACKER 1986:155ff.). Geht man davon aus, daß die graphische Informationsdarstellung in Liniendiagrammen insbesondere für vergleichende Fragestellungen und für die Trendbeurteilung von Datensätzen der alphanumerischen Darstellung überlegen ist, so kann man für eine auf eine graphische Informationsrepräsentation angewandte Handlung folgern, daß die kognitiven Vorteile des visuellen Modus auf der sensorischen Ebene einen geeigneten Handlungsstimulus bereitstellen, wobei durch die graphische Darstellung der Anfrage schon *während* der Anfragedefinition die Rückkoppelung mit der Zielvorstellung bzw. der Ausgangssituation im gleichen Modus möglich ist. Die besonders enge Rückkoppelung zwischen visueller Information (hier die sich dynamisch ändernde graphische Anfrage) und Steuerung motorischer Prozesse ist erst jüngst belegt worden (SPIJKERS 1993:158ff., 186ff.). Es gilt also die Annahme, daß die visuelle Qualität der Darstellung entsprechende Aktionspläne im gleichen Modus auf der Seite des Benutzers entstehen läßt, die sich aufgrund ihrer Modusübereinstimmung mit dem visuellen Stimulus des Diagramms besonders einfach umsetzen lassen. Da die Operationalisierung keinen Moduswechsel erfordert, fällt die Übersetzung in das alphanumerische Repräsentationsformat bei der Anfrageerstellung weg. Die Formatübereinstimmung von Stimulus und Zielvorstellung nutzt die visuelle Vorstellungsfähigkeit bezüglich des angestrebten graphischen Musters.⁵³

Die graphische Anfragedefinition als Handlung dynamisiert die anfangs statisch eingeführte Einheit von Anfrage- und Ergebnisdisplay im visuellen Format und schließt die kognitive Bruchstelle zwischen Vorgabeinformation und Zielvorstellung durch die Äquivalenz des Darstellungsformates von Datendisplay und Anfrageaufbau. Die Annahme der Überlegenheit eines zum visuellen Handlungsstimulus modusadäquaten Anfrageverfahrens rekurriert vor allem auf das Vergleichs- bzw. Vorwegnahmeelement sowie die Rückkoppelungsprozesse der VVR-Einheiten im graphischen Retrieval und überträgt so die schon zur visuellen Wahrnehmung herausgearbeiteten Vorzüge graphischer Darstellungen auf den Retrievalzyklus.

Das in Abb. 25 wiedergegebene Schema für den Handlungsablauf der graphischen Anfragedefinition abstrahiert noch von den die Aktion beeinflussenden Parametern der motorischen Steuerung (graphische Produktionsfähigkeit) und der externen Beschränkungen durch das Interaktionswerkzeug.

5.3.2.2 Graphische Produktionsfähigkeit

Aus der bei Werkstofffachleuten häufig zu beobachtenden Umsetzung visueller Vorstellungen in traditionellen Medien (*paper and pencil*) läßt sich eine Grundplausibilität für

⁵³ Am Beispiel einer Aufgabe, bei der Versuchspersonen Buchstabenformen transkribieren mußten, konnte GOPHER 1984 den positiven Einfluß visueller Vorstellungen auf die Handlungskontrolle nachweisen.

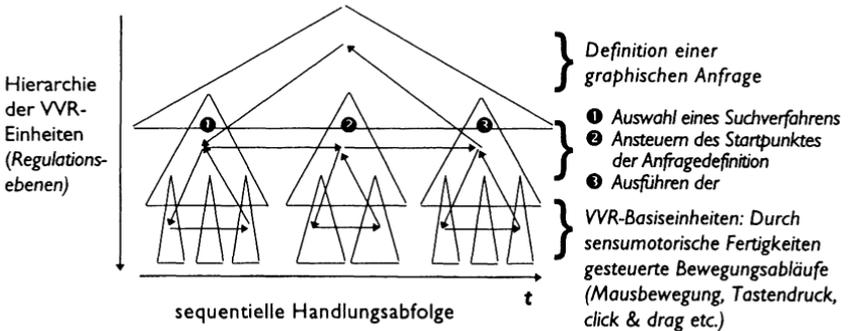


Abbildung 25: Schematisches Beispiel für den Handlungsablauf einer graphischen Anfragedefinition (nach Volpert 1990:15 Abb. 1)

die Operationalisierung ihrer graphischen Produktionsfähigkeit im graphischen Retrieval ableiten: Ihnen fällt es leicht, ihre Vorstellung vom Kennwertverhalten eines Werkstoffs als graphische Skizze auf dem Papier zu visualisieren. Die Skizze von Kurvenhypothesen als Suchmuster im graphischen Retrieval stellt den Idealtypus der Umsetzung visueller Vorstellungen in einer Retrievalschnittstelle dar. Ob sich dieses Verfahren als 1:1-Abbildung von Verlaufsformen für das graphische Retrieval bewähren kann, ist offen und läßt sich nur durch die Evaluierung von *Wing-Graph* klären.

Aus der Forschung zur Kognition des Zeichnens liegen Erkenntnisse über die graphische Produktionsfähigkeit vor, die sich auf den graphischen Retrievalprozeß übertragen lassen. VAN SOMMERS hat in einer umfassenden Studie über die Kognition graphischer Produktionsprozesse kurvilineare Konstrukte, wie sie in den Liniendiagrammen von *Wing-Graph* vorliegen, nicht unmittelbar behandelt, sondern auf einfachere graphische Einheiten im Prozeß des Zeichnens rekurriert (VAN SOMMERS 1984:72ff.). Er stellt fest, daß das Zeichnen von Linien oder einfachen geometrischen Mustern, wie es in *Wing-Graph* zur Erstellen graphischer Suchhypothesen in Kurvenform verwendet wird, ein bevorzugtes Mittel der graphischen Produktion ist:

When one asks a group of untrained adults or children to draw common objects, the vast majority of their strokes are simple lines, arcs, circles, or dots. Relatively few contours are used - that is, lines, whose shape is steered and modulated to represent shape. What control there is relates principally to placement, length, orientation, and in the case of arcs and circles, radius of curvature (VAN SOMMERS 1984:3).

Die Ergebnisse der Studie VAN SOMMERS' betonen die Abhängigkeit des Produktionsprozesses von äußeren Faktoren, typischerweise dem Zeicheninstrument und der Zeichengrundlage. Daß die Übertragung der graphischen Produktion auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle mit den ihr eigenen Arbeitsbedingungen die zu erwartende Qualität der graphischen Konstrukte der Benutzer nicht erhöhen dürfte, liegt auf der Hand: Es ist zu vermuten, daß die *Interpretationsfähigkeit* der Benutzer bezüglich vorgelegter visualisierter Daten ihre *graphische Produktionsfähigkeit* insbesondere bei der

„eidetischen“ Produktion vollständiger graphischer Strukturen, d.h. vollständiger Werkstoffkurven als Suchhypothesen bei weitem übertrifft. Neben der mangelnden Erfahrung mit dem Medium der graphischen Produktion und hardwarebedingten Nachteilen des Zeicheninstrumentariums ist weiter davon auszugehen, daß die exakte Verortung einer graphischen Suchhypothese Schwierigkeiten machen kann. Schon die Interpretation der graphischen Gestalt von Liniendiagrammen hebt mehr auf deren intrinsische Struktur ab, denn auf ihre exakte Verortung in einem vorgegebenen Werterahmen.

Sieht man davon ab, daß VAN SOMMERS sich nicht auf einen bestimmten Anwendungskontext bezieht, sondern die graphische Produktionsfähigkeit im allgemeinen untersucht und den Einfluß des Fachwissens bezüglich des auftretenden graphischen Forminventars auf die graphische Produktion nicht einrechnet, so ist obige Beobachtung eines in der Regel stark reduzierten graphischen Vokabulars in zweierlei Hinsicht interessant. Zum einen ist es ein positiver Hinweis auf die Plausibilität des graphischen Retrieval mit Liniendiagrammen, bei denen es sich um sehr einfache graphische Formen handelt, zum anderen bestätigt es die in Kap. 4 getroffene Entscheidung für eine visuelle Sprache, die den Suchraum typisiert und einfache visuelle Konstrukte für die graphische Repräsentation der Suchbedürfnisse einführt. Das Konzept einer systemseitigen Vorstrukturierung der Suchmöglichkeiten mittels der Vorgabe einer visuellen Sprache mit klar definierter Syntax erleichtert den Übersetzungsprozeß von visueller Vorstellung zu graphischem Suchkonstrukt: Es entsteht eine Palette von Gestaltungsmöglichkeiten, deren Anbindung an eine visuelle Vorstellung des Benutzers zu einem Informationsbedürfnis unterschiedlich stark ausgeprägt ist.

Auf der Ebene der Detailplanung von Zeichnungshandlungen hat man versucht, eine „Aktionsgrammatik“ des Zeichnens zu erstellen (GOODNOW & LEVINE 1973, vgl. auch ROSENBAUM 1991:231ff.). In Experimenten, die das zeichnerische Kopieren von Liniengraphiken (*line shapes*) durch Kinder zum Gegenstand hatten, ließ sich die Hypothese eines regelgeleiteten Zeichnungsprozesses bestätigen. Danach gelten für das Linienzeichnen die folgenden Regeln:

1. Start at a leftmost point.
2. Start at a topmost point.
3. Start with a vertical line [...].
4. Given a figure with an apex, start at the top and come down the left oblique [...].
5. Draw all horizontal lines from left to right.
6. Draw all vertical lines from top to bottom.
7. Thread, i.e. draw with a continuous line (GOODNOW & LEVINE 1973:86, vgl. ROSENBAUM 1991:231f., VAN SOMMERS 1984:30ff.).

Für die Implementierung des Zeichnens von Kurvenhypothesen haben vor allem die Regeln 1, 5 und 7 Bedeutung (vertikale Linien treten bei Werkstoffkurven nicht auf): Die Arbeitsrichtung bei der Erstellung von Kurvenskizzen und graphischen Suchkonstrukten kann als ein *kontinuierlicher* Zeichenprozeß in einer links-rechts-Abfolge der graphischen Anfragedefinition angenommen werden. Die Festlegung deckt sich auch mit der Achsenskalierung in Liniendiagrammen und der Leserich-

tung bezüglich der unabhängigen Variablen Temperatur, deren Werte im Diagramm in aufsteigender Reihenfolge von links nach rechts aufgetragen sind.

Die Betrachtung der graphischen Produktionsfähigkeit ergibt, daß das Linienzeichnen eine typische und relativ einfache Aufgabe der graphischen Produktion ist, die von „durchschnittlichen Zeichnern“ gut zu bewältigen sein dürfte. Darüber hinaus sind die Grundregeln des Zeichenprozesses ein Designhinweis auf die Implementierung graphischer Suchoperationen. Nicht berücksichtigt bleiben allerdings das Verhältnis von visueller Vorstellungsfähigkeit und graphischer Produktion, der Einfluß des Erfahrungswissens und die Frage nach dem Zusammenhang von Formkomplexität und (Re-)Produktionsfähigkeit. Es ist anzunehmen, daß die relativ homogenen Kurvenformen der bei *Wing-Graph* auftretenden Kennwertverläufe unter Beachtung von Regel 7 in einem Stück zu produzieren sein dürften.

5.3.2.3 Restriktionen des Handlungsablaufs durch das Interaktionswerkzeug

Eine weitere Einflußgröße auf den graphischen Handlungsprozeß ist das verwendete Interaktionswerkzeug. Grundsätzlich steht für graphisch-direkt-manipulative Benutzeroberflächen ein breites Inventar verschiedener graphischer Navigationswerkzeuge zur Verfügung:

- Maus
- Trackball
- Graphiktablett
- Joystick
- Lichtgriffel
- Touchscreen⁵⁴

Nach HERCZEG 1994:213 sind sie mit Ausnahme des Graphiktablets alle gleichermaßen *schlecht* für das Zeichnen geeignet, d.h. sie sind im Vergleich mit der traditionellen *paper-and-pencil*-Zeichnethode unterlegen. In *Wing-Graph* fallen neben dem Zeichnen von Kurven auch andere Operationen mit einem direkt-manipulativen Eingabeinstrument an, für die der Nachteil der Maus bei Zeichenvorgängen keine Rolle spielt:

- Positionierung des Eingabewerkzeugs im Diagramm
- Deiktische Gesten, Zeigen auf bestimmte Punkte, Festlegen von Punkten
- Definition von Flächen (s.u.)
- Verschieben graphischer Elemente (*click & drag*)

Zusammen mit dem Zeichnen von Linien bilden die Definition von Punkten und Flächen die elementaren Muster der graphischen Gestaltung von Diagrammen,⁵⁵ sie

⁵⁴ Ausführliche Übersicht zu den verschiedenen Formen von Eingabegeräten mit Diskussion wechselseitiger Vor- und Nachteile bei GREENSTEIN & ARNAUT 1988 und SHACKEL 1987 (*human factors*-Perspektive).

sind alle drei für graphische Anfragedefinitionen in *Wing-Graph* relevant (s.u.) und mit einer Maus zu bewältigen. Für die Wahl einer Maus als Interaktionswerkzeug in *Wing-Graph* sprechen darüber hinaus folgende Argumente:

- Vertrautheit der Benutzer mit dem Interaktionswerkzeug
- Verfügbarkeit in Standardkonfigurationen
- Kompatibilität mit dem multimodalen Prototyp *Wing-M2*

Es kommt die Annahme hinzu, daß die bei verschiedenen Benutzern unterschiedlich gut ausgeprägte visuelle Vorstellungsfähigkeit und graphische Produktionsfähigkeit der entscheidende Faktor für die Qualität graphischer Anfragekonstrukte ist. Auf die Verwendung anderer Interaktionsmittel als der Maus wurde daher verzichtet, wenn auch Hinweise dafür vorliegen, daß sie zu besseren Ergebnissen führen könnten:

- a) Die Verwendung eines Graphiktablets könnte die Zeichengenauigkeit erhöhen, die Vorteile blieben aber auf die Produktion von Kurvenformen beschränkt, da bei Zeigegesten oder Flächendefinition die Maus einem Graphiktablett nicht unterlegen ist (MACKENZIE, SELLEN & BUXTON 1991:165f.).
- b) Nach neueren Untersuchungen sind sog. *high precision touchscreens* hinsichtlich der Arbeitsgenauigkeit der Maus bei reinen Zeigeaufgaben (*pointing tasks*) mindestens ebenbürtig.⁵⁶ Da die Verwendung eines Touchscreens die Einheit von Ausgabe- und Eingabemedium herstellt (der Benutzer würde eine graphische Anfrage direkt auf dem Bildschirm definieren) wäre das eine sinnvolle Ergänzung der Einheit von Anfrage- und Ergebnisdisplay im graphischen Ergebnisretrieval auf der Seite der Handlungskomponente. Ähnliches gilt für die Verwendung eines Lichtgriffels (*light pen*).
- c) Ein in die Zukunft weisender Vorschlag für die Eingabe graphischer Suchoperationen ist die Verwendung von Techniken und Werkzeugen der *virtual reality*-Forschung: YAMADA 1992 führte ein Experiment durch, bei dem Versuchspersonen mit einem Datenhandschuh geometrische Formen (z.B. Würfel) definieren konnten. Diese Interaktionstechnik käme prinzipiell für das graphische Retrieval in Betracht, geht aber über den Rahmen dieser Untersuchung hinaus.

In der Zusammenschau zeigt sich, daß die Maus als Interaktionswerkzeug zwar nicht alle, aber doch die meisten beim graphischen Retrieval anfallenden Operationen gut bewältigt, wengleich für den besonders interessanten Spezialfall einer Kurvenskizze gewisse Nachteile zu erwarten sind.

⁵⁵ So BERTIN 1974:52 „Man bezeichne als IMPLANTATION die drei Bedeutungen, die ein sichtbarer Fleck in bezug auf die beiden Dimensionen der Ebene erhalten kann: Punkt, Linie, Fläche, die drei Grundelemente der Geometrie.“, vgl. auch MACKINLAY, CARD & ROBERTSON 1990:148ff.

⁵⁶ Vgl. SEARS & SHNEIDERMAN 1991:608, die sich in ihren Experimenten auf deiktische Gesten beschränken.

5.3.3 Differenzierung von Suchverfahren für Wing-Graph

Visuelle Vorstellungsfähigkeit, der Handlungsaspekt der Anfragedefinition, die graphische Produktionsfähigkeit und die externen Restriktionen durch das Interaktionswerkzeug sind die wichtigsten Komponenten, mit denen sich im Zusammenspiel mit PINKERS prozessuaem Modell der Diagrammwahrnehmung eine Vorstellung vom Ablauf des graphischen Retrieval erarbeiten läßt. Um aus der prinzipiell beliebig großen Menge graphischer Suchverfahren eine Untermenge für die Verwendung für das graphische Retrieval zu bestimmen, bietet sich der Rückgriff auf die typischen Informationsbedürfnisse der Benutzer und die Strukturanalyse des Darstellungsformates Liniendiagramm an.

Im einfachsten Fall ist ein Informationsbedürfnis des Benutzers nicht unmittelbar mit gegebener Information (*specifier*) verkoppelt und nimmt nur schwachen Bezug auf eine am typischen Darstellungsformat „Liniendiagramm“ ausgerichtete visuelle Vorstellung. Insofern kann man von einem *abstrakten* Informationsbedürfnis sprechen, da es keine konkrete Suchhypothese entstehen läßt, die mit einer Kurve strukturidentisch wäre und da seine visuelle Form wie bei den *visual query systems* unabhängig von inhaltlichen Kriterien ist. Das einfachste Beispiel ist ein vom Benutzer im visuellen Display spezifizierter Suchpunkt („welche Werkstoffe haben bei 600°C einen Gleitmodul von 70 GPa?“).

Interessanter und auf die Situation des Ergebnisretrieval stärker zugeschnitten sind *relative* Informationsbedürfnisse, die sich direkt an der gegebenen Information (*specifier*) orientieren, das Grapheninterpretationsschema nutzen und dem System eine Operationalisierung unter Aufgriff der bekannten Daten (Vorlageinformation) erlauben. Ein Beispiel ist „Suche nach einem Werkstoff, der im hohen Temperaturbereich ähnlich verläuft wie Astroloy“, wobei die Kenngrößenkurve von Astroloy im Display als Vorlage vorhanden sein müßte. Bei der graphischen Umsetzung im System kann der Benutzer ein graphisches Konstrukt erstellen, das vom System an die Verlaufsform der gegebenen Kurve automatisch angepaßt wird, d.h. der Bezug zur Vorlageinformation erlaubt eine Einschränkung des Handlungsraums. So ist die graphische Produktion des Benutzers systemseitig zu vereinfachen, eine unmittelbare Umsetzung eines visuellen Kurvenformmusters ist mit solchen Verfahren aber nur bedingt möglich. Auf Vorlageinformation unmittelbar bezugnehmende Anfragedefinitionsverfahren nutzen aber die Ausgangssituation des Ergebnisretrieval direkt aus und entsprechen den typischen Fragestellungen, die an graphische Informationsdarstellungen herangetragen werden. Insofern ist zu vermuten, daß *relative Recherchedefinitionen* das größte Leistungspotential im Rahmen des graphischen Ergebnisretrieval aufweisen.

Neben *abstrakten* und *relativen* Suchverfahren bildet die graphische Definition einer vollständigen Kurvenhypothese einen dritten Typus, d.h. der Benutzer skizziert eine Kenngrößenkurve, um mit ihr in der Datenbank zu recherchieren. In diesem Fall kann er am stärksten auf visuelle Vorstellungen zurückgreifen, da der Handlungsraum durch das System nicht eingeschränkt ist und die Vorstellung vom

Verlauf der Kurve nach seinen Vorstellungen ohne direkten Bezug zu vorgegebener Information spezifiziert werden kann. Dieses Potential wird negativ durch die genannten kontextuellen Faktoren der graphischen Produktion beschränkt: Mit der größten Gestaltungsfreiheit fallen die größten Unwägbarkeiten bezüglich der Imaginations- und Produktionsfähigkeit zusammen. Im ungünstigsten Fall ist der Benutzer nicht in der Lage, eine konkrete visuelle Vorstellung vom Verlauf eines zu recherchierenden Werkstoffs so im Interface umzusetzen, daß das System die Suchhypothese auf eine mit der visuellen Vorstellung im Einklang stehende formale Interpretation für die Datenbankabfrage übertragen kann. Visuelle Vorstellungsfähigkeit und graphische Produktion würden auseinanderfallen.

Bei allen drei Verfahren hat der Benutzer schon während der visuellen Anfragespezifikation ein Feedback des Systems (innerer Kreislauf in Abb. 23); da bei einem relativen oder abstrakten Verfahren der Handlungsraum durch das System eingeschränkt ist, spielt die motorische Fertigkeit des Benutzers bei einem produktiven Verfahren die größte Rolle. Völlig offen ist, wie konkret die visuellen Vorstellungen gewünschter Idealverläufe sind und wie genau man sie im Display umsetzen kann. Für den Fall der Suchhypothesenproduktion kommen weitere Faktoren hinzu, etwa wie eng eine visuelle Formvorstellung an ein bestimmtes Skalenniveau gekoppelt ist (Suche nur nach Form gegenüber Suche nach Form und Lage) und wie stark sich die visuelle Rückkopplung im „inneren Kreislauf“ auf die Produktionsfortsetzung (Korrekturversuche etc.) auswirkt.

Eine weitere Einflußgröße ist die Komplexität der visuellen Gestalt der Information und ihr Zusammenhang mit dem Domänenwissen des Benutzers. Je stärker sich die visuelle Form einer Kurve durch Domänenwissen erklären läßt und je mehr Erfahrung der Benutzer in seiner Arbeitsdomäne hat, um so eher wird er visuelle Vorstellungen entwickeln und als Suchhypothesen umsetzen können. In der Domäne Werkstoffinformation ist dieser Zusammenhang konkret explizierbar: Die Kurvenform kann bei den Kenngrößen mittels der den Ablauf eines Werkstoffexperimentes steuernden physikalischen Gesetzmäßigkeiten (z.B. Gitterstruktur der Metalle, Korngrößen in Legierungen und ihr Verhalten bei unterschiedlichen Temperaturen) wenigstens grob umschrieben werden. Hat der Benutzer große Erfahrung im Umgang mit Daten zu einer bestimmten Kenngröße, so wird er die ungefähre Form einer Kurve kennen und die Varianzbreite für unterschiedliche Materialien bestimmen können. Sein Erfahrungswissen hilft ihm, den Gestaltungsraum möglicher Suchhypothesen einzugrenzen. In anderen Domänen ist ein solch unmittelbarer Erklärungszusammenhang von graphischer Form und Domänenwissen nicht gegeben: Zeitreihen zur Entwicklung wirtschaftlicher Meßgrößen⁵⁷ können beispielsweise einen sehr komplexen und nicht vorherzusehenden Formverlauf aufweisen, der in seiner Gesamtheit kaum zu reproduzieren ist. Bei so komplexen Mustern könnte es z.B. sinnvoll sein, von der Globalbetrachtung kompletter Datensätze abzugehen und ein-

⁵⁷ Dazu Generalisierungserüberlegungen bezüglich des graphischen Retrieval in Kap. 8.2.

zelne visuelle Muster als Teile des Ganzen zur Recherche zu verwenden, die dann einer inhaltlichen Deutung zugänglich wären. Beispielsweise entspräche ein abfallendes Kurvenstück einer „rezessiven Entwicklung“, ein muldenförmiges einer „wirtschaftlichen Talsohle, die überwunden wird“ etc. Von einer solchen „Atomisierung der Interpretationsleistung im Verhältnis zur angebotenen Information“ kann bei der Datengrundlage aus der Domäne Werkstoffinformation abgesehen werden, da deren homogene Kurvenverlaufsmuster im Beziehungsgeflecht von Domänenwissen, visueller Form(vielfalt) graphischer Informationsdarstellungen und Erfahrungswissen des Benutzers eine globale Betrachtung der Vorlageinformation zulassen.

Während ein relatives Verfahren unmittelbar bei gegebener Information ansetzt und das System zumindest partiell die Interaktion steuert, stehen abstrakte und produktive Verfahren in einem *mittelbaren* Verhältnis zur Vorlageinformation. Die Interpretation vorgegebener Kurven *kann* den Benutzer bei der Bestimmung der Lage eines Suchpunktes (oder Suchbereiches etc.) beeinflussen, das System selbst hat in diesem Fall keinen unmittelbaren Einfluß auf den visuellen Anfrageverlauf. Es ergibt sich eine grundsätzliche Dreiteilung visueller Anfrageoperationen:

- a) *abstrakte* Operationen
- b) bezüglich der Vorlageinformation *relative* Operationen
- c) *produktive* Suchkurvendefinition

Die Dreiteilung ist eine geeignete Ausgangsbasis für die Implementierung einer visuellen Suchsprache in *Wing-Graph*, da sie die wesentlichen Möglichkeiten des zyklischen Retrieval in Bezug auf Relation zu gegebener Information und visueller Vorstellungsfähigkeit des Benutzers aufgreift und klassifiziert. Die Feindifferenzierung (welche abstrakten und relativen Operationen sollen dem Benutzer zur Verfügung stehen und welche syntaktische und semantische Umsetzung sollen sie erhalten) bleibt der Diskussion der konkreten Implementierung von *Wing-Graph* vorbehalten. Tab. 7 faßt den Einfluß der verschiedenen Faktoren auf das Leistungspotential der drei Recherchetypen für das graphische Retrieval zusammen. Dabei wird noch einmal deutlich, daß die drei Recherchetypen nur in der Gesamtschau eindeutig zu unterscheiden sind, da jeder Typus mit jedem der beiden anderen Verfahren Gemeinsamkeiten aufweist.

Das Kreislaufmodell berücksichtigt den Zugang über die Auswahl von Kennwertkurven-Ikonen nicht unmittelbar, handelt es sich dabei doch lediglich um eine einfache Selektionsoperation auf der Basis des Vergleichs verschiedener visueller Muster: Der Benutzer sieht die Kurvenverläufe verschiedener Werkstoffe und wählt den für ihn am geeignetsten erscheinenden Verlauf als Grundlage des graphischen Ergebnisretrieval aus. Die Auswahlentscheidung ist im Idealfall nur von der visuellen Interpretation der Daten abhängig, eine graphische Anfrageoperation ist damit nicht verbunden und zur Erklärung der Auswahlhandlung selbst genügt das ursprüngliche Modell von PINKER. Gleiches gilt für die in Kap. 4 angedeutete Erweiterung der visuellen Rechtersprache um die Kombination mehrerer graphischer

Anfragen zu einem komplexen, kenngrößenübergreifenden Anfragekonstrukt in ikonischer Repräsentation, deren exemplarische Implementierung in Kap. 8.1.6 vorgestellt wird.

Einflußgröße	Bezug	Suchtypus		
		abstrakt	relativ	produktiv
Vorlageinformation (spezifiziert)		mittelbar	unmittelbar	mittelbar
Hintergrund der visuellen Darstellung	graphische	mittelbar/ stark	mittelbar	mittelbar/ stark
Verortung im Koordinatensystem	Darstellung	stark	schwach	stark
Komplexität der visuellen Gestalt		sehr schwach	schwach	stark
Fachwissen und Erfahrung	Benutzer	stark	stark	sehr stark
visuelle Vorstellungsfähigkeit		schwach	schwach	stark
Produktionsfähigkeit und Interaktionswerkzeug		schwach	schwach	stark
systemseitige Handlungsstrukturierung	System	stark	stark	schwach

Tabelle 7: Beziehungsmatrix zur Beurteilung der Suchtypenkomplexität in Wing-Graph

Die Gliederung visueller Anfrageoperationen fokussiert auf je einen elementaren Anfragezyklus und zieht umfangreichere Suchstrategien im Sinne des zyklischen Retrieval nicht in Betracht. Aufgrund der zyklischen Natur des visuellen Anfrageprozesses und insbesondere des inneren Kreislaufs von visueller Operation und Reinterpretation des modifizierten Displays ergibt sich eine Kombinierbarkeit der Verfahren untereinander. Hat der Benutzer z.B. eine Suchkurve selbst skizziert, so kann er darauf wiederum ein *relatives* und damit direkt auf die Suchhypothese bezogenes Verfahren anwenden. In diesem Fall iteriert er den graphischen Anfrageprozeß schon auf der Ebene des inneren Kreislaufs des Retrievalmodells. Das gleiche gilt natürlich für Strategiewechsel nach erfolgter Recherche, wenn er nach einer Suche bezüglich einer Kurvenskizze in der Ergebnismenge eine Kurve selektiert und auf sie ein *relatives* Suchverfahren anwendet. Die Kombinierbarkeit verschiedener Verfahren ist innerhalb eines Anfrageaufbaus sinnvoll, wenn sich eine jeweils nachfolgende graphische Operation unmittelbar auf das Ergebnis der vorangegangenen bezieht, also z.B. die Kombination des produktiven mit einem relativen Verfahren. In der strategischen Perspektive, die mehrere Einzelzyklen umfaßt, können abstrakte Verfahren eine Rolle spielen, auch wenn deren Definition in keinem unmittelbaren Verhältnis zur Vorlageinformation steht: Nach erfolgreicher Recherche ist die neue Vorlageinformation wiederum unmittelbares Produkt des vorangegangenen Anfrageschrittes und eine nachfolgende abstrakt definierte Anfrage bezieht sich mittelbar auf den vor der Recherche liegenden Anfrageaufbau.⁵⁸

⁵⁸ Die Kombinationsmöglichkeiten zwischen verschiedenen graphischen Operationen und ihre Folgen für das Systemdesign werden im Licht der Evaluierung von *Wing-Graph* in Kap. 8.1.4 erörtert.

5.4 Fazit: Kritik und Reichweite des Modells

In seiner ursprünglichen Konzeption sollte das Interpretationsmodell von PINKER dazu dienen, die disparaten Beobachtungen zur Leistungsfähigkeit verschiedener Darstellungsarten von Information zu erklären: Grundsätzlich müßten also die in Kap. 5.1.1 geschilderten empirischen Ergebnisse durch das Modell zu erklären sein. Dazu wäre allerdings auf die Detailrepräsentation des Modells zurückzugreifen, die in der Adaption für das graphische Retrieval durch das KOSSLYNSche Analyse-schema ersetzt wurde; in der Modifikation für den graphischen Retrievalkreislauf geht die Differenzierung über die Beziehungsstruktur der einzelnen Prozeßmodule bei Dateninterpretation und Anfragedefinition nicht hinaus. Deshalb ist das modifizierte Modell nicht unmittelbar an eine bestimmte Darstellungsform gebunden, auch wenn es anhand des Beispiels Liniendiagramm entwickelt wurde: Das beschränkt aber auch seine Aussagekraft, da es noch so generell ist, daß die besondere Leistungsfähigkeit von Liniendiagrammen für bestimmte Klassen von Aufgabenstellungen nicht unmittelbar „nachzuweisen“ ist.⁵⁹

In der Kombination des operationellen Kreislaufmodells mit dem Konzept des Ergebnisretrieval schält sich aber eine wesentliche Beobachtung heraus: Die herausragende Bedeutung der Nutzung von Vorlageinformation für den graphischen Retrievalprozeß bestätigt die Annahmen über die Verringerung der kognitiven Bruchstelle im Retrievalprozeß durch ergebnisbasierte graphische Anfragedefinitionen. Dieses Prinzip ist für die Dialoggestaltung nicht nur am Beispiel von Liniendiagrammen und numerischer Fakteninformation fruchtbar zu machen, sondern reicht in seiner prinzipiellen Aussagekraft über den Anwendungsfall von *Wing-Graph* hinaus.

Auch die Zuordnung verschiedener Aufgabenstellungen zu den Recherchemodi angesichts einer vorgegebenen Struktur der Daten als Kernproblem multimodaler Systemgestaltung kann das mittelbar ermöglichen: Wie sich bei der Implementierung der verschiedenen graphischen Suchoperationen noch zeigen wird, bedingen zumindest relative und produktive Verfahren eine formale Anfragekomplexität, die über einen alphanumerisch-textuellen Zugangsweg nicht zu leisten wäre.⁶⁰ Dies schließt aber nicht grundsätzlich aus, graphische Retrievaloperationen auf textuell repräsentierte Information anzuwenden: Der entscheidende Unterschied läge dann weniger in der Interpretationsleistung des Benutzers, sondern in der expressiven Mächtigkeit einer graphischen Operation, sei sie nun auf graphische Informationsformate oder z.B. auf Datentabellen bezogen.

Für den Kern der in *Wing-Graph* verwendeten visuellen Sprache, deren Struktur bereits in Kap. 4 entwickelt wurde, ist mit den drei Klassen graphischer Anfrageverfahren

⁵⁹ Das ist auch nicht die Aufgabe des Modells, das vielmehr ein generelles Analyseinstrument sein soll, vgl. PINKER 1990:122: "For each type of diagram, there would be a specific schema spelling out the correspondence between visual predicates and conceptual messages."

⁶⁰ PINKER entwickelt sein Modell am Beispiel des Balkendiagramms, vgl. PINKER 1990:97ff.
⁶⁰ Vgl. die Anfragebeispiele in Anhang 10.6.

ein typisierendes Strukturierungsmerkmal gefunden. Ihre Implementierung ist nun mit der Beschreibung der Interfacegestaltung von *Wing-Graph* zu erörtern.

Von einer holistischen Perspektive her gesehen bildet das graphische Retrieval mit Liniendiagrammen ein eingeschränktes Beispiel für ein weit generelleres Interaktionsparadigma: Die Übertragung visuellen Denkens auf die Mensch-Maschine-Interaktion durch inhärent graphische Mittel. Dieser Gedanke klang schon bei einigen Gestaltungsvorschlägen zu visuellen Retrievalsystemen in Kap. 4 an, hat sich aber im Kontext der (inzwischen) traditionellen graphischen Benutzerschnittstellen mit ihrem häufig zu beobachtenden Schwerpunkt auf einer „graphischen Einkleidung“ textueller Elemente (Eingabefelder, Listen, Auswahlshalter etc.) allgemein noch nicht durchgesetzt. Hier eröffnet sich ein weites Feld für zukünftige Versuche, die Leistungsfähigkeit sowohl der visuellen Wahrnehmung und Vorstellungsfähigkeit für die Interaktion mit Computern zu nutzen.

6 Wing-Graph: Systemstruktur und Implementierung

Gestaltung und Implementierung des experimentellen graphischen Retrievalsystems *Wing-Graph* stehen im Mittelpunkt dieses Kapitels; für das Design des Prototyps haben die voranstehenden Kapitel bereits wesentliche Vorgaben deutlich gemacht. Dabei handelt es sich um:

- a) Die Einordnung des Systems als „aufgesetztes“ Modul, das ein graphisches „Ergebnisretrieval“ unterstützt und die kognitive Bruchstelle zwischen Ergebnisinterpretation und Anfragerstellung zu vermeiden versucht, wobei einem Direkteinstieg für initiale Recherchen in das graphische Retrieval eine subsidiäre Funktion beigemessen ist,
- b) den Ausschnitt der Meßwertdatentabellen des Anwendungspartners MTU als Datengrundlage für das graphische Retrieval,
- c) die typischen Fragestellungen und Interpretationsstrategien von Werkstofffachleuten bei der Analyse graphisch dargestellter Information, wobei der Schwerpunkt auf vergleichenden und an der bereits vorhandenen (Ergebnis-)Information aufsetzenden Suchstrategien liegt,
- d) das Konzept visueller Sprachen als Modellierungsvehikel für graphische Benutzerschnittstellen, das für *Wing-Graph* den Leitgedanken bei der Implementierung einer graphischen Retrievalsprache bildet und auf zwei Ebenen eine Rolle spielt - bei der Operationalisierung graphischer Anfrageoperationen (Anfrageaufbau im engeren Sinn) und der Verwendung ikonischer Elemente beim Systemzugang und
- e) schließlich das kognitive Kreislaufmodell des graphischen Retrieval, das die bei Liniendiagrammen auftretenden Suchprobleme als Typologie graphischer Anfrageoperationen abbildet und dem der Systemprototyp gerecht werden soll.

Im folgenden ist die Transformation der Vorgaben in den konkreten Designvorschlag *Wing-Graph* und dessen Implementierung zu erörtern. Zentral für das graphische Retrievalsystem *Wing-Graph* ist die Umsetzung der Thesen zur kognitiven Verarbeitung von Graphen in einem mehrstufigen Systemaufbau:

- a) Kern des System sind verschiedene Interaktionsverfahren als visuelle Sprache, mit denen der Benutzer gegebene Kurven verändern, zeichnen oder in Bezug zu ihnen Suchbereiche festlegen kann.

- b) Zusätzlich zur Interaktion mit Werkstoffkurven bietet das System dem Benutzer Kennkurven typischer Werkstoffe als ikonische Objekte an, die er zur Vorauswahl nutzen und nach erfolgreichen Recherchen entsprechend erweitern bzw. modifizieren kann.
- c) Das System nutzt zwar die kognitiven Fähigkeiten für die direkte graphische Interaktion, schließt aber eine fruchtbare Wechselwirkung der Interpretation graphischer und alphanumerischer Informationsdarstellung nicht aus, d.h. der Benutzer kann der Kurvendarstellung immer die entsprechende tabellarische Aufbereitung der Daten an die Seite stellen.
- d) Weitere Unterstützung erhält der Benutzer durch die Visualisierung von Datenbankmetainformation, was die Formulierung „sinnvoller“ graphischer Anfragen erleichtern soll.

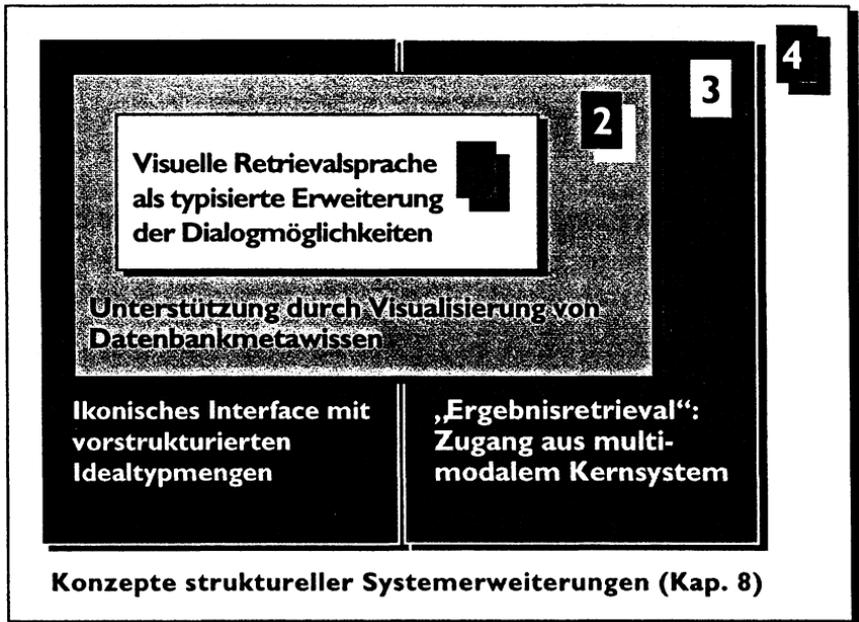


Abbildung 26: Systemstruktur von Wing-Graph

Abb. 26 verdeutlicht die globale Systemstruktur und betont die Einbettung in ein multimodales Gesamtsystem, dessen funktionale Stellung durch den Zugang über ikonische Referenzwerkstoffe und die alphanumerische Werkstoffselektion in einer Liste verfügbarer Werkstoffe ersetzt ist, d.h. *Wing-Graph* lag den Benutzern für die Evaluierung als eigenständiges Modul vor. Die Kernimplementierung als *stand-alone*-System ist Thema des vorliegenden Kapitels; in ihr sind alle wesentlichen

Elemente verwirklicht; die sich aus den Testergebnissen und prinzipiellen Überlegungen zu Wissensbasierung und Generalisierung des *Wing-Graph*-Ansatzes ergebenden Folgerungen und Systemmodifikationen finden sich in Kap. 8.

6.1 Allgemeine Aspekte der Gestaltung

Die Gestaltung einer Datenbankschnittstelle für die graphische Interaktion mit visualisierter Fakteninformation basiert auf einem Interfaceparadigma, das geeignet erscheint, die gewünschte Abfragefunktionalität in Form einer visuellen Sprache umzusetzen: Die Auswahl einer graphischen Benutzerschnittstelle als Modellierungsumgebung kann nach dem Anforderungsprofil für das System *Wing-Graph* kaum überraschen, da diese Form der Interfacegestaltung die technischen Möglichkeiten der graphischen Interaktion bereitstellt und die Ausrichtung der Benutzeroberflächengestaltung an visuellen Elementen (graphisch repräsentierte Designmetaphern etc.) eine tragfähige Grundlage für das graphische Retrieval bietet. Die Einbindung von *Wing-Graph* in das objekt-orientierte WOB-Modell bedingt zusätzliche Gestaltungsleitlinien innerhalb des graphisch-direkt-manipulativen Paradigmas.

6.1.1 Einbettung in eine graphische Benutzerschnittstelle

Zwei Eigenschaften prägen die Interaktion des Benutzers mit graphischen Benutzerschnittstellen: Die visuelle Repräsentation von Systemfunktionalität und Datengrundlage, idealerweise umgesetzt als graphische Metapher, die die Systeminterpretation stützt, und die direkt-manipulative Interaktionsform über ein Zeigeinstrument (Maus), das dem Benutzer erlaubt, die vom System graphisch angebotenen Objekte durch deiktische Gesten und visuell repräsentierte Handlungen zu markieren, zu bearbeiten, zu verschieben etc.¹

In *Wing-Graph* hat die direkte Manipulation eine zentrale Rolle inne, da sie das graphische Retrieval erst ermöglicht. Nur durch die Interaktion mit den vorgelegten visuellen Informationsdarstellungen kann der Benutzer eine graphische Suchanfrage aufbauen und einen Transfer seiner visuellen Vorstellungen in eine exakte Repräsentationsform umgehen: Ein System, das auf der Basis einer textuellen repräsentierten Abfragesprache graphische Suchbereiche zu definieren erlaubte, würde im Ergebnis zwar auch visuelle Operationen anwenden, den Benutzer aber mit genau der Übersetzungsleistung in eine textuelle und exakte Repräsentation seines Informationsbedürfnisses belasten, die durch die direkte Manipulation des Vorlageobjektes „Linien-diagramm“ vermieden werden soll. Die direkte Manipulation ist in diesem Sinne der Schlüssel zur Implementierung einer visuellen Suchsprache und damit zur Operationalisierung des visuellen Denkens in der Interaktion mit der Retrievalschnittstelle.

¹ Grundlegend zum Prinzip der direkten Manipulation SHNEIDERMAN 1982, 1983; zur Metapherbildung in graphischen Benutzerschnittstellen vgl. KRAUSE 1986, STREITZ 1988.

Der metaphorische Aspekt des graphischen Retrieval hat zwei unterschiedliche Ebenen. Zum einen stellt eine visuelle Informationsdarstellung wie das Liniendiagramm an sich bereits eine Metapher im Sinne einer Abstraktion von der Wirklichkeit dar: Die visuell dargestellten Daten stehen für einen Weltausschnitt, den sie in einer vordefinierten Form in eine abstrakte Darstellungsform übertragen und ihn so repräsentieren. Im Beispiel der Werkstoffinformation steht hinter der visuellen Darstellungsform eine bestimmte Versuchsanordnung, ein Werkstück, das einer Meßprozedur unterworfen wird und sich aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten in der durch die Daten erfaßten Weise verändert. Die Daten erschließen nur einen kleinen Anteil der tatsächlichen Vorgänge; genau diese Reduktion auf einzelne Kenngrößen und ihre anschließende Visualisierung ist beabsichtigt. Im Beispiel des Liniendiagramms soll der visuelle Verlauf der Kurve den in der Messung festgehaltenen Ausschnitt der Wirklichkeit wiedergeben und der Interpretation durch den Benutzer zugänglich machen. Insofern unterscheidet sich die Darstellungsart in „traditionellen“ Medien nicht von der in einer rechnergestützten Visualisierungsform. Auch die Funktionalität typischer Visualisierungssysteme läßt sich noch weitgehend mit traditionellen, papiergebundenen Darstellungsmedien parallelisieren. Der Benutzer kann zwar beispielsweise in einem Chart-Programm die Visualisierungsart sehr einfach wechseln, die Skalierung ändern oder weitere Datensätze zur Darstellung bringen. Dazu existiert aber jeweils auch ein „papiergebundenes“ Analogon: Der Benutzer könnte das entsprechende Diagramm, wenn auch mit erhöhtem Aufwand, selbst anfertigen. Der metaphorische Aspekt als Wirklichkeitssausschnitt bliebe in beiden Fällen derselbe. Erst das graphische Retrieval führt eine zusätzliche Komplexitätsebene ein. Durch die Anwendung visueller Operationen kann der Benutzer den Status der Vorlageinformation ändern und sie in eine Suchhypothese umwandeln. Eine zunächst als Information ausgewertete Ergebnisdarstellung wird so zu einer Suchhypothese, die keinen deklarativen Gehalt bezüglich der Datenbasis mehr besitzt bzw. einen nur *indirekten* Bezug zur Datenbasis hat, insofern sie durch Modifikation aus Vorlageinformation entstanden ist.

Die Einheit von Ergebnis- und Anfragedarstellung hat also als Konsequenz eine Statusänderung der visuellen Informationsdarstellung. Die Chance, so visuelles Denken operationalisieren zu können, impliziert die Reinterpretation eines gewohnten Darstellungsformates, der Benutzer muß sein vom Darstellungsmedium unabhängiges mentales Modell bezüglich visueller Informationsdarstellungen korrigieren bzw. erweitern. Für die Systemdarstellung folgt, daß die Umwandlung einer visuellen Informationsmenge in eine Suchanfrage im Interface deutlich herausgestellt sein muß, damit der Statuswechsel trotz einheitlicher Darstellung vermittelbar bleibt.

Für die konkrete Wahl der Gestaltungsmittel ist der Abgleich mit vorhandenen software-ergonomischen Normen erforderlich (DIN 66 324, Teil 8; ISO 9241).² Die

² Vgl. BEIMEL, SCHINDLER & WANDKE 1992.

deutsche Norm für die Dialoggestaltung (DIN 66234 Teil 8) basiert auf fünf relativ globalen Anforderungen:

- Aufgabenangemessenheit
- Selbstbeschreibungsfähigkeit
- Steuerbarkeit
- Erwartungskonformität und
- Fehlerrobustheit.³

Der Anforderungskatalog ist Grundlage des Entwurfs für die entsprechende internationale Norm *ISO 9241 part 10: Dialogue Principles*. Sie ist um die beiden Kategorien *suitability for individualization* und *suitability for learning* ergänzt. Die Aufgabenangemessenheit ist für *Wing-Graph* durch die Analyse des Anwendungsgebietes berücksichtigt, nicht zuletzt deswegen, weil die Gestaltungsidee für das graphische Retrieval aus der Beobachtung der typischen Informationsdarstellungsformate entstand. Die Fehlerrobustheit als Toleranz des Systems gegenüber suboptimaler oder falscher Bedienung durch den Benutzer ist für ein experimentelles System kein wesentliches Kriterium, da es durch die Evaluierung des Prototyps gerade herauszufinden gilt, welche Fehlerarten das neue Gestaltungsparadigma auslöst und die Fehlerrobustheit als Designleitlinie erst in weiteren, hier nicht mehr behandelten Entwicklungszyklen auf der Basis empirischer Erkenntnisse zum Tragen kommen kann. Erlernbarkeit und Selbstbeschreibungsfähigkeit sind komplementäre Kategorien, die die Gestaltung von *Wing-Graph* angesichts der vorgegebenen Evaluierungssituation beeinflusst haben, so etwa die Entscheidung, in der visuellen Sprache von *Wing-Graph* die explizite Auswahl eines graphischen Suchverfahrens an den Anfang jedes graphischen Anfragedefinitionsprozesses zu stellen. Auf die Problematik, je nach Benutzererfahrung ein unterschiedliches Systemdesign anbieten zu müssen, gehen Kap. 8.1.3 und 8.5 kurz ein (Zurücktreten der Selbstbeschreibungsfähigkeit bzw. der Erlernbarkeit zugunsten der Aufgabenangemessenheit und Steuerbarkeit bei erfahrenen Benutzern). Entscheidend für die Gestaltung eines neuartigen Retrievalwerkzeugs sind die verbleibenden Kategorien Steuerbarkeit und Erwartungskonformität; die Bedingungen für die Arbeit mit einer graphischen Retrievalschnittstelle lassen sich *ex ante* schwer bestimmen, da der Rückgriff auf bewährte Dialoggestaltungsprinzipien teilweise nicht zur Verfügung steht. Anzumerken ist, daß die ISO-Norm 9241 Teil 10 zur Dialoggestaltung als EU-Richtlinie übernommen wurde und damit geltendes Recht für die Gestaltung von Dialogsystemen ist. Daher ist der Rekurs auf die Grundprinzipien der software-ergonomischen Gestaltung nicht nur ein selbstverständliches wissenschaftliches Anliegen, sondern auch rechtlich geboten.⁴

³ Vgl. DZIDA 1985.

⁴ Diese Tatsache hat konkrete Auswirkungen: „Für alle [...] neu eingerichteten Arbeitsplätze kann ein Arbeitnehmer [...] verlangen, daß ihm eine Software zur Verfügung gestellt wird, die [...] die Kriterien Aufgabenangemessenheit, Effektivität, Effizienz und Benutzerfreund-

Unterhalb der globalen Anforderungskategorien existieren für die software-ergonomische Gestaltung einer graphischen Benutzerschnittstelle verschiedene *design guidelines*, die im Detail die Verwendung der verfügbaren Gestaltungselemente regeln,⁵ eine internationale Norm für graphische Benutzerschnittstellen befindet sich erst in einem frühen Stadium der Entwicklung.⁶ Für *Wing-Graph* besteht die Aufgabe, neben den globalen Merkmalen der Dialoggestaltung aus dem Gestaltungsinventar einer graphischen Benutzerschnittstelle (hier: *Microsoft® Windows™ 3.1*) das geeignete Subset für die Systemfunktionalität auszuwählen und entsprechend den Vorgaben der *guidelines* zu verwenden. In *MS-Windows* stehen grundsätzlich folgende Gestaltungselemente für die Interaktion zur Verfügung.

- Pop-up Menüs (*pop-up menus*)
- Dialogfenster (*dialog boxes*) und Interaktionselemente zur Auswahl und Spezifikation von Optionen:
 - Eingabefelder (*edit controls*)
 - Auswahllisten (*list boxes*)
 - Klapplisten (*combo boxes*)
 - *Checkmarks* und *radio buttons* zur Auswahl von Optionen
 - Rollbalken (*scroll bars*, nur als Navigationsinstrument in Listen)
- Ikonen (*icons*)
- Aktionstasten (*push buttons*)

Für *Wing-Graph* stand aufgrund der für den experimentellen Prototyp relativ beschränkten Funktionsbandbreite von Anfang an fest, auf Menüs zu verzichten, da sich in den *Wing-IIR*-Benutzertests herausgestellt hatte, daß sie die Transparenz eines Systems vermindern und man auf sie soweit möglich verzichten sollte.⁷ Das aus dem WOB-Modell für *Wing-Graph* übernommene Werkzeugkonzept erlaubt den Verzicht auf Menüs. Die Verwendung von Dialogfenstern und (in ihnen) der Elemente für die Spezifikation von Parametern und Optionen ist in *Wing-Graph* lediglich am Rande von Bedeutung. Wichtiger als die konforme Verwendung der vorgegebenen Gestaltungsmittel ist die Abweichung von den Vorgaben. Sie tritt in *Wing-Graph* auf drei unterschiedlichen Ebenen auf:

- a) Als Modifikation von Interaktionssyntax und Semantik vorgegebener Elemente des Schnittstellenparadigmas, in *Wing-Graph* die Standardaktivierung der ikonischen Werkzeugobjekte des WOB-Modells durch Einzelklick: Statt wie an sich in *MS-Windows* üblich, kann der Benutzer eine Werkzeugikone durch Einzelklick aktivieren und das zugehörige Fenster öffnen. Die mit der doppelten Interpretierbarkeit des Interfaces für gewöhn-

lichkeit erfüllt“ (REDTENBACHER 1994:15).

⁵ Beispielsweise SMITH & MOSIER 1986.

⁶ ISO 9241 Part 16: *Direct Manipulation Dialogues*, vgl. BEIMEL, SCHINDLER & WANDKE 1993:7: „status: preliminary work“, siehe auch HERCZEG 1994:245.

⁷ Vgl. MARX, ROPPEL & WOLFF 1991:23, KRAUSE 1994:Kap. 3.2.4.2.

liche und fortgeschrittene Benutzer eingeführte Gestaltungsleitlinie der benutzerseitigen Anpaßbarkeit (Adaptierbarkeit; *suitability for individualization*) rechtfertigt die Abweichung von der Norm auf Kosten der Erwartungskonformität.

- b) Als Einführung zusätzlicher Gestaltungselemente: In *Wing-Graph* finden vergrößerte Ikonen für die Werkstoffselektion und eine Variante der Standard-Aktionstasten Verwendung. Beide neu eingeführten Gestaltungselemente sind durch die Gestaltungsanforderungen des graphischen Retrieval gerechtfertigt und sollen die Steuerbarkeit (Auswahlschalter) bzw. Selbstbeschreibungsfähigkeit (vergrößerte Werkstoffikonen) stützen.
- c) Als Einführung eines neuen Dialogparadigmas: Die visuelle Sprache für die Manipulation von Kenngrößenkurven und die Definition graphischer Anfragen hat kein Pendant in den Gestaltungsleitlinien für das „traditionelle“ Design einer graphischen Benutzerschnittstelle. Sie nutzt aber die grundlegenden Eigenschaften des Schnittstellenparadigmas: Die direkte Manipulation elektronischer Objekte und deren ständige Visualisierung im Interface. Auch die „Normabweichung“ ist durch den Forschungsgegenstand selbst gerechtfertigt: Das graphische Retrieval verlangt nach einer visuellen Sprache für seine Implementierung. Sie weicht von den Vorgaben der *guidelines* ab, ohne die Grundprinzipien des Interfacemodells zu verletzen.

Im Zentrum steht die Darstellung der manipulierbaren graphischen Information, die die Hauptfläche des Bildschirms einnimmt. Die Gestaltung dieses Bereiches ist durch die bereits diskutierten Charakteristika graphischer Informationsdarstellungen abzuleiten (unten Kap. 6.2.2) und verwendet nicht nur die Standardelemente der Oberflächengestaltung von *MS-Windows*. Ikonen ersetzen Menüs, indem sie als eigenständige Werkzeuge neben der Graphikmanipulation die zusätzliche Systemfunktionalität gliedern und präsentieren bzw. zur Auswahl von Werkstoffen im Sinne des Ersteinstiegs in die Recherche dienen, Dialogboxen mit den typischen Interaktionselementen für die Auswahl und Spezifikation von Optionen spielen nur untergeordnet eine Rolle und Standard-Aktionstasten finden lediglich zur globalen Aktionsauslösung (Abschluß oder Abbruch des Dialogs in Dialogfenstern, Start der Datenbankrecherche) Verwendung.

6.1.2 Übernahme von Designleitlinien des multimodalen Prototyps *Wing-M2*

Die objekt-orientierte Gestaltung und die daraus folgende Modularität des multimodalen Prototyps *Wing-M2* bietet eine geeignete Grundlage, *Wing-Graph* als Recherchemodul in das Gesamtsystem strukturell einzugliedern. Zwar ist *Wing-Graph* als alleinstehendes System implementiert worden, grundlegende Aspekte der Gestaltung von *Wing-M2* fanden aber Berücksichtigung: *Wing-Graph* ist als ein Werkzeug im

Sinne des WOB-Modells interpretierbar. Der konkrete Übergang von *Wing-M2* zu *Wing-Graph* ist die Aktivierung des Transformatorwerkzeugs nach erfolgreichem Abschluß einer Recherche in *Wing-M2* (Ergebnissituation). *Wing-Graph* übernimmt von *Wing-M2* das Gestaltungsprinzip, jeweils ein Suchobjekt in den Mittelpunkt zu stellen und zusätzlich verschiedene Werkzeuge anzubieten, die es dem Benutzer erlauben, das Suchobjekt zu parametrisieren und zu modifizieren, in *Wing-Graph* das graphische Hauptfenster des Displays. Zusätzliche Systemfunktionalität steht dem Benutzer über den Zugriff auf Werkzeugikonen zur Verfügung. Öffnet der Benutzer z.B. das Werkzeug *Werkstoffliste* und wählt dort einen Werkstoff aus, so verändert die Aktion die Darstellung im zentralen Fensterbereich, das System visualisiert den Datensatz des ausgewählten Werkstoffs zur selektierten Kenngröße. Der Benutzer parametrisiert das Werkzeugobjekt *Werkstoffliste* und dieses wirkt auf den Darstellungsbereich ein. Die doppelte Interpretierbarkeit des Interfaces, wie sie *Wing-M2* realisiert, ist in *Wing-Graph* noch nicht vorhanden, der Benutzer verwendet zwar dieselbe Interaktionssyntax (d.h. Werkzeugikonen öffnen sich in Abweichung vom MS-Windows-Standard bereits auf Einzelclick hin), es steht aber keine spezielle Funktionäritäts Ebene für den fortgeschrittenen Benutzer zur Verfügung, wie *Wing-M2* sie über die Aktivierung der Werkzeugikonen mittels eines Doppelclicks anbietet. Diese zweite Schicht der Objektunktionalität ist aber auch in *Wing-Graph* prinzipiell vorgesehen.

Einige der in Kap. 1 aufgeführten Gestaltungsleitlinien von *Wing-M2* blieben in Kernimplementierung von *Wing-Graph* unberücksichtigt: *Wing-Graph* hat keine natürlichsprachliche Feedbackkomponente, die Information steht nur in *einem* Detailliertheitsniveau zur Verfügung mit der Folge, daß nur *ein* Suchobjekt modifizierbar ist und das Prinzip der informationellen Durchlässigkeit weitgehend entfällt. Lediglich das Tabellenobjekt paßt sich dem informationellen Gehalt des graphischen Hauptfensters dynamisch an. Welche Folgen die tatsächliche Eingliederung von *Wing-Graph* in *Wing-M2* für diese Designprinzipien hat, wird abschließend in Kap. 8 diskutiert und mit einem Designvorschlag konkretisiert. Ihre Umsetzung schon in der Kernimplementierung ist abdingbar, da die graphische Interaktion des Benutzers im Mittelpunkt der Untersuchungen zu *Wing-Graph* steht und die Aspekte der multimodalen Systemintegration methodisch im Hintergrund bleiben kann.

6.2 Beschreibung des Interfaces von *Wing-Graph*

Die Aspekte der Verwendung einer graphischen Benutzerschnittstelle und der Bezugnahme auf das Design des Prototyps *Wing-M2* haben die Struktur des Interfaces von *Wing-Graph* bereits in ihren Grundzügen deutlich gemacht. Im folgenden ist die Kernimplementierung des Systems als Grundlage des Benutzertests vorzustellen. Der Bildschirmaufbau von *Wing-Graph* zeigt drei wesentliche Bereiche: Das graphische Hauptfenster, die Auswahlleiste für die einzelnen Interaktionsverfahren und ikonische Zusatzwerkzeuge für die Anwahl der weiteren Systemfunktionalität (vgl. Abb. 27).

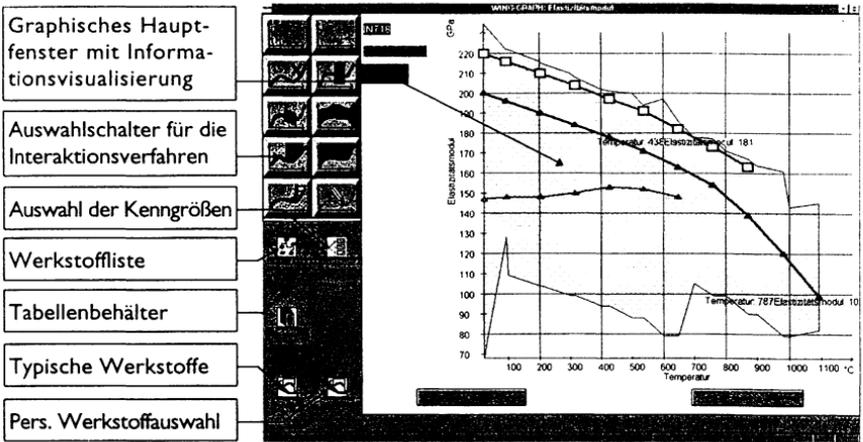


Abbildung 27: Bildschirmaufbau Wing-Graph

6.2.1 Hauptfenster von Wing-Graph

Das Hauptfenster von *Wing-Graph* visualisiert die Datensätze als Werkstoffkurven, dort wendet der Benutzer die graphischen Suchmöglichkeiten an, d.h. alle Aktionen beziehen sich auf die im graphischen Hauptfenster angezeigten Kurven. Es stellt also nicht nur vom beanspruchten Platz der Bildschirmoberfläche her gesehen den Mittelpunkt des Systems dar - alle anderen Werkzeuge und Auswahlmöglichkeiten sind stets als peripher und in Relation zum graphischen Hauptfenster zu sehen. Als *Suchobjekt* im Sinne von *Wing-M2* repräsentiert es jeweils des Zustand einer vom Benutzer aufgebauten Anfrage und verwirklicht die für *Wing-Graph* geforderte *Einheit von Anfrage- und Ergebnisdisplay*: Die tatsächlichen Datensätze als Liniendiagramme stehen gleichberechtigt neben der (möglicherweise auch auf sie bezogenen) Anfragedefinition des Benutzers.

Abb. 27 zeigt, daß das Bildschirmlayout auf das graphische Hauptfenster hin optimiert ist: Als zentralem Interaktions- und Interpretationsort ist ihm der Hauptteil der Arbeitsfläche (*client area*) von *Wing-Graph* zugewiesen. Die Anordnung der Auswahlleiste für die Interaktionsverfahren und der zusätzlichen ikonischen Werkzeuge links vom Hauptfenster soll der natürlichen Arbeitsrichtung von links nach rechts gerecht werden: In den meisten Fällen muß der Benutzer zunächst entweder ein Interaktionsverfahren auswählen oder eines der Zusatzwerkzeuge bedienen, bevor er mit der graphischen Informationsdarstellung selbst interagiert. In der Kernimplementierung von *Wing-Graph* steht nur ein Manipulationsfenster zu Verfügung, auf das sich alle Benutzeraktionen beziehen; weiterführende Überlegungen könnten aber zur Implementierung des graphischen Hauptfensters als *multiple document interface*-Fenster führen, um die simultane Darstellung und Recherche mehrerer Kenngrößen zu erlauben.

6.2.1.1 Visualisierung der Werkstoffkurven

Nach dem in Kap. 5 vorgestellten Analyseschema von KOSSLYN besteht eine visuelle Informationsdarstellung aus den vier Bestandteilen Hintergrund, Rahmen, Bezeichner und *specifier*. Den Rahmen der Darstellung bildet ein kartesisches Koordinatensystem, bei dem aufgrund der Datenstruktur lediglich der erste Quadrant dargestellt ist (Werte der X- wie der Y-Achse liegen im positiven Bereich).⁸ Skaleneinteilung und Skalenumfang ergeben sich für das Achsensystem aus einer Analyse der Datenbasis: Beim Start von *Wing-Graph* bzw. bei jedem Wechsel der Kenngröße ermittelt das System für die gewählte Kenngröße das Werteminimum und -maximum und legt so (zuzüglich eines darstellungsbedingten Spielraums) den Ursprung der Achsen und deren Umfang fest. Der dargestellte Datenraum ist mit dem Umfang der Datenbasis identisch, was bedeutet, daß der logische Nullpunkt und der Ursprung des Koordinatensystems voneinander abweichen können: Für den Elastizitätsmodul liegt die niedrigste in der Datenbasis vorhandene Messung bei 67 GPa, das System legt den Ursprung der Y-Achse in diesem Fall auf 60 GPa fest. So wird der physikalische Darstellungsraum des Displays optimal für die Bandbreite der Daten genutzt. Die Skaleneinteilung legt das System über eine Fallunterscheidung fest, die gewährleistet, daß eine adäquate Zahl beschrifteter Achsenteilungen vorhanden ist. Zusätzlich zieht das System Hilfsachsen (auf der X-Achse bei der unabhängigen Variablen Temperatur in der Regel im 100°C-Abstand), die für an genauen Werten orientierte Anfragen eine Orientierungshilfe geben und die Interpretation der visualisierten Daten stützen sollen. Die Achsen sind in der üblichen Weise beschriftet, d.h. die Namen der unabhängigen und der abhängigen Variablen sind unter der X- bzw. neben der Y-Achse wiedergegeben, die zugehörigen Maßeinheiten jeweils am Ende der Achsen.

Um bei an exakten Werteausprägungen orientierten Suchtypen die Positionierung zu erleichtern, wird unter dem Fadenkreuz des Mauscurors dynamisch seine Position im Koordinatensystem angezeigt, wobei die Achsenbezeichner vor dem aktuellen Wert stehen (z.B. „Temperatur: 567\n Elastizitätsmodul: 142“).

Die Werkstoffkurven selbst erstellt das System aus den einzelnen Punkten eines Datensatzes durch lineare Interpolation, d.h. es entsteht ein Polygonzug: Die einzelnen Datenpunkte sind durch Geradenabschnitte miteinander verbunden. Obwohl es auf der Hand liegt, daß eine optimierte visuelle Gestalt der Kurven, die den werkstoffkundlichen Gegebenheiten besser entspricht, mit Hilfe einer Polynominterpolation oder eines (kubischen) Splines zu erzielen wäre,⁹ liegt der Darstellung der Daten

⁸ Für andere Datenarten könnte es notwendig sein, die weiteren Quadranten ebenfalls darzustellen, für Werkstoffdaten und den Generalisierungsexkurs mit Wirtschaftsdaten in Kap. 8.2 war die Beschränkung ausreichend.

⁹ Die algorithmisch relativ einfache Implementierung einer kubischen Splinefunktion zur Dateninterpolation bzw. Kurvenglättung ist z.B. bei SEDGEWICK 1992:621ff. oder MEYBERG & VACHENAUER 1993:135ff. beschrieben. Mathematische Funktionsbibliotheken

in *Wing-Graph* ein lineares Modell zugrunde. Die visuelle Homogenität der Datensätze und ihre einheitlichen Verlaufstendenzen, die im Status der Daten als validierte Prospekt- und Normdaten ohne „Ausreißer“ begründet sind, auf der einen Seite, die Notwendigkeit eines einfachen und schnellen Darstellungsalgorithmus für die Kurvenmanipulation auf der anderen, rechtfertigen die Reduktion auf das einfachste Modell der Interpolation. Die tatsächlichen Meßpunkte sind auf dem Polygonzug besonders gekennzeichnet, um dem Benutzer zu verdeutlichen, wo die Stützpunkte der Messung liegen und wie umfangreich die Messung ist. Er kann je eine Werkstoffkurve durch Einzelclick auf ihre Legende oder den Polygonzug selbst markieren und damit visuell besonders hervorheben. Die Markierung deutet an, daß die Kurve den Bezugsfokus graphischer Operationen erhält und ist durch visuelle Hervorhebung der Datenpunkte realisiert. An ihnen kann der Benutzer gegebenenfalls seine visuellen Operationen ansetzen, um die Kurve z.B. durch Verschieben eines Datenpunktes zu modifizieren. Die Bezeichner der einzelnen *specifier*, d.h. die Werkstoffnamen, sind als Legende links vom Koordinatensystem aufgetragen und vom Benutzer zur Markierung einer Kurve aktivierbar. Die Legende der markierten Kurve ist durch blaue Farbumrandung hervorgehoben.

Die Kenngrößenkurven der Werkstoffdatenbank haben eine visuelle Struktur, die sich vollständig und übersichtlich im Hauptfenster von *Wing-Graph* darstellen lassen. Auf zusätzliche Navigationselemente, etwa Rollbalken im Hauptfenster konnte man in *Wing-Graph* daher für die Kernimplementierung verzichten. Umfangreichere Datensätze, z.B. sehr lange Zeitreihen, die jeweils abschnittsweise vom Benutzer zu interpretieren sind, könnten eine diesbezügliche Erweiterung erforderlich machen; das Design von *Wing-Graph* würde sich dadurch nicht grundsätzlich verändern.

Dringlicher als die Navigation in umfangreichen Datensätzen erschien die Möglichkeit der Einschränkung des visualisierten Datenausschnitts. Da bei den Werkstoffdaten teilweise Meßreihen in relativ schmalen Wertebereichen gehäuft auftreten war es sinnvoll, eine Möglichkeit der Ausschnittsvisualisierung anzubieten. Der Benutzer kann mit der rechten Maustaste durch *click & drag* den Bereich des Koordinatensystems „einfangen“, den er vergrößert haben will (*zoom-* oder *Lupenfunktion*). Das System berechnet die Achsenskalierung für diesen Ausschnitt neu und beschränkt die Darstellung von Kurven auf den gewählten Bereich. Die Visualisierung von Metainformation (s.u.) entfällt dann allerdings. Durch weiteres einmaliges Betätigen der rechten Maustaste erfolgt die Rückschaltung auf Volldarstellung.¹⁰

(z.B. *Maple V*[®] oder *Mathematica*[®]) stellen derartige Interpolationsmöglichkeiten zur Verfügung und könnten als Subroutinen genutzt werden.

¹⁰ Für die Generalisierung von *Wing-Graph* anhand von Wirtschaftsdaten (Kap. 8.2) war diese Funktionalität noch weitaus wichtiger, da das Wertespektrum dort wesentlich umfangreicher ist (mehrere Zehnerpotenzen) und ebenfalls eine starke lokale Häufung der Datensätze auftritt. Eine Alternative wäre die logarithmische Skalierung des Koordinatensystems.

6.2.1.2 Darstellung von Metainformation

Die Analyse graphischer Darstellungen in Kap. 5 hat gezeigt, daß sich grundsätzlich der Hintergrund der Visualisierung zur Vermittlung zusätzlicher Information heranziehen läßt. In der Kernimplementierung ist dieses Prinzip in einer einfachen Visualisierung von Datenbank-*Metainformation* realisiert. Darunter ist aus der Datengrundlage abgeleitete Information zu verstehen, die nicht unmittelbar den informationellen Zielstrukturen typischer Aufgabenstellungen entspricht, sondern als Metainformation Aussagen über die Datenbasis als Gesamtheit zuläßt.

Um solche zusätzlichen Daten zu ermitteln, benötigt das System keine eigene Wissenskomponente; lediglich in der prozeduralen Errechnung der Metainformation steckt indirekt Wissen über Auswahl der Daten und Aufbau der *Metainformations-Visualisierung*. Innerhalb des Koordinatensystems des graphischen Hauptfensters bietet *Wing-Graph* Informationen über den Gesamtdatenbestand zur aktiven Kenngröße an. Bei Start von *Wing-Graph* bzw. bei Neuwahl eines Kennwertes werden aus der Datenbank die Minima- und Maximawerte aller Stützpunkte der Datenbank errechnet und nach einer einfachen Glättungsoperation (Abflachen großer Einschnitte zwischen disparaten Extremwerten und Ausschluß lediglich vereinzelt auftretender Stützpunkte) als hellblaue Fläche im Hintergrund angezeigt. Damit ist der visuelle Suchraum, in dem Treffer in der Datenbank möglich sind, auf einfache Weise verdeutlicht. Die für den experimentellen Prototypen *Wing-Graph* implementierte „online“-Errechnung der Visualisierungsgrenzen ist bei größeren Datenbeständen sicher nicht zweckmäßig. Der entsprechende Algorithmus, dessen Laufzeitverhalten bei der momentanen Datenbasis noch in tolerablen Grenzen liegt, wäre von der Systembenutzung zu entkoppeln, die Datenbestandsinformation als Bildinformation gesondert abzuspeichern und nur bei größeren Änderungen in der Datenbasis aufzufrischen.

Die Darstellung von *Metainformation* hat zweierlei Funktion: Sie bietet Information über den Datenbestand, die als solche schon ein Informationsbedürfnis des Benutzers befriedigen kann. Wichtiger noch ist ihre Rolle als visuelles Hilfsmittel bei der Definition graphischer Anfragen. Sie kann den graphischen Anfrageprozeß stützen und vermeiden, daß der Benutzer von vorneherein in Wertebereichen recherchiert, die in der Datenbank nicht belegt sind. Im günstigsten Fall ist der Datenbestand - im Werkstoffbereich letztlich bedingt durch die gemessenen physikalischen Gesetzmäßigkeiten - so homogen, daß seine Gesamtvisualisierung zusätzlich Aufschluß gibt über die ungefähre Verlaufsform der Kurven. Dieser Zusatzeffekt ist von Kenngröße zu Kenngröße sehr unterschiedlich ausgeprägt, wie Abb. 28 mit den Datenbestandsvisualisierungen für den Elastizitätsmodul bzw. die Zeitstandfestigkeit bei Laufzeit von 100h zeigt.

Die dargestellte *Metainformation* ist insofern „passiv“ und als konstantes Display statisch, als das System bei der Bewertung einer Anfrage nicht mehr darauf zurückgreift, ihre Interpretation und die daraus zu ziehenden Folgerungen verbleiben

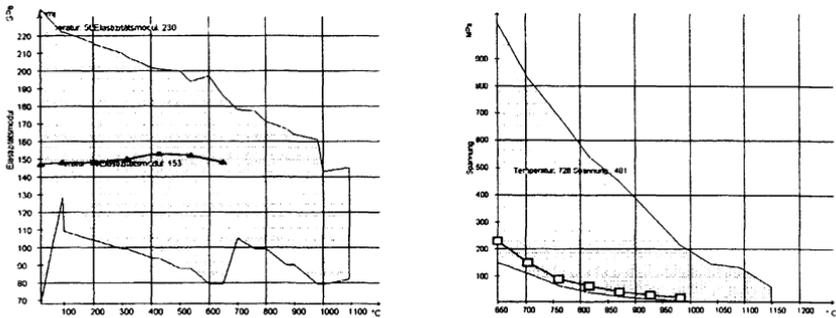


Abbildung 28: Unterschiedliche Datenbestandsvisualisierungen

vollständig auf der Seite des Benutzers. Es ist somit Teil der Gestaltungsstrategie von *Wing-Graph*, durch eine möglichst weite Ausschöpfung der ohnehin zur Verfügung stehenden Datenbasis als Wissensquelle den visuellen Interpretations- und Anfrageprozeß des Benutzers zu stützen, ohne notwendigerweise Systemintelligenz im engeren Sinn anwenden zu müssen: Der Benutzer bleibt „Herr des Verfahrens“, der Anfrageprozeß transparent und das System versucht die dem Benutzer gestellte Aufgabe durch zusätzliche Hilfsmittel zu vereinfachen.¹¹

6.2.1.3 Steuerung der Retrievalzyklen

Um den zyklischen Prozeß des Retrieval in *Wing-Graph* in Gang zu setzen, bedarf es einer globalen Aktionssteuerung, die den Suchprozeß startet bzw. den Anfrageaufbau unterbricht. Gemäß dem Prinzip des WOB-Modells, nur abstrakt bezeichnete Aktionstasten zu verwenden, sind im unteren Teil des graphischen Hauptfensters die Aktionstasten *OK* für den Recherchestart und *Abbruch* für die Beseitigung einer graphischen Anfrage und der Deselektion des gewählten Interaktionsverfahrens angebracht.¹² Die globale Suchsteuerungslogik genügt, um ein zyklisches Retrieval zu ermöglichen und bildet die Verbindungsstelle des Systems zur Datenbank. Wählt der Benutzer die *OK*-Taste, so ist sein graphischer Anfrageaufbau beendet, das System wertet sie aus und visualisiert gegebenenfalls die bezüglich der Anfrage gefundenen Datensätze im gleichen Display: Die Einheit von Anfrage- und Ergebnisdisplay ist hergestellt, die Zyklenstrukturierung zwischen Benutzerhandlung und systemseitiger Anfrageauswertung erfolgt durch die Rechercheauslösung des Benutzers.

¹¹ Weitere Beispiele der Visualisierung von Metawissen, die in der Kernimplementierung nicht mehr realisiert sind, in Kap. 8.1.5.

¹² Die Beschränkung auf Aktionstasten mit abstrakter Semantik (*OK - Abbruch*) geht auf die negative Bewertung des multimodalen Prototyps *Wing-M1* zurück, wo die kognitive Suchtypenstruktur durch beschriftete Aktionstasten als Recherchezugang repräsentiert war, vgl. oben Kap. 1.3.1.3.1 und KRAUSE 1994:Kap. 3.2.4.

6.2.1.4 Verwendung von Farben und Mustern

Farbe ist für die graphische Aufbereitung größerer Datenmengen und bei den verfügbaren technischen Voraussetzungen ein unerläßliches Element der Differenzierung von Information. Dabei ist darauf zu achten, nicht zu viele verschiedene Farben zu verwenden, da sie vom Benutzer nicht mehr korrekt semantisch zugeordnet werden könnten (vgl. MURCH 1986:26). In *Wing-Graph* treten folgende Problemkreise auf:

1. Differenzierung der Information im graphischen Hauptfenster
 - a) Unterscheidung zwischen präsentierter Information und graphischem Suchkonstrukt, d.h. Hervorhebung der der Suche zugeordneten Information gegenüber der „realen“ Information aus der Datenbank,
 - b) Differenzierung einzelner, aus der Datenbank selektierter Kurven untereinander,
 - c) Abheben der jeweils markierten Kurve, d.h. der Kurve, die den „Eingabefokus“ des Benutzers trägt und
 - d) Visualisierung von Zusatzinformation.
2. Informationsstrukturierung in der (optionalen) Datentabelle.

Im Rahmen des graphischen Retrieval und seiner Einheit von Anfrage und Ergebnispräsentation muß bei der Auswahl der Farben der Hauptaspekt auf einer deutlichen Trennung von Such- und Ergebnisinformation liegen. Der Benutzer soll daher in seinem mentalen Modell eine einheitliche Farbe mit den Suchvorgängen in *Wing-Graph* verbinden, die Farbe für ihn Signalwirkung besitzen. *Rot* erscheint aus farbpsychologischen Gründen besonders geeignet und erhält eine Farbleitrolle für den Suchprozeß.¹³

Bei einer optimalen Gestaltung müßte es gelingen, der zur Suchinformation *komplementären* Ergebnisinformation ebenfalls eine Leitfarbe zu geben (etwa durch Verwendung *einer* Farbe in Abstufungen); eine solche Abstufung könnte weitere Information transportieren, etwa zur Datenqualität (der am besten passende Werkstoff bzw. seine Kennwertkurve bekommt die höchste Farbintensität zugewiesen etc.). Dies steht partiell im Widerspruch zur Anforderung 1 b), da bei Verwendung nur einer Farbe (in Abstufungen) die Unterscheidung der einzelnen Ergebnisisems untereinander erschwert würde.¹⁴ Daher bekommt die dargestellte Ergebnisinformation keine eigene Leitkodierung zugewiesen, unterscheidet sich also „nur negativ“ von der Leitfarbe für die Suchformulierung. Die Widerspiegelung der Dichotomie von Anfrage und Ergebnis durch Farbwahl läßt sich aber für die visuelle Gestaltung der Auswahlshalter der einzelnen Interaktionsverfahren umsetzen: Blaue Kurven repräsentieren Vorlageinformation, die Symbole der einzelnen Interaktionsverfahren

¹³ "Traditionally, the warm (low wavelength) colors are used to signify action or the requirement of a response" (MURCH 1986:27), vgl. auch HERCZEG 1994:74.

¹⁴ Hinzu treten hardware-bedingte Schwierigkeiten, z.B. die bei manchen Displays geringe Zahl darstellbarer Farben.

als Repräsentation des graphischen Anfrageaufbaus sind in rot gestaltet. Da jede Suchsituation *abstrakt* visualisiert ist, kann man die Leitfarben Blau und Rot einsetzen.

Die visualisierte Hintergrundinformation (Datenbankmetainformation) hat ebenfalls die Leitfarbe Blau, die als kalte Farbe den Fokus der Aufmerksamkeit nicht zu stark an sich zieht. Sie hat eine geringe Grundintensität, da sie den Anfrageprozeß stützen, aber nicht von den Werkstoffkurven als „eigentlicher“ Information ablenken soll.

Die Differenzierungsaufgabe 1c), d.h. die Heraushebung der markierten Kurve ist nicht durch den Einsatz einer Leitfarbe gelöst, sondern das System greift auf das in GUIs übliche Markierungskonzept zurück, da Erfordernisse der Interaktion mit der Darstellung hinzukommen (*click & drag* von Datenpunkten mit der Maus, Orientierung an den Datenpunkten für kurvenbezogene Suchbereiche). Eine markierte Kurve ist an ihren Datenpunkten durch ein besonderes visuelles Muster gekennzeichnet: Schwarz umrandete weiße Rechtecke, die deutlich größer sind als die eingefärbten Datenpunktmarkierungen der unmarkierten Kurven.

In einem weitergehenden Ansatz, der in *Wing-Graph* keine Berücksichtigung findet, könnten auch andere Informationstypen durch Farbsymbolik gestützt werden: Vergabe von Leitfarben für einzelne Werkstoffgruppen oder für unterschiedliche Datenarten.¹⁵ Es ist allerdings zu vermuten, daß bei einer solchen Feindifferenzierung ihr Grenznutzen durch die zusätzliche mentale Belastung des Benutzers mit Farbinformation schon überschritten ist, d.h. es würde um so wahrscheinlicher, daß der Benutzer die Farbdifferenzierung zwar wahrnimmt, die semantische Zuordnung der Farbinformation aber nicht mehr eindeutig vornehmen kann, was die Dichotomie *Suche - Ergebnis* in der Farbdarstellung abschwächen könnte.

Farbverwendung kann auch die tabellarische Datendarstellung unterstützen. Der Benutzer muß numerische und graphische Information zwischen graphischem Hauptfenster und Tabellendarstellung zuordnen können: Jeder Tabelle am Bildschirm von *Wing-Graph* entspricht eine Kurve im graphischen Hauptfenster, eine Interfacekonfiguration, in der nur eine tabellarische, aber keine graphische Darstellung erfolgt, ist zwar prinzipiell möglich, für die Entwicklungsziele von *Wing-Graph* aber irrelevant und bereits in *Wing-M2* abgedeckt. Zusätzlich tritt bei Darstellung mehrerer Kurven in tabellarischer Form das allgemeine Darstellungsproblem für umfangreiche Datenmengen auf: Die Daten können in der Regel wegen möglicherweise abweichender Referenzmeßwerte (unterschiedliche Temperaturangaben) nicht zusammen in einer Tabelle präsentiert werden; die unterschiedlichen Ansätze früherer *Wing-IIR*-Prototypen bis hin zu *Wing-M2* zeigen, daß eine optimale Lösung des Problems kaum zu erreichen ist. Der Darstellungskompromiß von *Wing-M2* greift auf das Mittel der Aufteilung der Information nach einzelnen Werkstoffen bzw. Datensätzen zurück. Um allerdings die direkte Zuordnung von Kurve und Tabelle zu ermöglichen, verwendet *Wing-Graph* die Farbgebung der

¹⁵ Beispielsweise unterschiedliche Farbgebung für Soll- und Istwerte.

Kurve als Textfarbe der Tabellendarstellung, d.h. die Daten sind in der Farbe der Kurve dargestellt. Damit ist neben der Zuordnung über Kurvenlegende und Tabellenüberschrift auch der direkte optische Wahrnehmungskanal genutzt. Für die Ikonen der Werkstoffauswahlbehälter ist Farbe als Unterscheidungskriterium irrelevant, da jede Werkstoffkurve in ihrer Ikonendarstellung deutlich von den anderen unterschieden ist und kein Differenzierungsproblem auftritt.

Die Verwendung von Farbsymbolik hat zwei wesentliche Aufgaben: Sie differenziert Information zum einen nach sachlichen Kriterien (Unterscheidung verschiedener Werkstoffe), zum anderen trennt sie Such- und Ergebnisinformation. Das ist der Versuch, für ein Interface, das in seinem Darstellungskonzept die vereinheitlichte Darstellung von Ergebnis und Anfrage vorsieht, die Probleme zu bewältigen, die sich aus eben dieser *unifizierenden* Darstellung ergeben.

6.2.2 Auswahlleiste der Interaktionsverfahren

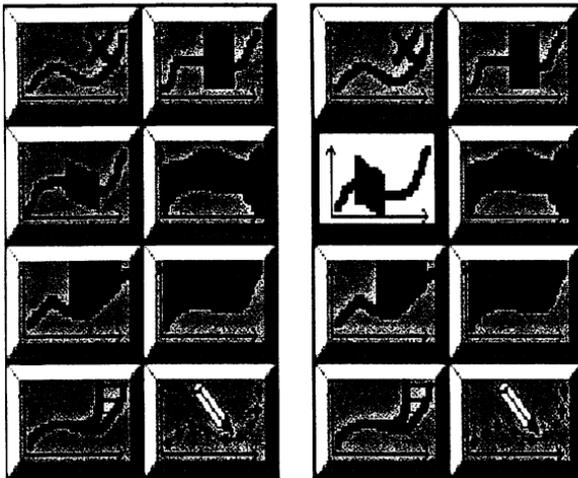


Abbildung 29: Auswahlleiste der Interaktionsverfahren
(unmarkiert und mit selektiertem Suchverfahren)

Der zweite wesentliche Bereich des Interface umfaßt die Auswahl der einzelnen graphischen Interaktionsverfahren, die dem Benutzer zur Recherche in *Wing-Graph* zur Verfügung stehen. Sie sind in einer Schalterleiste links vom Hauptfenster angeordnet.

Bei ihnen handelt es sich um visuelle Schaltflächen, die von der Standardfunktionalität der *MS-Windows*-Aktionstasten abweichen: Nach Anwahl eines Interaktionsverfahrens ändert der Schalter sein visuelles Erscheinungsbild, verbleibt

in gedrücktem Zustand mit roter Umrandung und weißem Hintergrund und hebt sich so deutlich von den anderen Auswahlaltern ab. Die Markierung bleibt bestehen, bis der Benutzer seine Anfrage abbricht, ein anderes Interaktionsverfahren wählt oder eine Suche mit *OK* startet und erfolgreich (d.h. mit einem positiven Ergebnis) abschließt. Hat eine graphische Anfrage keinen Erfolg, so bleibt die Verfahrensauswahl erhalten und der Benutzer kann ohne erneute Auswahl eine weitere graphische Anfrage gleichen Typs definieren. Dahinter steht die Überlegung, daß im Falle eines Recherchemißerfolgs in der Regel ein weiterer Anfragezyklus mit dem glei-

chen Verfahren erfolgt und daher für die fortgesetzte Aktivierung des Interaktionsverfahrens eine große Interpretationswahrscheinlichkeit besteht. Aus der Gesamtheit der Auswahlshalter kann immer nur ein Element in den markierten Zustand versetzt werden, ein Umwählen deaktiviert den markierten Schalter und löscht eine zu ihm schon bestehende graphische Anfragekonstruktion. Die Schalter sind nicht textuell, sondern durch Symbole unterschieden: Zu jedem Interaktionsverfahren gibt das System eine abstrakte bildliche Darstellung, die die einzelnen Schalter differenziert.¹⁶ Dabei hat jedes Symbol einen einheitlichen visuellen Rahmen, der aus der Andeutung des Achsensystems und einer (blauen) Vorlagekurve besteht. Die graphischen Suchkonstrukte sind rot gezeichnet. Auf eine Beschriftung verzichtet *Wing-Graph*, da in früheren Tests zu *Wing-Prototypen* die textuelle Differenzierung von Aktionstasten zu zahlreichen Bedienungsfehlern und Fehlvorstellungen der Benutzer führte und außerdem anzunehmen ist, daß für das graphische Retrieval eine visuelle Repräsentation der Suchverfahren leistungsfähiger ist als eine textuelle Beschreibung.

Die Semantik der Auswahlshalter unterscheidet sich grundlegend von der traditionellen Aktionstasten. Mit der Anwahl eines Interaktionsverfahrens löst der Benutzer keine Aktion aus, sondern parametrisiert sein Interaktionswerkzeug (d.h. die Maus als Zeigeinstrument) für die nachfolgende Definition einer Anfrage. Die Auswahlleiste hat also eine Doppelfunktion: Auswahl des Interaktionsverfahrens und Parametrisierung des Handlungswerkzeugs einerseits, visuelle Statusinformation über den aktiven graphischen Operator andererseits.

Die Verwendung einer Auswahlleiste für die verschiedenen Interaktionsverfahren determiniert die Syntax der *Wing-Graph* zugrundegelegten visuellen Sprache: Der Benutzer muß sich explizit entscheiden, welches Suchverfahren er anwenden will und bestimmt (parametrisiert) die Wirkung seines Interaktionsinstrumentes eindeutig, bevor er die Anfrage selbst definiert. Der graphische Retrievalzyklus erhält dadurch eine klare Struktur: Zunächst muß der Benutzer entscheiden, welches der angebotenen Interaktionsverfahren für sein Informationsbedürfnis angesichts der vom System bereits dargebotenen Werkstoffkurven am besten geeignet erscheint und es auswählen. Das System stellt eine eindeutige Semantik für das selektierte Interaktionsverfahren bereit, der Benutzer kann eine Anfrage definieren und den Retrievalprozeß starten.

Diese Handlungsstruktur steht in Analogie zu dem Interaktionsablauf typischer Graphikprogramme, wo der Benutzer ebenfalls aus einer Palette ein bestimmtes Element (z.B. ein Rechteck) selektiert, damit die Semantik der Interaktion determiniert und schließlich zur eigentlichen Gestaltungshandlung kommt. Sie ist jedoch nicht zwingend: Gerade die bereits mehrfach erwähnte Gestaltung des multimodalen Prototyps *Wing-M1*, in dem die explizite Auswahl eines bestimmten Suchtyps am Anfang der Recherche stand, hatte sich als für den Benutzer belastend herausge-

¹⁶ Zu den Symbolen im einzelnen bei der Diskussion der graphischen Suchtypen.

stellt. Die Verwendung eines Verfahrens, das in ähnlicher Weise die explizite Auswahl eines Suchverfahrens verlangt, bedarf daher besonderer Rechtfertigung. Die visuelle Gestaltung der Auswahlhalter gibt eine exemplarische Darstellung der graphischen Anfrage wieder, d.h. schon in der Darstellung der Suchtypologie kann der Benutzer die Art des graphischen Suchkonstruktes erkennen und muß nicht (wie in *Wing-M1*) eine abstrakte textuelle Umschreibung eines Suchtyps (z.B. „Suche mit Eigenschaftsprofil“) auf sein Informationsbedürfnis abbilden. Die dahinter liegende Hypothese ist, daß die unmittelbare visuelle Analogie zwischen Gestaltung der Auswahlhalter und dem eigentlichen graphischen Suchkonstrukt leistungsfähiger ist als die Zuordnung kognitiver Suchtypen über eine textuelle Repräsentation. Das entscheidende Argument für die in *Wing-Graph* gewählte Struktur der Recherchesyntax ergibt sich aus der Betrachtung der möglichen Gestaltungsalternative im Zusammenhang mit der von vorneherein vorgegebenen Testsituation: Eine intelligenter und leistungsfähigere Alternativstruktur für die Auswahl und Anwendung des Rechercheverfahrens ist die systemseitige Entscheidung über das gewünschte Suchverfahren unmittelbar aus dem Interaktionskontext heraus nach dem Prinzip der dynamischen systemseitigen Anpassung des WOB-Modells. Ein solches Verfahren würde aber für Erstbenutzer die Systemtransparenz herabsetzen. Anders als bei der Interaktion in *Wing-M2* ist die Semantik einer visuellen Recherchesyntax weniger offensichtlich. Gibt der Benutzer in *Wing-M2* einen Werkstoffnamen ein, so läßt sich relativ sicher bestimmen, daß er zu ihm Daten selektieren will und das System kann ihm weitere Parametrisierungsmöglichkeiten anbieten. Eine beliebige deiktische Geste im graphischen Manipulationsfenster hat dagegen nicht von vorneherein eine aus sich selbst heraus erkennbare Semantik, d.h. der Benutzer muß lernen, daß beispielsweise ein einzelner *click* ins Hauptfenster die Definition eines Suchpunktes bedeutet.

Für die Evaluierung von *Wing-Graph* wie für alle anderen im Rahmen von *Wing-IIR* untersuchten Systemprototypen war durch die kurzen Entwicklungszyklen des *rapid prototyping* bedingt, daß die Testsituation einer Erstbenutzung entsprach. Daher war die explizite Verfahrensauswahl vorzuziehen. Hinzu kommt, daß die in der Systemschulung vor dem Benutzertest eingeführte Suchtypologie in der visuellen Repräsentation der einzelnen Suchverfahren eine geeignete Gedächtnisstütze findet, d.h. der Benutzer kann sein erlerntes Wissen über die angebotenen Suchverfahren anhand der die einzelnen Recherchesituationen repräsentierenden Auswahlhalter aktivieren. Beide Gestaltungsalternativen haben offensichtliche Vorzüge; in Kap. 8.1.3 findet sich ein teilrealisierter Gestaltungsvorschlag, der aktionsinhärente und explizite Suchtypenwahl gemeinsam anbietet.

6.2.3 Ikonische Zusatzwerkzeuge



Abbildung 30: Ikonische Zusatzobjekte

Neben dem graphischen Hauptfenster und der Auswahlleiste der Interaktionsverfahren bilden ikonische Zusatzwerkzeuge den dritten Bereich des Interfaces (Abb. 30). Sie unterstützen den Benutzer bei Queryaufbau und -interpretation. Ihrer akessorischen Natur nach sind sie einheitlich als Ikonen präsentiert und können vom Benutzer in Analogie zur Interaktionssyntax von *Wing-M2* durch einfachen *click* aktiviert, d.h. geöffnet werden.

Sie entsprechen strukturell den Werkzeugobjekten des WOB-Modells und sind zum Teil von ihrer Bezeichnung und visuellen Gestaltung her an *Wing-M2* angepaßt.¹⁷ Mit Ausnahme der Werkstoffliste öffnen sie sich nur auf explizite Anwahl durch den Benutzer.

6.2.3.1 Werkstoffauswahlliste

Da nicht davon auszugehen ist, daß eine umfangreiche Trefferliste bei der Kurven- (bzw. Werkstoff)suche sofort graphisch auszugeben ist, muß der Benutzer eine Möglichkeit zur Nachbearbeitung umfangreicher Suchergebnisse haben. Sie erlaubt dem Benutzer als Zwischenschritt von der graphischen Anfrageformulierung zur graphischen Ausgabe des Ergebnisses, die gewünschte Liste zu reduzieren bzw. durch Listenauswahl genau zu bestimmen, welche Kurven zu zeichnen sind. Die Grenze, ab der das System die Ergebnisse nicht unmittelbar visualisiert, sondern in der Liste präsentiert, ist auf fünfzehn Werkstoffe bzw. Werkstoffkurven gesetzt. In der Kernimplementierung erscheinen die Namen der zur Anfrage gefundenen Werkstoffe als alphabetisch sortierte Liste. Das Ordnungskriterium ist unbefriedigend, da es nichts über das möglicherweise unterschiedliche Verhältnis von visueller Anfrage und Treffer aussagt. Die Darstellung ließe sich durch Zusatzinformation (z.B. Wert der abhängigen Variablen im Datensatz bei der höchsten Ausprägung der unabhängigen Variablen innerhalb des Suchbereichs¹⁸) ergänzen und danach sortieren. Die Werkstoffliste hat als einzige unter den ikonischen Zusatzwerkzeugen eine Doppelfunktion: Wenn sie nicht systemgesteuert als Ergebnispräsentation erscheint, sondern der Benutzer sie explizit öffnet, enthält sie die Bezeichner aller in der Da-

¹⁷ Vgl. o. Abb. 4 und 5 in Kap. 1.3.1.3.2.

¹⁸ Soweit man wie bei Werkstoffinformation unterstellen kann, daß die Ordnung der unabhängigen Variablen gerichtet ist, sich also die Benutzer bei einem Temperaturbereich eher an den hohen als an den niedrigen Temperaturen orientieren.

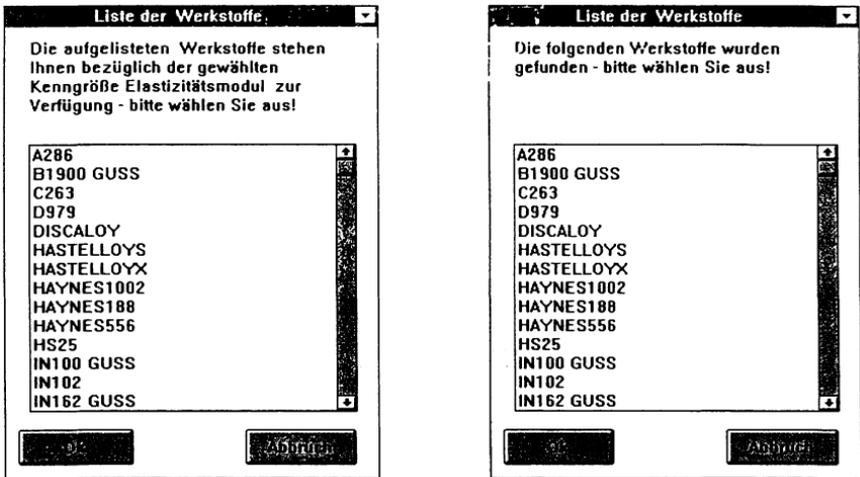


Abbildung 31: Werkstoffliste als Trefferdarstellung und als Liste aller verfügbaren Werkstoffe

tenbasis bezüglich des aktiven Kennwertes vorhandenen Werkstoffe. Der Benutzer kann ebenfalls bis zu fünfzehn von ihnen für die Visualisierung auswählen. Damit ist ein zusätzliches Einstiegswerkzeug in den Recherchezyklus gegeben: Durch die Auswahl einer Werkstoffbezeichnung aus der Liste kann man die Startsituation des Ergebnisretrieval selbst herbeiführen. Die Funktionalität entspricht den Suchtypen „Einzelsuche“ bzw. „Werkstoffvergleich“ in *Wing-M2*: Ausgehend von der Auswahl eines oder mehrerer Werkstoffbezeichner wird nach Information bezüglich des gewählten Kennwertes recherchiert. In *Wing-Graph* sind allerdings in der Werkstoffliste nicht *alle* Werkstoffe der Datenbasis insgesamt, sondern nur die bezüglich der aktiven Kenngröße mit einem Datensatz vertretenen enthalten. Es besteht keine Möglichkeit, eine vollständige Übersicht über den Gesamtbestand der Werkstoffe in der Datenbasis anzuzeigen.

Das Öffnen der Werkstoffliste ist mit einer Datenbankrecherche verbunden. Sie ist unabhängig vom inhaltlichen Aspekt der abgebildeten Datenrelation gestaltet und beinhaltet immer den Zugangsschlüssel zu den Meßwertreihen, also im Beispiel der Werkstoffinformation die Werkstoffnamen bzw. -spezifikationen. Das System füllt sie dynamisch, d.h. es selektiert die Daten erst im Augenblick der Aktivierung des Werkzeugs. So ist gewährleistet, daß die Anzeige dem tatsächlichen Datenbestand entspricht und das System selbst kein Wissen über den Inhalt der Datengrundlage verwalten muß, d.h. die Interfacegestaltung ist in dieser Hinsicht von der konkreten Datengrundlage abstrahiert. Auf die Abbildung der komplexen Beziehungen zwischen den verschiedenen Bezeichnerkategorien der MTU-Datenbank konnte *Wing-Graph* verzichten, da dieses Problemfeld für das graphische Retrieval keine Rolle spielt und die Funktionalität im analogen Werkzeugobjekt von *Wing-M2* vorhanden ist.

Die Doppelfunktion der Werkstoffliste ist ein gutes Beispiel für die systemseitige dynamische Anpassung von Interfaceelementen an verschiedene Recherchesituationen. Das Werkzeugobjekt Werkstoffliste kann einerseits als Antwort auf eine Recherche vom System parametrisiert werden, d.h. das Suchobjekt graphisches Hauptfenster bewirkt durch die Auswertung eines graphischen Suchkonstruktes des Benutzers die Initialisierung der Werkstoffliste durch die Datenbankschnittstelle, andererseits kann der Benutzer einen umgekehrten Parametrisierungspfad wählen, indem er die vollständige Werkstoffliste zur Einstellung und Belegung des graphischen Hauptfensters nutzt.

6.2.3.2 Kennwertliste

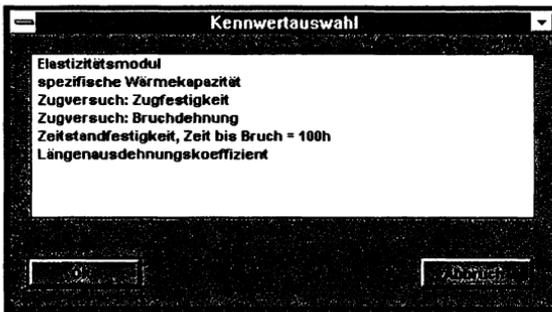


Abbildung 32: Kennwertliste

Die Kennwertliste bietet eine Auflistung der in *Wing-Graph* aus der MTU-Datenbank zur Verfügung stehenden Kennwerte für das graphische Retrieval, wie sie in Kap. 3 festgelegt worden ist. Der Benutzer kann mit der Maus in der Auswahlliste einen Kennwert markieren und die Kenngrößenänderung mit Doppelklick oder

Betätigen der OK-Taste der Kenngrößenliste abschließen. Das System stellt dann das graphische Hauptfenster für diesen Kennwert neu ein: *Wing-Graph* skaliert die Achsen nach den in der Datenbank enthaltenen Ausprägungen der Kenngröße und errechnet die Grenzen für die Visualisierung des Gesamtdatenbestands. Alle datenbankrelevanten Operationen beziehen sich dann auf die neue Kenngröße.

Nach der objekt-orientierten Sichtweise parametrisiert die Kenngrößenauswahlliste das graphische Hauptfenster als Suchobjekt hinsichtlich der Bezugstabelle in der Datenbasis. In der Kernimplementierung von *Wing-Graph* ist damit die Beschränkung visueller Anfragen auf eine Kenngröße verbunden. Die graphischen Retrievalzyklen beziehen sich immer auf die aktive Kenngröße, Anfragen, die mehrere Kenngrößen miteinander verbinden, sind nicht möglich.¹⁹ Will der Benutzer also zu einem bestimmten Werkstoff vergleichbare Alternativen finden, deren Ähnlichkeit er durch Kurvenformen bezüglich mehrerer Kenngrößen definiert, so verbleibt in der Kernimplementierung von *Wing-Graph* die Möglichkeit sequentieller Recherchen, bei denen das graphische Hauptfenster auf die jeweils nächste Kenngröße eingestellt wird.

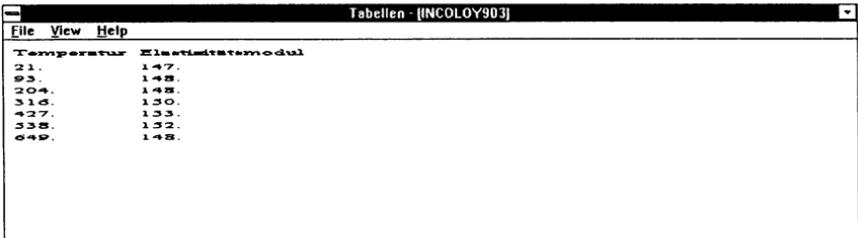
¹⁹ Diese Einschränkung der Suchkomplexität ist prinzipiell unbefriedigend, da kennwertübergreifende Anfragen eine typische Abfragestrategie sind und in *Wing-M2* auch durchgeführt werden können; in Kap. 8.1.6 findet sich eine exemplarische Realisierung ikonischer *visual query abstracts*, die Kennwertkombinationen in graphischen Anfragen möglich machen.

6.2.3.3 Tabellenbehälter

Als Gegenpol zur graphischen Informationsdarstellung im Hauptfenster sieht das Interface von *Wing-Graph* einen Tabellenbehälter vor, der zu den visualisierten Kurven die Daten in alphanumerischer Form beinhaltet. Der geöffnete Tabellenbehälter zeigt den Datensatz des jeweils markierten Werkstoffs des graphischen Hauptfensters. Dabei stehen im Tabellenbehälter durch ein *multiple document interface (MDI)*²⁰ die Datensätze *aller* gerade angezeigten Kurven zur Verfügung, der Benutzer kann die offenen Tabellenfenster innerhalb des Tabellenbehälters verkleinern und so zu Vergleichszwecken mehrere Datensätze als Tabellen nebeneinander betrachten. Eine über die bloße Informationsanzeige hinausgehende Funktionalität der Tabellen ist nicht realisiert. Hinzu kommt eine auf die graphische Darstellung eingeschränkte und aus dem Systemwissen begründete Einschränkung der dargestellten Informationsmenge: Die Tabelle selbst enthält nur die für die graphische Darstellung entscheidende Information, also lediglich zwei Spalten mit den Werten der unabhängigen und der abhängigen Variablen, die für die zweidimensionale Abbildung des Werkstoffverhaltens entscheidend sind (Abb. 33). Wie die anderen Werkzeuge öffnet der Benutzer das Tabellenwerkzeug durch Einzelclick, der Datensatz der gerade markierten Werkstoffkurve ist im Behälter angezeigt. Markiert der Benutzer eine andere Kurve, so erscheint dessen Datentabelle im Vordergrund und überdeckt die zuvor angezeigte Information (dynamische Anpassung des Tabellenbehälters an Modifikationen im graphischen Hauptfenster).

6.2.3.4 Behälter zur Ikonenauswahl

Das in Kap. 4 eingeführte Gestaltungselement eines ikonischen Zugangsweges zum graphischen Retrieval ist in *Wing-Graph* durch Behälterobjekte realisiert, die dem Benutzer Werkstoffkurvenikonen zur Selektion ins graphische Hauptfenster anbieten.



Temperatur	Elastizitätsmodul
21.	147.
93.	148.
204.	148.
316.	130.
427.	133.
538.	132.
649.	148.

Abbildung 33: Beispiel einer Tabelle (hier zum Werkstoff INCOLOY903)

Die Kurvenikonen verwenden nicht die *MS-Windows*-Standardikonen, da sie zu klein sind, um eine angemessene Interpretation des visuellen Kurvenverlaufs zu gewährleisten. Statt dessen sind sie als eigene Fensterklasse implementiert, die von der

²⁰ In *MS-Windows* verfügbare Funktionalität zur Verwaltung von Fenstern gleichen Typs.

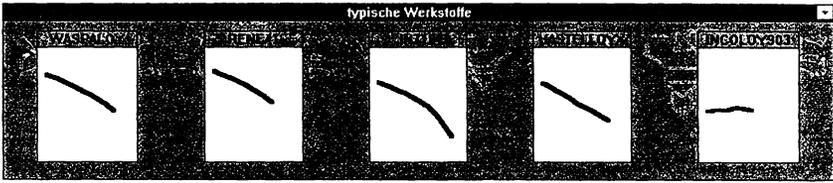


Abbildung 34: Werkstoffbehälter „typische Werkstoffe“

des graphischen Hauptfensters abgeleitet ist. Dargestellt ist lediglich die Kurve selbst, ohne Koordinatensystem und Kennzeichnung der Meßpunkte, die Titelleiste jeder Ikone gibt den Werkstoffnamen an. Der Benutzer kann durch Click auf die Ikone den Werkstoff in das graphische Hauptfenster übernehmen; die neue Auswahl ersetzt dort bereits visualisierte Information. Will der Benutzer mehrere Werkstoffe aus den Ikonen ins Hauptfenster übernehmen bzw. Werkstoffe hinzuwählen, ohne die alte Information löschen zu wollen, muß er die Selektion bei gedrückter *Shift*- oder *Control*-Taste durchführen.

Die ikonischen Auswahlmengen sind eine Alternative zum Eintritt in den Recherchezyklus über die Werkstoffliste. In ihnen kommt neben der Namenskennzeichnung der angebotenen Werkstoffe die Möglichkeit hinzu, über die visuelle Interpretation des Kurvenverlaufs die Entscheidung über die für den weiteren Recherchevorgang zu verwendenden Datensätze zu treffen. Damit ist für den Einstieg in den graphischen Recherchezyklus ein Verfahren gewährleistet, das auf der visuellen Interpretation graphisch dargestellter Information basiert und somit das Prinzip des graphischen Retrievals nach vorne hin ergänzt: Für Initialselektion von Information verwendet das System eine ikonische visuelle Sprache, die nur eine Operation kennt, nämlich die Selektion von Information und Parametrisierung der graphischen Darstellung. Mit der Auswahl einer Werkstoffkurvenikone schafft der Benutzer die für die meisten in *Wing-Graph* implementierten Suchverfahren notwendige Vorlageinformation als Ergebnisdarstellung. Strukturell entsprechen die in der Kernimplementierung von *Wing-Graph* vorhandenen Auswahlbehälter dem Überstieg aus dem multimodalen Gesamtsystem in die graphische Retrievalkomponente: Wie die Auswahl in der Werkstoffliste realisiert die Verwendung der Kurvenikonen zur Parametrisierung des graphischen Hauptfensters den Suchtypus „Einzelsuche“ von *Wing-M2*, bei dem der Benutzer zu einem ihm bereits bei Recherchebeginn bekannten Werkstoff Informationen aus der Datenbank anfordert. Im Falle der Kurvenikonen ist die Situation insoweit anders, als den Ikonenobjekten bereits der zu übernehmende Datensatz beigeordnet ist. Die Datensätze für die Darstellung der Kurven in den Ikonen werden bei Systemstart aus der Datenbank selektiert, daher ist keine erneute Datenbankabfrage notwendig.

Die Behälterfenster selbst sind in der Benutzeroberfläche von *Wing-Graph* als Ikonen repräsentiert und enthalten jeweils fünf Werkstoffkurvenikonen. Sie verfügen über keine eigene Navigationsfunktionalität (Rollbalken zum Blättern bei um-

fangreicherer Ikonenmengen), eine Beschränkung, die durch den Prototypcharakter bedingt ist. In *Wing-Graph* sind zwei Auswahlbehälter implementiert, von denen einer eine vorgegebene Auswahl „typischer Werkstoffe“ präsentiert, der andere sich vom Benutzer mit für ihn relevanten Werkstoffikonen aus Rechercheergebnissen füllen läßt.

Der Behälter mit typischen Werkstoffen enthält fünf Werkstoffe, die durch ihren Namen und durch die visuelle Darstellung ihres Kurvenverlaufs zum gewählten Kennwert gekennzeichnet sind. Die Kernimplementierung von *Wing-Graph* verzichtet auf die in Kap. 3.2.4 vorgeschlagenen inhaltlichen Auswahlkriterien, vielmehr präsentiert das System Werkstoffe mit relativ guter Datenbelegung zu allen Kenngrößen, die sich zudem durch stark unterschiedlichen Verlauf ihrer Kurven zum Elastizitätsmodul auszeichnen. Dies soll die Verwendbarkeit einer graphischen Einstiegsselektion unterstreichen, da auch beim gewählten kleinen Abbildungsformat die Unterschiede sehr gut deutlich werden. Zudem sind die gewählten Werkstoffe - *WASPALOY*, *RENE41*, *HA-STELLOXX*, *IN718* und *IN904* relativ weit verbreitet und Benutzern aus verschiedenen Anwendungsgebieten bekannt. Anstelle eines auf einzelne Benutzergruppen zugeschnittenen Auswahlkriteriums standen die Bedingungen der Evaluierung im Vordergrund.

Ein zweiter Werkstoffbehälter ist bei Programmstart leer und dient der Aufnahme der vom Benutzer aufgrund seiner Recherchen selektierten Werkstoffe als „persönliche Werkstoffauswahl“. Der Benutzer kann den markierten Werkstoff im graphischen Hauptfenster mit Hilfe des *drag & drop*-Verfahrens über den (ikonisierten oder geöffneten) Werkstoffbehälter ziehen und ihn dort ablegen. Die Cursorform ändert sich: Soweit der Cursor sich über einem Teil der Bildschirmoberfläche befindet, in dem kein Werkstoff abgelegt werden kann, erscheint ein Verbotssymbol, befindet sich der Cursor über offenem oder ikonischen Ablagebehälter, erscheint eine ikonische Kurvendarstellung des abgelegten Werkstoffs.

Der parametrisierbare Ablagebehälter realisiert ein Mindestmaß an Adaptierbarkeit des Interfaces an spezifische Benutzervorstellungen. Der Benutzer kann das Interface durch Auswahl und Ablage der für ihn wichtigsten Werkstoffe an seine spezifischen Bedürfnisse anpassen und seine Suchprobleme potentiell schneller lösen. Die beiden Auswahlbehälter stehen prototypisch für unterschiedliche Anpassungsleistungen des Systems. Die vorgegebene Werkstoffauswahl ist systemseitig spezifiziert, im Idealfall könnte sie sich an die Bedürfnisse unterschiedlicher Benutzer adaptieren (Adaptivität des Systems), während die persönliche Werkstoffauswahl dem Benutzer die Adaptierung des Systems erlaubt.

6.3 Implementierung der visuellen Sprache von *Wing-Graph*

Der Funktionalitätskern von *Wing-Graph* liegt in den verschiedenen graphischen Interaktionsformen. Sie bieten dem Benutzer die Möglichkeit, direkt-manipulativ

eine graphische Anfrage zu formulieren und über eine visuelle Sprache die Datenbank abzufragen.

6.3.1 Übersicht zu den graphischen Anfrageverfahren

Die Typologie der Interaktionsverfahren ergibt sich aus der Recheresituation des Ergebnisretrieval, den Informationsbedürfnissen der Datenbankbenutzer und dem kognitiven Kreislaufmodell für das graphische Retrieval.

Auf der Basis der drei Grundtypen graphischer Rechercheverfahren (*abstrakt*, *relativ* und *produktiv*) ließen sich prinzipiell beliebig viele verschiedene graphische Operationen definieren, die durch das *spatial parsing* der Datenbankschnittstelle in formale Anfrageformulierungen zu übertragen wären. Typische Informationsbedürfnisse und das bereits diskutierte Mißverhältnis von Interpretations- und Formulierungsfähigkeit bei visuellen Datendarstellungen reduzieren von vorne die potentielle Menge der Interaktionsformen (cf. oben Kap. 5.3.2.2).

Die an sich für den gewählten Anwendungsbereich Hochtemperaturwerkstoffe häufige Form der Suche nach Daten zu einem dem Benutzer *a priori* bekannten und in der Suchformulierung spezifizierten Werkstoff kommt in *Wing-Graph* nur auf der Ebene der Ikonenselektion (also der Vorstufe des eigentlichen graphischen Retrieval) zum Einsatz und ist als Suchtypus mit seinen verschiedenen Varianten bereits in *Wing-M2* hinreichend ausgestaltet. Aus der Untersuchung typischer Anfrageformen aufgrund des empirischen Materials der verschiedenen Tests mit Prototypen aus der *Wing-IIR*-Entwicklung ergibt sich ebenso wie aus der Analyse des kognitiven Kreislaufmodells, daß *relative* Anfragen, die gegebene Kurven als Ausgangspunkt haben, für das graphische Retrieval besonders interessant sind. *Abstrakte* Suchformen erlauben dem Benutzer, ohne Bezug zu einem bestimmten Werkstoff ein inhaltliches Anforderungsprofil zu erstellen, da ihre Definition sich nicht auf konkrete Werkstoffe, sondern auf inhaltliche Aspekte der Daten bezieht. Sie sind insoweit vergleichbar mit dem Suchtyp „Profilsuche“, wie er in den Prototypen *Wing-M1* (explizit) und *Wing-M2* (implizit) modelliert ist. Trotz der in Kap. 5.3.2 angesprochenen Bedenken hinsichtlich der Umsetzbarkeit produktiver Verfahren ist die direkte Kurvenformproduktion durch den Benutzer als Suchverfahren vorgesehen. Die drei Kategorien sind in *Wing-Graph* durch folgende Suchverfahren repräsentiert:

Abstrakte Verfahren

- Setzen eines oder mehrerer Suchpunkte
- Setzen eines Suchbereiches

Relative Verfahren

- Suche nach ähnlichen Werkstoffen durch ein Streuband um die Kurve
- Vergleich zweier Werkstoffe
- Besser-Schlechter-Relation über dem gesamten Wertebereich der Kurve
- eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation
- Modifikation einer Vorlagekurve zur Suchhypothese

Produktives Verfahren

- Skizzieren einer Werkstoffkurve als Suchhypothese

Der Schwerpunkt der Suchtypenauswahl liegt auf den relativen Verfahren, da sie zum einen durch ihren Vorlagebezug die typische Umsetzung des Ergebnisretrieval repräsentieren und zum anderen eine differenzierte Deutung der bei Werkstoffselektion und Werkstoffvergleich zentralen Kategorie der Ähnlichkeit erlauben: Unterschiedliche Konzepte der Ähnlichkeit von Werkstoffen, gedeutet als visuelle Beziehungen zwischen und zu Werkstoffkurven, geben dem Benutzer ein flexibles Rechercheinstrumentarium an die Hand, um zu Vorlageinformation ähnliche Datensätze zu finden.

Allen Suchverfahren ist gemeinsam, daß sie erst nach Anwahl des entsprechenden Schalters in der Auswahlleiste aktiv werden, d.h. das Interaktionswerkzeug Maus für die Anwendung des Suchverfahrens im graphischen Hauptfenster einstellen. Die Kriterien für die Auswahl der einzelnen Verfahren, für ihren Interaktionsablauf und die Semantik des entstehenden graphischen Suchkonstruktes in Relation zur formalen Datenbankabfrage sind nun im Detail zu erörtern. Zur Darstellung der Semantik der graphischen Suchtypen wird eine formale Darstellung verwendet, die unter Rückgriff auf mengentheoretische und aussagenlogische Begriffe jeden Suchtypus vom Ergebnis her beschreibt und die Bedingungen angibt, unter denen ein Werkstoff in das *result set* gelangt. Die Werkstoffbezeichner der Ergebnismenge werden über ihren Datensatz als geordnetem Paartupel der Werte von unabhängiger und abhängiger Variablen erschlossen. Zu Suchtypus „Kurvenbereich setzen“ findet sich zusätzlich in Anhang 10.6 ein Beispiel für ein formales SQL-Statement.

6.3.2 Setzen von Suchpunkten

Das von der Interaktion her einfachste Suchverfahren ist das Setzen von Suchpunkten. Der Auswahlwechsler des Verfahrens gibt symbolisch die Markierung eines Suchpunktes als rotes Kreuz im Koordinatengitter wider.

6.3.2.1 Einzelne Suchpunkte

Der Benutzer kann nach Anwahl des Suchverfahrensschalters durch Mausclick im graphischen Hauptfenster einen Punkt festlegen, durch den die gewünschten Werkstoffkurven zu liegen kommen sollen (cf. Abb. 35). Als visuelles Feedback erscheint ein roter Kreis mit einem angedeuteten Fadenkreuz. Der Suchpunkt steht in keiner Beziehung zu vorhandener Information im Display, d.h. der Benutzer kann das Verfahren mit und ohne Vorlageinformation anwenden. Auch wenn etwaige Vorlageinformation die Positionierung eines Suchpunktes beeinflußt, da sich der Benutzer bei der graphischen Formulierung seines Informationsbedürfnisses an ihr orientiert, besteht kein funktionaler Zusammenhang.

Der Suchpunkt entspricht als Informationsbedürfnis einem sehr engen inhaltlichen Anforderungsprofil an einen Werkstoff bzw. einer punktuellen Datenbestandsüber-

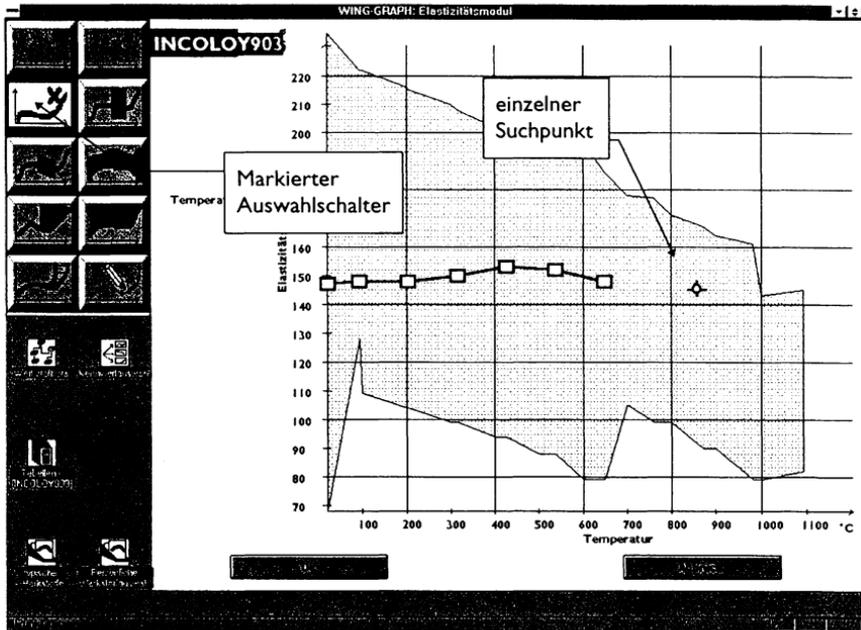


Abbildung 35: Suchpunkt setzen

prüfung der Datenbasis. Ein Anwendungsbeispiel ist die Überprüfung eines aus der Literatur oder aus einer Messung vorliegenden Wertepaares, zu dem der Benutzer in der Datenbasis entsprechende Datensätze sucht. Die exakte Orientierung nutzt die visuelle Vorstellungsfähigkeit kaum aus und erfordert eine sehr genaue Positionierung des graphischen Suchkonstruktes im Koordinatenraum.²¹ Handelt es sich also um die Validierung exakter Vorgaben, so ist sicherlich die alphanumerische Anfrage im *Präziserer*-Werkzeug von *Wing-M2* vorzuziehen.

Für *Wing-Graph* folgt daraus, der exakten Position des graphischen Suchpunktes eine vage Übersetzung in die Suchsemantik gegenüberzustellen. Das System interpretiert den Suchpunkt nicht exakt, sondern attribuiert ihm eine Minimalumgebung („Toleranzrahmen“), die die Ungenauigkeiten des graphischen Denkens und seiner motorischen Umsetzung ausgleichen soll. Die Minimalumgebung ist in der Kernimplementierung von *Wing-Graph* systemseitig vordefiniert und errechnet sich aus dem vorliegenden Datenbestand bezüglich der gewählten Kenngröße. Ausgehend von der Position des Suchpunktes bezüglich der Y-Achse wird der Einzelwert in einen Bereich umgewandelt, der nach oben und unten um je 2,5% des in der Datenbasis

²¹ Hier kann die dynamische Koordinatenanzeige beim Interaktionswerkzeug Mauscursor dem Benutzer die Eingabeerortung erleichtern.

insgesamt belegten Wertebereiches ausgedehnt, mindestens aber einen Punkt auf der Werteskala vom Ausgangswert verschieden ist. Hinsichtlich der Temperaturskala sucht das System den bezüglich des Suchpunktes nächstgelegenen Stützpunkt. Da in der Datenbasis Meßwertreihen grundsätzlich bei feststehenden Werten erfaßt sind, kann das System zu einem Suchpunkt nur dann etwas finden, wenn der X-Wert der Suchbedingung auf einen Stützpunkt fällt.²² Das System errechnet aus der X-Position des Suchpunktes den jeweils nächstgelegenen Stützpunkt in beiden in der MTU-Datenbank belegten Stützpunktketten (*next neighbour search* bei der Anfrageübersetzung). Es entsteht sowohl bezüglich der X- als auch der Y-Achse ein Suchbereich. Positioniert der Benutzer einen Suchpunkt bei einer Temperatur von 278 °C und einem Elastizitätsmodul von 187 GPa, so errechnet das System daraus Anfragegrenzen von 300 °C und 316 °C für die Temperatur und 182 GPa und 192 GPa für den Elastizitätsmodul.

Die starre Zuweisung der prozentualen Bereichsbandbreite durch das System wird den unterschiedlichen Anforderungen verschiedener Benutzergruppen, dem tatsächlichen Datenbestand und unterschiedlichen Kenngrößen nur bedingt gerecht und ist als exemplarische Implementierung eines Bewertungsverfahrens zu sehen, das durch Funktionselemente der benutzerseitigen Adaptierung (Benutzer stellt Interpretationsbandbreite selbst ein) bzw. der systemseitigen Adaption (System bezieht in die Berechnung nicht nur die Maximalgrenzen, sondern auch Kenngröße, Benutzerdaten, Umfang des Datenbestands etc. mit ein) zu optimieren wäre. Wichtig ist das Grundprinzip: „Defizite“ des graphischen Anfragedefinitionsprozesses hinsichtlich der Eingabeexaktheit versucht *Wing-Graph* systemseitig abzufangen, der vom System errechnete Toleranzrahmen verwendet Wissen über Struktur der Daten (Stützpunktketten) und ein Maß für den Bewertungsspielraum. Die Festlegung auf 5 % ist eine willkürliche Setzung und steht als „Platzhalter“ für eine komplexere Bewertungsfunktion. Im Ergebnis überträgt das System den Suchpunkt auf eine Suchumgebung hinsichtlich der unabhängigen wie der abhängigen Variablen, wie die formale Darstellung der Suchsemantik erkennen läßt:

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel $T(x_1y_1, \dots, x_iy_i, \dots, x_ny_n)$ zugeordnet ist, für den gilt:

$\exists x_iy_i \in T$ mit $x_{lower} \leq x_i \leq x_{upper}$, $x_{lower} x_{upper} \in M_S \wedge$

$$\left(y_{pos} - \frac{y_{max} - y_{min}}{\delta_y} \right) \leq y_i \leq \left(\frac{y_{max} - y_{min}}{\delta_y} + y_{pos} \right)$$

²² Stützpunkte in 100 °C-Abständen bei deutschen Luftfahrtnormen (20 °C, 100 °C, 200 °C ...) und in ebenfalls fixen Abständen bei aus Fahrenheit umgerechneten Prospektaten (21 °C, 93 °C, 204 °C, 316 °C, ...). Die Ausgangswerte 20 °C bzw. 21 °C bilden den Sonderfall Raumtemperatur.

wobei

x_{pos}, y_{pos} Koordinaten des Suchpunktes

y_{min}, y_{max} Werteminimum / maximum der Datenbasis

x_{lower}, x_{upper} benachbarte Stützpunkte um x_{pos}

δ_y Maß für den Toleranzrahmen ($= 40 \cong 2,5\%$)

M_S = geordnete Menge der Meßstützpunkte, $x_l < x_{l+1}, x_l, x_{l+1} \in M_S$

6.3.2.2 Mehrere Suchpunkte

Eine einfache Erweiterung des obigen Typs bildet das Setzen mehrerer Suchpunkte (Abb. 36). Mit der Auswahl desselben Auswahlschalters kann der Benutzer iterativ mehrere Suchpunkte definieren. Jeder einzelne wird nach oben geschildertem Verfahren interpretiert und in eine formale SQL-Bedingung übersetzt. *Wing-Graph* interpretiert die Menge der Suchpunkte als logische *und*-Verknüpfung, d.h. eine Werkstoffkurve muß explizit durch alle definierten Suchpunkte zu liegen kommen, um die Bedingungskonjunktion zu erfüllen. Diese Festlegung rückt den abstrakten Suchtypus in die Nähe des produktiven Skizzierens einer Suchkurve. Mit mehreren Suchpunkten kann der Benutzer eine visuelle Vorstellung vom Verlauf einer Gesamtkurve andeuten. Dabei entfallen die motorischen Schwierigkeiten, in einem

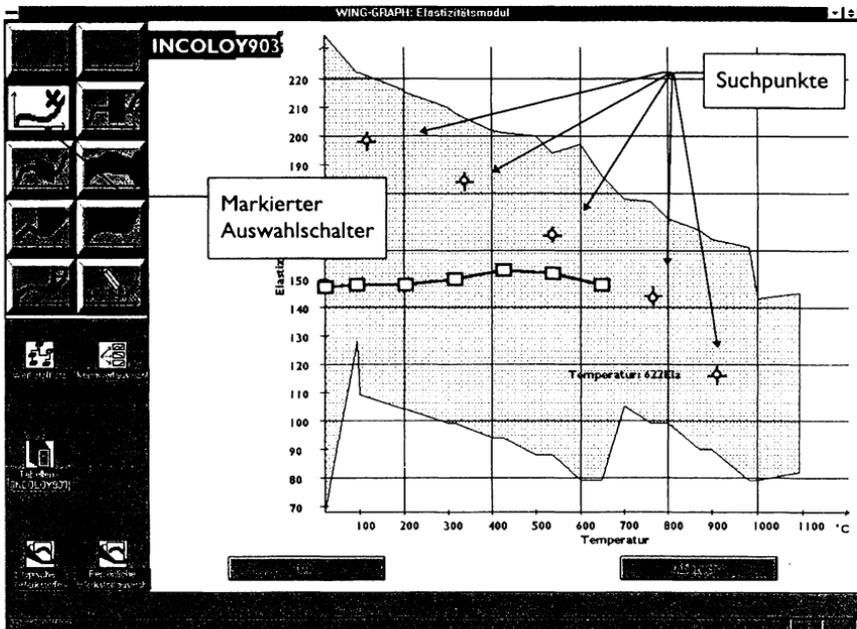


Abbildung 36: Definition von Suchpunkten

Ansatz eine ganze Kurve zeichnen zu müssen; der Benutzer kann vielmehr zwischen der Angabe zweier Punkte genau seine Vorstellung der Gesamtkurve rekapitulieren und die Position des nächsten Punktes „exakt“ danach ausrichten. Insofern ist bei einer kognitiven Interpretation des Verfahrens fraglich, inwiefern noch „rein graphisches Denken“ gegeben ist bzw. inwieweit schon etwa an der Ausrichtung des Koordinatengitters angestellte Überlegungen die Punktdefinition im Sinne einer exakt-formalen Festlegung beeinflussen.

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel $T(x_1 y_1, \dots, x_i y_i, \dots, x_n y_n)$ zugeordnet ist, für den gilt:

$$\forall (x_{j_{pos}}, y_{j_{pos}}) \exists (x_i y_i) \in T \text{ mit } x_{j_{lower}} \leq x_i \leq x_{j_{upper}}, x_{j_{lower}} x_{j_{upper}} \in M_S \wedge$$

$$\left(y_{j_{pos}} - \frac{y_{max} - y_{min}}{\delta_y} \right) \leq y_i \leq \left(\frac{y_{max} - y_{min}}{\delta_y} + y_{j_{pos}} \right)$$

wobei

$x_{j_{pos}}, y_{j_{pos}}$ Koordinaten des Suchpunktes

y_{min}, y_{max} Werteminimum / maximum der Datenbasis

$x_{j_{lower}}, x_{j_{upper}}$ benachbarte Stützpunkte um x_{pos}

δ_y Maß für den Toleranzrahmen ($= 40 \cong 2,5\%$)

$1 < j \leq k, k = \text{Zahl der Suchpunkte}$

$M_S = \text{geordnete Menge der Meßstützpunkte, } x_l < x_{l+1}, x_l, x_{l+1} \in M_S$

6.3.3 Setzen eines Suchbereichs

Der zweite abstrakte Suchtyp ist der Suchbereich, wo der Benutzer nach Anwahl des Verfahrensschalters durch eine *click & drag*-Operation mit der Maus einen rechteckigen Bereich definieren kann (Abb. 37). Der Auswahlhalter zeigt einen symbolischen roten Suchrahmen, das visuelle Feedback des Systems besteht entsprechend in einem sich mit der Interaktion dynamisch ändernden roten Rahmen in der Größe des definierten Bereichs, durch den die gesuchten Kurven zu liegen kommen sollen.

Wie ein Suchpunkt entspricht der Suchbereich einem Anforderungsprofil an die zu suchenden Werkstoffe, wobei die Grenzen allerdings frei definierbar sind. Er eignet sich ebenfalls für einen Ersteinstieg in die Recherche, da keine Vorlageinformation notwendig ist. Ein solches Anforderungsprofil entspricht dem Informationsbedürfnis der Werkstoffselektion.²³

Der Unterschied zwischen graphischer Definition des Bereiches und seiner alphanumerischen Festlegung liegt im visuellen Modus der Definition: Der Benutzer muß keine exakten Grenzen für den Suchbereich kennen, sondern kann ihn in Relation

²³ Vgl. oben Kap. 3, Tab. 4, Kategorie c) („Profilsuche“).

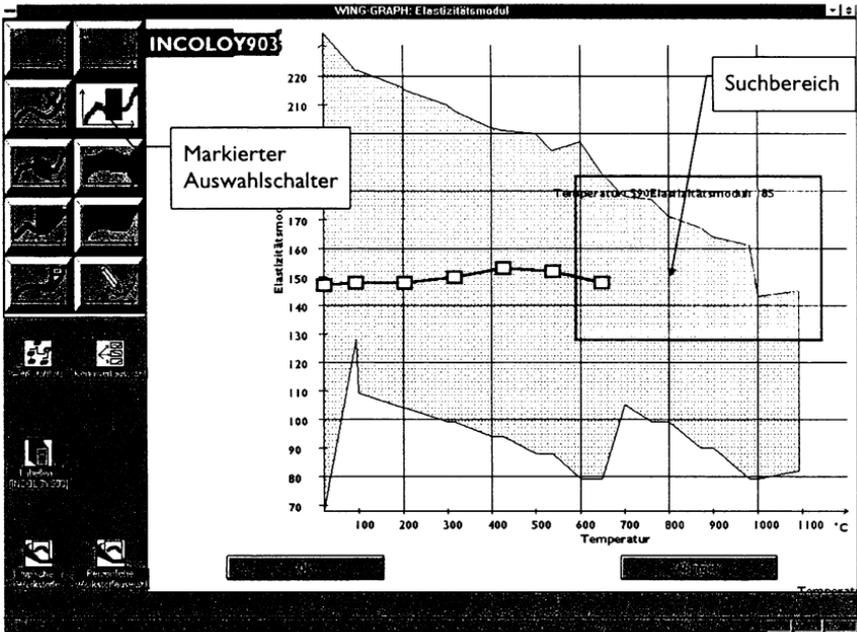


Abbildung 37: Setzen eines Suchbereichs

zum Koordinatensystem definieren. Dabei unterstützt ihn die Visualisierung des Gesamtdatenbestands, die die Grenzen erfolgreicher Recherchedefinitionen aufzeigt. Zu vermuten ist, daß die visuelle Umsetzung eines Suchbedürfnisses dem Benutzer ein Werkzeug an die Hand gibt, nicht hinreichend präzisierte Fragestellungen umzusetzen: Man kann die graphische Definition als Pendant zur Verwendung linguistischer Variablen betrachten, wobei in diesem Fall das System keine zusätzlichen Wissens Elemente zur Interpretation benötigt.²⁴ Die visuelle Definition erlaubt die Präzisierung vager Vorstellungen ohne die benutzerseitige Bestimmung exakter Grenzen im textuellen Format: Visuell kann der Benutzer leicht festlegen, wo „ein hoher Elastizitätsmodul“ oder „der extreme Temperaturbereich“ liegt, ohne deren genaue Werteausprägungen kennen zu müssen.

Die Interaktionssyntax überläßt dem Benutzer die Definition der Bereichsgrenzen bezüglich beider Variablen; im Unterschied zur Semantik der Suchpunkte überträgt das System den Suchbereich unmittelbar in ein formales Statement, ohne die Grenzen des graphischen Konstruktes zu modifizieren. Das geschieht auf der Basis der Annahme, daß der Benutzer nur Suchbereiche von hinreichender Mindestgröße

²⁴ Das System benötigt also strukturelles Wissen über die Daten (Stützpunktketten), aber keine zusätzlichen inhaltlichen Wissensbasen (z.B. Bewertungsmatrizen für Kenngrößen und Temperaturbereiche etc.).

anlegt, die wenigstens einen Stützpunkt enthalten (Hypothese über die Pragmatik des Suchbereichs). Daher ist die formale Beschreibung des Suchbereiches sehr einfach, es handelt sich strukturell um den am wenigsten aufwendigen Suchtypus - eine Verbindung zweier Wertebereiche ohne zusätzliche Modifikation.

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel $T(x_1y_1, \dots, x_iy_i, \dots, x_ny_n)$ zugeordnet ist, für den gilt:

$\exists x_iy_i \in T$ mit $x_{lower} \leq x_i \leq x_{upper} \wedge y_{lower} \leq y_i \leq y_{upper}$
wobei

x_{lower}, x_{upper} untere / obere x - Grenze des Suchbereichs

y_{lower}, y_{upper} untere / obere y - Grenze des Suchbereichs

6.3.4 Setzen eines Streubandes

Den ersten relativen Suchtypus von *Wing-Graph* stellt das Streuband um eine Vorlagekurve dar. Der Benutzer kann zur markierten Kurve einen Streubereich setzen, indem er durch *click & drag* dessen Position bestimmt: Es spielt keine Rolle, ob die Bezugskurve innerhalb des Streubands verläuft, d.h. es kann sowohl vollständig über als auch unter der Kurve liegen. Die Breite des Bandes bezüglich der X-Achse („X-Breite“) bzw. der Y-Achse („Y-Breite“) sind frei bestimmbar (Abb. 38). Das visuelle Feedback des Systems besteht wie beim Suchbereich in einem rot umrandeten Polygon, dessen Form durch die Vorlagekurve determiniert ist, d.h. die obere und untere Grenze des Kurvenbereichs verlaufen parallel zur Vorlageinformation. Ein solches rotes Polygon ist als Symbol auf dem Auswahlschalter wiedergegeben. Das System schränkt die Interaktionssyntax hinsichtlich der Bereichswahl entlang der X-Achse so ein, daß jede Bewegung (deiktische Geste, Manipulationshandlung) des Benutzers in ein zur Vorlage formgleiches graphisches Konstrukt arbiträrer, d.h. vom Benutzer frei bestimmter X- und Y-Breite übersetzt wird.

Die Motivation für diesen Suchtypus liegt in dem Bedürfnis, zu vorgegebenen Werkstoffen Alternativen zu finden, deren Verlauf die gleiche Form aufweist. Die Positionierung des Polygons liegt in der Hand des Benutzers, der Begriff Streuband ist eine Metapher für das meßtechnische Phänomen der bei gleicher Versuchsanordnung im Ergebnis differierenden Messungen. Das Konzept stammt aus der Anwendungsdomäne, wo es bei jeder Interpretation der Daten mit einzubeziehen ist. Daher liegt es nahe, Streubänder als Suchtypus zu verwenden: Da die graphische Wiedergabe der Kurve eine Reduktion der möglichen Bandbreite unterschiedlicher Werteausprägungen zu einem Werkstoff darstellt, ist zu jeder Kurvendarstellung ohnehin ein Streuband der möglichen Abweichungen hinzuzudenken.²⁵ In *Wing-Graph* ist der

²⁵ Idealerweise sollten die Konfidenzintervalle der bewerteten Daten in der Datenbank enthalten sein, vgl. Kap. 3.2.3. Die Visualisierung der Streubänder des jeweils markierten Werkstoffes wäre ein naheliegender Optimierungsvorschlag.

Kurvenbereich nicht mehr auf die tatsächliche Abweichungsmöglichkeit der Werte des Vorlagewerkstoffs beschränkt, sondern der Benutzer kann ihn frei positionieren. Die Interpretation des graphischen Suchkonstrukts durch das System ist an seine Lage gebunden, d.h. es recherchiert nicht nach einem allgemeinen visuellen Muster, sondern wertet den markierten Suchbereich unmittelbar aus. In der Ergebnismenge finden sich alle Datensätze, die vollständig durch das Streuband laufen, d.h. deren Datenpaare alle durch das Streuband definierten Bedingungen erfüllen. Der Grad der Formähnlichkeit als Bedingung für die Ergebnismenge ist direkt von der Y-Breite des Bandes abhängig, d.h. in die Suchbedingung geht nur die Y-Breite als solche ein, nicht aber die Differenzverhältnisse der einzelnen Meßpunkte.²⁶

Die Suchsemantik ist hinsichtlich der Anforderung ähnlichen Formverlaufes beeinflussbar, hinsichtlich des „im Band Liegens“ aber restriktiv: Je enger die Streubandbreite, um so formähnlicher die gefundenen Werkstoffe.²⁷ Mit einem auf minimale Y-Breite gesetzten Streuband findet man genau formidentische Werkstoffe mit dem Y-Niveau des Streubands, bei maximaler Y-Breite alle Werkstoffe, die in der Datenbank vorhanden sind und über den X-Bereich des Streubandes vollständig belegt sind. Ein Nachteil des Verfahrens ist die Einschränkung, daß der Benutzer, wenn er *nur die Form* der Vorlagekurve als Suchkriterium verwenden will, iterativ mehrere Streubänder in unterschiedlicher Position zur Y-Achse definieren und damit eine ganze Reihe von Recherchen durchführen muß. Entkoppelte man die Vorgabe zusätzlich von der Anbindung an eine bestimmte Position zur X-Achse, wäre die Zahl der Iterationen nicht mehr zu handhaben und eine reine Mustersuche erforderlich. Eine zweite Einschränkung ist die homogene Y-Breite des Streubandes an allen Stützpunkten: Bei Werkstoffmessungen kann die Bandbreite der Streuung bei verschiedenen Werten der unabhängigen Variablen (Temperatur) unterschiedlich groß ausfallen, ein Konzept, das auf die Recherchestreubänder übertragbar wäre, aber in der Kernimplementierung von *Wing-Graph* nicht realisiert ist. Denkbar wäre eine punktuelle Nachbearbeitung des definierten Streubandes an den Stützpunktstellen ähnlich der Modifikationssyntax in GUI-basierten Graphikprogrammen.

Die formale Darstellung der Recherchelogik zeigt die Schnittmengenbildung bei Auswahl der Zielwerkstoffe in Abhängigkeit von Streubandbreite und -grenzen bezogen auf den Referenzwerkstoff. Beim Streuband ist wie bei allen relativen und produktiven Verfahren zusätzlich die Abbildung der Daten auf die zweite Kette von Stützpunkten erforderlich, mit anschließender Vereinigungsmengenbildung der Ergebnismengen; in der formalen Darstellung der Suchsemantik ist sie aber nicht wiedergegeben.²⁸

²⁶ Das System recherchiert also nicht mit der ersten Ableitung des Interpolationspolynoms der Meßwerte, es handelt sich daher um keine Mustersuche im engeren Sinn.

²⁷ Zur Modifikation dieser restriktiven Suchsemantik aufgrund empirischer Ergebnisse vgl. Kap. 8.1.2.1 und Anhang 10.6.

²⁸ Bei normalisierter Darstellung der Daten in der Datenbasis durch die Faktoren des zugrundegelegten Modells und die entsprechenden Konfidenzintervallen entfielen dieses Problem. Dies gilt auch für alle anderen relativen und produktiven Verfahren.

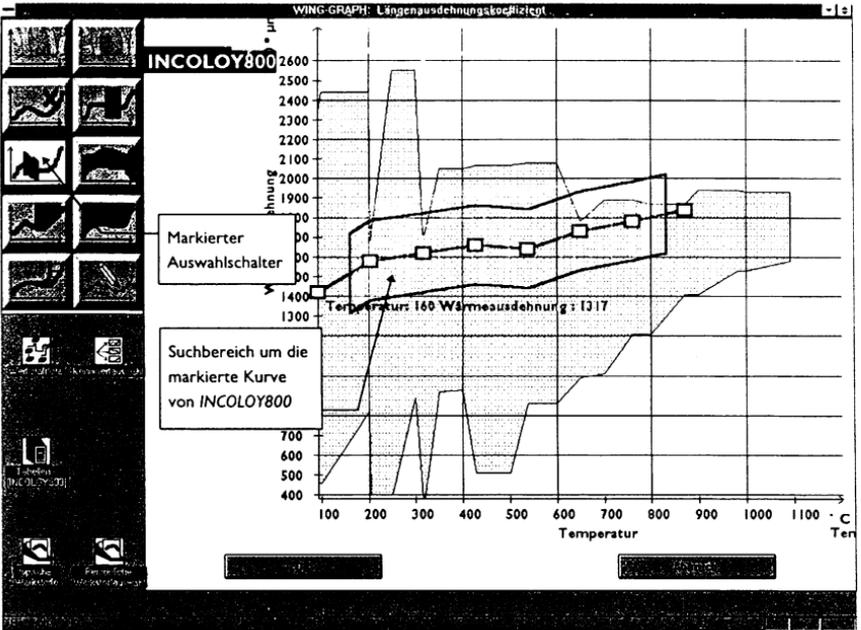


Abbildung 38: Setzen eines Streubandes

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel $T(x_j y_j, \dots, x_i y_i, \dots, x_n y_n)$ zugeordnet ist, für den gilt:

$$\forall (x_j y_{lower_j} / y_{upper_j}) \exists (x_i y_i) \in T \text{ mit } y_{lower_j} \leq y_i \leq y_{upper_j} \wedge x_i = x_j, x_i, x_j \in M_S$$

$$\wedge y_{lower_{j+1}} - y_{lower_j} = y_{upper_{j+1}} - y_{upper_j} = y_{j+1} - y_j$$

$$\wedge y_{upper_j} - y_{lower_j} = y_{upper_{j+1}} - y_{lower_{j+1}} = \delta_y$$

wobei

- y_j Meßwert der Referenzkurve am Stützpunkt x_j
- y_{upper_j}, y_{lower_j} untere / obere Grenze des Streubandes am Punkt x_j
- δ_y Y – Breite des Streubands,
- $1 < j \leq k \leq m, k =$ Stützpunktanzahl des Suchbereichs
- $m =$ Meßpunktzahl der Referenzkurve
- $M_S =$ geordnete Menge der Meßstützpunkte, $x_l < x_{l+1}, x_l, x_{l+1} \in M_S$

Die formale Beschreibung der Suchsemantik gibt den prozeduralen Aspekt der Recherchebearbeitung nicht wieder: Bei diesem wie bei allen anderen relativen und produktiven Verfahren sowie bei mehreren verbundenen Suchpunkten sucht das

System an jedem Stützpunkt der Anfrage die passende Menge der Werkstoffbezeichner und bildet aus ihnen sukzessive die Schnittmenge:²⁹

$$W = \bigcap_j^k W_j$$

W_j Menge der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel

$T(x_1y_1, \dots, x_iy_i, \dots, x_ny_n)$ zugeordnet ist, der genau ein Wertepaar x_iy_i aufweist, das die j te Suchbedingung erfüllt.

6.3.5 Vergleich zweier Kurven

Das am stärksten systemseitig definierte Suchverfahren ist der Vergleich zweier Kurven: Der Benutzer kann lediglich die zu vergleichenden Kurven bestimmen und hat daneben keine Möglichkeit, das Interaktionsverfahren weiter zu beeinflussen. Insofern nimmt der Vergleich zweier Kurven eine Sonderstellung ein. Es ist der einzige Typus, bei dem der Benutzer nicht nur eine, sondern zwei Markierungen an Kurven vornehmen muß, um eine Anfrage durchzuführen. Nach Anwahl des passenden Auswahlalters muß er zur jeweils markierten Kurve noch eine zweite markieren und signalisieren, welche Kurven das System vergleichen soll. Damit definiert er über die ganze Breite der Messung des sich überlappenden Verlaufsbereiches der beiden Kurven eine Suchfläche (Abb. 39), unterschiedlich umfangreiche Messungen sind auf ihren Überschneidungsbereich reduziert. Das visuelle Feedback des Systems besteht in der roten Einfärbung des Suchbereichs zwischen den Kurven, entsprechend enthält das Symbol des Auswahlalters zwei blaue Vorlagekurven, deren Zwischenraum rot gefärbt ist.

Die naheliegende Eingrenzung der Suchfläche in Relation zur X-Achse durch den Benutzer (mit *click & drag*) ist in *Wing-Graph* nicht implementiert, als Erweiterung des Verfahrens aber sinnvoll. Die Implementierung des graphischen Werkstoffvergleichs ist auf einen Spezialfall reduziert: Der Interpretation des Vergleichs zweier Kurven als Suche nach Werkstoffen, deren Werte zwischen den entsprechenden Wertepaaren der Vergleichskurve liegen. Der Vergleich zweier Kurven greift den Suchtypus „Werkstoffvergleich“ von *Wing-M2* in seiner Ergebnissituation auf und führt ihn weiter: In *Wing-M2* ist unter „Werkstoffvergleich“ jeweils die Spezifikation mehrerer Suchschlüssel (Werkstoffe) zu verstehen, zu denen Daten gesucht werden. In *Wing-Graph* realisiert der Vergleich dagegen eine weitere Variante des „Ähnlichkeitsbegriffes“, wobei Ähnlichkeit durch die Beziehung zu mehreren Vorlagekurven definiert ist. Am Endpunkt einer Recherche, die die Darstellung von Datensätzen mehrerer Werkstoffe ergibt, setzt der Kurvenvergleich von *Wing-Graph* als eine Rechercheform auf, bei der die Vorlageinformation vollständig den Suchraum eingrenzt. Nicht mehr nur die Daten zu zwei schon *ex ante* bekannten

²⁹ Diese Prozedur ist bei allen folgenden Verfahren identisch, nur die einzelnen Suchbedingungen selbst sind logisch unterschiedlich.

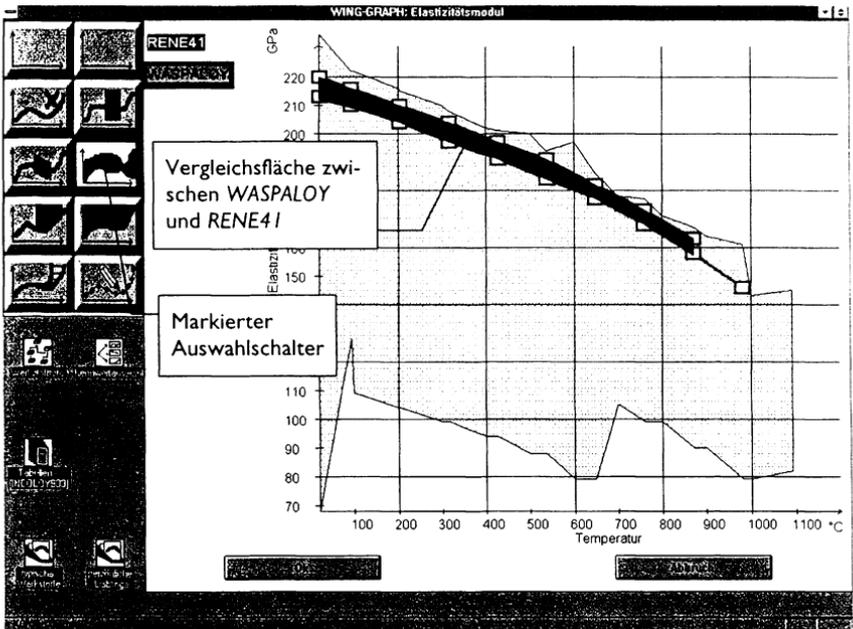


Abbildung 39: Vergleich von RENE41 und WASPALLOY

Werkstoffen sind zu vergleichen, sondern die Vergleichswerkstoffe bilden die Ausgangsbasis für alternative Datensätze, die im Datenraum zwischen den beiden Kurvenverläufen liegen. Der Vergleich graphisch dargestellter Vorlageinformation ist eine typische Strategie bei der Interpretation numerischer Daten;³⁰ die Erweiterung auf die Recherche nach vergleichbarem Datenmaterial liegt auf der Hand, läßt sich aber ohne das graphische Retrieval nicht unmittelbar umsetzen.³¹

Die Suchsemantik ist so restriktiv wie die des Kurvenbereichs; von ihm unterscheidet sich der Vergleich allerdings darin, daß er nicht nur eine Kurve, sondern zwei Datensätze zur Begrenzung verwendet, die als solche auch bezüglich ihres Y-Niveaus durch die Kurvenposition festgelegt und nicht (wie das Streuband) an beliebiger Stelle in Relation zur Y-Achse positionierbar sind.

³⁰ Vgl. oben Kap. 3.2.4 und unten Kap. 7.2.2.1.4.

³¹ Es sei denn, man übertrüge aus Graphik oder Tabelle die Werteausprägungen zweier Werkstoffe in ein Anfrageformular oder eine formale Anfrage.

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel $T(x_j y_1, \dots, x_j y_i, \dots, x_j y_n)$ zugeordnet ist, für den gilt:

$\forall (x_j y_{A_j} / y_{B_j}) \exists (x_i y_i) \in T$ mit

$(y_{A_j} \leq y_i \leq y_{B_j}) \vee (y_{B_j} \leq y_i \leq y_{A_j}) \wedge x_i = x_j, x_i, x_j \in M_S$

wobei

y_{A_j}, y_{B_j} Werte der Referenzkurven A, B am Stützpunkt x_j

$l < j \leq k$ Stützpunktzahl des Suchbereichs (Überdeckung von A und B)

k = Stützpunktzahl des Suchbereichs: $\min(m_A, m_B)$

mit m_A, m_B = Stützpunktzahl der Kurven A, B

M_S = geordnete Menge der Meßstützpunkte,

$x_l < x_{l+1}, x_l, x_{l+1} \in M_S$

6.3.6 Besser-Schlechter-Relationen

Die folgenden zwei Interaktionsverfahren sind in ihrer Semantik ebenfalls auf einen gegebenen Kurvenverlauf bezogen, aber nicht vollständig durch die Kurve determiniert, d.h. es handelt sich um *einseitig* begrenzte Suchbedingungen, der Suchbereich ist nach unten bzw. oben bezüglich der abhängigen Variablen offen (Besser-Schlechter-Relation). Ihre Legitimation finden die Besser-Schlechter-Relationen in der in Kap. 3.2.4 genannten Definition des Ähnlichkeitsbegriffs als Beziehung, bei der ein Alternativdatensatz „gleich gut oder besser“ sein kann als die Vorlageinformation. Einen Suchtypus, der in seinen Suchbedingungen nur einseitig durch die Vorlage beschränkt ist, kann man daher auf zwei Arten interpretieren: Direkt als besser- oder schlechter-Beziehung und in der Umdeutung dieser Beziehung auch als Suche nach ähnlichen Werkstoffen, wobei die Ähnlichkeitsbeziehung laxer definiert ist als bei der Verwendung eines Streubandes, das sich beidseitig an der Kurvenform orientiert.

6.3.6.1 Globale Besser-Schlechter-Relation

Im einfacheren Fall der globalen Relation bezieht sich die Suchbedingung auf den gesamten Kurvenverlauf: Der Benutzer klickt nach Betätigen des Auswahlalters über oder unter die Kurve und definiert so einen auf den gesamten Kurvenverlauf bezogenen Suchbereich. Das visuelle Feedback besteht wie beim Vergleich zweier Kurven in einer rot gefärbten Fläche über der gesamten Kurve, die ihre obere bzw. untere Grenze in den Begrenzungen des Koordinatensystems findet; eine entsprechende Fläche ist symbolisch auf dem Auswahlalters abgebildet.³² Der Übersichtlichkeit wegen ist zwischen markierter Suchfläche und der Kurve bzw. den Achsen des Koordinatensystems ein Zwischenraum gelassen, damit der Suchbereich nicht Teile der Bezugskurve überdeckt (Abb. 40).

³² Es deutet dort aber nur die Besser-Relation an, da sich der Bereich über der blauen Vorlage befindet.

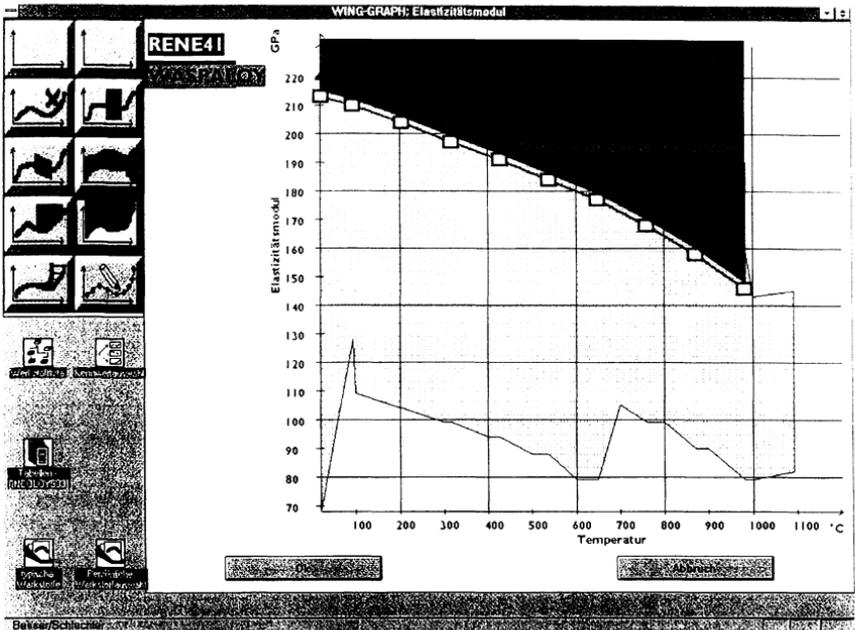


Abbildung 40: Globale Besser-Schlechter-Relation

Wie bei Streuband und Kurvenvergleich gilt die strenge semantische Interpretation des graphischen Suchkonstruktes: Nur Werkstoffe, die den Suchbereich vollständig durchlaufen, sind in der Ergebnismenge enthalten. Die strikte Begrenzung auf die Identität der Meßbereiche bezüglich der unabhängigen Variablen ist möglicherweise zu eng gefaßt, da so Kurven, die zwar vollständig innerhalb des Meßbereichs der Referenzkurve liegen, aber z.B. im hohen Bereich keinen Meßwert mehr ausweisen, nicht ins Ergebnis gelangen.

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel $T(x_1 y_1, \dots, x_i y_i, \dots, x_n y_n)$ zugeordnet ist, für den gilt:

$\forall (x_j y_{A_j}) \exists (x_i y_i) \in T$ mit $y_{A_j} \leq (\geq) y_i \wedge x_i = x_j, x_i, x_j \in M_S$
wobei

y_{A_j} Meßwert der Referenzkurve A am Stützpunkt $x_j \in M_S$,

$1 < j \leq k = m$,

m Stützpunktanzahl des Suchbereichs,

k Zahl der Meßwerte von A

M_S geordnete Menge der Meßstützpunkte.

$x_l < x_{l+1}, x_l, x_{l+1} \in M_S$

6.3.6.2 Eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation

Eine leistungsfähigere Variante der globalen Besser-Schlechter-Relation erlaubt dem Benutzer, zusätzlich zur Lage (über/unter Kurve) auch die Breite der Vergleichsrelation durch *click & drag* mit der Maus anzugeben, wobei bei einer Definition über dem vollständigen Verlaufsbereich der Vorlagekurve die Suchanfrage der globalen Besser-Schlechter-Relation entspricht. Während des Definitionsvorgangs ist die Breite des Suchbereichs durch eine rote Linie parallel oberhalb bzw. unterhalb der Vorlagekurve angegeben.

Ist der Definitionsvorgang beendet, erscheint wie bei der globalen Variante eine rote Fläche im markierten Bereich über der X-Achse. Die rote Fläche im Symbol des Auswahl Schalters ist auf einen Temperaturbereich reduziert. Sie enthält zusätzlich einen Doppelpfeil, der die Gestaltungsmöglichkeit andeuten soll, die der Benutzer bei diesem Suchverfahren hat.

Die eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation bildet ebenfalls eine Ähnlichkeitsbeziehung als „gleich gut oder besser“ ab, wobei der Benutzer bei der Interaktion einen zusätzlichen Freiheitsgrad in der Definition des Bezugs zur unabhängigen Variablen hat, den Ähnlichkeitsbegriff also auf bestimmte Temperaturbereiche einschränken kann. Die Suchsemantik ist abgesehen von der Bereichswahl mit der der globalen Relation identisch, wie die formale Darstellung zeigt:

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel $T(x_j y_j, \dots, x_i y_i, \dots, x_n y_n)$ zugeordnet ist, für den gilt:

$$\forall (x_j y_{A_j}) \exists (x_i y_i) \in T \text{ mit } y_{A_j} \leq (\geq) y_i \wedge x_i = x_j, x_i, x_j \in M_S$$

wobei

y_{A_i} Wert der Referenzkurve A am Stützpunkt x_i

$l < j \leq k \leq m$, k Stützpunktanzahl des Suchbereichs

m Stützpunktanzahl der Referenzkurve A

M_S = geordnete Menge der Meßstützpunkte, $x_j < x_{l+1}, x_l, x_{l+1} \in M_S$

6.3.7 Kurvenform-Modifikation

Die letzte Variante eines relativen Suchtypus ist die direkte Kurvenform-Modifikation: Hier ist die Anfragedefinition mit der Vorlageinformation nicht nur über die Vermittlung einer Wertebereichsgrenze oder deren Form verbunden, sondern man verändert die Vorlage selbst. Der Benutzer muß nach der Verfahrensauswahl eine Kurve markieren. Das System erstellt aufgrund der Markierung eine Kopie der Vorlagekurve, die Zahl der im Display angezeigten Datensätze erhöht sich. Die Vorlagekurve ist in der Legende als „Werkstoff X“ gekennzeichnet, um ihren von der Vorlageinformation unterschiedenen Status zu kennzeichnen. Der Auswahl schalter gibt das modifizierte Kurvenstück als rote Teilkurve wieder, die an den Meßpunkten durch dünne schwarze Linien mit der blauen Vorlagekurve verbunden ist. Die eigent-

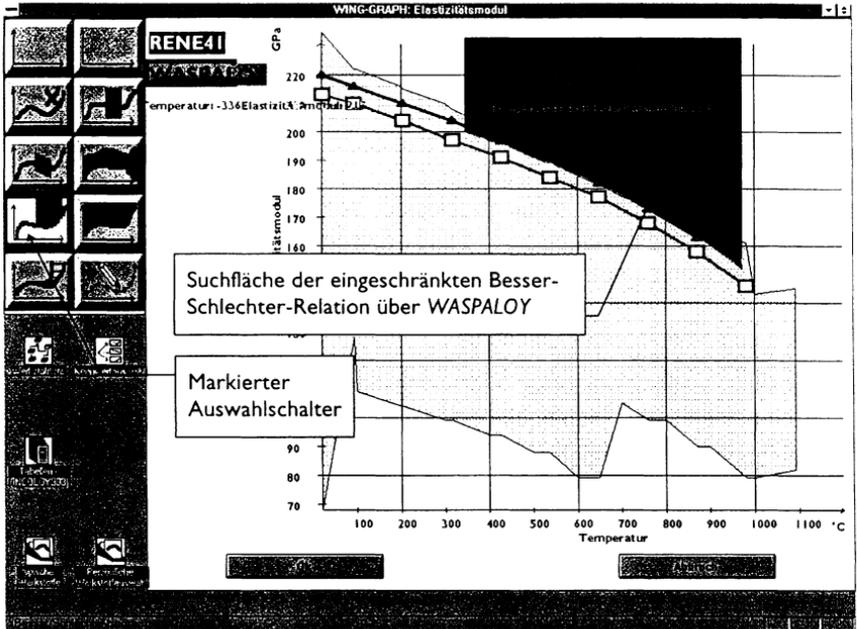


Abbildung 41: Eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation

liche Modifikation muß der Benutzer an den Meßpunkten vornehmen, die aus diesem Grund durch die Markierung besonders hervorgehoben sind. Sie lassen sich im *click & drag*-Verfahren entlang einer gedachten Linie parallel zur Y-Achse verschieben, wobei das System von jeder Mausebewegung deren Y-Anteil berücksichtigt.

Der Benutzer muß den Punkt nicht genau nach oben ziehen, da jede gerichtete Bewegung logisch auf ihre Parallele zur Y-Achse durch den Meßpunkt reduziert ist. Während des Verschiebevorgangs sind die Verbindungslinien zwischen den benachbarten, augenblicklich nicht modifizierten Punkten und der neuen Position des Modifikationspunktes dynamisch durch eine dünne schwarze Linie gekennzeichnet, so daß sich der Benutzer schon während der Interaktion ein Bild von der veränderten Kurve machen und die Interpretation in seine Modifikationshandlung einbeziehen kann.³³ Den Modifikationsprozeß kann man an beliebigen Datenpunkten der hypothetischen Suchkurve wiederholen und so iterativ eine neue Kurvenform aufbauen. Die Begrenzung der Modifikation auf die Meßpunkte selbst ergibt sich zwingend aus der Struktur der Daten: Könnte man die Punkte entlang der X-Achse verschieben, so ließe sich zu

³³ Der „innere Kreislauf“ im kognitiven Modell für das graphische Retrieval, vgl. oben Kap. 5.3.

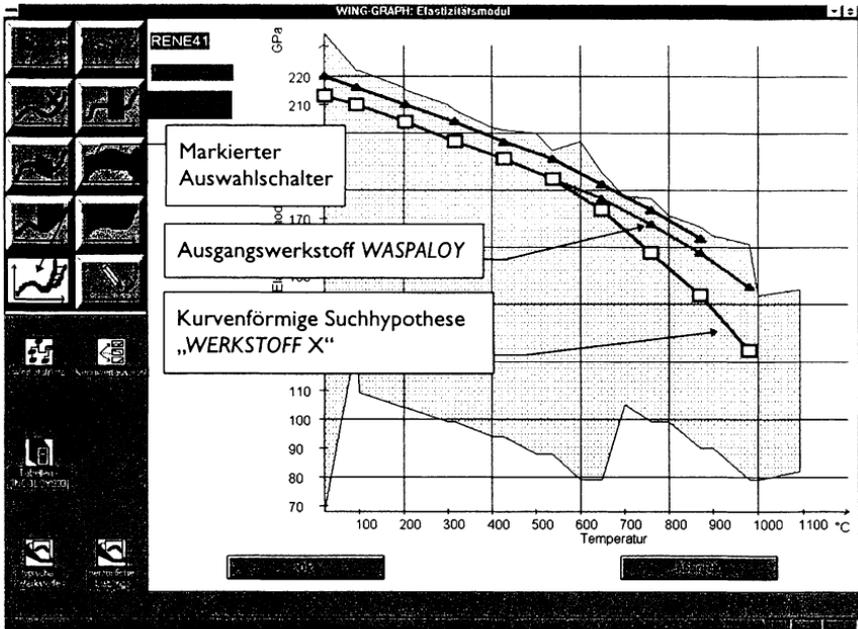


Abbildung 42: Kurvenform-Modifikation

ihnen in der Datenbasis keine Information mehr finden, da Daten nur an den vorgegebenen Stützpunktketten vorhanden sind (vgl. Abb. 42).³⁴

Die Kurvenformänderung geht über die anderen relativen Verfahren hinaus, da die Daten einer Kurve selbst Gegenstand der Formulierung einer Suchanfrage sind und das System direkt eine Hypothese über das Vorhandensein einer bestimmten, noch unbekanntem Kurve bildet. Die Einheit von Ergebnis- und Anfragedarstellung ist bei der Modifikation der Kurvenform vollständig verwirklicht, da sich die Vorlageinformation durch die deiktische Geste des Benutzers direkt in eine Suchhypothese umwandelt. Beläßt der Benutzer es bei der Markierungshandlung, wird die Vorlage selbst wieder zur Anfrage, d.h. das System recherchiert mit den Daten der Vorlage. Im Vergleich mit den anderen relativen Suchverfahren spielt das visuelle Vorstellungsvermögen bezüglich gewünschter Kurvenverläufe eine größere Rolle: Der Benutzer hat mehr Freiheit bei der Gestaltung einer Hypothese als z.B. beim Streuband, das Zustandekommen einer sinnvollen Anfrage bleibt vollständig seinen Modifikationshandlungen überlassen.

Das System interpretiert die Syntax der Punktänderung lokal, d.h. nur der verschobene Datenpunkt ändert seine Position. Es wäre denkbar, bei Einsatz von Sachwissen

³⁴ Natürlich ist auch bei der Kurvenmodifikation die Erweiterung der Anfrage auf die jeweils andere Stützpunktreihe notwendig.

über die Anwendungsdomäne Hypothesen über die prinzipiellen Verlaufsmöglichkeiten dynamisch während der Interaktion auszuwerten und die lokale Modifikation auf die Gesamtkurve auszudehnen.³⁵ Außerdem ist die Manipulation auf das Versetzen einzelner Punkte beschränkt, die Datenbankschnittstelle wertet immer die Suchkurve in ihrer Gesamtheit aus. Eine Optimierung könnte über Möglichkeiten der Kurverengung oder -zerstückelung (Werkzeuge „Stift“ und „Schere“) erfolgen. Eine Alternativstrategie, die das Fehlen solcher funktionaler Elemente partiell ausgleichen kann, ist die Kombination einer modifizierten Vorlagekurve mit einem graphischen Streuband, das nur einen Teil der Suchkurve überdeckt und eine sehr enge Bandbreite hat.

Die Kurvenform-Modifikation nimmt eine Zwischenstellung zwischen relativen Verfahren als Umsetzung der Suche nach ähnlichen oder vergleichbaren Datensätzen und der freien Skizze eines Kurvenverlaufs ein. Bei ersterer Interpretation ist es die Suche nach vergleichbarem Datenmaterial, bei letzterer die von der Vorlage unabhängige visuelle Vorstellung einer gewünschten Idealform. In der Kombination liegt insofern eine Stärke, als der Bezug zur Vorlage eine starke Orientierungshilfe bei der Modifikation darstellt. Dies um so mehr, als die Ausgangsinformation durch die Duplikation der markierten Vorlage erhalten bleibt und dem Benutzer während der Modifikation jederzeit als Referenz dienen kann.

Die Möglichkeit, eine Kurve schrittweise modifizieren zu können, teilt die Umsetzung einer visuellen Vorstellung in beliebig viele Iterationsschritte auf (Sequentialisierung) und erlaubt Feinkorrekturen an der visuellen Gestalt des Modifikationsproduktes. Insofern ist die Form-Modifikation dem Setzen entsprechend vieler Suchpunkte (s.o.) zu vergleichen, bei der ebenfalls durch eine syntaktisch klar gegliederte Gestenfolge ein komplexes Anfragekonstrukt entsteht. Die Darstellung der Suchhypothese als vollständiger Werkstoffkurve mag bei der Form-Modifikation die visuelle Interpretation stützen, da die interpolierte Polygonzugdarstellung den logischen Zusammenhang der Suchbedingungen verdeutlicht. Weniger noch als bei der vagen Interpretation von Suchpunkt-konjunktionen kann man bei der Kurvenmodifikation davon ausgehen, daß das Anfrageprodukt direkt durch die Datenbankschnittstelle zu interpretieren ist. Die Diskussion der Streubänder hat bereits gezeigt, daß mit einem Datensatz immer Konfidenzintervalle verbunden sind, in deren Bereich Messungen streuen können. Auch für die Kurvenform-Modifikation ist dieses Konzept anzuwenden, d.h. das System interpretiert die Meßpunkte der Kurve als Suchbedingungen nicht unmittelbar, sondern legt einen Toleranzrahmen um sie. Wie bei den Suchpunkten ist er fest vordefiniert und beträgt insgesamt 5% des zur Kenngröße vorhandenen Wertespektrums in der Datenbasis. Die „vage“ Interpretation der modifizierten Suchkurve spiegelt sich in der formalen Darstellung der Suchlogik wider:

³⁵ Lügen die Daten als Modellkoeffizienten und Konfidenzintervalle vor, könnte schon auf dieser Basis eine Modifikationsbewertung erfolgen. Ein Beispiel der dynamischen Unterstützung des Anfragedefinitionsprozesses gibt Kap. 8.1.5 (*look ahead*-Verfahren auf der Basis der tatsächlichen Datengrundlage).

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel $T(x_j y_j, \dots, x_i y_i, \dots, x_n y_n)$ zugeordnet ist, für den gilt:

$\forall (x_{M_j}, y_{M_j}) \exists (x_i y_i) \in T$ mit $x_i = x_{M_j}, x_i, x_{M_j} \in M_S \wedge$

$$\left(y_{M_j} - \frac{y_{max} - y_{min}}{\delta_y} \right) \leq y_i \leq \left(\frac{y_{max} - y_{min}}{\delta_y} + y_{M_j} \right)$$

wobei

x_{M_j}, y_{M_j} Datenpunkt der modifizierten Kurve

$1 \leq j \leq k, k =$ Zahl der Stützpunkte

y_{min}, y_{max} Werteminimum / maximum der Datenbasis

δ_y Maß für den Toleranzrahmen ($= 40 \cong 2,5\%$),

M_S geordnete Menge der Meßstützpunkte,

$x_l < x_{l+1}, x_l, x_{l+1} \in M_S$

6.3.8 Produktives Verfahren: Skizzieren einer Kurvenhypothese

Das einzig rein „produktive“ Verfahren ist die freie Kurvenskizze, bei der der Benutzer mit der Maus eine Kurvenhypothese zeichnet (*click & drag*): Nur sie erlaubt die unmittelbare Umsetzung einer zusammenhängenden visuellen Vorstellung vom Gesamtverlauf einer Kurve *uno actu* und unabhängig von einer Vorlage.

Nach der Verfahrensselektion läßt sich eine Werkstoffkurve beliebiger Form von links nach rechts zeichnen. Im Unterschied zu den anderen Verfahren gibt der Auswahlwechsler eine rote Kurve als Suchhypothese wieder und zeigt symbolisch einen Stift als Interaktionswerkzeug, was unterstreichen soll, daß der Benutzer die Suchkurve selbst zeichnen muß. Lage und Gestalt im Rahmen des Koordinatensystems sind frei, etwaige Vorlagekurven und die Datenbestandsvisualisierung dienen in Verbindung mit den Hilfsachsen als Orientierung bei der Interaktion. Das visuelle Feedback ist während der Kurvenproduktion die Verbindung der einzelnen Bewegungsabschnitte durch eine rote Linie. Nach Beendigung der Kurvenskizze (Loslassen der linken Maustaste) verfügt *Wing-Graph* über eine große Anzahl einzelner mit der Maus gezeichneter Pixelwerte. Sie muß *Wing-Graph* mit dem Wissen über die möglichen Stützpunktwerte auf der X-Achse zu einer Bedingungskonjunktion der Meßwerte der gesuchten Kurven reduzieren, was wie bei der Kurvendarstellung durch lineare Interpolation erfolgt. *Wing-Graph* durchsucht die gezeichnete Punktmenge und berechnet aus den jeweils am nächsten um einen Stützpunkt gelegenen Punkten den Wert der Suchkurve am Stützpunkt, sofern nicht für den Stützpunkt selbst schon ein Wertepaar vorliegt. Darin ist zwar eine Vereinfachung des Benutzerwunsches impliziert, was durch die bei einem gewissen Mindestausmaß der Kurve relativ hohe Zahl der Meßpunkte ausgeglichen wird. Zudem sind in der Datenbank nur an den Stützpunkten Daten vorhanden, die Reduktion ist also strukturell notwendig.

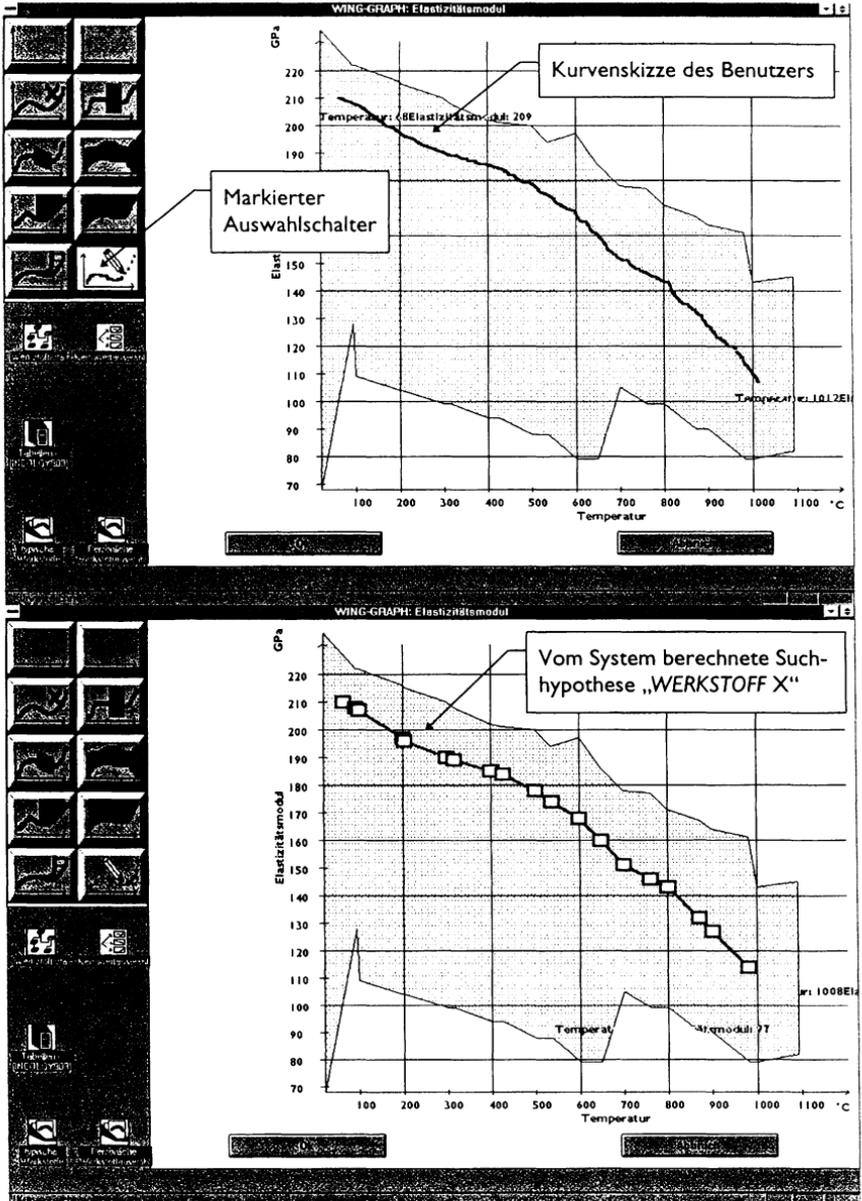


Abbildung 43: Freie Kurvendefinition

- a) Skizze des Benutzers
- b) auf die Stützpunkte reduzierter, interpolierter Polyzug

Der Benutzer muß eine Kurvenhypothese in *einem* Zeichenvorgang definieren (*click & drag*), d.h. ein veränderndes Neuansetzen an einer Hypothese ist nicht implementiert. Damit sind der Gestaltung relativ enge Grenzen gezogen, was die Unsicherheit beim „Kurvenmalen“ erhöhen dürfte. Zudem ist es schwierig, komplexere Kurvenverläufe in einem Zug nachzubilden. Möglich ist aber die Nachbearbeitung der Kurvenskizze durch die Kurvenform-Modifikation.

Bei der Implementierung in *Wing-Graph* kam es vor allem darauf an, die Akzeptanz der Benutzer für ein solches Verfahren auszuloten, wofür der gewählte Modus geeignet ist: Wenigstens in der Anwendungsdomäne Werkstoffinformation haben die Kurvenverläufe eine sehr homogene Form, sind also graphisch relativ leicht zu produzieren.

Da die Kurvenskizze keinen unmittelbaren Bezug zur Vorlageinformation hat, kommt als zusätzliche Schwierigkeit die Lage im Koordinatenraum sowohl bezüglich der unabhängigen als auch der abhängigen Variablen hinzu: Es genügt nicht, daß der Benutzer eine akzeptable Form wählt, er muß sie auch richtig positionieren. Auch hier verwendet die Suchsemantik keine Mustersuche, sondern interpretiert die Daten der Kurvenskizze direkt, allerdings wie bei der Kurvenform-Modifikation zusätzlich des Interpretationsbandes von 5%. Im Ergebnis sind formale Übersetzung von Kurvenmodifikation und Kurvenskizze identisch, nur der pragmatische und syntaktische Ausgangspunkt ist unterschiedlich. Das bedeutet, daß die Kurvenskizze wie die relativen Suchverfahren interpretiert wird und nur Werkstoffe, die alle Bedingungen der Skizze positiv erfüllen, in die Ergebnismenge kommen:

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter Paartupel

$T(x_1y_1, \dots, x_iy_i, \dots, x_ny_n)$ zugeordnet ist, für den gilt:

$\forall (x_{S_j}, y_{S_j}) \exists (x_iy_i) \in T$ mit $x_i = x_{S_j}, x_i, x_{S_j} \in M_S \wedge$

$$\left(y_{S_j} - \frac{y_{max} - y_{min}}{\delta_y} \right) \leq y_i \leq \left(\frac{y_{max} - y_{min}}{\delta_y} + y_{S_j} \right)$$

wobei

x_{S_j}, y_{S_j} Datenpunkt der Kurvenskizze

$1 \leq j \leq k, k = \text{Zahl der Datenpunkte}$

y_{min}, y_{max} Werteminimum / maximum der Datenbasis

δ_y Maß für den Toleranzrahmen ($= 40 \cong 2,5\%$)

$M_S = \text{geordnete Menge der Meßstützpunkte, } x_l < x_{l+1}, x_l, x_{l+1} \in M_S$

6.3.9 Feindifferenzierung der Interaktionsverfahren

Die obige Auswahl an Interaktionsverfahren entstand aus der Basisgliederung des kognitiven Wahrnehmungsmodells in der Zusammenschau mit den empirischen Vorstudien über die verschiedenen Informationsbedürfnisse hinsichtlich graphisch dargestellter Information. Sie läßt sich in der Nachbetrachtung nach darstellungs- und interaktionsbezogenen Kriterien differenzieren: Nach dem Bezug zur Vorlageinformation, nach der

graphischen Form des Suchkonstruktes mit Hinblick auf die Einheit von Such- und Ergebnisdarstellung und nach der Art der zur Definition notwendigen Handlungsschritte.

6.3.9.1 Einteilung nach Bezugsgrenzen

Die Einteilung nach der Art der Bezugsgrenzen einer graphischen Anfrage greift unmittelbar die Einteilung des kognitiven Modells auf und verfeinert sie. Bei *einseitig relativen* Operatoren ist der Suchraum in nur einer Richtung durch das bestehende Datenmaterial eingegrenzt. Darunter fallen bei *Wing-Graph* die beiden Typen der globalen Besser-Schlechter-Relationen.

Bei *mehrseitig relativen* Operatoren sind die Grenzen des visuellen Suchbereichs in mehrfacher Hinsicht auf gegebene Daten bezogen, d.h. es entsteht ein Suchbereich, der in Abhängigkeit von der Vorlageinformation strukturiert ist. Die Grenzen bezüglich der X-Achse (d.h. der unabhängigen Variablen) verbleiben in der Gestaltungssphäre des Benutzers). Unter diesen Typ fallen in *Wing-Graph* die Definition von Streubereichen und der Vergleich zweier Werkstoffe. Im Detail könnte man nach vollständiger und partieller Abhängigkeit von der Vorlageinformation unterscheiden. Der Vergleich zweier Werkstoffe setzt mit den Vorlagekurven eine absolute Grenze für den Recherchebereich, während die Breite des Streubandes benutzerdefiniert bleibt, also nur seine Form in Abhängigkeit zur Vorlageinformation steht (eingeschränkte Abhängigkeit). Die Kurvenform-Modifikation stellt einen Sonderfall unter den relativen Verfahren dar, da sie zwar relativ zu gegebenen Daten an der Vorlagekurve ansetzt, letztlich aber iterativ zu einer Suchhypothese führen kann, die keinen Zusammenhang mit der Ausgangsinformation aufweist.³⁶

Die Ausgangskurve ist nur bezüglich der Stützpunktmenge (Menge der Meßpunkte auf der X-Achse) verpflichtend. Prinzipiell kann daher bei der Form-Modifikation am Ende ein Ergebnis stehen, das keine Gemeinsamkeit mit der Ausgangskurve mehr aufweist.

Auf der Basis der Einteilung nach Bezugsgrenzen läßt sich postulieren, daß der in der Interaktion aufwendige Typus der Kurvenform-Modifikation sowohl, was seine Generalisierbarkeit betrifft, als auch hinsichtlich seiner praktischen Anwendbarkeit hinter der syntaktisch mächtigeren und motorisch leichter handzuhabenden Mehrfachpunktsetzung zurücksteht. Dem steht aber der kognitive Vorteil der Bezugnahme auf eine Ausgangskurve bei der Kurvenform-Modifikation gegenüber. Die Suchhypothese als Kurvenkonstrukt läßt sich leichter mit visuellen Vorstellungen abgleichen, als die verteilten Einzelpunkte. Ein anderer Schluß wäre der, daß das Setzen eines einzelnen Punktes sowohl, was die Zahl der Handlungsschritte, als auch, was das visuelle Ergebnis und seine fehlende Relativität zu gegebenem Datenmaterial

³⁶ Dies ist allerdings ein Problem der *Pragmatik* der Systembenutzung: Inwiefern eine abgeleitete Suchhypothese noch einen Zusammenhang mit der Ausgangskurve aufweist, ist allein der Interpretation der Daten durch den Benutzer überlassen - ein funktionaler Zusammenhang, den das System verwerten könnte, besteht nicht.

anbetrifft, zu den einfachsten Verfahren gehört. Dies konnte zwar die Evaluierung mit Einschränkungen bestätigen, hinzu kommen aber in der Klassifikation nicht berücksichtigte Gesichtspunkte wie der notwendige Interpretationsspielraum des Benutzers beim Anfrageaufbau, der bei dem (scheinbar exakten) Setzen eines Suchpunktes nicht gegeben ist.

Betrachtet man die Bezugsgrenzen einer graphischen Anfrage, so ist das primäre Unterscheidungsmerkmal die Beziehung zwischen gewählten Suchbedingungen und vorgegebenem Informationsgehalt der Informationsdarstellung, d.h. relative Verfahren und abstrakte bzw. produktive bilden je eine Gruppe. Außer Betracht, d.h. ohne Einfluß auf die Suchdefinition, bleibt grundsätzlich die angezeigte Datenbestandsfläche. Sie wirkt somit lediglich implizit (auf dem Umweg ihrer Interpretation durch den Benutzer) auf Form und Umfang der Anfragen ein.

6.3.8.1 Einteilung nach visueller Qualität

Ein zweites Unterscheidungskriterium ist die Art des visuellen Feedbacks des Systems und damit die Ausgestaltung des graphischen Suchkonstruktes. Sie ist ein Maß für die Verwirklichung der Einheit von Ergebnis- und Anfragedarstellung. *Wing-Graph* verwendet alle drei elementaren Typen visueller Konstrukte in der Ebene (BERTIN 1974:52):

- Suchpunkte,
- Suchflächen und
- Suchkurven.

Unter die punktuellen Verfahren fällt nur das einfache „Punkt setzen“ in seinen beiden Varianten. Bei ihnen ist nur ein einzelner Handlungsschritt pro Suchbedingung nötig, im einfachsten Fall also ein einzelner Mausklick, der eine gültige Anfrage definiert.

Die meisten der in *Wing-Graph* vorgestellten Interaktionsverfahren definieren *Suchflächen*: Setzen eines Suchbereiches, eines Streubandes, einer globalen Relation oder eines direkten Kurvenvergleichs. Die starke Betonung der Flächendefinition liegt in der prinzipiell hohen Bedeutung allgemeiner (Vor-)Selektionsverfahren, die eine schnelle Übersicht über den Datenbestand zu einem Kennwert erlauben und nicht auf punktuelle Werte oder den logischen Zusammenhang einer einzelnen Kurve beschränkt sind. Suchflächen, die größere Teile des Datenraumes abdecken, sind für Anfragen mit globalem Bezug daher das geeignete Mittel.

Die freie Kurvenproduktion und die Kurvenform-Modifikation haben als Resultat des Anfrageaufbaus weder punktuelle Werte (im engeren Sinn) noch eine Suchfläche: Sie repräsentieren vielmehr eine ganze Kurve in ihrem Verlauf (obwohl es sich letztlich um eine Menge einzelner Suchpunkte handelt), die auch im Zusammenhang zu sehen und zu interpretieren ist.

Bezüglich der Einheit von Anfrage- und Ergebnisdarstellung ist bei den kurvenförmigen Suchdefinitionen eine vollständige Homomorphie erreicht: Suchbereich

und visualisierter Datensatz haben die gleiche visuelle Struktur, während die punktuellen und flächendefinierenden Verfahren stärker auf abstrakte visuelle Gestaltungsmittel zurückgreifen, wie sie bei zahlreichen visuellen Informationssystemen verwendet werden (cf. Kap. 4.1.1). Die relativen, also kurvenbezogenen Flächendefinitionen nehmen insofern eine Mittelposition ein, als sie wenigstens teilweise mit der Ergebnisinformation (Vorlagekurven) strukturidentisch sind. Die Homomorphie von Suchkurven und dargestellten Datensätzen hat auch negative Folgen: Da das System die Suchkurven nicht „wörtlich“ interpretiert, sondern jeweils einen Toleranzrahmen bei der Anfragebewertung hinzufügt, ist die Anfrage nicht vollständig visualisiert, d.h. die vollständige Einheit von Ergebnis- und Anfragedarstellung bedingt die unvollständige Visualisierung der Anfrageinterpretation durch das System. Diesem Auseinanderklaffen von Darstellung und Bedeutung könnte man mit zusätzlichen Visualisierungselementen abhelfen, z.B. durch farblich abgestufte Darstellung des Toleranzrahmens um die Suchkurven.

6.3.8.2 Einteilung nach Handlungsschritten

Ein drittes Kriterium der Differenzierung ist die Einteilung der Suchverfahren nach den zur Definition notwendigen Handlungsschritten: Die flächendefinierenden Verfahren verwenden vorwiegend das *click & drag*-Verfahren mit der Maus. Lediglich die globale Version der Besser-Schlechter-Relation und der Vergleich zweier Kurven machen hier eine Ausnahme. Bei ihnen handelt es sich um Sonderfälle eines generelleren, durch *click & drag* zu bewältigenden Verfahrens (im Fall des Kurvenvergleichs nicht realisiert), bei dem der Benutzer die Grenzen relativ zur X-Achse selbst festlegt. Nur bei der Definition von Suchpunkten genügt je ein einzelner Click des Benutzers an der gewünschten Position im Koordinatengitter.

Bezüglich der Zahl einzelner Handlungsschritte sind die Unterschiede relativ groß: Während die freie Kurvenproduktion nur einen komplexen Handlungsschritt verlangt, das Zeichnen der Kurve, können es bei Kurvenform-Modifikation beliebig viele Einzelschritte (wiederum *click & drag*) sein, die eine Suchanfrage entstehen lassen. Im Zusammenhang zeigt sich eine Korrelation zwischen Freiheitsgraden des Benutzers bei der graphischen Anfragedefinition, ihrem Bezug zur Vorlageinformation und der Verteilung von Wissen zwischen Benutzer und System: Je stärker der Benutzer auf die Parameter einer graphischen Anfrage Einfluß nehmen kann, um so weniger Systemwissen ist nötig, um eine sinnvolle Anfrageinterpretation zu gewährleisten.

Bei einem Kurvenbereich kann der Benutzer die passende Vorlage wählen und Lage, Breite und Bezugsbereich zur unabhängigen Variablen frei bestimmen, die visualisierte Suchfläche repräsentiert unmittelbar die logische Übersetzung der Anfrage. Bei einer Kurvenskizze dagegen entsteht ein kurvenförmiges Suchkonstrukt, das vom System interpretativ erweitert wird und bei dem der Benutzer eine weniger weitgehende Kontrolle über die Anfragebewertung hat. Ein ähnlicher Vergleich ließe sich zwischen Suchpunkten und Suchbereichen anstellen. Damit sind zwei unter-

schiedliche Designmöglichkeiten in *Wing-Graph* vereinigt: Die weitestgehende Kontrollfunktion des Benutzers über die entstehenden Anfragen einerseits, die Nachbearbeitung durch das System andererseits. Bei der Kernimplementierung von *Wing-Graph* muß der Benutzer allerdings den Toleranzrahmen kennen, da er nicht visuell repräsentiert ist. Die erhöhten Freiheitsgrade bei den nicht systembewerteten Verfahren vertreten eine gegenläufige Gestaltungsstrategie: Die Verlagerung von für die Interaktion und Abarbeitung der Recherchen benötigtem Wissen in den Bereich der Handlungskompetenz des Benutzers. Beides ist noch weiter ausbaufähig: So wie sich die graphischen Suchbereiche durch Nachbearbeitung differenzierter gestalten ließen, könnte das System aufgrund von Wissen über Benutzer und Anwendungsdomäne die Anfragebewertung dynamisieren (vgl. Kap. 8.1 und 8.5).

Die Auswahl der Interaktionsverfahren stellt einen Kompromiß zwischen der Auslotung prinzipieller Interaktionsmöglichkeiten mit der gewählten graphischen Datenaufbereitung und den in den empirischen Arbeiten im Projekt *Wing-IIR* gewonnenen Erkenntnissen über typische Problemstellungen und sachgebietsbezogene Fragearten des Werkstoffbereichs dar. Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei einer Generalisierung des Ansatzes sowohl für andere Darstellungsformen (Torten- oder Balkendiagramme etc.) als auch für andere Sachgebiete eine im Detail veränderte Auswahl von Interaktionsverfahren zum Tragen kommt. Die Dreiteilung der Anfragetypologie in abstrakte, relative und produktive Verfahren ist aufgrund ihrer globalen Bezugskriterien (Vorlageinformation, Situation des Ergebnisretrieval, allgemeine Charakteristika numerischer Daten) auf andere Darstellungsformen und Datenbestände übertragbar.

6.4 Datenbankschnittstelle und Anfrageaufbau

Die Abarbeitung der graphischen Anfragen erfolgt über eine Schnittstelle zur SQL-Datenbank, in der die MTU-Daten nach dem in Kap. 3 vorgestellten Schema enthalten sind. In *Wing-Graph* fallen drei Typen von Datenbankrecherchen an:

- a) Recherchen nach Werkstoffbezeichnern, die die graphischen Suchkonstrukte abarbeiten,
- b) Datenrecherchen, die zu den durch Anfragen vom Typ a) gewonnenen Bezeichnungsmengen die passenden Datensätze selektieren und
- c) sonstige Recherchen (für den Aufbau der Datenbestandsvisualisierung, die Errechnung der Wertegrenzen etc.).

Anfrageaufbau und Anfragebearbeitung (Recherche) sind voneinander getrennt in zwei verschiedenen Modulen implementiert, um ein Mindestmaß an Unabhängigkeit von einem bestimmten Typus relationaler Datenbanken zu gewährleisten. Der Anfrageaufbau ist dem Modul zugeordnet, das die Funktionalität des graphischen Hauptfensters enthält, die Abarbeitung des Recherchestatements ist in einem eigenen Programmmodul angesiedelt. Der Anfrageaufbau produziert als Output ein SQL-Statement für die Werkstoffselektion und übergibt es an die Rechercheroutine. Das SQL-Statement kommt auf

der Basis der während der Anfragedefinition durch den Benutzer gesammelten Daten zustande: Die Entscheidung für einen bestimmten Anfragetypus steht durch die Auswahl eines Interaktionsverfahrensschalters fest, so daß das System die Handlungen des Benutzers eindeutig interpretieren kann. Für jeden Suchtypus ist die Auswahl und logische Stellung der zusätzlich benötigten Variablen bekannt, z.B. die Breite eines Streubandes, seine Lage und die Wertepaare der Bezugskurve. Die erst beim graphischen Anfrageaufbau festgelegten Variablen einer Anfrage ermittelt das System aus der Analyse der Interaktion des Benutzers (Auswertung von Mausektionen). Aus diesen Angaben läßt sich das SQL-Statement aufbauen und, soweit notwendig, auf die in der Bezugskurve nicht repräsentierte Stützpunktreihe durch lineare Interpolation abbilden. Genau genommen produziert das Modul für den Anfrageaufbau für den produktiven und alle relativen Suchtypen zwei formale Anfragen, je eine für jede Stützpunktreihe.³⁷ Die direkt aus der Interaktion gewonnenen Daten zur Definition einer graphischen Anfrage interpretiert das System je nach Suchtypus unterschiedlich: Die unveränderte Übertragung der Daten in das formale Statement ist nur im Fall des Suchbereichs möglich, bei allen weiteren Verfahren ist die Interpolation und Umrechnung auf die jeweils andere Wertekette und/oder eine interpretative Erweiterung der Suchgrenzen durch einen Toleranzrahmen notwendig, wie in der Darstellung der einzelnen Suchverfahren gezeigt wurde.

Die Verarbeitung des SQL-Statements in der Datenbankschnittstelle verläuft nach dem üblichen Schema, d.h. das System verbindet sich mit der Datenbank, kompiliert die Anfrage, stellt Speicherplatz für die Daten zur Verfügung und führt die Anfrage aus, wobei es die Daten zeilenweise von der Datenbank übernimmt. Dabei finden die entsprechenden Systemfunktionen des *SQLBase Application Programming Interface*³⁸ Anwendung. Als Antwort auf die Suchanfrage erstellt *Wing-Graph* eine Liste von Werkstoffen; in einem zweiten Schritt lädt es entweder die dazu passenden Daten und visualisiert sie als Werkstoffkurven oder füllt bei einer großen Treffermenge die Werkstoffliste zur Nachselektion durch den Benutzer. Neben Bezeichner- und Datenselektion arbeitet die Datenbankschnittstelle noch eine Reihe weiterer Anfragetypen ab, die die adäquate Darstellung von Diagramm und Datenbestandsvisualisierung steuern. Abb. 44 zeigt in der Übersicht den Aufbau von Anfragen und die Abarbeitung in der Datenbankschnittstelle.

6.5 Fazit: Dialogsituationen in *Wing-Graph*

Die Darstellung der Kernimplementierung soll durch die Vorstellung der typischen Dialogsituationen abgeschlossen werden, soweit sie nicht bereits bei den einzelnen

³⁷ Die Abarbeitung der beiden Stützpunktketten könnte unter Zuhilfenahme des *UNION*-Befehls von SQL auch in *einem* komplexen Statement erfolgen, da dies aber das Zeitverhalten der Datenbankschnittstelle stark verschlechtert hätte, muß das System die Vereinigungsmenge der Werkstoffbezeichner zu jeder Stützpunktkette selbst bilden, vgl. Anhang 10. 6.

³⁸ Cf. GUPTA 1991B:69ff, wo der technische Ablauf der Datenschnittstelle beschrieben ist.

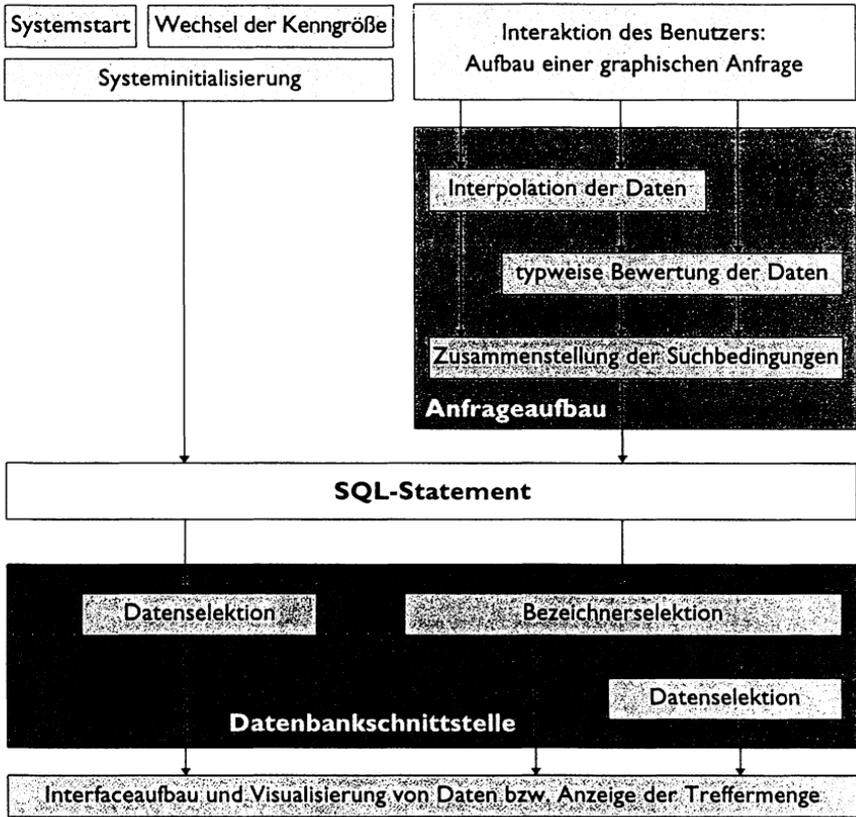


Abbildung 44: Anfrageaufbau und -verarbeitung in Wing-Graph

Interfacclementen zur Sprache kamen. Sie sind in Bezug gesetzt zur Basisthese über die Verminderung der kognitiven Bruchstelle zwischen Ergebnisinterpretation und Anfrageaufbau durch einheitliche Gestaltung beider Systemkomponenten. Die verschiedenen Dialogsituationen sind in Abb. 45 angedeutet.

Die strukturell einfachste Dialogsituation in *Wing-Graph* tritt bei den abstrakten und dem produktiven Suchverfahren auf: Der Benutzer benötigt keine Vorlageinformation und kann das graphische Hauptfenster unmittelbar zur Anfrageerstellung nutzen, ohne eines der Zusatzmodule heranziehen oder aus vorangegangenen Anfragen Information aufgreifen zu müssen. Diese Situation kann dem Ersteinstieg in einen Recherchezyklus dienen und modelliert nicht den in *Wing-Graph* zentralen Gedanken des aufgesetzten Ergebnisretrieval.

Die wichtigste Dialogsituation in *Wing-Graph* ist bereits mehrfach bei der Diskussion der Anfragetypen dargestellt worden: Dem Benutzer liegen beim Einstieg in

die Arbeit mit dem graphischen Retrievalsystem eine oder mehrere Werkstoffkurven vor, die als Ausgangspunkt für seine Recherchearbeit dienen sollen. Im Regelfall (und damit ist *Wing-Graph* als in *Wing-M2* eingebettetes Modul gemeint) stammen sie aus der vorangegangenen Interaktion mit dem Hauptsystem *Wing-M2*. Der sinnvoll anzuwendende Funktionsumfang von *Wing-Graph* beschränkt sich in diesem Fall auf das Graphikfenster und die Menge von Interaktionswerkzeugen in der Auswahlleiste.

Bei den beiden voranstehend genannten Dialogsituationen findet die Interaktion nur mit dem graphischen Hauptfenster statt; weitere Konfigurationen entstehen, wenn sich der Benutzer eines der ikonischen Zusatzmodule von *Wing-Graph* bedient bzw. vom System mit ihm konfrontiert wird (Ergebnisnachselektion).

Abb. 45a) zeigt den Bildschirmaufbau von *Wing-Graph* mit geöffnetem Ikonenbehälter bzw. offener Werkstoffliste für die Werkstoff(vor)selektion. Diese Variante dient sowohl der initialen Gewinnung von Vorlageinformation als auch der Zuwahl von bekannten Werkstoffen zu einem dargestellten Retrievalergebnis. Die ikonischen Behälter können daher sowohl vor als auch nach einer Recherche zur Verwendung kommen. Parallel dazu ist die vollständige Werkstoffliste zu sehen. Der Unterschied besteht in der Konfiguration und Darstellung der Auswahlmenge: Nur die ikonischen Behälter bieten schon bei der Vorselektion visuelle Informationen über den Kurvenverlauf an, d.h. der Benutzer kann mit ihnen aufgrund der visuellen Qualität der Kenngrößenausprägung selektieren, während die Werkstoffliste (wie das entsprechende Modul in *Wing-M2*) nur die Identifikation eines gewünschten Werkstoffs über seine Bezeichnung erlaubt. Eine Auswahl nach rein visuellen Kriterien ist dort nicht möglich.

Das Wissen des Benutzers über Struktur und Belegung der Datenbasis und seine Freiheit bei der Anfragedefinition kann nicht verhindern, daß zumindest in anfänglichen Recherchezyklen eine hohe Zahl passender Werkstoffe in der Ergebnismenge enthalten ist. Ein Beispiel kann dies verdeutlichen: Der Werkstoff *IN738 GUSS* hat bei den Temperaturreferenzpunkten von 871°C bzw. 982 °C die überdurchschnittlich hohen Werte für den Elastizitätsmodul von 151 GPa bzw. 140 GPa. Eine graphische Anfrage, bei der der Benutzer eine auf diese Temperaturwerte eingeschränkte *Besser-Relation* im graphischen Hauptfenster definiert, ergibt bereits eine Ergebnisliste von 15 Werkstoffen. Für diese Menge macht aber bereits die vollständige Übernahme in das graphische Hauptfenster in der Regel keinen Sinn mehr; der Benutzer muß daher zumindest die *Möglichkeit* der Recherchenachselektion haben. Die Entscheidung, welche Werkstoffe der Benutzer zur Detailanalyse (graphisch wie tabellarisch) heranziehen will, erfolgt über die als Ergebnisauswahlleiste parametrisierte Werkstoffliste (Abb. 45b)).

Die gleiche visuelle Struktur, aber eine andere Bedeutung für die Retrievalfortsetzung hat die Dialogsituation bei geöffneter Kennwertauswahlleiste (Abb. 45c)): Die Auswahlaktion des Benutzers hat die völlige Neuparametrisierung des Interface zur Folge, wobei bestehende Anfragen gelöscht, die im graphischen Hauptfenster vorhandene Vorlageinformation aber soweit wie möglich übernommen wird.

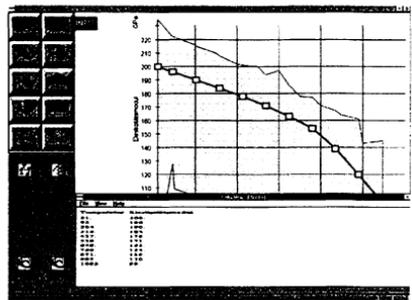
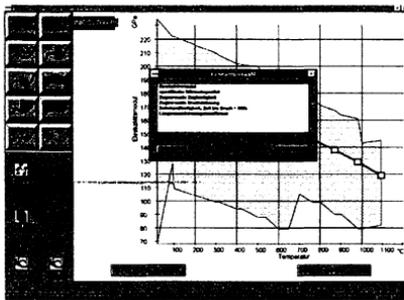
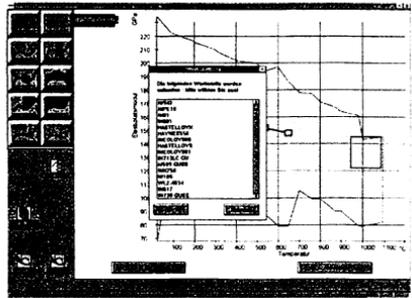
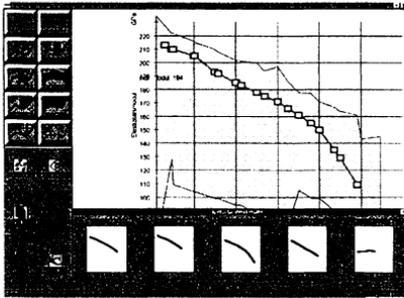


Abbildung 45: Dialogsituationen in Wing-Graph

a) mit Ikonenbehälter

c) mit Kennwertauswahlliste

b) mit Ergebnisliste zur Nachselektion

d) mit Tabelle

Eine letzte Dialogsituation entsteht, wenn der Benutzer zu den Kurven die tabellarische Darstellung der Daten betrachten und Rückgriff auf die exakten Werteausprägungen nehmen will. Die Tabelle, die als Zusatzwerkzeug in offenem Zustand ähnlich den Auswahlbehältern gestaltet ist, kann er unter dem graphischen Hauptfenster positionieren (Abb. 45d)). Ein dynamischer Datenaustausch zwischen Hauptfenster und Tabellenbehälter über die Anpassung der Dateninhalte hinaus existiert in der Kernimplementierung nicht, die Tabelle gibt lediglich statisch Information wieder, ohne eine Recherchedefinition (z.B. durch QBE-Funktionalität) zu erlauben oder ein wechselseitiges Feedback nach dem im WOB-Modell formulierten Prinzip der informationellen Durchlässigkeit zu erlauben.

Der Überblick über die verschiedenen Dialogsituationen in *Wing-Graph* zeigt abschließend, daß sowohl die Einheit von Anfrage- und Ergebnisdarstellung als auch die These der kognitiven Bruchstelle zwischen Ergebnisinterpretation und Anfragedefinition im Sinne des graphischen Ergebnisretrieval zu relativieren sind: Die Einheit von Anfrage- und Ergebnisdarstellung ist nur in den Fällen vollständig gewährleistet, in denen zum einen das Suchkonstrukt selbst Kurvenform aufweist und im Retrievalzyklus die Ergebnismenge hinreichend klein ist, um eine sofortige

Visualisierung der Ergebnisdaten zu ermöglichen: Schon die Darstellung der Ergebnismenge als Liste von Werkstoffbezeichnern entbehrt jeglicher rein visueller Information und durchbricht die visuelle Interpretationskette des Retrievalzyklus. Wollte man eine vollständige Visualisierung der Dialogführung erreichen, so müßte der Bezeichnerliste für die Ergebnisauswahl wenigstens eine ikonische Kurvendarstellung beigelegt werden, was die Auswahl durch den Benutzer erleichtern, die Übersichtlichkeit einer potentiell sehr umfangreichen Ergebnismenge aber verringern würde.

Die relativen und abstrakten Suchflächen sind ebenfalls zusätzliche visuelle Elemente, die zwar im Modus der Informationsdarstellung verbleiben, aber doch neue Strukturelemente einführen. In ihrem Fall ist sogar zu vermuten, daß sie gerade durch ihre partielle Abweichung von der Kurvenform in der grundsätzlichen Einbindung in das visuelle Display den Unterschied zwischen Information und Anfrage besonders gut deutlich machen und Verwechslungen vorbeugen.

Die Möglichkeit einer visuellen Anfragedefinition verringert die kognitive Bruchstelle zwischen Interpretation und Anfrage zwar erheblich, man sollte die Bedeutung der Bruchstelle für eine reibungslose Mensch-Maschine-Interaktion jedoch nicht verabsolutieren. Im Regelfall der Recherche in *Wing-Graph*, dem vollständigen graphischen Retrievalzyklus, ist die Verringerung zwar ein positives Argument, es ist aber nicht zu übersehen, daß bei der komplexen informationellen Struktur der Datenbasis nur ein kleiner Ausschnitt für die Recherche in *Wing-Graph* zugänglich ist und daher ein Moduswechsel zu anderen Rechercheformen bei längeren Dialogsequenzen kaum zu vermeiden sein dürfte. Dies gilt um so mehr, als *Wing-Graph* lediglich einen Teil der Informationsbedürfnisse bewältigen kann und soll und gerade bei Datenauswahlen zu bekannten Werkstoffen erst als subsidiäres Modul zum Tragen kommt (d.h. als aufgesetztes Modul nach der Erstrecherche). Die Überwindung der kognitiven Bruchstellen kann im multimodalen Systemdesign nur ein Gestaltungsaspekt unter vielen sein.

Die Gestaltung der Kernimplementierung von *Wing-Graph* setzt zwar auf umfangreichen Vorstudien und Prototypen des Projektes *Wing-IIR* auf, kann aufgrund der neuen Recherchedialogform „graphisches Retrieval“ nur ein erster Designvorschlag sein, der im Sinne eines empirisch basierten Forschungsansatzes der Evaluierung zu unterziehen ist. Das folgende Kapitel beschreibt daher die wichtigsten Ergebnisse eines mit *Wing-Graph* durchgeführten Benutzertests.

7 Evaluierung des graphischen Retrieval

Die Evaluierung des graphischen Retrieval ergänzt als notwendiger Bestandteil des *rapid prototyping*-Ansatzes die Implementierung von *Wing-Graph*. Damit kommt ihr eine Doppelfunktion zu: Zum einen ist prinzipiell die Akzeptanz der Benutzer für das neue Retrievalwerkzeug zu bestimmen; zum anderen sind hinsichtlich der Überarbeitung von *Wing-Graph* in einem weiteren *prototyping*-Zyklus konkrete Hinweise für die Gestaltung zu erwarten. Das betrifft insbesondere die Einteilung und Suchsemantik der graphischen Interaktionsverfahren als Kern des Systems. An die Beschreibung von Testaufbau und Aufgabenstruktur schließt sich die detaillierte Auswertung der Testprotokolle an, gegliedert in einen aufgabenbezogenen und einen allgemeinen Teil. In WOLFF 1993B findet sich die vollständige Liste der aus den Testprotokollen extrahierten Einzelbeobachtungen.¹

Da die Kernimplementierung von *Wing-Graph* als eigenständiges Recherchesystem realisiert ist und als Programm nicht direkt in das multimodale Werkstoffinformationssystem integriert *Wing-M2* ist, wurde sie als *stand-alone*-System getestet. Dies läuft der Einordnung des graphischen Retrieval als nachgeordnetes Rechercheverfahren in einem komplexen Faktenretrievalsystem an sich zuwider und war bei der Auswahl der Aufgabenstellungen zu berücksichtigen. Die Einbindung der ikonischen Selektionsbehälter soll anstelle des Übergangs aus *Wing-M2* den Ersteinstieg in das graphische Retrieval ermöglichen; sie treten gleichsam an die Stelle des in *Wing-M2* sonst zu durchlaufenden Retrievalweges. Das hat den positiven Nebeneffekt, daß sich so die Brauchbarkeit einer ikonischen Selektionsmöglichkeit prüfen und das Testdesign vereinfachen ließ.²

7.1 Teststruktur

Der Benutzertest zu *Wing-Graph* erfolgte nach einem viergliedrigen Schema:

- a) Kurzschulung: Demonstration und Erläuterung des *Wing-Graph*-Systems,
- b) Vorinterview,
- c) Testdurchführung und
- d) Nachinterview.

¹ Der Test erfolgte im Juni 1993 beim Kooperationspartner MTU.

² Bei voller Einbindung in *Wing-M2* wäre der Test wesentlich komplexer geworden; die Eigentümlichkeiten des graphischen Retrievals wären kaum ähnlich stark in den Mittelpunkt zu rücken gewesen.

Die Testdauer betrug pro Versuchsperson einschließlich Schulung und Nachinterview ca. 45 Minuten, bei relativ hoher Varianz zwischen den verschiedenen Benutzern (cf. Tab. 9). Während der Arbeit der Versuchsperson zeichnete eine Videokamera den Ablauf der Interaktion über einen zweiten Bildschirm am Versuchsrechner auf und hielt über ein Mikrophon die Äußerungen von Versuchspersonen und Testleiter fest.³

7.1.1 Schulung

Im Gegensatz zu den früheren Tests sah das Versuchsdesign für *Wing-Graph* eine Schulung vor, an der fast alle Versuchspersonen teilnahmen; *Wing-Graph* wurde dabei in einer etwa 15-minütigen Demonstration vorgestellt, wobei der Schwerpunkt auf der Erklärung der einzelnen Bildschirmelemente und der Durchführung der verschiedenen Suchverfahrensarten lag. Im Anschluß an die Demonstration erhielten die Versuchspersonen eine knapp gefaßte Übersicht der Systemfunktionalität ausgehändigt (wiedergegeben in WOLFF 1993B). Die Einführung der Kurzschulung ist durch folgende Überlegungen motiviert:

- a) Ein Großteil der in früheren Tests in *Wing-IIR* beobachteten Fehler der Benutzer im Umgang mit dem jeweiligen System war auf elementare Fehlvorstellungen und Unkenntnis von Benutzerschnittstelle bzw. Systemfunktionalität zurückzuführen. Sie lassen sich aber schon durch eine Kurzschulung beheben.
- b) Der Anspruch weitgehender oder völliger Selbsterklärungsfähigkeit läßt sich für komplexe Software-Systeme auch unter Verwendung einer softwareergonomisch optimierten Gestaltungsphilosophie nicht aufrecht erhalten, d.h. ein Mindestmaß an Schulung ist für die Benutzer unbedingt erforderlich.
- c) Im Gegensatz zu früheren Tests sollte bei der Untersuchung von *Wing-Graph* stärker auf ein unabhängiges Arbeiten der Versuchspersonen geachtet und die Rolle des Testleiters zurückgedrängt werden.

Im Ergebnis erwies sich die Schulung sowohl für *Wing-M2* als auch für *Wing-Graph* als nützliches Hilfsmittel, einen schnellen Systemeinstieg und gutes Systemverständnis der Benutzer zu erreichen, da die Tests zeitlich entweder noch am Tag der Schulung oder an einem der beiden darauffolgenden Tage stattfanden, die Benutzer also das „Gelernte“ noch gut in Erinnerung hatten.

7.1.2 Vorinterview

Das Vorinterview diente der Einordnung der Benutzer hinsichtlich ihrer EDV-Kenntnisse. Da die meisten Versuchspersonen schon an früheren Tests von *Wing-Prototypen* teilgenommen hatten, war für den Test von *Wing-Graph* kein eigenes

³ Näheres zum Versuchsaufbau in *Wing-IIR*, der für die verschiedenen getesteten Systemprototypen weitgehend identisch war, findet sich in GEHRMANN & MARX 1991.

Vorinterview mehr erforderlich; lediglich eine Versuchsperson mußte es nachholen, ansonsten wurde auf die Angaben der jeweiligen Versuchsperson in früheren Tests zurückgegriffen. Im Vorinterview lag den Versuchspersonen der folgende Fragenkatalog vor:

- a) Abteilungszugehörigkeit innerhalb der MTU und Tätigkeitsbeschreibung,
- b) Benutzung der hausinternen Werkstoffdatenbank,
- c) Wissen über deren Datenbankstruktur,
- d) Häufigkeit der Benutzung der hausinternen Datenbankstruktur,
- e) Sonstige Erfahrungen mit Datenbanksystemen,
- f) Erfahrungen im Umgang mit graphischen Benutzerschnittstellen und
- g) Allgemeine EDV-Kenntnisse (Anwendungssoftware, Programmiersprachen).

7.1.3 Testdurchführung

Die Testdurchführung erfolgte in einer aufgabenbasierten Interviewtechnik, die vor allem qualitative Zielsetzungen hatte. Sie verwendet eine Kombination aus der *thinking-aloud*-Versuchsstrategie⁴ und einer „maieutischen“ Befragungstechnik.⁵ Den Versuchspersonen lag zu Beginn des Tests eine Liste mit acht durch *Wing-Graph* zu lösenden Aufgaben vor. Sie sollten versuchen, aus den Aufgaben jeweils abzuleiten, mit welchem der in *Wing-Graph* angebotenen Suchverfahren die einzelnen Aufgaben am besten zu lösen seien und die Aufgabenlösung durchführen. Sie mußten ihre einzelnen Aktionen möglichst ausführlich kommentieren („lautes Denken“), um für die Testauswertung Informationen über die Motivation einzelner Aktionsschritte gewinnen zu können. Dem Testleiter kam insofern eine aktive Rolle zu, als er versuchte, im Dialog mit den Versuchspersonen deren Vorstellungen von der Systemfunktionalität und ihrer Bedienung auszuloten und den Versuchspersonen in Fehlersituationen weiterzuhelfen. Der Testleiter verfolgte eine gezielte Dialogstrategie und intervenierte nur, wenn

- a) die Versuchsperson einen Fehler, z.B. eine falsche Lösungsstrategie, beendet hatte, d.h. nicht von sich aus noch erkenntlich zur korrekten Lösung übergehen würde oder
- b) der Fehler der Versuchsperson durch fehlendes Wissen entstand⁶ oder

⁴ Cf. MAAB 1993:201, GOULD 1987:771, SLATER 1987:963f.

⁵ KRAUCH, Helmut, Lemma *Systemanalyse* in SEIFFERT & RADNITZKY 1992:343f. Der Erkenntniszyklus der maieutischen Systemanalyse läßt sich entsprechend auf das Wechselspiel von Empirie und Systemgestaltung im *rapid prototyping* und den hier verwendeten qualitativen empirischen Methoden übertragen.

⁶ Bestes Beispiel: In der Schulung wurde nicht erwähnt, daß zur Auswahl mehrerer Werkstoffe aus den Ikonenmengen für den zweiten, dritten etc. Werkstoff jeweils die *Shift*- oder *Control*-Taste zur Mausinteraktion gedrückt werden mußte. In einem solchen Fall war ein Hinweis des Testleiters angebracht.

- c) wenn die Fehlvorstellung oder das suboptimale Handeln für die Erkenntnisziele des Benutzertests von nachgeordneter Bedeutung waren.

Die Vorgehensweise bedingt, daß Versuchspersonen, die eine Aufgabe anfangs mit einer alternativen, suboptimalen oder falschen Strategie zu lösen versuchten, anschließend auf den „korrekten“ Lösungsweg hingewiesen und gebeten wurden, die Aufgabe noch einmal zu lösen. Dieses Verfahren ist mit den prinzipiellen Erkenntniszielen des Benutzertests zu begründen: Es ging weniger um das *wie schnell* oder *wie gut* der Lösung, sondern um das *warum* und *wie* des eingeschlagenen Weges und nicht zuletzt um die wertende Beurteilung verschiedener Interaktionsverfahren durch die Versuchspersonen. Dadurch ergibt sich eine Verzerrung des empirischen Materials: Die geleisteten Hilfestellungen reduzierten die Selbständigkeit der Versuchspersonen bei der Entwicklung des Lösungswegs. Eine ganze Reihe von Faktoren heben diesen Nachteil der Anwendung eines „maieutischen“ Verfahrens auf:

- a) Die Ergebnisse der in Kap. 3.2.4 geschilderten Vorstudien unterstreichen zwar die Bedeutung graphischer Informationsdarstellungen im Werkstoffbereich, offenbaren aber erhebliche Vorbehalte der Werkstoffexperten gegenüber einem graphischen Rechercheverfahren. Insofern war eine „defensive“ Teststrategie sinnvoll, die den Versuchspersonen bei der Arbeit mit einem neuartigen Verfahren die Hilfestellung durch den Versuchsleiter ermöglichte.
- b) Im Sinne der Testdesignklassifikation von BORTZ bieten sich beschreibende, qualitative und quasi-experimentelle Verfahren wie das im *Wing-Graph*-Test verwendete an, wenn es sich bei dem beobachteten Problem um eine noch weitgehend unerforschte Frage handelt.⁷
- c) Ein qualitatives Vorgehen lag deswegen nahe, weil die potentiell zu erfassenden Meßgrößen wie Bearbeitungszeit oder Handlungsschritte keinen sicheren Aufschluß über die Bewertung der graphischen Verfahren durch die Benutzer und den Übersetzungsprozeß vom Informationsbedürfnis in eine visuelle Operation zulassen.⁸ Deshalb enthält die Testauswertung als quantitativen Indikator nur die Interaktionszeit pro Versuchsperson und Aufgabe.
- d) Die Aufgaben sind soweit wie möglich ohne direkten Bezug zum System formuliert und als Fragestellungen an ein beliebiges Werkstoffinformationssystem bzw. als beliebige werkstoffkundliche Probleme aufzufassen. Daraus folgt, daß im Test nicht alle Komponenten des *Wing-Graph*-Systems gleichmäßig zu erkunden waren. Insofern bot es sich an, im Dialog auf sonst nicht verwendete, aber für die Gesamtgestaltung wichtige Systemele-

⁷ Übersicht über verschiedene Untersuchungsverfahren bei BORTZ 1984:3. Die für die Sozialwissenschaften gültige Klassifikation läßt sich auch auf die hier betrachtete Fragestellung übertragen, vgl. auch BORTZ 1984:217f.

⁸ GOULD 1987:771: "Performance measures, such as time and errors, do not give a clear indication of what is bothering users or what may be the source of an user error [...]."

mente einzugehen. Eine Ausnahme bilden die Aufgaben 7 und 8 (Kurve skizzieren bzw. verändern), die bei einem System ohne graphisches Retrieval prinzipiell nicht zu lösen sind.

- e) Nicht unerwähnt soll bleiben, daß die durch das *rapid prototyping* bedingte kurze Entwicklungszeit ihre Kehrseite in den den Test verzerrenden Systemfehlern hat. Deren Folgen (Verunsicherung der Versuchspersonen, Demotivation etc.) können mit einer dialogischen Testdurchführung wesentlich besser abgefangen werden, als in einem Testverfahren, bei dem die Versuchspersonen völlig auf sich allein gestellt sind.

Insgesamt bietet der Verzicht auf eine quantitative Erhebung (statistischer Hypothesentest) und die Durchführung eines dialogischen, aber durch eine gezielte Dialogstrategie gelenkten Tests die Chance, mit hermeneutischen Interpretationsmechanismen ein Maximum an qualitativer Informationsausbeute zu erlangen.

7.1.4 Testaufgaben

Die Benutzer sollten die folgenden acht Aufgaben mit *Wing-Graph* zu lösen versuchen:

1. *Ihnen liegt aus der Literatur eine Messung des Elastizitätsmoduls in Höhe von 120 GPa bei einer Temperatur von 1093 °C vor. Überprüfen Sie, ob auch in der MTU-Datenbank ähnliche Werte auftreten!*
2. *Überprüfen Sie den Datenbestand an Werkstoffen mit sehr hohen Elastizitätsmodulen im extremen Temperaturbereich!*
3. *Der Werkstoff INCOLOY903 scheint im Bereich unter 500 °C einen atypischen Verlauf des Elastizitätsmoduls aufzuweisen. Überprüfen Sie, ob in diesem Bereich noch weitere Werkstoffe mit ähnlichem Verlauf zu finden sind!*
4. *Für eine bestimmte Aufgabenstellung grenzen die Elastizitätsmodulverläufe der Werkstoffe WASPALOY und RENE41 den Bereich verwendbarer Werkstoffe ab (WASPALOY als die schlechtere, RENE41 als die bessere Alternative). Finden Sie heraus, ob in der Datenbank noch weitere geeignete Werkstoffe auftreten, die in ihrem Verlauf zwischen den genannten Materialien liegen!*
5. *Finden Sie Werkstoffe, die im hohen Temperaturbereich einen schlechteren Elastizitätsmodul als IN718 ausweisen. Sollten Sie dazu Werkstoffe in der Datenbank finden, prüfen Sie bitte, ob im niedrigen Temperaturbereich noch schlechtere Materialien als diese Ergebnisse vorliegen.*
6. *Prüfen Sie, ob es zum Elastizitätsmodul bessere Werkstoffe als RENE41 gibt.*
7. *Versuchen Sie, einen gewünschten Kurvenverlauf mit der Maus zu skizzieren und damit die Datenbank auf entsprechende Werkstoffe hin zu prüfen.*
8. *Versuchen Sie, ausgehend vom Elastizitätsmodul von WASPALOY, diese Kurve an ausgewählten Punkten zu modifizieren und mit der so erstellten neuen Kurve in der Datenbank zu recherchieren.*

7.1.4.1 Auswahl der Testaufgaben

Mit Hilfe der ausgewählten Aufgaben waren vor allem zwei Ziele zu erreichen: Alle graphischen Suchverfahren von *Wing-Graph* sollten Verwendung finden und die Versuchspersonen Gelegenheit haben, einige der Zusatzkonzepte von *Wing-Graph*, die nicht den Kern des graphischen Retrieval betreffen, auszuprobieren. Bei der Auswahl der Aufgaben wurde darauf geachtet, Formulierungen zu finden, die keinen direkten Bezug zum getesteten System aufweisen und daher keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die zugeordnete Lösungsstrategie zulassen. Auf der Basis der in *Wing-IIR* entwickelten Anfragetypologie für Recherchen in Werkstoffdatenbanken lassen sich die acht Testaufgaben folgenden konzeptuellen Rechercheformen zuweisen (vgl. Kap. 1.3.1.3.1):

- a) Recherche unter Angabe eines Eigenschaftsprofils
 - Aufgabe 1 (sehr eng definiert)
 - Aufgabe 2 (vage definiert, Überblicksrecherche)
- b) Konkrete Vergleichsrecherchen
 - Aufgabe 3 (Suche nach unbekanntem, vergleichbarem Werkstoff)
 - Aufgabe 4 (Vergleich zweier Werkstoffe im Sinne einer Suche nach weiteren, ähnlichen Werkstoffen)
- c) Globale Vergleichsrecherchen mit Überblickscharakter
 - Aufgaben 5 und 6
- d) Recherchen mit einer Kurve als Suchkriterium
 - Aufgaben 7 und 8

Unter dem Blickwinkel des Ergebnisretrieval setzen von den acht Aufgaben fünf unmittelbar an der Vorlageinformation an (3-6, 8, relative Suchverfahren), die übrigen Aufgaben kann man im Sinne eines Ersteintritts in die Werkstoffdatenrecherche verstehen. Die Formulierungen der Suchaufgaben machen mit Ausnahme von Aufgabe 1 intensiven Gebrauch von linguistischen Variablen („hoch“, „niedrig“, „extrem“, „besser“ etc.), d.h. die Fragen sind sprachlich bewußt vage gehalten. Da sich gezeigt hat, daß eine Übersetzung linguistischer Variablen in exakte Bedingungen den Werkstofffachleuten große Schwierigkeiten macht, war es ein weiteres Ziel des Test, herauszufinden, ob ihnen dies bei graphischer Anfragedefinition leichter gelingen würde. Bei der Auswahl der Aufgaben konnte auf das in *Wing-IIR* vorliegende empirische Material in Form von

- a) frei formulierten Werkstoffproblemen in natürlicher Sprache⁹ und
- b) Aufgabenstellungen und Lösungsstrategien früherer Benutzertests¹⁰

⁹ Vgl. oben Kap. 3.2.4 und MARX 1990:53-64 (Anhänge 0 - 6).

¹⁰ Cf. GEHRMANN & MARX 1991:17, 18, 21; MARX & PFLÜGER 1992:Anhang K; MARX & SCHUDNAGIS 1993:Anhang 4,

zurückgegriffen werden. Für die Aufgabenstellung war der Aspekt der werkstoffkundlichen Validität wichtiger als die exakte Zuordnung zu einer bestimmten Lösungsstrategie in *Wing-Graph*, d.h. trotz einer Primärzuordnung von Aufgabenstellung und graphischen Interaktionsverfahren im Sinne einer „optimalen Lösung“ wurden mögliche Mehrfachzuordnungen von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren durchaus in Kauf genommen.¹¹ Die folgende Tabelle zeigt die *ex ante* vorgesehene Zuordnung von Aufgaben und Suchverfahren bzw. Systemelementen und weist auf mögliche alternative (bzw. suboptimale) Lösungsstrategien hin, wobei die Möglichkeit der Kombination mehrerer Suchverfahren bei der Anfragedefinition ausgeklemmert bleibt.

Aufgabe	primär zugeordnetes Suchverfahren	Suchalternativen	zusätzliche Systemelemente
1	Suchpunkt setzen	Suchbereich setzen ¹²	(evtl. Tabelle zur Überprüfung)
2	Suchbereich setzen		-
3	Kurvenbereich setzen	eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation	Werkstoffbehälter bzw. Werkstoffliste
4	Zwei Kurven vergleichen	Kurvenbereich setzen	Werkstoffbehälter bzw. Werkstoffliste
5	eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation	Kurvenbereich setzen	Werkstoffbehälter bzw. Werkstoffliste
6	globale Besser-Schlechter-Relation	eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation	Werkstoffbehälter bzw. Werkstoffliste
7	Freie Kurvenskizze		
8	Kurvenveränderung		Werkstoffbehälter bzw. Werkstoffliste

Tabelle 8: Zuordnung von Aufgaben und Interaktionsverfahren

Je nach Art des Sucheinstiegs benötigt der Benutzer also das Wissen um die „richtige“ Suchverfahrensart bzw. muß zusätzlich eine Kurve aus einem Werkstoffbehälter selektieren. Jedem in *Wing-Graph* angebotenen Suchverfahren ist eine Aufgabe zugeordnet; lediglich in Aufgabe fünf muß der Benutzer zwei Teilrecherchen mit demselben Suchverfahren durchführen. Einige Systemmodule von *Wing-Graph* (Werkstoffbehälter „persönliche Werkstoffauswahl“, Tabellenbehälter, Kennwertauswahl, Werkstoffliste) werden zur Lösung der Aufgaben nicht unbedingt benötigt. Sie kamen in den der Durchführung der einzelnen Aufgaben nachgeschalteten Klärungs- und Explorationsdialogen zum Einsatz.

¹¹ Bei der Betrachtung der Suchsemantik der Suchverfahren zeigt sich, daß die formalen Übersetzungen aus der Interaktion in SQL nicht disjunkt sind; dies war auch kein Ziel des Systementwurfs.

¹² Aufgelistet sind nur die sich bei gleicher Ausgangssituation anbietenden Suchalternativen, d.h. keine komplexeren Strategien, die zusätzlich noch die Vorselektion bestimmter Werkstoffe und die Anwendung eines alternativen Verfahrens auf diese bedingen (solche Strategien zu beobachten etwa in Aufgabe 2 und 7, s.u. Kap. 7.2.2.1).

7.1.4.2 Musterlösungen

Wie bereits aus der Beschreibung der Funktionalität von *Wing-Graph* hervorgeht, lassen sich die verschiedenen Aufgabenlösungen jeweils nach einem einheitlichen Verfahren durchführen:

0. (optional) Anwahl des gewünschten Kennwertes in der Kennwertliste (in den Testaufgaben nicht relevant)
1. Auswahl eines Werkstoffes aus der Werkstoffliste oder aus den ikonischen Kurvenmengen (grundsätzlich optional, bei Aufgabe 3-8 notwendig)
2. Auswahl des Interaktions- bzw. Suchverfahrens
3. Definition eines Suchbereiches im graphischen Hauptfenster von *Wing-Graph*
4. Start der Anfrage durch *OK* im Hauptfenster
5. Ergebnisausgabe und -interpretation durch den Benutzer, evtl. unter Zuhilfenahme der Datentabelle
6. (optional) Ablage von Ergebnissen in der „persönlichen Werkstoffauswahl“ oder Start einer weiteren Anfrage mit demselben oder einem anderen Interaktionsverfahren unter direkter oder impliziter Bezugnahme auf die recherchierten Ergebnisse.

Die Schritte 0 und 1 stellen die Ausgangssituation des graphischen Ergebnisretrieval her, dem Benutzer liegt danach bereits graphisch dargestellte Werkstoffinformation vor, auf die sich Testaufgaben beziehen können. Sie sind als Platzhalter für den Übergang aus dem multimodalen Gesamtsystem zu betrachten und stehen für einen vorangegangenen Retrievaldialog zur Selektion von Information zu dem Benutzer bekannten Werkstoffen. Im einzelnen ergeben sich für die Aufgaben folgende Musterlösungen:

Aufgabe 1

1. Auswahl Interaktionsmodus „**Suchpunkt setzen**“
2. Setzen des Suchpunktes bei 1093 °C/ 120 GPa
3. Suchstart mit *OK*
Optimales Ergebnis: *INCOLOY800* und *INCOLOY801*

Aufgabe 2

1. Auswahl Interaktionsmodus „**Suchrechteck setzen**“
2. Aufziehen eines Suchrechteckes im oberen Temperatur- und Elastizitätsmodulbereich (kann nach den Vorstellungen des Benutzers variieren).
3. Suchstart mit *OK*
Optimales Ergebnis: je nach Definition des Wertebereiches Werkstoffe wie B1900 GUSS, HAYNES188, IN100 GUSS, M246 GUSS, UDIMET700, etc.

Aufgabe 3

1. Auswahl von *INCOLOY903* aus dem Behälter „typische Werkstoffe“
2. Auswahl Interaktionsmodus „**Kurvenbereich setzen**“ (Bereich ≤ 500 °C!)

3. Suchstart mit *OK*

Optimales Ergebnis: INCOLOY903, INCOLOY904

Aufgabe 4

1. Auswahl des ersten Werkstoffs aus dem Behälter „typische Werkstoffe“
2. Auswahl des zweiten Werkstoffs aus dem Behälter „typische Werkstoffe“
3. Auswahl Interaktionsmodus „**Zwei Kurven vergleichen**“
4. Festlegung des Vergleichswerkstoffs (durch Klick auf Kurve oder Legende)
5. Suchstart mit *OK*

Optimales Ergebnis: *IN100 GUSS, NI80A, WASPALOY, RENE41*

Aufgabe 5

Teillösung a)

1. Auswahl von *IN718* aus dem Behälter „typische Werkstoffe“
2. Auswahl Interaktionsmodus „**eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation**“
3. Definition der eingeschränkten Besser-Schlechter-Relation durch *click & drag* mit der Maus im hohen Temperaturbereich unter *IN718*
4. Suchstart mit *OK*

Optimales Ergebnis: *TD NICKEL*

Teillösung b)

5. Auswahl Interaktionsmodus „**eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation**“
6. Definition der eingeschränkten Besser-Schlechter-Relation durch *click & drag* mit der Maus im niedrigen Temperaturbereich unter *TD NICKEL*
7. Suchstart mit *OK*

Optimales Ergebnis: *M200DS GUSS*

Aufgabe 6

1. Auswahl von *RENE41* aus dem Behälter „typische Werkstoffe“
2. Auswahl Interaktionsmodus „**globale Besser-Schlechter-Relation**“
3. Suchstart mit *OK*

Optimales Ergebnis: *UDIMET700*

Aufgabe 7

1. Auswahl „**Kurve skizzieren**“
2. Zeichnen einer Kurvenskizze
3. Suchstart mit *OK*

Optimales Ergebnis: Unbestimmt, da Kurvenniveau und -gestalt vom Benutzer zu bestimmen

Aufgabe 8

1. Auswahl von *WASPALOY* aus dem Behälter „typische Werkstoffe“
2. Auswahl Interaktionsmodus „**Kurve ändern**“
3. Veränderung der Kurve von *WASPALOY* durch *click & drag* mit der Maus an den Datenpunkten (jeweils Verschieben parallel zur *Y*-Achse); dieser Schritt lässt sich beliebig oft wiederholen.

Optimales Ergebnis: Weitgehend unbestimmt, da resultierende Kurvengestalt vom Benutzer zu bestimmen

7.2 Ergebnisse des Benutzertests

Die Ergebnisse der Testauswertung gliedern sich in drei Bereiche: Zunächst findet eine Erörterung der Ergebnisse anhand der einzelnen Aufgaben statt, wobei Einzelbeobachtungen nur dann in die Auswertung einfließen, wenn auf sie direkt Bezug genommen wird, oder die Vielfalt unterschiedlicher Interpretationen oder Probleme der Benutzer bei einer Aufgabenstellung einen Aspekt der Systemgestaltung besonders eindringlich illustrieren. Die übrigen Einzelbeobachtungen, insbesondere zum Detailverlauf der Interaktion (Lage und Maße graphischer Suchkonstrukte) finden sich in identischer Gliederung in WOLFF 1993B, einen Auszug gibt exemplarisch Anhang 10.7 (zu Aufgabe 3). An die aufgabenbezogene Diskussion schließt sich eine Erörterung globaler Phänomene (allgemeine Gestaltung der Benutzerschnittstelle etc.) an, die durch eine Übersicht zu den wichtigsten Meßparametern Lösungszeit, systembedingte Fehler und Lösungserfolg der Benutzer ergänzt wird. Die Testauswertung beruht auf Testprotokollen auf der Basis der Videoaufzeichnungen. Die Protokolle spezifizieren jeweils Testzeit, Aufgabe, Nummer der Versuchsperson (und Abteilungszugehörigkeit), Äußerungen des Benutzers, Äußerungen und Reaktionen der Versuchsperson, Interaktionsschritte der Versuchsperson und relevante Systemreaktionen. Die Versuchsprotokolle sind im Anhang von WOLFF 1993B wiedergegeben.

7.2.1 Benutzercharakteristika (Auswertung Vorinterview)

Die insgesamt neun Versuchspersonen hatten bis auf eine Ausnahme bereits zuvor im Rahmen des Projektes *Wing-IIR* als Testpersonen an der Systemerprobung teilgenommen. Das ist nicht zuletzt deswegen von Bedeutung, als sie so schon über ein beträchtliches Hintergrundwissen bezüglich früherer Prototypen verfügten und ihren Wertungen daher besondere Bedeutung zukommt. Im folgenden finden sich die Ergebnisse der Vorinterviews, die aus den Testauswertungen vorangegangener Benutzertests zusammengestellt wurden (MARX & PFLÜGER 1992:Anhang D):

Die hohe Ausdifferenzierung der verschiedenen Tätigkeitsbereiche im Werkstoffsektor war bereits Thema von Kap. 3.2.4. Sie ist nicht nur unmittelbar bei der Ergebnisinterpretation von Bedeutung, sondern spielt auch eine Rolle für Systemerweiterungen auf der Grundlage der empirischen Ergebnisse (Adaptierbarkeit des Systems, flexible, benutzer- bzw. benutzerklassengesteuerte Anfrageinterpretation, Oberflächenkonfigurierung etc.). Im einzelnen sind die Versuchspersonen folgenden Aufgabengebieten zuzuordnen:

- a) Festigkeitsabteilung: VP1, VP8
- b) Konstruktion: VP4, VP 5
- c) Projektabteilung: VP7
- d) Qualitätssicherung: VP 3
- e) Werkstoffdatenbank: VP9
- f) Werkstofftechnik: VP 2, VP 6

Damit ist eine sehr breite Streuung unter Berücksichtigung aller wesentlichen Tätigkeitsbereiche gegeben. Schon durch ihre Ausbildung (Maschinenbau- bzw. Werkstoffwissenschaftsstudium) haben die Versuchspersonen ein beträchtliches EDV-Wissen, die Mehrzahl verfügt über Programmierkenntnisse in einer oder mehrerer (prozeduraler) Programmiersprachen (Assembler, C, Pascal) und Kenntnisse mehrerer Betriebssysteme (MS-DOS[®], UNIX, VMS[®], MVS[®]). Zudem sind sie mit typischer Anwendungssoftware vertraut (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Graphikprogramme, integrierte Softwarepakete). Insgesamt kann man von einem Versuchspersonenkreis mit einem weit überdurchschnittlichen EDV-Wissen sprechen.

Aus unterschiedlichen Gründen (Datenbankrecherche über Informationsvermittler, mangelnde individuelle Zugriffsmöglichkeiten auf interessante Daten, unflexibles, schwer handhabbares Interface, Überlegenheit traditioneller Informationsmedien, kaum Lösungsmöglichkeiten/Lösungsbedarf für relevante Aufgabenstellungen) kann keine regelmäßige Benutzung der MTU-Datenbank festgestellt werden; kaum eine Versuchsperson arbeitet häufiger als einmal monatlich mit ihr. Entsprechend ist das Wissen über die Datenbankstruktur bei den Versuchspersonen nur schlecht ausgeprägt. Neben der gelegentlichen Arbeit mit der MTU-Datenbank haben einige Versuchspersonen zusätzlich Kenntnisse anderer (relationaler) Datenbanksysteme. Man kann daher von einem Basiswissen bezüglich Struktur und Funktionalität von Datenbanksystemen ausgehen. Waren zum Zeitpunkt des ersten Benutzertests im Projekt *Wing-IIR* zwar die meisten, aber noch nicht alle Versuchspersonen mit graphischen Benutzeroberflächen vertraut, so kann man aufgrund der inzwischen eingetretenen „flächendeckenden“ Verbreitung zumindest von MS-Windows davon ausgehen, daß mittlerweile bei allen Versuchspersonen ein Basiswissen zur Bedienung einer solchen Benutzeroberfläche vorhanden ist.

7.2.2 Detailauswertung

Die Detailergebnisse des Benutzertests gliedern sich in einen aufgabenbezogenen Teil, der die Besonderheiten für jede Aufgabe einzeln darstellt, und einen allgemeinen Teil, in dem unter Angabe von Versuchsperson und Aufgabe allgemeine Probleme bei der Lösung der Testaufgaben sowie Vorschläge und Anmerkungen der Versuchspersonen vorgestellt werden.

7.2.2.1 Aufgabenbezogene Detailanalyse

Die Detailauswertung erfolgte nach einem Schema, das sowohl allgemeine Gesichtspunkte des Systemverständnisses wie die Interpretation der Aufgaben durch die Versuchspersonen, die Zuordnung von Aufgabenstellung zu Suchtypen und die Erwartungen und das Verständnis der Suchsemantik als auch Details der Aufgabenlösung wie die konkreten Maße der Suchbereiche und Kurvenverläufe berücksichtigt. Die von den Versuchspersonen verwendeten Alternativstrategien zur Aufgabenlö-

sung werden gesondert betrachtet. Schließlich finden sich die für den Versuchsablauf relevanten Hinweise des Testleiters in der Auswertung, um ein deutlicheres Bild vom Versuchsablauf zu geben. Es entsteht folgende Struktur der Detailauswertung:

- a) Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung
Globale Bewertungen der Benutzer zu Aufgabenstellung und deren Umsetzung in eine Recherche, soweit nicht in der Aufgabenstellung schon hinreichend konkretisiert.¹³
- b) Kognitive Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren
Abbildung des Aufgabenverständnisses auf eines der graphischen Interaktionsverfahren durch die Benutzer. Hierin liegt gewissermaßen der „Schlüssel“ zu erfolgreichem Arbeiten mit dem System, da die Auswahl des Interaktionsverfahrens die wichtigste Entscheidung in der Lösungsstrategie ist. In Fehlersituationen zwischen einer korrekten Zuordnung von Aufgabe zu Suchverfahren bei fehlerhaftem Verständnis der Bedeutung der Interaktionsverfahrenssymbole¹⁴ und einer „echten“ Alternativ- oder Fehlerstrategie zu unterscheiden.
- c) Interpretation und Bewertung der Suchsemantik von *Wing-Graph*
An dieser Stelle sind die Erwartungen der Versuchspersonen an die Umsetzung einer bestimmten graphischen Repräsentation in die Logik der Datenbankabfragesprache zu betrachten. Neben der kognitiven Abbildung von Aufgabenstellung zu graphischem Suchtyp ist das die zweite wesentliche Zuordnung beim Aufbau eines korrekten Systemverständnisses.¹⁵ Insbesondere für alle relativen und das produktive Suchverfahren war ihre restriktive Suchsemantik zu diskutieren.
- d) Ausführung der Interaktion
Bei einigen Suchtypen¹⁶ erschien eine tabellarische Zusammenstellung der exakten Interaktion bzw. Bereichsdefinition durch die Versuchspersonen zur Analyse der Übersetzung der vage formulierten Aufgabenstellung in eine konkrete graphische Anfrage sinnvoll, vgl. Tab. 17, Anhang 10.7 (als Beispiel) und WOLFF 1993B, Tab. 5-9. Die Zusammenstellung dort ergibt eine detaillierte Übersicht zur Interpretation vager Aufgabenstellungen durch die Benutzer.
- e) Besonderheiten der Interaktion
Alle sonstigen Auffälligkeiten der Interaktion sind in dieser Kategorie zusammengefaßt, insbesondere soweit sie durch systembedingte Fehlersituationen entstanden.

¹³ Die meisten Aufgaben wurden bewußt vage gehalten, um einer benutzer- oder abteilungs-spezifischen Ausdifferenzierung breiten Raum zu lassen.

¹⁴ Beispiel: Die vier Symbole für BS, KBS, EBS, und GBS lassen leicht eine Verwechslung zu, mag der Benutzer auch das „richtige“ Interaktionsverfahren im Sinn haben.

¹⁵ An dieser Stelle verbleiben dem Benutzer keine Handlungsalternativen mehr, da die Semantik der Übersetzung „natürlich“ *ex ante* festgelegt ist.

¹⁶ Nur bei den Aufgaben 2, 5, 7 und 8.

f) Alternativstrategien bei der Aufgabenlösung

Während bei der Auswertung der kognitiven Zuordnungen (s.o. b)) prinzipiell alle von der Standardlösung abweichenden Lösungswege der Benutzer, also auch fehlerhafte Ansätze, protokolliert sind, ist hier der Platz, sinnvolle Alternativstrategien zu diskutieren, die die Benutzer verwendeten und die wesentlich von der vorgesehenen Musterlösung abweichen.

g) Hilfestellungen des Testleiters

Die einzelnen Kategorien sind nur in den Text aufgenommen, soweit ein Mindestmaß relevanter Beobachtungen auftrat, d.h. bei einzelnen Aufgaben fehlt etwa die Kategorie „Hilfestellungen des Testleiters“, selbst wenn dazu in WOLFF 1993B einige Einzelbeobachtungen wiedergegeben sind.

7.2.2.1.1 Aufgabe 1 / Suchtyp „Suchpunkt(e) setzen (PS/PS*)“

Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung

Trotz relativ exakter Vorgabe der Suchbedingungen in der Aufgabenstellung bevorzugten einige Versuchspersonen graphische Suchoperationen, bei denen ein Bereich anzugeben ist, wobei sie explizit auf den möglichen Streubereich (Konfidenzintervall) jeder Werkstoffmessung hinwiesen. Das läßt darauf schließen, daß grundsätzlich ein sehr konkretes und auf exakte Einzelwerte ausgerichtetes Verfahren den Benutzerbedürfnissen im Werkstoffbereich nicht voll gerecht wird und hinter der Leistungsfähigkeit des Verfahrens „Bereich setzen (BS)“ zurücksteht.¹⁷

Kognitive Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren

Sechs von neun Versuchspersonen ordneten der Aufgabenstellung das richtige Interaktionsverfahren zu. Die Verwendung der Alternative „Bereich setzen“ kann bei der prinzipiell eher vagen Aufgabeninterpretation nicht überraschen. Unklar war mehreren Versuchspersonen zu diesem Zeitpunkt (Testbeginn) noch die Differenzierung zwischen den einzelnen Sucharten, die einen Bereich spezifizieren. Für Aufgabe 1 kommt unmittelbar nur „Bereich setzen“ als Alternative in Frage, da kein Bezugswerkstoff angegeben war und „Bereich setzen“ ein abstraktes Suchverfahren darstellt.¹⁸

Interpretation und Bewertung der Suchsemantik

Die (wenigen) explizit geäußerten Erwartungen der Versuchspersonen an die Ausgestaltung der Suchsemantik legen den Schluß nahe, daß ein flexibler Interpretationsrahmen möglich ist; daß immerhin zweimal der Wunsch nach einer Trefferoptimierung im Sinne eines *next neighbour search* geäußert wird, reflektiert die im

¹⁷ Den Versuchspersonen war nicht klar (und wurde in der Schulung nicht vermittelt), daß selbst die „exakten Suchpunkte“ immer mit einem Toleranzbereich interpretiert werden.

¹⁸ Zu Testbeginn bzw. Programmstart war immer ein „Startwerkstoff“ in der Anzeige zu sehen, der mit der Aufgabenstellung nicht in Beziehung stand und daher offensichtlich zur Verwirrung beitrug.

Werkstoffbereich schwer zu handhabende „Lückenproblematik“: Die Datenbank ist unterschiedlich dicht belegt, was mit dem Wunsch der Benutzer nach einem positiven Ergebnis im Widerspruch steht. Offensichtlich ziehen Benutzer in einer solchen Situation ein „nächstbestes“ Ergebnis einer leeren Lösungsmenge vor, selbst wenn die angebotene Information nicht exakt der Anfragedefinition entsprechen sollte.¹⁹ Das zeigt eine Dialektik des Denkens zwischen *vager* Aufgabeninterpretation als flexibler Suchstrategie angesichts inhomogener Datenbestände und hohem *Exaktheitsanspruch* an die Qualität der Daten selbst und ihre Erhebung. Ein *next neighbour*-Suchverfahren könnte explizit darauf hinweisen, daß die „eigentliche“ Suchdefinition nicht zum Erfolg führt.

Besonderheiten der Interaktion

Fast alle Versuchspersonen richteten den Mauscursor bei der Positionierung des Suchpunktes genau an Koordinatengitter bzw. dynamischer Koordinatenanzeige am Cursor aus, was durch die „exakte Aufgabenstellung“ provoziert wird und insofern für das Grundkonzept des graphischen Retrievals untypisch ist: Die bewußte numerische Angabe der Aufgabenstellung setzten die Benutzer in einem aufwendigen Wechselspiel von Orientierung an Bezeichnern und Hilfslinien und motorischer Korrektur der Cursorposition vor der Punktdefinition um und vermengten graphisches und numerisch-exaktes Denken und Interagieren, provoziert durch die Formulierung von Aufgabe 1.

Alternativstrategien bei der Aufgabenlösung

Eine erfolgreiche Alternativstrategie war nur mittels eines abstrakten Suchbereichs durchzuführen, was auch zwei Versuchspersonen versuchten. Sieht man von der etwas komplexeren Interaktion im Vergleich zum Suchpunkt ab, bietet der Suchbereich eine die Semantik des Suchpunktes einschließende logische Mächtigkeit und ist daher eine naheliegende Alternativstrategie.²⁰ Daß aus dem visuellen Feedback des Suchpunktes nicht unmittelbar hervorgeht, ob und wie weit die exakte Positionierung des Suchpunktes bei der Suchausführung mit einem Toleranzrahmen umgeben ist und der Benutzer beim Suchbereich die Kontrolle über die Grenzen der Interpretation explizit selbst übernimmt, liefert eine zusätzliche Begründung für diese Alternativstrategie.

Aus den Ergebnissen zu Aufgabe 1 lassen sich zwei Folgerungen mit unterschiedlichem Stellenwert ziehen: Einmal erscheint es möglich, in einem konservativen Gestaltungsprozeß den Suchtyp als solchen beizubehalten, ihm aber eine verbesserte Suchsemantik bzw. Interaktionsinterpretation zu verleihen. Bei einer grundsätzlichen Umstrukturierung von Suchtypenangebot und -verschränkung könnte eine Zusammenfassung von PS und BS eine deutliche Flexibilisierung und Vereinfachung

¹⁹ Prinzipiell bietet der *next neighbour* auch eine interessante Zusatzinformation: Wie weit man in der Datenbasis „gehen muß“, um bezüglich einer Anfrage zum nächsten Datum zu gelangen.

²⁰ Zur exakten Ausrichtung der Aufgabenstellung und ihrer Abbildung auf ein Suchverfahren erfolgten auch mehrere Hinweise des Testleiters.

der Suchtypengliederung leisten.²¹ Das gilt prinzipiell auch bei Einbeziehung der Funktionalität des Mehrfach-Punkt-Setzens, da ein mehrfaches Setzen von Bereichen ebenfalls sinnvoll erscheint.

7.2.2.1.2 Aufgabe 2 / Suchtyp „Suchbereich setzen (BS)“

Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung

Den Suchbereich bewerteten die Versuchspersonen allgemein als relevant und hatten kaum Probleme mit der Interpretation der Aufgabenstellung. Bei abweichenden Interpretationen ist eine klare Tendenz nicht ersichtlich. Immerhin fällt auf, daß zumindest vereinzelt (wie bei Aufgabe 1) die Frage nach Bereichen als Erweiterung des Suchraumes verstanden werden kann, d.h. der Suchbereich der Aufgabenstellung ergibt eine Übersetzung als Besser-Relation („gleich oder besser, d.h. = bei E-Modul höherer Wert“) und entsprechend hat eine Frage nach dem hohen Bereich eine Auflösung als Maximalwertrecherche. Wie in Aufgabe 1 vermuteten einige Versuchspersonen einen Zusammenhang zwischen dem sich in der Anzeige befindlichen „Startwerkstoff“ und der Aufgabenstellung.

Kognitive Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren

Obwohl von seiner Komplexität und Ausführungsschwierigkeit her eher als einfach einzuschätzen, weist das Suchverfahren BS die schlechteste Rate korrekter Primärzuordnungen auf (bei nur vier Versuchspersonen). Dafür sind mehrere Gründe denkbar. Zum einen war Aufgabe 2 noch relativ zu Testbeginn zu bearbeiten, zum anderen bedingt die Auswahl zwischen vier Verfahren, die jeweils einen Bereich definieren, eine Selektionsschwierigkeit, die durch die nicht völlig überzeugende Gestaltung des Symbols für das Suchverfahren und den unmotivierten Startwerkstoff darin noch erhöht wird. Die Alternativzuordnungen (Besser-Schlechter-Relation über Werkstoffkurve, Zeichnen einer Kurve mit anschließend darauf angewandter Besser-Schlechter-Relation, Punkt setzen) sind mit Ausnahme des Suchpunktes mit der Aufgabenstellung kompatibel, einen geeigneten Startwerkstoff vorausgesetzt. Die Zuordnung eines relativen Suchverfahrens durch immerhin drei Versuchspersonen bei einer Aufgabenstellung, die von der Formulierung her auf ein abstraktes Suchverfahren hin ausgelegt ist, unterstreicht eindrucksvoll die Bedeutung des Bezugs der Informationsbedürfnisse der Benutzer zu Vorlageinformation und spricht für die Betonung solcher Suchverfahren. Auf entsprechende Hinweise hin fanden alle Versuchspersonen schließlich zur im Sinne der Musterlösung korrekten Lösungsstrategie und bewerteten das Verfahren „Bereich setzen“ positiv.

Interpretation und Bewertung der Suchsemantik

Bei der Interpretation der Suchsemantik des rechteckigen Suchbereichs gab es für die Versuchspersonen, von zwei Ausnahmen abgesehen, keine besonderen Schwierigkeiten.

²¹ Ähnlich wie GBS und EBS ist auch PS ein Sonderfall von BS, da jeder Bereich beliebig bis in die "Eindimensionalität" des Suchpunktes reduziert werden kann.

rigkeiten: Hinter der graphischen Repräsentation steht die einfache visuelle Interpretation des Suchtyps als Auffinden aller Werkstoffe, die durch den gekennzeichneten Bereich hindurchlaufen. Sie wurde dem graphischen Suchkonstrukt von fast allen Versuchspersonen erfolgreich zugeordnet.

Ausführung der Interaktion

Zunächst fällt die unterschiedliche Übersetzung der Aufgabenstellung in Bereichsgrenzen auf: Den Beginn des „extremen Temperaturbereichs“ machen die Versuchspersonen bei Werten zwischen 800 °C und 1030 °C fest, für den Werkstoffbereich große Differenzen. Während die Versuchspersonen etwa zu gleichen Teilen Werte um 800 °C und 1000 °C als unteren Temperaturwert wählten, legten sie die obere Grenze in den meisten Fällen auf die vom System visualisierte Maximalgrenze, was zeigt, wie das angezeigte Metawissen den Anfrageprozeß beeinflusst. Ebenfalls unterschiedlich fiel die Festlegung des Niveaus der Elastizitätsmodulwerte aus, wobei die obere Bereichsgrenze am oberen Temperaturwert ebenfalls meist mit den Maximawerten der Datenbank zur Deckung gebracht wurde. Lediglich eine Versuchsperson ignorierte die Maximalwerte völlig und legte einen wesentlichen Teil des Suchbereichs in einen von Daten nicht belegten Abschnitt (bis 200 GPa). Die Breite des Suchbereichs bewegte sich in relativ engen Grenzen zwischen etwa 10-20 GPa (nur wenige Ausnahmen). Die für einen so einfachen Suchtypus relativ hohe Iterationsrate²² ist auf das Auftreten (folgenloser) Fehlermeldungen im Anschluß an Bereichsdefinitionen zurückzuführen.

Alternativstrategien bei der Aufgabenlösung

Als Alternativen zum Setzen eines Suchbereichs verwendeten vier Versuchspersonen eine eingeschränkte Besser-Relation, eine von ihnen auf der Basis einer zuvor skizzierten Suchkurve, sonst in bezug zu einem in Aufgabe 1 gewonnenen Ergebnis. Zwei Versuchspersonen arbeiteten mit Suchpunkten anstelle eines Suchbereichs. Darunter kommt der Wahl einer über der Temperatur beschränkten Besser-Relation besondere Bedeutung zu: Sie zeigt, wie Versuchspersonen von der parallelisierten 1:1-Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren abweichen und (unaufgefordert) eigene Strategien im Sinne eines zyklischen Retrieval entwickeln: Die Aufgabenstellung läßt sich so im Kontext der vorangegangenen Lösung interpretieren und eine Werkstoffkurve als Ergebnisinformation aus Aufgabe 1 sofort in eine neue Suchgrenze verwandeln. Die Verwendung der Besser-Relation als Alternativstrategie zeigt ferner, daß für Aufgabe 2 die Definition der unteren Bereichsgrenze besonders wichtig ist, da das Rechercheziel der Benutzer die jeweiligen Maximalwerte (oder bei anderer Aufgabenstellung Minimalwerte) mit einschließt. Die Kombination einer Kurvenskizze mit der Besser-Relation tritt nur einmal auf, ist aber als Hinweis wertvoll, da sie zeigt, daß die betreffende Versuchsperson das Interaktionsmedium „freies Zeichnen“ in seiner Funktionalität genera-

²² Vgl. WOLFF 1993B: Tab. 5.

lisiert und als Komponente einer komplexeren Anfragestrategie verwendet hat. Die Alternativstrategie Suchpunkt war in diesem Fall mit der hohen Datendichte (und Trefferwahrscheinlichkeit) im gewählten Aufgabenbereich begründet; darüber hinaus interpretierte die Versuchsperson die Aufgabe zu spezifisch und dachte jeweils eine konkrete Bezugstemperatur hinzu, zu der sie den maximale Elastizitätsmodul erfragen wollte: In drei Versuchen positionierte sie den Suchpunkt jeweils auf das Wertemaximum des Elastizitätsmoduls und suchte iterativ nach den Werkstoffen, die bei den drei gewählten Anwendungstemperaturen die höchste Werteausprägung aufweisen.

Stärker noch als den eng definierten Suchpunkt bestätigt der Benutzertest den Recherchetypus „Suchbereich“. Optimierungsmöglichkeiten liegen in Flexibilisierung der Bereichsdefinition (Einführung des Markierungskonzeptes für Bereichsdefinition, multiple Bereiche), die einen Ersatz für PS wie PS* schaffen könnte. Schließlich bleibt anzumerken, daß bei Aufgabe 2 die mit Abstand meisten, wenn auch i.d.R. folgenlosen, Systemfehlermeldungen auftraten, was die Lösungszeiten erheblich verlängerte und die Versuchspersonen verunsichert haben dürfte.

7.2.2.1.3 Aufgabe 3 / Suchtyp „Suchbereich um Kurve setzen (KBS)“

Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung

Die Interpretation als Streuband um einen Werkstoff, in dessen Bereich vergleichbare Werkstoffe fallen, leuchtete den meisten Versuchspersonen ein. Der graphischen Interpretation der Aufgabenstellung kann ein Korrelat aus der Erfahrungswelt der Werkstoffkunde („Streubereiche bei Werkstoffmessungen“) direkt an die Seite gestellt werden, was ausschlaggebend für das sehr positive Ergebnis bei der Lösung von Aufgabe 3 ist. Auffällig ist ferner die „untypische“ Übersetzung der Fragestellung „unter 500 °C“, die in einigen Fällen als „500 °C und direkt darunter“ verstanden wurde. Die Einstufung der Aufgabenstellung als *nicht relevant* durch zwei Versuchspersonen steht zum einen im Widerspruch mit der ausnahmslos positiven Endbewertung des Suchtyps im Nachinterview, ist zum anderen u.U. auf die Frage nach einem Vergleich im gewöhnlich weniger relevanten *unteren* Temperaturbereich bzw. auf Interessenschwerpunkte bei anderem Datenmaterial (als dem Elastizitätsmodul) zurückzuführen, d.h. es handelt sich um Inhaltskritik an der Aufgabenstellung, nicht am Interaktionsverfahren.

Kognitive Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren

Mit Ausnahme einer Versuchsperson konnten alle Benutzer der Aufgabenstellung das richtige Interaktionsverfahren zuordnen, was für die hohe Plausibilität dieses Suchtypus spricht: Das mag daran liegen, daß Streubänder um eine gegebene Messung als Suchverfahren ein vertrautes Konzept sind und bei der Interpretation graphischer Darstellungen von den Werkstoffexperten hinzugedacht werden. Die einmalige fehlerhafte Zuordnung des Verfahrens „zwei Werkstoffe vergleichen“ zu Aufgabe 3 liegt wohl weniger an einem Fehlverständnis des Benutzers, als vielmehr an der ambigen Interpretation des Suchverfahrenssymbols, das auch als Streuband deutbar wäre.

Interpretation und Bewertung der Suchsemantik

Zu diesem Suchtypus liegt eine Fülle von Beobachtungen der Benutzer zur Interpretation der Suchsemantik vor. Sie lassen sich auf zwei Problemkomplexe reduzieren: Die Frage nach dem Interpretationskriterium des Suchbereichs bei der Übersetzung in die formale Anfragesprache und die Zugehörigkeitsfunktion für Werkstoffe, die den gewählten Bereich nicht vollständig durchlaufen. Bezüglich des Interpretationskriteriums erwartete eine Vielzahl der Versuchspersonen, daß die konkrete Kurvenform in die Suchdefinition direkt, d.h. unabhängig von der gewählten Breite des Streubandes, mit eingeht. Eine Versuchsperson interpretierte das Verfahren eingeschränkt auf eine Temperaturbereichsangabe, zu der das System im spezifizierten Bereich auf der Y-Achse formähnliche Verläufe finden sollte. Prinzipiell erlaubt das Verfahren zwar eine Suche nach formähnlichen Verläufen, wenn man hinreichend oft mit engem Streuband bei verschiedener Lage zur Y-Achse iteriert. In *einem Suchzyklus* finden sich aber nur die Werkstoffe, die der jeweiligen *Lage* des Streubandes entsprechen. Ein breites Streuband schwächt die Formvorgabe des Benutzers ab, da alle Werkstoffe, die in beliebiger Form hindurchlaufen, gefunden werden.

Die Zugehörigkeitsfunktion für den kurvenbezogenen Suchbereich hatte die in Kap. 6 diskutierte exklusive Semantik: Alle Kurven, die nicht durch den *gesamten* definierten (Temperatur-)Bereich laufen, sind aus der Ergebnismenge ausgeschlossen, auch wenn sie zum Teil in den Suchbereich fallen. Im Test erwarteten *nahezu alle* Versuchspersonen eine großzügigere Auslegung des Suchbereichs unter Berücksichtigung von Teil- oder Mindestüberdeckungen. Dieses Problem stellt sich auch bei den anderen relativen Suchverfahren sowie dem Zeichnen von Suchhypothesen und wurde im Rahmen von Aufgabe 3 stellvertretend für die anderen Suchverfahren mit den Versuchspersonen diskutiert. Folgerichtig war der Vorschlag eines Benutzers, aus diesem Suchverfahren zwei eigenständige Typen mit restringierter bzw. laxerer Zugehörigkeitsfunktion zu machen, die nach Bedarf Anwendung finden könnten. Gleiches könnte man für die Forminterpretation fordern und einen Suchtypus hinzufügen, der unabhängig von der konkreten Lage nach visuellen Mustern recherchiert.

Ausführung der Interaktion

Bei den Interaktionsstrategien zum Setzen eines Kurvenbereiches ist vor allem die hohe Wiederholffrequenz bei der Bereichsdefinition auffällig.²³ Sie ist darauf zurückzuführen, daß bei dem gewählten Ausgangswerkstoff *INCOLOY903* mit seiner für die Kenngröße sehr untypischen Kurvenform und -lage nur ein einziger vergleichbarer Werkstoff zu finden war (*INCOLOY904* als Musterlösung) und sich die Versuchspersonen mit der Leerantwort nicht zufrieden gaben oder vom Testleiter zu weiteren Iterationen ermuntert wurden bzw. den Zielwerkstoff oft erst nach einem Hinweis des Testleiters finden konnten. Die Iterationen zeigen daher eine schrittweise Aufweichung der Bedingung bezüglich der Elastizitätsmodulgrenzen, wobei allerdings die *Tempera-*

²³ Lage und Breite der Streubänder in Tab. 17 in Anhang 10.7.

turgrenzen meist während der Iterationen stabil gehalten wurden. Vergleicht man die jeweilige Ausgangsbreite der Streubänder mit den Forderungen der Benutzer nach breiten Toleranzbereichen der Suchsemantik, so ergibt sich ein Mißverhältnis: Die Benutzer fordern zwar weite Toleranzspielräume (vgl. bei Aufgabe 7), beginnen aber selbst mit sehr engen Streubändern von unter 10 GPa, d.h. in diesem Fall bei weniger als 5 % Spielraum. Da sie keine Probleme hatten, den Streubereich schrittweise selbst zu verbreitern und das während der Suchiterationen systematisch bis zu einem Sucherfolg taten, spricht dies für eine benutzergesteuerte Suchsemantik: Der Benutzer kann bei diesem Suchtypus selbst die Dimensionen seiner Suchfläche festlegen.

Die Benutzer stellten zudem implizit einen Zusammenhang von Bereichsdefinition und Kurvenlage her: Sie wählten die Bereiche so, daß der Ausgangswerkstoff in ihnen zu liegen kam, was nicht unbedingt erforderlich gewesen wäre, da der zur gegebenen Kurve formgleiche Kurvenbereich bezüglich der Y-Achse beliebig positionierbar ist.

Hilfestellungen des Testleiters

Zahlreiche Hinweise auf die Gestaltung des Streubandes erklären sich aus der nicht allen Versuchspersonen bewußten geringen Datendichte im Aufgabenbereich (niedriger und ungewöhnlicher Verlauf des Elastizitätsmoduls des Ausgangswerkstoffes im unteren Temperaturbereich) und der auf eine erfolgreiche Lösung im Sinne der Musterlösungen ausgerichteten Dialogstrategie.

Zu KBS lassen sich mehrere relativ eindeutige Feststellungen treffen: Es handelt sich grundsätzlich um einen vielversprechenden Suchtypus, der durch sein Korrelat in der Werkstoffwelt den Versuchspersonen einleuchtend erschien und von ihnen eine positive Bewertung erhielt. Daher ordneten fast alle Versuchspersonen das Interaktionsverfahren richtig zu und verwendeten keine Alternativstrategien, wie etwa einen Suchbereich (Aufgabe 2), der sich ohne syntaktischen oder semantischen Bezug um die Ausgangskurve positionieren ließe. Dem steht die fast einhellige Ablehnung der gewählten Zugehörigkeitsfunktion für Werkstoffe und Suchbereich gegenüber. Die exklusive Interpretation des Suchbereichs muß durch eine zumindest teilinkludierende Semantik ersetzt werden, die jeden Werkstoff, der mit einem Mindestverlaufsstück den Bereich abdeckt, ohne über die expliziten Grenzen nach oben oder unten herauszufallen, in die Ergebnismenge aufnimmt.²⁴

Die meisten Versuchspersonen erwarteten zusätzlich, daß die dem Bereich zugrunde gelegte Ausgangskurve über die ganze Breite des Streubandes ihre Verlaufsform als Suchkriterium setzt. Eine solche Interpretation steht zwar im Einklang mit den grundsätzlichen Designhypothesen zum graphischen Retrieval, im Detail war mangels eindeutiger Kriterien für das Maß der Formübereinstimmung keine solche Bedingung in der Suchsemantik bei KBS enthalten. Die Möglichkeit, die Kurvenformidentität über enge Bereiche zu erzwingen, hat sich als zu unspezifisch erwie-

²⁴ Vgl. unten Kap. 8.1.2.1 und Anhang 10.6.

sen, da sie jeweils auf Kosten der Streubreite geht und dem Grundgedanken des Suchtyps zuwiderläuft.

Abschließend sei die Randbemerkung erlaubt, daß keine der Versuchspersonen von sich aus die explizite Bewertung des Kurvenverlaufs des Ausgangswerkstoffes im Aufgabentext („atypisch“) kommentierte oder in Frage stellte; das ist sowohl durch mangelndes spezifisches Wissen (andere Arbeitsschwerpunkte) als auch durch zustimmende Bewertung zu erklären (so z.T. explizit auf Nachfrage), bleibt aber immerhin erstaunlich.

7.2.2.1.4 Aufgabe 4 / Suchtyp „Zwei Kurven vergleichen (2KV)“

Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung

Die überwiegende Zahl der Benutzer stufte die Aufgabenstellung „Vergleich zweier Werkstoffe“ als typisch und relevant ein. Die positive Plausibilitätsbewertung erstaunt insofern nicht, als das Vergleichen von Werkstoffen eine grundlegende Interpretationsstrategie im Werkstoffbereich darstellt, die z.B. bei der Suche nach kostengünstigen Alternativwerkstoffen mit gleichen Leistungsdaten nützlich sein kann. Auffällig ist, daß die Versuchspersonen zu ihrer positiven Wertung trotz der offensichtlichen Beschränkungen des Suchtyps fanden (s.u.).

Kognitive Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren/Durchführung
Daß Suchtyp 2KV der einzige Interaktionsmodus war, bei dem alle Versuchspersonen eine korrekte Primärzuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren fanden, kann aufgrund der sehr spezifischen („idiosynkratischen“) Ausgestaltung des Suchverfahrens und seiner Anwendbarkeit nicht überraschen. Zudem waren bei vorangegangenen Fehlzuordnungen (z.B. in Aufgabe 3) bestehende Unklarheiten bezüglich der Symbole auf den Auswahlaltern bereits beseitigt worden.

Interpretation und Bewertung der Suchsemantik

Bezüglich der Suchsemantik traten wenige Besonderheiten auf. Die Hauptschwierigkeiten lagen im Bereich der Interaktionssyntax (s.u.). Nur eine Versuchsperson machte auf die unflexible Definitionssatzung über den ganzen Wertebereich der Kurven aufmerksam. Die zusätzliche Problematik der Darstellung und Interpretation des Suchbereichs bei sich kreuzenden oder in unterschiedlichen Temperaturintervallen gemessenen Kurven kam nicht zur Sprache, da sie bei der vorgegebenen Aufgabenstellung nicht auftreten konnte. Auch eine vage Interpretation der Suchgrenzen längs der beiden Werkstoffkurven als Suchgrenzen („Toleranzrahmen“) thematisierten die Versuchspersonen nicht, obwohl hierin ein Verbesserungspotential für das Suchverfahren läge.

Besonderheiten der Interaktion

Aufgabe 4 weist unter den Interaktionstypen von *Wing-Graph* insofern eine hohe Interaktionskomplexität auf, als das fehlerträchtige Markierungskonzept gleich zweifach anzuwenden ist und der Suchtypus sich mit dem expliziten Bezug auf zwei

Werkstoffe von den anderen Verfahren unterscheidet. So konnte es nicht überraschen, daß es der Mehrzahl der Versuchspersonen schwerfiel, nach der Anwahl des Interaktionsverfahrens den zweiten Vergleichswerkstoff durch eine Markierung festzulegen.

Hilfestellungen des Testleiters

Interaktionsbezogene Hinweise auf die geforderte Markierung des zweiten Werkstoffs zur Definition des Suchbereichs erfolgten bei sechs Versuchspersonen.

Die positive Einschätzung durch die Versuchspersonen und die abgesehen von der Markierungsproblematik spärlichen Gestaltungshinweise deuten nicht auf bestimmte Veränderungspotentiale hin. So läßt sich nur analytisch ableiten, daß zur Legitimation dieses Suchtyps eine erhebliche Flexibilisierung notwendig ist, insbesondere mit Blick auf die Definition temperaturabhängiger Bereichsgrenzen und die Exaktheit der Bereichsbegrenzung durch die Vergleichskurve. Durch die abweichend von allen anderen Aufgaben auf zwei Werkstoffe bezogene Fragestellung war die Zuordnung zum Interaktionsverfahren relativ einfach, es traten keine Alternativstrategien auf.

7.2.2.1.5 Aufgabe 5 / Suchtyp „Eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation (EBS)“

Aufgabe 5 ist in zwei Teilaufgaben gegliedert, die jeweils nach dem gleichen Lösungsschema zu bearbeiten sind (d.h. EGB im hohen/niedrigen Temperaturbereich unter der Kurve).

Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung

Bei der Interpretation der Aufgabenstellung trat ein Übersetzungsproblem auf, da mehrere Versuchspersonen die global wertenden Begriffe „gut/schlecht“ zumindest anfänglich nicht eindeutig zuordnen konnten oder wollten.²⁵ Als Ergebnis kann man zwar festhalten, daß für den Elastizitätsmodul in der Regel jeweils „gut“ bzw. „schlecht“ als höhere bzw. niedrigere Wertausprägung zu interpretieren ist, gleichzeitig wurde aber in jedem Fall das Problem, die nicht näher bestimmten linguistischen Variablen der Aufgabenstellung in eine formale Abfrage zu übersetzen, deutlich herausgestellt. Sieht man von der sprachlichen Wertungsvorgabe der Aufgabenstellung ab, so zeigt der Test, daß die Besser-Schlechter-Relation dem intuitiven Ähnlichkeitsbegriff der Benutzer entspricht, die bei der Frage nach ähnlichen Werkstoffen solche mit identischen oder besseren (höheren) Wertausprägungen suchen.

Kognitive Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren/Durchführung
Abgesehen von der Schwierigkeit, zwischen der eingeschränkten und der globalen Besser-Schlechter-Relation zu unterscheiden, traten bei der Zuordnung des korrekten Interaktionsverfahrens keine Besonderheiten auf.

²⁵ Die deutliche Reaktion einiger Versuchspersonen auf die wertenden Begriffe in der Aufgabenstellung überrascht hier angesichts der zu Aufgabe 3 geübten Zurückhaltung („atypisch“), s.o.

Interpretation und Bewertung der Suchsemantik

Bei Aufgabe 5 ergaben sich aufgrund der strukturellen Ähnlichkeit mit dem Suchtypus „Kurvenbereich setzen“ vergleichbare Probleme der Versuchspersonen mit der Interpretation der Suchsemantik: Den Versuchspersonen war nicht klar, ob teilweise in den Suchbereich ragende Kurven in die Ergebnismenge kommen. Zudem kam es zu Verwechslungen zwischen der eingeschränkten und der globalen Besser-Schlechter-Relation, was durch den Sonderstatus von GBS verständlich ist. Bemerkenswert ist, daß eine Versuchsperson den ihrer Meinung nach vagieren Charakter einer graphischen Anfrage im Vergleich zu exakten numerischen Eingaben betonte (Überblickssuche), was bei der Auslegung der Suchsemantik einen größeren Toleranzrahmen zulasse.

Ausführung der Interaktion

Im Vergleich mit Aufgabe 2 („extremer Temperaturbereich“) ist für Aufgabe 5 (Teil a)) der zugeordnete Temperaturbereich im Schnitt deutlich weiter unten angesiedelt, aber mit ähnlicher Variation unter den Versuchspersonen, bei einer Breite von etwa 200 °C: Bei Aufgabe 2 legten die Versuchspersonen den Beginn des extremen Bereichs zwischen ca. 800 °C und 1000 °C fest, hier übersetzen sie die linguistische Variable „hoher Temperaturbereich“ mit Werten zwischen 600 °C und 850 °C. Die obere Bereichsgrenze war in den meisten Fällen das Maximum der Temperaturskala (bzw. der Bezugskurve).

Noch unbestimmter ist die Definition der unteren Bereichsgrenzen im zweiten Teil der Aufgabe, was nicht zuletzt auf die geringere Relevanz des Niedrigtemperaturbereichs in den Problemstellungen des Kooperationspartners MTU begründet zu sein scheint: Der Bereichsbeginn liegt zwischen 0 °C und 180 °C, das Ende zwischen 200 °C und 650 °C (!).

Besonderheiten der Interaktion

Die bei Aufgabe 5 auftretenden Detailprobleme bei der Interaktion sind zum größeren Teil auf Mängel der Systemgestaltung („unmotivierte Fehlermeldungen“, zu wenig visuelles Feedback während der Bereichsdefinition durch *click & drag*) zurückzuführen. Schwierigkeiten ergaben sich, wenn den Versuchspersonen nicht klar war, daß sie die Entscheidung für die Besser- oder Schlechter-Relation durch die Positionierung des Suchbereichs ober- oder unterhalb der Bezugskurve ausdrücken sollten oder wenn sie versuchten, einen Bereich über die Bezugskurve hinaus zu definieren („Extrapolation“).

Alternativstrategien bei der Aufgabenlösung

Der zweimalige Versuch, die Aufgabe mit einer globalen statt einer eingeschränkten Relation zu lösen, deutet auf eine generalisierende Interpretation der Aufgabenstellung hin, nach der die Versuchspersonen die Bereichsangabe bezüglich der Temperatur auf die ganze Wertebereichsskala hin erweiterten. Die Alternativstrategie Suchbereich, die eine Versuchsperson zunächst anwandte, ist nur ausnahmsweise

adäquat, da man bei dem relativ linearen und nicht allzu steilen Kurvenverlauf der Vorlage durchaus einen rechteckigen Suchraum verwenden könnte. Die abstrakte Form des Suchbereichs ist bei komplexeren Verläufen der Werkstoffkurven aber keine sinnvolle Alternative.

Die sehr gute Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren und die von Systemfehlern abgesehen geringe Fehlerquote unterstreichen die Leistungsfähigkeit des Suchverfahrens. Wie bei den Aufgaben 3 und 4 bewerteten die Versuchspersonen den konkreten Bezug von Vorlageinformation und Suchdefinition positiv, die herausragende Bedeutung relativer Suchverfahren in *Wing-Graph* läßt sich bestätigen.

7.2.2.1.6 Aufgabe 6 / Suchtyp „Globale Besser-Schlechter-Relation (GBS)“

Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung

Da Aufgabe 6 als Spezialfall des schon in Aufgabe 5 verwendeten Suchtypus anzusehen ist, kann es kaum überraschen, daß ähnliche Probleme bei der Aufgabeninterpretation auftraten. Sie bezogen sich wiederum auf die inhaltliche Bewertung der Aufgabenstellung („gut“, „schlecht“ etc.). Interessant ist die Umdeutung der Aufgabenstellung der Aufgabe in ein Streuband um die Kurve bzw. in einen Vergleich zweier Werkstoffe als Alternativstrategie.

Kognitive Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren

Die überwiegend korrekte Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren bei sieben von neun Versuchspersonen kann aufgrund der Dialogführung mit Hinleitung auf korrekte Aufgabenlösung zu diesem fortgeschrittenen Testzeitpunkt kaum überraschen; ebensowenig erstaunen die alternativen Lösungsversuche mit dem „Nachbarverfahren“ eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation. Letztlich war der Spezialfall der globalen Relation in der Aktionstastensymbolik gut zu erkennen, die Zuordnung daher leicht vorzunehmen.

Interpretation und Bewertung der Suchsemantik

Für die Interpretation und Bewertung der Suchsemantik gilt das schon zu Aufgabe 3 und 5 Gesagte; auch hier stellt sich (von den Versuchspersonen nicht (mehr) explizit angesprochen) die Frage nach der Zugehörigkeitsfunktion, die bei allen relativen Verfahren in der Kernimplementierung von *Wing-Graph* restriktiv ausgelegt ist.²⁶

Besonderheiten der Interaktion

Die einzig nennenswerte Besonderheit bei Verwendung des Suchtyps war die Fehlinterpretation des Aktionstasten-Symbols als eindeutige Festlegung auf eine „globale

²⁶ Man muß im Nachhinein hinzufügen: Für diesen Suchtypus *eindeutig* falsch, da sich kaum ein Fall denken läßt, bei dem eine globale Relation über den ganzen Wertebereich vollständig inkludierte, aber wenigstens einseitig beschränkte Meßreihen von der Ergebnismenge ausgeschlossen bleiben sollen.

Besser-Relation“ mit der konsequenten Folgerung, die Verfahrenstaste allein genüge zur Definition des Suchbereichs.

Alternativstrategien bei der Aufgabenlösung

Die eingeschränkte *Besser-Schlechter-Relation*, die zwei Versuchspersonen für Aufgabe 6 verwendeten, ist eine offensichtliche Alternative, da der Bezugsbereich des Verfahrens sich auf die ganze Kurve ausdehnen läßt. Daß eine Versuchsperson beim expliziten Versuch, Alternativen auszuloten, einen breiten Kurvenbereich setzte, zeigt, wie sich das Suchverfahren auf andere Aufgabenstellungen übertragen läßt: Bei hinreichend breitem Suchband sind alle über oder unter der Bezugskurve liegenden Werkstoffe im Ergebnis erfaßt, der Suchbereich entwickelt sich zur globalen Relation.

Hilfestellungen des Testleiters

Wie bei Aufgabe 5 waren außer dem Hinweis auf die eindeutige Positionierung des Suchbereichs ober- oder unterhalb der Bezugskurve keine Hilfestellungen notwendig.

Als Sonderfall der eingeschränkten *Besser-Schlechter-Relation* war die globale *Besser-Schlechter-Relation* vor allem wegen ihrer einfachen Handhabbarkeit in die Menge der in *Wing-Graph* angebotenen Interaktionsverfahren aufgenommen worden. Denkt man aber über die zahlreichen Systemfehler bei der Lösung der Aufgabe 5 hinweg und stellt dem die benutzerseitige hohe Fehlerquote bei Verwechslung der beiden Verfahren gegenüber, so bleibt als Konsequenz nur die Herausnahme der globalen Relation aus dem *Wing-Graph*-Konzept als zu spezifischem Interaktionsverfahren: Die Interaktionserleichterung kann die Störung des Aufbaus eines geschlossenen Modells von der Aufteilung der Interaktionsverfahren auf der Seite der Benutzer nicht aufwiegen.²⁷

7.2.2.1.7 Aufgabe 7 / Suchtyp „Kurve skizzieren (KS)“

Vorbemerkung

Aufgabe 7 bzw. dem Interaktionstypus „Kurve zeichnen“ kommt im Rahmen der Systemstruktur wie der Testdurchführung eine Sonderrolle zu. Nur bei Aufgabe 7 sollten die Versuchspersonen Kurvenverläufe als kognitive Interpretations- und Analysemuster produktiv in eine Anfragehypothese umsetzen. Das Interaktionsverfahren verlangt von den Benutzern im Vergleich ein Höchstmaß an graphischer Produktionsfähigkeit, da sie eine vollständige Werkstoffkurve als Suchhypothese zeichnen sollten. Es galt herauszufinden, ob die einschränkenden Umgebungsbedingungen (Interaktionswerkzeug, produktive Fähigkeiten, notwendige Verortung

²⁷ Dies könnte man als einen klassischen Fall verfehlter funktionaler Ausdifferenzierung betrachten, die zwar aus der Mikroperspektive zunächst durchaus sinnvoll erscheinen mag, im Gesamtzusammenhang aber letztlich mehr negative Seiteneffekte als eine Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit bewirkt.

im Wertegitter etc.) das Suchverfahren prinzipiell unplausibel machen. Die Versuchspersonen wurden auf den Sonderstatus aufmerksam gemacht und zudem gebeten, den zuvor als Aufgabenstellung nicht verwendeten, aber konzeptuell mit dem Zeichnen einer Kurve vergleichbaren Suchtypus „mehrere Suchpunkte setzen“ mit der Kurvenproduktion zu vergleichen und zu bewerten.

Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung

Die Interpretation durch die Versuchspersonen befaßte sich im wesentlichen mit zwei Fragen: Der generellen Plausibilität der freien Kurvendefinition und ihrer Umsetzung durch das System mittels einer erweiterten, d.h. mit einem Toleranzrahmen versehenen Interpretation der Suchkurve. Man kann eine zurückhaltend positive Akzeptanz des Verfahrens bei unmittelbarer Konfrontation mit der Aufgabenstellung feststellen, wenn die meisten Versuchspersonen diesen Typus in der Gesamtschau gegenüber anderen Suchverfahren auch zurückstufen.²⁸ Zweifel gegenüber der prinzipiellen Akzeptanz sind insofern angebracht, als es oft als eine „positive Ausweichstrategie“ der Versuchspersonen gelten kann, wenn die Plausibilität eines Gestaltungselementes im Grunde bejaht, für das eigene Aufgabengebiet aber eher verneint wird.

Den vom System verwendeten Toleranzrahmen für die Kurveninterpretation begrüßten alle Versuchspersonen als positiv, z.T. setzten sie ihn schon voraus und bewerteten ihn zumeist als zu eng (5% vom vorhandenen Wertespektrum des Elastizitätsmoduls). Hier liegt ein Optimierungspotential für die Kurvenproduktion. Nur in einem Fall wurde explizit auf Werkstoffwissen zur Positionierung einer Suchkurve zurückgegriffen.

Kognitive Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren

Die korrekte Zuordnung des Verfahrens durch acht Versuchspersonen kann kaum überraschen, da es schon in der Schulung als Sonderfall besondere Beachtung fand; lediglich die etwas unglückliche Gestaltung des Symbols zum Verfahren „Kurve ändern“ führte in einem Fall zu einer Verwechslung.

Ausführung der Interaktion

WOLFF 1993B:Tab. 9 gibt detailliert Form und Lage der Kurvenskizzen der Benutzer wieder. Es gelang keiner Versuchsperson auf Anhieb, eine Kurvenskizze anzufertigen, die zu einem positiven Suchergebnis in der Datenbank führte. Dafür sind mehrere Faktoren verantwortlich: Der enge Toleranzrahmen²⁹ von 5% der Werteskala bedingt zusammen mit der bei vollständigen Suchkurven sehr aufwendigen Suchformulierung (hohe Zahl konjugierter Suchbedingungen) einen im Vergleich mit den relativen Suchverfahren engen Suchspielraum, der fast einer *exact match*-Anforderung gleichkommt und die Trefferwahrscheinlichkeit erheblich reduziert. Die graphische Produktionsfähigkeit der Benutzer konnte diesen Anforderungen

²⁸ Siehe unten Tab. 9 mit den Globalbewertungen der einzelnen Interaktionsverfahren.

²⁹ In der Systemgestaltung ursprünglich aus einem zu engen Verständnis der Exaktheitsansprüche bei der Anfragedefinition motiviert.

nicht gerecht werden, da zudem die Vorstellung über die visuelle Form und Lage der Suchhypothesen nicht hinreichend präzise waren: Teilweise deuteten die Versuchspersonen Kurvenformen an, die bei der Kenngröße Elastizitätsmodul in der Datenbank nicht belegt sind, wenn auch die Mehrzahl der Kurvenskizzen in etwa einem typischen Elastizitätsmodul gleichkamen: Die Versuchspersonen zeichneten weitgehend lineare und leicht, im hohen Temperaturbereich etwas stärker abfallende Kurvenskizzen.³⁰ Man kann also nicht ohne weiteres davon ausgehen, daß die Werkstoffexperten über ihr Fachwissen Kurvenformen so präzise visualisieren können, daß ihnen eine erfolgreiche Umsetzung bei hohem Exaktheitsanspruch des Systems auf Anhieb gelingt. Bei erweiterten und evtl. in Abhängigkeit von der Gesamtkomplexität der Anfrage unterschiedlich breiten Toleranzbändern ist mit einem wesentlich verbesserten Rechercheerfolg zu rechnen. Immerhin erreichten acht der neun Versuchspersonen nach durchschnittlich drei Zeichenversuchen ein positives Suchergebnis, wobei sie teilweise explizit auf die erhöhte Trefferwahrscheinlichkeit bei „kürzerer“ Kurvenskizze rekurrten. Es ist zu vermuten, daß bei diesem nicht nur von der Interaktion her anspruchsvollsten Suchtypus die Tatsache, daß die Versuchspersonen zum ersten Mal mit dem System arbeiteten und ihr daraus abzuleitender Erfahrungs- und Übungsmangel eine große Rolle spielten: Bei diesem Verfahren könnte längere Übung die Performanz deutlich erhöhen, da der Benutzer die größte Gestaltungsfreiheit hat und die Interaktion kaum systemgesteuert ist. Die in Kapitel 5.3.2 angedeuteten Zweifel an der Umsetzbarkeit des produktiven Verfahrens bestätigten sich im Test nur bedingt, da das Verfahren einen vielfältig optimierbaren Mindesterfolg im Benutzertest erreichen konnte.

Interpretation und Bewertung der Suchsemantik

Interessant erscheint, daß die Benutzer nur vereinzelt den Zusammenhang von Kurvenlage im Koordinatengitter und Kurvenverlaufsform als entscheidenden Faktor der Suchsemantik nannten - anders als bei Aufgabe 3, wo allerdings explizit nach der Interpretation gefragt wurde.

Der Testleiter wies die Versuchspersonen während der Anfragewiederholungen bis zu einem positiven Suchergebnis bei Bedarf auf unterschiedliche Datendichten je nach Lage der Suchhypothese zur der Y-Achse und der daraus abzuleitenden Trefferwahrscheinlichkeit hin. Da die Versuchspersonen eine klare Vorstellung vom Niveau ihrer Suchkurve hatten, läßt sich folgern, daß die Positionierung der Kurve an sich kein entscheidendes Problem für die Versuchspersonen war und sie nicht allgemein eine *nur* kurvenformbezogene Suchverfahrensinterpretation hatten. Die zahlreichen Hinweise der Versuchspersonen zur Verbesserung der Suchsemantik

³⁰ Nicht zuletzt aufgrund dieser Homogenität war der E-Modul als Datengrundlage gewählt worden, da für ein so „kritisches“ zu bewertendes Interaktionsverfahren keine zu hohen Anforderungen an Produktionsfähigkeit und Werkstoffwissen gestellt werden sollten. Dem läuft natürlich der sehr enge Toleranzrahmen zuwider, der sich als klarer Schwachpunkt des Systemdesigns zeigte und der den Test stark beeinträchtigte.

mittels eines Toleranzrahmens laufen eindeutig auf die Forderung nach Erweiterung der Toleranzbreite, vereinzelt sogar auf die individuelle Festlegung derselben hinaus.

Alternativstrategien bei der Aufgabenlösung

Die Alternativvorschläge zur Kurvenskizze unterstreichen die Sonderstellung des Interaktionsverfahrens „Kurve zeichnen“, da keiner der sonst für die Aufgabenlösung verwendeten Interaktionstypen direkt genannt wurde, wohl aber Kombinationen *auf der Grundlage* einer Kurvenskizze: Drei Versuchspersonen kombinierten die Kurvenskizze mit einem um sie gelegten Kurvenbereich. Das deutet auf die erweiterte Anwendbarkeit des Verfahrens als *Ausgangspunkt* der Definition eines Suchbereichs hin. Der Benutzer skizziert ein Kurvenstück und bearbeitet seine Anfrage mit einem der relativen Verfahren weiter. Die Versuchspersonen waren sich der Unwägbarkeit und Ungenauigkeit ihrer graphischen Produktion bewußt und versuchten sie durch die zusätzliche Definition eines Kurvenbereichs auf das wesentliche zu reduzieren, da sich durch die Erweiterung des Suchrahmens kleinere Ungenauigkeiten oder Abweichungen der Kurvenskizze vom gewünschten Idealtyp ausgleichen lassen.

Exkurs: Vergleich Kurvenskizze - Setzen mehrerer Suchpunkte

Im Rahmen von Aufgabe 7 hatten die Versuchspersonen Gelegenheit, den Suchtypus „Kurve skizzieren“ mit dem Setzen mehrerer Suchpunkte zu vergleichen. Das Verfahren ermöglicht es, eine der Suchkurve ähnliche Recherchehypothese zu erstellen, ist aber anders zu handhaben und liefert im Ergebnis ein anderes visuelles Feedback. Die Lösungsversuche mit Suchpunkten belegen seine höhere Trefferwahrscheinlichkeit, da die Versuchspersonen durchschnittlich nur drei Punkte spezifizierten, die Suche also weniger konkret war und im Vergleich zur Kurvenskizze zu größeren Ergebnismengen führte. In der Bewertung zeigten die Versuchspersonen eine leichte Präferenz für das Suchpunktverfahren, wobei sie die Kurvenskizze immerhin als für spezifische Aufgabenstellungen geeignet eingestuft. Bei der Einschätzung der Verfahren muß man den jeweiligen Aufgabenkontext berücksichtigen: Suchpunkte sind bei klarer Wertevorgabe überlegen, die Kurvenskizze eignet sich mehr zur groben Bestimmung eines Verlaufs und dessen Weiterbearbeitung mit anderen Suchverfahren.

Hilfestellungen des Testleiters

Die restriktive Suchsemantik des Verfahrens mit der Folge häufiger Leerergebnisse bedingte zahlreiche Hinweise auf den engen Toleranzrahmen, die höhere Datendichte (und Trefferwahrscheinlichkeit) im oberen Bereich des Wertespektrums und die Möglichkeit kürzerer, d.h. weniger Datenpunkte umfassender Suchkurven.

Die Kurvenskizze nimmt als Suchverfahren eine Schlüsselrolle bei der kognitiven Modellierung des graphischen Retrieval ein, da hier eine Art „Wasserscheide“ zwischen aktiver Produktion von Verlaufsvorstellungen und bloßer Bezugnahme auf die Interpretation vorgegebener Informationen mittels schematischer graphischer

Operatoren verläuft.³¹ Zwar wird man von der „platonischen“ Illusion Abschied nehmen müssen, die Versuchspersonen könnten problemlos relativ exakte Suchkurvenprototypen mit hinreichender Genauigkeit definieren. Für *Wing-Graph* lassen die beträchtlichen Optimierungspotentiale diesen Suchtypus dennoch sinnvoll erscheinen: Zum einen kann eine intelligente Festlegung des Toleranzrahmens in Abhängigkeit von Benutzerinteressen und gewählter Datengrundlage die Trefferwahrscheinlichkeit deutlich erhöhen und hohe Iterationsraten bis zum Sucherfolg reduzieren, zum anderen kann eine Entkoppelung der unmittelbaren Abbildung einer Kurvenvorstellung als *mental image* auf die Kurvenskizze ein flexibles Arbeiten ermöglichen (Verminderung einer möglichen kognitiven Überinterpretation des Suchtyps). Am wichtigsten sind aber die von den Versuchspersonen auch im Kontext anderer Aufgaben des Tests gewählten Alternativstrategien unter Einbeziehung einer Kurvenskizze: Hierin scheint die eigentliche Leistungsfähigkeit der Kurvenproduktion begründet zu sein. Versucht man auch dafür eine kognitive Zuordnung zur Vorstellungswelt der Werkstoffkunde, so bleibt im Ergebnis nicht die genaue Reproduktion einer Kurvenhypothese, sondern die eher vage Festlegung eines Streubandes, in dem sich mögliche Werkstoffe befinden können. Hier kommt die einfache Durchführung z.B. der Kombination aus Kurvenskizze und Streuband gegenüber einem kombinierten Verfahren Werkstoffselektion aus Ikonenmenge - Kurvenmodifikation - Streuband zum Tragen, was natürlich nicht ausschließt, daß für beide Varianten Informationsbedürfnisse existieren, für die sie die optimale Lösungsstrategie repräsentieren.³²

7.2.2.1.8 Aufgabe 8 / Suchtyp „Kurve ändern (KÄ)“

Bei Aufgabe 8 trat eine relativ starke Verzerrung des Interaktionsablaufs durch häufige Systemfehler auf (s.u. Tab. 9), was die Versuchspersonen bei der Durchführung der Kurvenmodifikation nicht unerheblich behinderte.

Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung

Die Mehrzahl der Versuchspersonen hatte keine nennenswerten Schwierigkeiten mit der korrekten Interpretation der Aufgabenstellung und dem Transfer auf das angebotene Interaktionsverfahren und einige Versuchspersonen konnten diesem Interaktionsverfahren konkrete Anwendungsbeispiele zuordnen (Aufgabe 8 ist unspezifisch formuliert). Die ablehnende Wertung zweier Versuchspersonen beruht auf einem (zunächst) falschen Verständnis der Suchsemantik des Verfahrens. Nur eine Ver-

³¹ Dies auch gegenüber PS*, da hier die vereinzelt Suchpunkte ohne den visuellen Zusammenhang der Kurvenform angeboten werden und somit nicht unbedingt von der formalen Suchsemantik, wohl aber von der kognitiven Zuordnung gegenüber der Kurvenskizze ein *aliud* darstellen.

³² Letzteres Verfahren könnte dann sinnvoll sein, wenn der Bezug zur Vorlage wesentlich ist, d.h. die Ausgangskurve nur eingeschränkt modifiziert wird, während die Skizze z.B. zum Ausgrenzen eines Teils des Datenraums benutzt werden könnte.

suchsperson stellte mit ihrem anfänglichen Einwand, gegebene Information könne man nicht modifizieren, die Leistungsfähigkeit und Anwendbarkeit der visuellen Identität von Ergebnisinformation und Anfragedefinition in Frage.

Ausführung der Kurvenmodifikation

Die Kurvenmodifikation führte nur bei etwa der Hälfte der Versuchspersonen zu einem positiven Sucherfolg, schon deshalb, weil sie durch häufige (nonterminale) Fehlermeldungen durch das System überlagert war. Die Mehrzahl der Versuchspersonen änderte den Werteverlauf im hohen Temperaturbereich, was nochmals bestätigt, daß je nach Kennwert ausgewählte Abschnitte der Werteskala unterschiedliche Bedeutung besitzen, wobei im Werkstoffbereich in der Regel der hohe Temperaturbereich wichtiger ist als die Werte bei niedriger Temperatur. Es fällt auf, daß im wesentlichen immer mindestens drei Punkte verändert wurden, was durch die unflexible Ausgestaltung des Interaktionsfeedback durch das System (jeweils die „wörtliche“ Übertragung der Interaktion als lokale Modifikation, keine flexible Anpassung der „Restkurve“) bedingt sein mag. Daß die Wertepunkte in der Mehrzahl nach unten verlegt wurden, liegt wohl daran, daß der je gewählte Ausgangswerkstoff (aus Aufgabe 7 übernommen oder aus den „typischen Werkstoffen“ selektiert) im oberen Bereich der Werteskala lag; sonst widerspräche eine solche Modifikationsstrategie den Aussagen über die Interpretation der Suche nach ähnlichen Werkstoffen als „identisch oder besser“.

Besonderheiten der Interaktion

Einigen Versuchspersonen waren die Details der Interaktionstechnik - Aufgreifen der markierten Kurve an einem Meßpunkt, dessen Versetzen entlang der Y-Achse durch *click & drag* und dadurch Entstehen einer Suchkurve „Werkstoff X“ - zunächst nicht klar und sie versuchten, durch einfachen Klick ins Koordinatengitter eine Modifikation zu erreichen. Die sachlich gerechtfertigte Interaktionsbeschränkung auf die Meßpunkte und deren Verschiebbarkeit nur entlang der Y-Achse ist nicht unmittelbar einleuchtend und daher explizit zu vermitteln.

Alternativstrategien bei der Aufgabenlösung

Wie die zu Aufgabe 7 verwendeten Alternativen zeigt bei der Kurvenänderung die anschließende Positionierung eines Kurvenbereichs um die geänderte Kurve den möglichen Stellenwert des Verfahrens als Ausgangspunkt einer komplexeren Suchstrategie. Die einmal benutzte Alternative mehrerer Suchpunkte hat als Vorteil zum einen die einfacheren Interaktionshandlungen, zum anderen die Beschränkung der Suchhypothese auf die Modifikationsstellen.

Hilfestellungen des Testleiters

Hinweise waren lediglich zur konkreten Ausführung der Interaktion (Versetzen eines Kurvenpunktes mit *click & drag*) erforderlich.

Trotz der erheblichen Schwierigkeiten der Versuchspersonen ist die sachlich motivierte Interaktionsbeschränkung auf die Meßpunkte weiterhin berechtigt, da sie den

Status der Daten gut verdeutlicht. Das dürfte bei sehr viel umfangreicheren Datenreihen ohnehin kein Problem mehr sein. Dagegen liegen in der Anwendung eines flexiblen Interaktionsfeedbacks (mit Auswirkung der lokalen Meßpunktveränderung auf den gesamten Kurvenverlauf) noch Erweiterungsmöglichkeiten. Ähnliches gilt für die im Test immerhin sporadisch verwendete Kombination mit anderen Suchtypen, z.B. nach einem dreistufigen Schema:

- a) Kurvenskizze,
- b) Detailbearbeitung durch Kurvenänderung und
- c) abschließende Überlagerung der Suchkurve durch ein Streuband (bzw. allgemein Anwendung eines relativen Verfahrens).

7.2.2.2 Globale Phänomene

Die nicht auf einzelne Aufgabenstellungen bezogenen Beobachtungen mit Schwerpunkten auf dem allgemeinen Systemverständnis, Interaktionsproblemen und Änderungsvorschlägen sind nun nach Sachgruppen geordnet zu erörtern.

7.2.2.2.1 Gegenüberstellung Graphik - Tabellen

Das Verhältnis von tabellarischer und graphischer Information bei der Aufgabenlösung ist schon wiederholt zur Sprache gekommen. Im Rahmen des Benutzertests sollten sich die Versuchspersonen zu dieser Darstellungsalternative äußern und mußten das Tabellenwerkzeug von *Wing-Graph* nutzen. Tendenziell bestätigt der Benutzertest die Ergebnisse der empirischen Voruntersuchung: Graphische und tabellarische Darstellungsart haben je eigene Anwendungsbereiche und sind in vielen Fällen auch parallel zur Dateninterpretation zu verwenden, wobei die positive Wertung der graphischen Darstellungsform auf verschiedenen Motiven beruht. Die parallele Verfügbarkeit beider Modi forderten mehrere Versuchspersonen, wobei sie die Rolle der Tabellen als „Übergangsmedium“ zur numerischen Weiterverarbeitung der Daten betonten, was bedeutet, daß sie in diesen Fällen nicht die numerische Repräsentation als solche für die Interpretation benötigten. Einige Versuchspersonen ordneten der Graphik explizit den Status als Überblicksinformation zu, während die tabellarische Darstellung zum Nachschlagen exakter Werteausprägungen verfügbar sein sollte. Hinweise auf eine stärkere interaktive Einbeziehung der Tabellen in den graphischen Retrievalprozeß (wechselseitige Feedbackfunktion im Sinne einer multimodalen Recherchegestaltung) fanden sich lediglich einmal unter den Vorschlägen zur Systemverbesserung (s.u.).

7.2.2.2.2 Zusätzliche Visualisierungselemente

Zusätzliche Unterstützung bei der Anfragedefinition gaben dem Benutzer die Visualisierung des Datenbestandes im Hintergrund des Displays, die mit dem Cursor mitgeführte Positionsangabe im Koordinatengitter und das visuelle Feedback be-

reichsorientierter Verfahren *während der Anfragedefinition*. Die Datenbestandsanzeige wurde ihrer Zweckbestimmung als Orientierung über den verfügbaren Datenbestand offenbar gerecht (man beachte die Orientierung der Benutzer an den visualisierten Grenzen bei der Bereichsdefinition in Aufgabe 2, vgl. WOLFF 1993B:Tab.5); darüber hinaus bewerteten die Benutzer sie explizit positiv. Die genaue Interpretation ihrer Bedeutung bereitete einigen Benutzern Schwierigkeiten, da sie sie als homogene „Datenfläche“ deuteten; die Datenlücken *innerhalb* der Minimum-/Maximumgrenzen gehen aus ihr eben nicht hervor.

Die Koordinatenanzeige am Cursor ist dagegen teilweise als störend empfunden worden und stützt graphische Interaktionsverfahren nur sehr bedingt, da sie zum Umdenken auf numerische Werte verleitet. Lediglich bei der ohnehin sehr exakt formulierten Aufgabe 1 zogen einige Versuchspersonen sie zur genauen Positionierung des Suchpunktes heran.

Das visuelle Feedback bemängelten die Versuchspersonen beim Suchverfahren „eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation“ mit Recht als sehr mangelhaft, da dort der schon definierte Bereich lediglich durch eine dünne Linie sichtbar ist.

7.2.2.2.3 Visuelle Syntax der Interaktionsverfahren

Die Elemente der visuellen Syntax von *Wing-Graph*, d.h. die Definition von Suchbereichen im *click & drag*-Verfahren, das Markierkonzept, die Anwahl typisierter Interaktionsverfahren vor der Anfragedefinition und die Selektion von Vorlageinformation über Werkstoffkurvenikonen, beherrschten die Versuchspersonen im allgemeinen sehr gut. Nur vereinzelt kam es zu Problemen bei der Systembedienung: Während die Versuchspersonen mit der Notwendigkeit, vor der Suchdefinition ein Suchverfahren explizit *anzwählen* zu müssen, gut zurecht kamen, hatte die Mehrzahl von ihnen Probleme mit der automatischen *Deselektion* des gewählten Suchverfahrens *nach* einem positiven Suchergebnis. Da man davon ausgehen kann, daß für die wiederholte Anwendung des gleichen Suchverfahrens bei leerem Ergebnis eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, deselektiert das System in diesen Fällen nicht. Nach positivem Ergebnis kann das System insofern keine Hypothese über den nächsten Arbeitsschritt des Benutzers aufstellen; daher findet in diesen Fällen eine automatische Deselektion des Suchverfahrens statt.

Schwierigkeiten machte erwartungsgemäß die Beschränkung, bereits definierte Bereiche nicht unmittelbar modifizieren zu können, was bedeutet, daß die Versuchsperson zur Korrektur jeweils den ganzen Bereich neu definieren mußte (Ausnahme nur bei der Kurvenänderung). Daß bisweilen „GUI-typische“-Verfahren wie *click & drag* falsch interpretiert wurden oder die Versuchspersonen intuitiv ein anderes Interaktionsverfahren wählten,³³ kann nicht überraschen und zeigt, daß von

³³ Beispielsweise die Definition eines Suchbereichs durch *click* an gewünschten Anfang bzw. Ende.

einer intuitiv richtigen Zuordnung einer Interaktionshandlung zu konkreter Funktionalität und Semantik in einem gegebenen Aufgaben- und Systemkontext im Sinne unmittelbarer Selbsterklärung des Systems nicht immer die Rede sein kann.

Die Notwendigkeit, Kurven als Bezugspunkt vor einer Bereichsdefinition markieren zu müssen, machte anfangs einigen Versuchspersonen Schwierigkeiten; da zumeist nur ein Werkstoff in der Anzeige war, mag dieses Erfordernis unverständlich gewesen sein und ließe sich als Gestaltungshinweis zur automatischen Markierung bei nur einem Werkstoff sehen. Die Mehrzahl der Versuchspersonen klickte bei Anwahl einer Kurvenikone in deren Kopfleiste, was als Analogon zur allgemeinen Markierfunktionalität in GUIs zu sehen ist, wo häufig Beschriftungen als *pars pro toto* der Auswahl dienen.

Neben einigen Miscellanea sind zwei weitere Details erwähnenswert: Zum einen die Tatsache, daß einige Versuchspersonen dem *click* ins graphische Hauptfenster eine globale Bedeutung zuwiesen (*UNDO*- oder Löschen-Funktion), was zwar auf grundlegende Mechanismen der semantischen Zuordnung schließen läßt (leere Fläche als globaler und unspezifischer Kontext, *click* als Elementaraktion, *Undo/Löschen* als generelle Funktionalität, vergleichbar der Markierungsaufhebung durch *click* im unmarkierten Bereich), aber letztlich nicht generalisierbar erscheint, da die Interpretationswahrscheinlichkeit in Richtung jeder der Zuordnungen zu gering ist. Zum anderen die Beobachtung, daß die Versuchspersonen die ikonischen Werkzeuge von *Wing-Graph* problemlos durch den in *MS-Windows* vom Standard abweichenden *Einzelklick* öffneten und in einem Fall selbst das Anwendungsprogramm *Wing-Graph* so starten wollten. Das zeigt, daß das in *Wing-Graph* in Übereinstimmung mit dem WOB-Modell verwendete Einzelklick-Konzept für das Aktivieren von Werkzeugobjekten³⁴ nicht zu Fehlanwendungen der Doppelklick-Funktionalität führte, wie man es bei GUI-geübten Versuchspersonen hätte erwarten können.

7.2.2.2.4 Strukturierungskriterien für die ikonischen Werkstoffmengen

Die Versuchspersonen nannten als Strukturkriterien die schon in Kap. 3.2.4 aufgeführten Aspekte: Werkstoffhierarchie bzw. Gliederung nach Werkstofffamilien, Zuordnung nach Baugruppen und Werkstoffanwendungen (z.B. Scheiben- oder Gehäusewerkstoffe) oder Arbeitsprojekten (z.B. Werkstoffe für Projekt „Turbinenschaufel XY“). Diese Kriterien schließen einander wechselseitig nicht aus und könnten zur Gestaltung unterschiedlicher Auswahlmöglichkeiten führen. Die individuelle Zusammenstellung einer „persönlichen Auswahl“ bewerteten die Versuchspersonen sehr positiv; sie kann als Mindestfunktionalität gelten, die eine Systemadaption an die individuelle Arbeitssituation ermöglicht.

³⁴ Der *Einzelklick* aktiviert ein Objekt, in der Regel öffnet sich ein Fenster; der *Doppelklick* eröffnet den Zugang zu einer zweiten Systemschicht, in der der fortgeschrittene Benutzer das Objekt voreinstellen (parametrisieren) kann.

7.2.2.2.5 Retrievalzyklen und globale Aktionsauslösung

Bezüglich des globalen Recherchezyklus von (fakultativ) Auswahl der Vorlageinformation, graphischer Anfragedefinition und Recherchestart durch Betätigung der OK-Taste gab es nur vereinzelte und disparate Beobachtungen der Benutzer. In der weit überwiegenden Zahl der Aufgabenlösungen bestätigte sich die Struktur des Interaktionsablaufs. Diese Beobachtung ist auf den Standardfall (reibungsloser Durchlauf in dieser Reihenfolge) bezogen. Sobald der Arbeitsablauf vom Standardpfad abwich, tauchten Probleme bei der Interaktion auf: Insbesondere machte die Interpretation der Aktionstaste *Abbruch* fast allen Versuchspersonen Schwierigkeiten. Im Ergebnis deuteten die Benutzer sie je nach Kontext als Rücknahmefunktion, sei es als Löschfunktion für die Kurvenanzeige, sei es als *Undo*-Funktion. In einem Fall verstand die Versuchsperson die *Abbruch*-Taste gar als Signal, daß die Bereichsdefinition beendet sei. Folgerung läßt sich daraus, daß die *wirkliche* Funktion der Aktionstaste *Abbruch*, nämlich Löschen der Auswahl eines Interaktionsverfahrens und Aufheben einer getroffenen Suchbereichsdefinition, nicht offensichtlich zu sein scheint und überflüssig sein könnte. Auch ohne Betätigung von *Abbruch* kann der Benutzer jederzeit ein anderes Suchverfahren wählen und damit die bisherige Recherchedefinition „überschreiben“, nur käme er dann nicht mehr in einen unmarkierten Systemzustand zurück. Die disparaten Vorstellungen der Benutzer lassen allerdings keine eindeutige Interpretationsrichtung erkennen, die als Alternative eingesetzt werden könnte.

Zum Herstellen der Ausgangssituation des Ergebnisretrieval, d.h. der Anwahl eines Werkstoffs aus der Werkstoffliste oder der Ikonenmenge typischer Werkstoffe läßt sich sagen, daß den Benutzern anfangs nicht klar war, daß die in den Aufgaben verwendeten Werkstoffe im Ikonenbehälter enthalten sind. Solange man sie nicht dazu aufforderte, Kurvenikonen zur Werkstoffselektion zu benutzen, war die Verwendung von Werkstoffliste und der Ikonenmenge etwa gleich verteilt. Danach bestand ein fast vollständiges Übergewicht zugunsten der Ikonenmenge, die sich so als graphischer Zugang zum System bestätigten.

7.2.2.2.6 Änderungsvorschläge

Bereits während der Testdurchführung machten die Versuchspersonen eine Reihe von Änderungsvorschlägen zur Systemgestaltung, ohne daß eine klare Tendenz erkennbar wäre. Einige besonders interessante Vorschläge seien daher herausgegriffen:³⁵ Zur Visualisierung von Metadaten erfolgte der Vorschlag, neben der Werkstoffkurve selbst den Streubereich ihrer Messung zu visualisieren (Anzeige gegebener Information) bzw. den Toleranzrahmen von Suchkurven oder Suchbereichen graphisch darzustellen (Anzeige der Anfragedefinition). Bezüglich weiterer Suchverfahren hatten die Versuchspersonen keine grundsätzlich innovativen Vorschläge,

³⁵ Vollständige Liste der Änderungswünsche bei WOLFF 1993B:Kap. 3.2.2.

mit dem Hinweis auf die mögliche Nachbearbeitung eines schon gesetzten graphischen Suchbereichs (z.B. durch Verschieben) und der Kombination mehrerer Suchbereiche (wie bei multiplen Suchpunkten) wiesen sie auf offensichtliche Beschränkungen der Kernimplementierung von *Wing-Graph* hin. Es war außerdem zu beobachten, daß mehrere Versuchspersonen unaufgefordert und ohne eine Aufgabe lösen zu müssen oder zu wollen, Kurvenverläufe mit der Maus andeuteten, was man als Zeichen für die Validität des graphischen Retrieval durch Kurvenskizzierung werten kann. Auch Vorschläge zur Ausgestaltung des globalen Recherchezyklus setzen an funktionalen Schwachpunkten von *Wing-Graph* an, wenn z.B. die Möglichkeit der Kombination von Anfragen zu mehreren Kennwerten bzw. der Übernahme der angezeigten Werkstoffe bei Kennwertwechsel oder die alphanumerische Eingabe von Suchbedingungen im Tabellenwerkzeug gefordert wurde.

7.2.2.2.7 Allgemeine Hinweise des Testleiters

Nicht unmittelbar aufgabenbezogene Hinweise des Testleiters betrafen eine Reihe von Detailproblemen, insbesondere Aspekte der Funktionalität von *Wing-Graph*, die in der Schulung nicht oder nur untergeordnet eine Rolle spielten, so z.B. die Möglichkeit, durch Betätigen der *Entfernen*-Taste einen Werkstoff aus dem Display zu löschen, mit Hilfe der *Shift*- oder *Control*-Taste mehrere Werkstoffe aus den Ikonmengen zu selektieren oder einen Werkstoff per *click & drag* in der persönlichen Werkstoffauswahl abzulegen. Die Deselektion der Interaktionsverfahrenstaste nach positivem Suchergebnis mußte den meisten Versuchspersonen erläutert werden. Insgesamt waren aber relativ wenige allgemeine Hinweise notwendig, was die Bedeutung einer vorangestellten Kurzschulung wie auch die hinreichende Selbsterklärungsfähigkeit der graphischen Benutzerschnittstelle von *Wing-Graph* unterstreicht.

7.2.2.3 Übersicht zu Versuchszeit und Lösungsstrategie

Obwohl die Testmethodik auf eine qualitativ-hermeneutische Erkenntnisschöpfung abzielte, bot es sich an, die mitprotokollierten Zeitdaten der einzelnen Aufgaben und Versuchspersonen zusammenzustellen. Es ist kaum nötig, daran zu erinnern, daß der Meßparameter „Zeit bis Lösung“ nicht einer statistischen Auswertung zugänglich ist, da er aufgrund der flexiblen Testbedingungen unter nicht normierten Umständen zustande kam, d.h. selbst nach Bereinigung der längeren Klärungs- oder Explorationsdialoge verbleiben noch zu starke Störfaktoren. Einen Überblick über den Testlauf kann man trotz dieser Einschränkung gewinnen. Da die bisweilen auftretenden Systemfehler (unterschieden nach dialogbeendenden Systemabstürzen und dialogunterbrechenden Fehlermeldungen)³⁶ die Lösungszeiten nicht unmaßgeblich beeinflussten, ist ihre Anzahl für jede Versuchsperson und Aufgabe angegeben.

³⁶ Ein Maß für die zeitliche Beeinträchtigung läßt sich nicht mehr zuverlässig feststellen, eine ungefähre Schätzung beläuft sich auf ca. 60 sec. für einen Systemabsturz und 10 sec. für ei-

Gemessen wurde die von den Versuchspersonen bis zur korrekten (bzw. endgültig falschen, d.h. abbrechenden) Lösung der Aufgaben benötigte Zeit. Mit eingerechnet sind Interaktionswiederholungen, wenn die Versuchsperson etwa nach einem (an sich durchaus sinnvollen) Nullergebnis im Sinne der Teststrategie die Aufgabenlösung bis zum Auftreten eines positiven Suchergebnisses wiederholte. Da sich an die Lösung der Aufgaben in vielen Fällen noch Klärungs- oder Explorationsdialoge angeschlossen³⁷, ist die Zeitmessung mit Beginn des Zusatzdialogs für die jeweilige Aufgabe abgeschlossen (bzw. unterbrochen).

Aufgabe	VP										Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 Zeit	335	114	146	207	63	273	116	110	140	1504	167
Fehler	2/2	0/1	0/0	0/0	0/2	0/3	0/0	0/0	1/6	3/11	
2 Zeit	48	540	189	105	50	305	165	158	263	1823	203
Fehler	0/0	0/1	0/2	0/0	0/0	0/6	0/4	0/4	0/3	0/20	
3 Zeit	111	321	199	149	330	196	217	141	134	1798	200
Fehler	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/2	0/0	0/0	0/2	
4 Zeit	133	215	79	167	-	175	102	142	107	1120	140
Fehler	0/0	0/0	0/0	0/0	-	0/0	1/1	0/0	0/0	1/1	
5 Zeit	181	512	202	296	262	158	177	137	109	2034	226
Fehler	0/0	0/0	0/0	0/0	1/6	0/0	0/0	0/0	0/0	1/6	
6 Zeit	39	175	42	219	159	77	155	135	54	1055	117
Fehler	0/0	0/0	0/0	1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/1	
7 Zeit	333	354	165	175	73	179	350	222	153	2004	223
Fehler	1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/1	0/0	0/1	2/3	
8 Zeit	63	208	139	120	138	161	134	103	122	1188	132
Fehler	1/1	0/0	0/2	0/0	0/0	0/7	0/1	0/1	0/0	1/12	
Σ Zeit (bereinigt)	1243	2439	1161	1438	1075	1524	1416	1148	1082	12526	1392

Tabelle 9: Lösungszeiten (bereinigt) in sec

Die reine Arbeitszeit der verschiedenen Versuchspersonen lag, von einem Ausreißer abgesehen, bei etwa je 20 Minuten, wobei allerdings bei gleicher Gesamtzeit die Arbeitsdauer pro Aufgabe (und Interaktionsverfahren) erheblich variierte (z.B. zwischen Versuchsperson 1 und 3). Die beiden Interaktionstypen mit den geringsten Freiheitsgraden des Benutzers bei der Anfragedefinition, der Vergleich zweier Werkstoffe und die globale Besser-Schlechter-Relation, wiesen erwartungsgemäß die niedrigsten durchschnittlichen Bearbeitungszeiten auf. Neben der eingeschränkten Besser-Schlechter-Relation, die wegen der zwei Teilaufgaben die höchste Bear-

ne Fehlermeldung, berechnet jeweils von Auftreten des Fehlers bis zur Wiederherstellung der dem Fehler unmittelbar vorangegangenen Dialogsituation.

³⁷ Beispiele: Nachfrage nach der Bewertung der Suchsemantik des Systems durch den Benutzer oder Durchführung einer "freiwilligen" Aufgabenvariante.

³⁸ Die Fehler sind in der Kombination *Systemabsturz/folgenlose Fehlermeldung* notiert. 0/3 bedeutet also, daß kein Absturz, aber drei Fehlermeldungen auftraten.

beitungsdauer benötigte, lag das produktive Suchverfahren (Kurvenskizze) an der Spitze der Arbeitsdauer: Die komplexe Interaktion und die hohen Iterationsraten bedingen diese Spitzenposition. Daß die relativ einfachen Aufgaben am Testanfang (Suchpunkt und Suchbereich) zu relativ hohen Arbeitszeiten führten, ist auf die noch mangelnde Orientierung der Versuchspersonen (besonders Versuchsperson 2 mit 540 sec bei Aufgabe 2) zu Testbeginn und die hohe Quote an Systemfehlermeldungen zurückzuführen (über 50% aller Fehlermeldungen traten bei Aufgabe 1 und 2 auf). Die Arbeitszeiten sind jedoch, wie eingangs schon ausführlich dargelegt wurde, aufgrund des Testdesigns nur wenig aussagekräftig und die Unterschiede zwischen den einzelnen Interaktionsverfahren nicht so stark ausgeprägt, daß man daraus einen Schluß über ihre Praktikabilität ziehen könnte: Eine hohe Arbeitszeit kann *auch* darauf hinweisen, daß die Versuchsperson ein Verfahren als besonders nützlich einstuft und deshalb explorativ zusätzliche Iterationen durchführt (z.B. Versuchsperson 2 bei Aufgabe 3).

Neben der Arbeitszeit kann die qualitative Bewertung der Interaktion mit dem System im Sinne einer Erfolgsbewertung eine schnelle Übersicht über Differenzen zwischen einzelnen Aufgaben bzw. Versuchspersonen verschaffen. Tab. 10 gibt an, ob und wie schnell die Versuchspersonen zur optimalen Lösung einer Aufgabe kamen. Sie hält fest, ob die Versuchsperson schließlich die optimale Lösungsstrategie anwendete und wie oft sie bis zu einem positiven Suchergebnis das korrekte Interaktionsverfahren wiederholte bzw. einen korrekten Lösungsweg *nach* einem positiven Suchergebnis explorativ iterierte. Dabei gilt folgender Schlüssel:

- $\checkmark(Hn, In, Nn)$ optimaler Lösungsweg (nach n Hinweisen des Testleiters, n Iterationen der Interaktion bis zum Sucherfolg und n Iterationen *nach* Sucherfolg)
- $A(n)$ suboptimaler/alternativer Lösungsweg (nach n Hinweisen des Testleiters)

Beispielsweise wandte Versuchsperson 2 bei Aufgabe 2 anfangs und auch nach einem ersten Hinweis eine Alternativstrategie an und erreichte nach zwei weiteren Hinweisen eine korrekte Interaktionsstrategie im Sinne der Musterlösungen, die sie noch einmal wiederholte und mit ihr schließlich einen Sucherfolg hatte (Notation: A,A(1), $\checkmark(H3,I2)$). Man beachte, daß die Hinweisnotation in der Tabelle *kumulativ* erfolgt.

Bei der Analyse zeigt sich, daß die Erfolgsquote hoch ausfällt: In 69 von insgesamt 71 gelösten Aufgaben fanden die Versuchspersonen zu einer Lösungsstrategie, die der Musterlösung entspricht. Das liegt aber nicht nur an der adäquaten Systemgestaltung, sondern auch an der gezielten Dialogstrategie, die die Benutzer zur vorgegebenen Lösung hinführte. Zieht man daher alle (optimalen) Aufgabenergebnisse, die die Versuchspersonen erst nach einem Hinweis des Testleiters erreichten, von der Gesamtsumme ab, so erhält man eine realistischere Größe: Danach gelangten die Versuchspersonen immerhin in 45 von 71 Fällen ohne gezielte Hilfestellung zur gesuchten Lösung ($\approx 63\%$). Die Zahl ist allerdings dadurch verzerrt, daß nach einer

Aufgabe	1 (PS)	2 (BS)	3 (KBS)	4 (2KV)	5 (EBS)	6 (GBS)	7 (KS)	8	Σ Hinw.
VP	(KÄ)								
1	AA(1), (H2)		(I2)	(H1)			(I2)	(H1)	4
2	(H1)	AA(1), (H3,I2)	(I3,N1)	(H2)	(H1)	(I2)	A, A	A	7
3	(H1)		(I4)	(H1)	(H1,I2)		A,		3
4	A, (H1)	A	(I2,N1)		A	AA(1)	(I3)		2
5	(H1)		(H1,I4)	-	A,	AA, (H1)	(I2)		3
6	A, (H1)	A, (H1)	(I3)	(H1)			(I3)	(H1)	4
7		AA, (H1)	(I2)		(I2)		AA(1),A (2)		3
8			(I2)	(H1)			(I5)	(H1)	2
9		A(1),A, (H2)	(I4)	(H1)			(I5),A	A, (H1)	4
Σ Hinw.	7	7	1	7	2	2	2	4	32

Tabelle 10: Erfolgreiche Lösungswege und Alternativstrategien

fehlerträchtigen ersten Phase (Aufgaben 1-4) nur noch sehr wenige Hinweise des Testleiters notwendig waren, um die Benutzer in Richtung der optimalen Lösung zu unterstützen: 75% der lösungsrelevanten Hinweise des Testleiters erfolgten bei den ersten vier Aufgaben. Ebenfalls negativ beeinflusst die Tatsache, daß *erfolgreiche* Alternativstrategien nicht eingerechnet sind.³⁹ Dem kann man natürlich entgegenhalten, daß anfängliche vorgenommene Klärungsdialoge sich im weiteren Verlauf des Tests positiv auswirkten und bei einem nicht-dialogischen Testverfahren die Versuchspersonen ihre Anfangsfehler möglicherweise häufiger wiederholt hätten. Insgesamt kann man jedoch eine „ungeleitete“ Erfolgsquote von deutlich über 50 % annehmen.

Lediglich bei Aufgabe 4 (Vergleich zweier Kurven) trat keine Alternativstrategie auf: Die Vorgabe zweier Kurven hebt Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren so deutlich von den anderen Suchtypen ab, daß die Zuordnung einfach zu bewältigen war. Die Alternativstrategien der Aufgaben 7 und 8 schließen jeweils das Inter-

³⁹ Für die wenigen Fälle, wo die Versuchsperson zwar eine erfolgreiche Alternativstrategie anwandte, aber nicht mehr zur optimalen Lösung übergang, z.B. weil ihr diese Strategie ohnehin bewußt war und sie eine explorative/„experimentelle“ Vorgehensweise bevorzugte (so namentlich wiederholt VP4).

aktionsverfahren ein, das bei der Aufgabe im Mittelpunkt steht, d.h. die Versuchspersonen wandten kombinierte Verfahren an.

Betrachtet man nur das Problem der Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren und läßt die Interaktionsausführung außer Betracht, ergibt sich ein noch weit positiveres Bild; Tab. 11 zeigt die Anzahl der positiven Primärzuordnungen von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren bei den einzelnen Aufgaben:

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	Summe	Anteil (%)
Anzahl korrekte Primärzuordnungen	6	4	8	8	7	7	7	8	55	77
Anzahl Zuordnungen	9	9	9	8	9	9	9	9	71	100

Tabelle 11: Anzahl korrekter Primärzuordnungen bei den einzelnen Aufgaben

In der Tabelle sind die Fälle nicht berücksichtigt, in denen statt einer korrekten Primärzuordnung im Sinne der Musterlösung eine sinnvolle Alternativstrategie angewandt wurde (was letztlich nicht als *falsche* Zuordnung zu werten war).

7.2.3 Systembewertung durch die Benutzer (Auswertung des Nachinterviews)

Im Anschluß an den eigentlichen Test beantworteten die Versuchspersonen die Fragen des Nachinterviews, bei dem die subjektive Einschätzung des Systems ermittelt und Hinweise auf Verbesserungspotentiale aus der Sicht der Benutzer festgemacht werden sollten. Den Benutzern lag folgender Fragenkatalog vor:

1. *Wie beurteilen Sie die Brauchbarkeit des graphischen Retrieval?*
 - a) *im allgemeinen*
 - b) *bezogen auf den Bereich Werkstoffinformation*
2. *Welche der getesteten Sucharten halten Sie*
 - a) *für besonders sinnvoll*
 - b) *für eher unbrauchbar*
3. *Welche Wünsche bleiben bei dem getesteten System noch offen?*
(weitere Sucharten, andere Informationen etc.)
4. *Gibt es bestimmte Kennwerte, für die ein solches Vorgehen bei der Suche besonders relevant erscheint (Beispiele!)?*

Für das Nachinterview benötigten die Versuchspersonen ca. 10 Minuten. In die Auswertung sind Ergebnisse der Testdurchführung selbst eingearbeitet, insoweit dort bereits im Dialog Fragen genereller Bedeutung geklärt und Bewertungen des Systems und seiner Funktionalität vorgenommen wurden.⁴⁰

⁴⁰ Übernahmen aus der Testdurchführung sind in der Tabelle durch Angabe der Aufgabe gekennzeichnet („A8E“ bedeutet „Explorationsdialog im Anschluß an Aufgabe 8“).

7.2.3.1 Bewertung der einzelnen Sucharten in Wing-Graph

V	positive	negative	Sonstiges
P	Einschätzung	Einschätzung	
1	PS, BS, KBS, 2KV, GBS, EBS (A8E)	KS, KÄ nur sehr bedingt sinnvoll (NI)	Globalbewertung: alle Suchverfahren nützlich (NI) Keine Bedingungen über den ganzen Temperaturbereich, 2-3 Suchpunkte genügen (NI)
2	alle Suchverfahren (NI), GBS, EBS (NI)	KS, KÄ seltenere Anwendbarkeit (NI)	
3	PS, PS*, KBS, BS, GBS, EBS (NI), 2KV	KÄ (bei anderen Fragestellungen nicht ausgeschlossen) (NI)	GBS in EBS enthalten: Sinnvoll, aber an sich überflüssig (NI)
4	alle Suchverfahren ohne Einschränkung, da sehr unterschiedliche Anforderungen der Benutzer (NI)		GBS in EBS enthalten: Sinnvoll, aber an sich überflüssig (NI)
5	PS, PS*, BS, KBS, EBS; GBS (NI)	KS, KÄ (für eigene Anwendung) (NI)	
6	PS, PS*, BS, KBS, GBS, EBS, 2KV (NI)	KS („Kurve im Kopf“) eher selten, aber denkbar (NI)	
7	PS, PS*, BS, GBS, EBS, 2KV (NI)	KBS (weniger häufig), KS („ganz nett“, aber in der Regel. Einzelpunkte), KÄ sehr selten (NI)	KBS eher nützlich als KÄ (NI)
8	KBS, BS, KÄ, PS*, EBS, GBS (NI)	KS („zu vage“), PS (zu genau), 2KV (NI)	Globalbewertung: Alle Suchverfahren für bestimmte Fragen nützlich (NI), GBS in EBS enthalten, daher sinnvoll, aber an sich überflüssig, sehr sinnvoll als Groborientierung (NI)
9	PS, KBS, EBS, GBS, 2KV (NI)	BS wegen Fehlinterpretation (als Suchverfahren zur Anzeige der ganzen DB interpretiert, s.o. A2), KS (zu genau), KÄ (keine Anwendung erkenntlich) (NI)	GBS in EBS enthalten: Sinnvoll, aber an sich überflüssig (NI)

Tabelle 12: Bewertung der einzelnen Interaktionsverfahren nach Versuchspersonen

Die Bewertung der Interaktionsverfahren ergibt lediglich für die Kurvenskizze und die Kurvenmodifikation eine eingeschränkte Akzeptanz, alle anderen Verfahren und insbesondere die relativen Suchbereiche schätzen die Versuchspersonen positiv ein. Sie bestätigt die in Kap. 5.3.1 theoretisch abgeleiteten Vermutungen bezüglich der kritischen Rolle der visuellen Vorstellungsfähigkeit und der graphischen Produktionsfähigkeit: Den Versuchspersonen war es kaum möglich, im vorgegebenen Bezugsrahmen des Wertesystems *auf Antrieb* sinnvolle Suchhypothesen zu produzieren. Der Suchtypus ist allerdings deswegen nicht abzulehnen, da zunächst Modifikations- und Optimierungsmöglichkeiten zu untersuchen wären: Der enge Toleranzrahmen bei der Bewertung von Suchkurven ist bereits mehrfach angesprochen worden und für die „schlechten“ Suchergebnisse mitverantwortlich. Hinzu kommt die Frage nach der Erlernbarkeit und dem Erfahrungswissen hinsichtlich der Kurvenproduktion. Bei hinreichender Übung ließen sich anfängliche Unsicherheiten wenigstens teilweise beheben. Das Interaktionswerkzeug Maus ist ferner sicherlich gegenüber anderen Medien, besonders im Vergleich zu einem *paper-and-pencil*-Experiment der Kurvenproduktion unterlegen und weitere dynamische Unterstützung des Interaktionsvorgangs erscheint ebenfalls möglich.⁴¹

Selbst wenn man unterstellt, daß sich durch solche Optimierungsmaßnahmen keine wesentliche Akzeptanzerhöhung der graphischen Suchhypothesenproduktion erreichen ließe, weisen die Testergebnisse auf eine mögliche veränderte Interpretation von Kurvenproduktion und Kurvenform-Modifikation hin: Die Verwendung im Rahmen eines „kompositionalen“, mehrere Schritte und Interaktionsverfahren umfassenden Anfrageaufbaus, bei dem eine Kurvenskizze nur der erste Schritt zur Weiterbearbeitung mit anderen Anfrageverfahren ist. Damit ginge man zwar von der Idealvorstellung einer direkten und als Recherchegrundlage unmittelbar geeigneten Reproduktion mental repräsentierter visueller Vorstellungen durch den Benutzer ab, die Leistungsfähigkeit des graphischen Retrieval würde so in der Kombinierbarkeit der Suchverfahren noch stärker betont. Man könnte die veränderte Interpretation der Kurvenproduktion in Analogie zum Konzept des Ergebnisretrieval auf der Basis von Vorlageinformation sehen: Die Suchkurve ist nicht unmittelbar Recherchedefinition, sondern in diesem Sinne erst Vorlage für die eigentlichen Schritte zum graphischen Anfragekonstrukt.

7.2.3.2 Bewertung der Datengrundlage von *Wing-Graph*

Neben Kenngrößen, die in der Datenbank zwar enthalten sind, sich aber wegen der geringen Datenmenge nicht für *Wing-Graph* übernehmen ließen, nannten die Versuchspersonen eine Reihe weiterer und zum Teil sehr spezieller Informationsarten, für die sie das graphische Retrieval als sinnvoll erachteten. Das reflektiert

⁴¹ Vgl. dazu einen explorativen Versuch zur Implementierung eines dynamischen Feedbacks bei der Kurvenproduktion in Kap. 8.1.5.

nicht zuletzt den von *Wing-Graph* völlig unabhängigen Wunsch einiger Versuchspersonen nach Erweiterung der Datenbank um für sie besonders wichtige Spezialinformation. Es zeigt aber auch, daß sie keine Schwierigkeiten haben, den in *Wing-Graph* durch sie erprobten Ansatz für andere Bereiche zu generalisieren. Als Beispiele nannten sie unter anderem die Darstellung von anwendungsbezogener Information, etwa das Verhältnis von Triebwerksschub und Gewicht als graphische Darstellung oder die Visualisierung von Larson-Miller-Kurven. Mit der Frage nach der Erweiterung der Datenbasis war weniger eine konkrete Sammlung weiterer Anwendungsfälle beabsichtigt, als vielmehr zu überprüfen, ob die Akzeptanz des Systems durch die Benutzer zu Generalisierungs- bzw. Transfervorschlägen führt. Das ist auf der Basis der zahlreichen Vorschläge zu bejahen.

7.2.3.3 Vorschläge für Funktionalitätserweiterungen von *Wing-Graph*

Eine Reihe von Vorschlägen bezüglich der Verwendung anderer Darstellungsformen (z.B. 3-D-Diagramme), der Erweiterung der graphischen Syntax (Kurven rotieren oder verschieben) oder zur Erweiterung der Suchdefinition auf mehrere Kennwerte mit einheitlichen Bezugsbereich auf der Temperaturskala bestätigt indirekt das *Wing-Graph* zugrundegelegte Strukturierungsprinzip für die Anfragedefinition, da die Versuchspersonen dieses Prinzip auf mögliche Erweiterungen übertragen konnten. Die Vorschläge sind aber relativ singular und geben keinen Konsens über Erweiterungswünsche wieder. Mehrere Versuchspersonen warnten zudem vor einer Erhöhung der Suchverfahrensvielfalt und bewerteten eine Beschränkung auf wenige, aber leistungsfähige Suchverfahren als positiv.

7.2.3.4 Abschließende Globalbewertung und Übertragbarkeit

Die Versuchspersonen wurden gebeten, das System abschließend zu beurteilen und Vorschläge zur Übertragbarkeit in andere Sachgebiete zu machen (Generalisierungsfrage). Alle neun Versuchspersonen beurteilten *Wing-Graph* als positive Erweiterung des Funktionsumfangs und der Interaktionsmöglichkeiten eines Werkstoffinformationssystems. Die positive Einschätzung begründeten sie explizit mit der hohen Bedeutung der graphischen Informationsdarstellung und der guten Durchführbarkeit von werkstoffvergleichenden Suchverfahren in *Wing-Graph*. Auf die mögliche Generalisierung des Interaktionsansatzes von *Wing-Graph* hin befragt, bejahten acht von neun Versuchspersonen die Übertragbarkeit auf andere Sachgebiete bzw. eine andere Datengrundlage. Im einzelnen nannten sie die Anwendungsmöglichkeiten betriebswirtschaftliche Daten, Börsendaten/Aktienkurse sowie Kostenrechnungen und -kalkulationen. Einige Versuchspersonen wiesen auf die generelle Eignung für jegliche graphisch darstellbare Information hin. Die Frage nach der Übertragbarkeit sollte abklären, ob das System *Wing-Graph* aus

der Sicht der Benutzer lediglich für die konkrete Anwendungssituation der MTU plausibel erscheint oder als generelles Rechercheprinzip Anwendung finden könnte. Dieses Gedankenspiel fiel im Sinne von *Wing-Graph* positiv aus, d.h. die Generalisierung erscheint den Versuchspersonen vorstellbar. Das sagt allerdings nichts über die konkrete Bewährung des graphischen Retrieval auf einer anderen Datengrundlage und für Benutzer mit einem anderen fachlichen Hintergrund aus.

7.3 Fazit

Will man die Testergebnisse zu *Wing-Graph* auf einen Nenner bringen, so sollten an erster Stelle die hohe Akzeptanz und die positive Bewertung stehen, die die Versuchspersonen dem System entgegenbrachten. Die Zweifel, die nach den Voruntersuchungen in erheblichem Maße bestanden hatten, räumten sie eindeutig aus. Auf einer detaillierteren Ebene lassen sich zwei (nicht unbedingt völlig gegensätzliche) Folgerungen für die Gestaltung ziehen:

Zum einen kann man mit einer Vielzahl kleiner und mittlerer Gestaltungsänderungen systemstabilisierend eine Optimierung herbeiführen (z.B. durch Überarbeitung der Interaktionsverfahrensmenge und ihrer visuellen Darstellung); andererseits steht die Möglichkeit offen, noch einmal grundsätzlich den elementaren Retrievalzyklus als Kern des Systems zu überarbeiten und ihn von der starren parallelisierten Aufteilung zu explizit anzuwählenden Interaktionsverfahren zu entkoppeln. Die zahlreichen Alternativstrategien der Versuchspersonen bei der Verknüpfung der verschiedenen Suchverfahren sind ein positiver Hinweis auf die erweiterte Modellierung von Retrievalzyklen mittels kombinierter Basisverfahren. Insofern kann man aus dem Test ableiten, daß eine Reduktion auf eine kleinere, aber in sich leistungsfähigere Menge graphischer Operationen ein wesentliches Gestaltungsziel sein sollte.

Dazu kommt ein weiteres: Der Test beleuchtet einige Aspekte der erweiterten Interpretation graphischer Suchanfragen und macht klar, daß ein beträchtliches Potential für die Verbesserung der Anfragetypen insbesondere hinsichtlich ihrer Suchsemantik vorhanden ist. Damit ist der Bogen zur Implementierung von Wissen über Sachzusammenhänge und Benutzer als inhaltliche Wissensbasis geschlagen; beides kann zu einer verbesserten Suchinterpretation beitragen, wird für *Wing-Graph* aber lediglich andeutungsweise modelliert (Kap. 8.1.2.2, 8.5). Das gilt auch bezüglich der Oberflächenstrukturierung und für die zugrundegelegte Datenauswahl: Bislang nur rudimentär implementiert, erwiesen sich vorstrukturierte Ikonenmengen als vorzügliches und schnelles Mittel zum Rechercheeinstieg, da sie sowohl den schnellen Zugriff auf häufig benötigte Information als auch einen ersten Überblick auf die Daten selbst erlauben.

Zur Klärung der Generalisierung des Verfahrens konnte der Test erwartungsgemäß wenig beitragen; daß sich die Versuchspersonen eine solche Verallgemeinerung durchaus vorstellen und Beispiele benennen konnten, ist nur ein erster

schwacher Hinweis. Abschließend sei noch einmal auf die problematische Einordnung des Testverfahren selbst hingewiesen. Die dialogische Durchführung der Aufgabenlösungen und das „hermeneutische“ Auslegungsverfahren bei der Ergebnisanalyse können eine statistische Validierung nicht ersetzen. Sie haben ein anderes Ziel: Ausgehend vom Vorverständnis für die Probleme und typischen Aufgabenstellungen des zugrundegelegten Sachgebietes und der daraus abgeleiteten Systemgestaltung sollen eine möglichst breite Fülle an Informationen über Funktionalität, Verständlichkeit und Anwendbarkeit⁴² eines neuartigen Rechercheverfahrens erbringen.

⁴² Allesamt sehr vage Begriffe; mit Benutzerfreundlichkeit ist aber auch kaum Abhilfe geschaffen - Software-Ergonomie läßt sich nur sehr schwer „parametrisieren“.

8 Strukturelle Weiterentwicklung von *Wing-Graph*

Die Kernimplementierung von *Wing-Graph* konnte sich im Benutzertest hinsichtlich der wesentlichen Aspekte der Systemgestaltung bewähren; der Benutzertest ergab aber auch ein Potential an Optimierungsmöglichkeiten, insbesondere, wenn man von der engen Anbindung der Systemimplementierung an die Anwendungsdomäne MTU abstrahiert und *Wing-Graph* unter dem Gesichtspunkt einer domänenunabhängigen Generalisierung betrachtet. Mit der Kernimplementierung von *Wing-Graph* und dem dazu durchgeführten Benutzertest steht eine Materialbasis zur Verfügung, auf deren Grundlage Gestaltungsvarianten und -erweiterungen zu diskutieren sind. Vier Aspekte runden die Betrachtung des graphischen Retrieval ab:

- a) Aus den Ergebnissen des Benutzertests abgeleitete Gestaltungsmodifikationen mit Schwerpunkten auf der Ausgestaltung der Suchsemantik, der interaktionsinherenten Suchtypenwahl und dem Aufbau komplexer Anfragen in *visual query abstracts* (Kap. 8.1),
- b) die Generalisierung des graphischen Retrieval für weitere Anwendungsdomänen, vorgestellt am Beispiel wirtschaftlicher Zeitreihendaten, für das die Kernimplementierung adaptiert und anschließend evaluiert wurde,
- c) die Vervollständigung der Anpassung von *Wing-Graph* an die Gestaltungsleitlinien des WOB-Modells und damit verbunden die Diskussion der Einbettung in das multimodale Gesamtsystem *Wing-M2* und schließlich
- d) Überlegungen und Vorschläge zu wissensbasierten Erweiterungen für die Informationspräsentation und die Auslegung der Suchsemantik auf der Basis eines Benutzermodells.

Die in diesem Kapitel entwickelten Gestaltungsmodifikationen sind nur teilweise in einen zweiten Prototypingzyklus eingegangen, d.h. nicht alle Vorschläge sind in der überarbeiteten Fassung von *Wing-Graph* implementiert. Vor dem abschließenden Ausblick auf wissensbasierte Systemerweiterungen gibt daher Kap. 8.4 im Überblick den erreichten Implementierungsstand von *Wing-Graph* wieder.

8.1 Überarbeitung von *Wing-Graph* auf der Basis empirischer Ergebnisse

Den Kern von *Wing-Graph* bildet die angebotene Menge graphischer Rechercheverfahren, denen je ein bestimmtes Interaktionsverfahren zugeordnet ist. Im Anschluß

an den Benutzertest von *Wing-Graph* ergeben sich Überlegungen für eine Modifikation der Suchtypengliederung, da sich die Suchtypologie als teilweise überspezifisch herausgestellt hat. Zudem stellt sich die Frage nach einer vereinfachten Zuordnung von Suchtypen zu Interaktionsverfahren.

8.1.1 Vereinfachung der Suchtypologie

Die Durchsicht der Testergebnisse hinsichtlich der Suchtypologie zeigt, daß die Versuchspersonen bei den relativen Verfahren explizit die Zusammenlegung der Besser-Schlechter-Relationen forderten. Auch für die beiden abstrakten Suchverfahren ist eine Vereinfachung möglich: Aus der letztlich identischen und nur in der Interaktion unterschiedlich flexiblen Suchlogik von Suchpunkt und Suchbereich kann man deren Zusammenlegung ableiten, wobei die Möglichkeit, mehrere Suchbereiche zu setzen, hinzukommt. Im Ergebnis entsteht ein mächtigerer Suchtypus, bei dem der Benutzer wahlweise einen oder mehrere Suchpunkte mit einem oder mehreren Suchbereichen zu einer komplexen Anfrage kombinieren kann. In diesem Fall wird die Differenzierung zwischen den Suchverfahren von der Ebene expliziter Verfahrensanwahl auf die der konkreten graphischen Interaktion (*click* für Suchpunkt gegenüber *click & drag* für Suchbereich) mit dem System verlagert.

Die Überarbeitung reduziert die Zahl verfügbarer und explizit anzuwählender Suchverfahren auf sechs, was die Übersichtlichkeit des Systems erhöhen und die Verwechslungsmöglichkeiten zwischen „ähnlichen“ Suchtypen reduzieren dürfte. Sie wurde in dieser Form für die empirische Überprüfung von *Wing-Graph* an der Datengrundlage Wirtschaftsinformation verwendet (Kap. 8.2.3).

8.1.2 Modifikation der Suchsemantik

Neben der Kombinierbarkeit der Suchverfahren ist die Interpretation der graphischen Suchhypothesen durch das System und damit die Schnittstelle zwischen Aktionen des Benutzers und logischer Auswertung für den Zugang zur Datenbank ein weiterer Ansatzpunkt für Modifikationen auf der Basis empirischer Erkenntnisse.

8.1.2.1 Veränderung der Bedingungskonjunktion

Die den einzelnen Verfahren analytisch zugeordnete Suchsemantik ließ sich im Test nicht durchgehend bestätigen. Insbesondere die formale Interpretation der *relativen* Verfahren empfanden die Versuchspersonen als zu restriktiv. Sieht man von Eingriffen in die Suchsemantik hinsichtlich der Forminterpretation der Kurven ab (die dargelegte Übersetzung in die formale Abfragesprache SQL ist ja nicht nur an die Form, sondern auch an das Skalenniveau der Daten gekoppelt), so zeigt sich, daß die sehr enge Interpretation der Bedingungskonjunktionen für graphische Suchbereiche Kurven aus den Ergebnismengen ausschließt, die den Suchbereich nur teil-

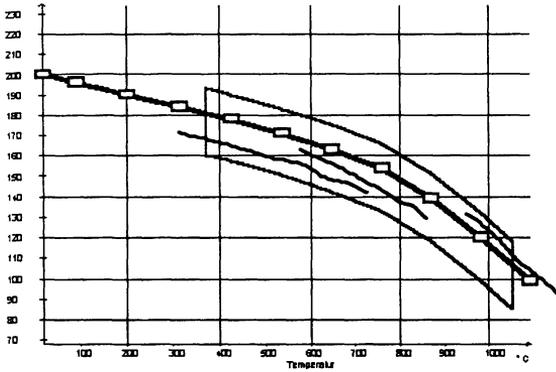


Abbildung 46: Durch die modifizierte Suchsemantik im Ergebnis enthaltene Kurven

die zentralen Suchtypen „Streubereich um Kurve legen“, „Besser-Schlechter-Relation“ und „Zwei Kurven vergleichen“ implementiert. Abb. 46 zeigt graphisch, daß nach der überarbeiteten Interpretation auch Kurven, die die Suchbedingungen nur teilweise erfüllen, in die Ergebnismenge eines Streubereiches kommen.

Dem Anfrageaufbau liegt nach wie vor die Reduktion der Mausbewegung des Benutzers auf die von der Bezugskurve vorgegebenen Stützpunktstellen zugrunde, die dem Streubereich seine Form verleihen. In das Ergebnis fallen alle Kurven, die wenigstens eine Bedingung des Streubandes erfüllen, aber an keiner Stelle explizit aus ihm herausfallen: Damit sind Kurven, die in das Band nur hinein- oder herauslaufen, ebenso in der Ergebnismenge enthalten, wie Kurven, die vollständig innerhalb des Bandes liegen. Formal kann man die Suchsemantik wie folgt ausdrücken:

Ergebnis:

Menge der W der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter n -Paartupel $T(x_1 y_1, \dots, x_i y_i, \dots, x_n y_n)$ zugeordnet ist, für den gilt

$\exists (x_j y_{lower_j} / y_{upper_j})$ für den gilt: $\exists (x_i y_i) \in T$ mit

$$\left(\begin{array}{l} (y_{lower_j} \leq y_i \leq y_{upper_j} \wedge x_i = x_j, x_i, x_j \in M_S) \\ \wedge (y_{lower_{j+1}} - y_{lower_j} = y_{upper_{j+1}} - y_{upper_j} = y_{j+1} - y_j) \\ \wedge (y_{upper_j} - y_{lower_j} = y_{upper_{j+1}} - y_{lower_{j+1}} = \delta_y) \end{array} \right) \wedge$$

$\exists (x_j y_{lower_j} / y_{upper_j})$ für den gilt: $\exists x_i y_i \in T$ mit

$$\left(\begin{array}{l} (y_{lower_j} \leq y_i \leq y_{upper_j} \wedge x_i = x_j, x_i, x_j \in M_S) \\ \wedge (y_{lower_{j+1}} - y_{lower_j} = y_{upper_{j+1}} - y_{upper_j} = y_{j+1} - y_j) \\ \wedge (y_{upper_j} - y_{lower_j} = y_{upper_{j+1}} - y_{lower_{j+1}} = \delta_y) \end{array} \right)$$

weise oder lückenhaft abdecken, ohne allerdings an irgendeiner Stelle explizit aus ihm herauszufallen. Die Befragung der Versuchspersonen ergab, daß diese Auslegung zu eng ist, mithin auch eine solche Teilerfüllung der Suchbedingungen in die Ergebnismenge aufgenommen werden sollten. Deshalb wurde die Suchsemantik diesen empirisch erarbeiteten Anforderungen angepaßt und für

wobei

y_j Meßwert der Referenzkurve am Stützpunkt x_j

y_{upper_j}, y_{lower_j} untere / obere Suchgrenze am Stützpunkt x_j

δ_y Breite des Streubands,

$l < j \leq k \leq m$, k = Stützpunkanzahl des Suchbereichs,

m = Stützpunkanzahl der Referenzkurve

M_S = geordnete Menge der Meßstützpunkte, $x_l < x_{l+1}, x_l, x_{l+1} \in M_S$

Die formale Beschreibung zeigt die freiere Definition des Suchbereiches: Die doppelte Negation der Aussage im zweiten Teil der Konjunktion besagt, daß eine Kurve in die Ergebnismenge fällt, wenn mindestens einer ihrer Datenpunkte *im* Suchbereich liegt und gleichzeitig sichergestellt ist, daß sie *kein* Wertepaar hat, das eine Suchbedingung des Streubandes *explizit nicht* erfüllt. Der Unterschied wird bei der mengentheoretischen Betrachtung der Auswertungsprozedur deutlich: Anders als in der Kernimplementierung findet keine iterative Schnittmengenbildung der Ergebnismengen an den einzelnen Stützpunkten statt, sondern von der Vereinigungsmenge der Mengen aller Werkstoffe, die wenigstens eine Bedingung erfüllen, wird die Vereinigungsmenge der Mengen von Werkstoffen, die wenigstens eine Bedingung *nicht* erfüllen, abgezogen:¹

$$W = \bigcup_j^k W_j - \bigcup_j^k \overline{W}_j$$

W_j (\overline{W}_j) Menge der Werkstoffbezeichner, denen ein geordneter

n - Paartupel $T(x_1 y_1, \dots, x_i y_i, \dots, x_n y_n)$ zugeordnet ist,

der genau ein Wertepaar $x_i y_i$ aufweist, das die j te Suchbedingung

(*explizit nicht*) erfüllt

Nicht berücksichtigt ist bei der formalen Darstellung die notwendige Abbildung der Suchdefinition auf die jeweils zweite Stützpunktreihe der MTU-Datenbank (mittels linearer Interpolation).

Die Modifikation der Suchsemantik bietet sich für alle Suchtypen an, die direkt mit kurvenbezogenen Daten arbeiten, d.h. alle relativen und das produktive Suchverfahren. In der Implementierung von *Wing-Graph* findet die modifizierte Suchlogik allerdings nur für die flächendefinierenden relativen Suchverfahren Verwendung, da die funktionale Bandbreite der Suchlogik des Systems so erhöht wird: Jede aus dem freien Skizzieren oder der direkten Modifikation einer Kurve hervorgegangene Suchhypothese, die noch auf der restriktiveren Suchlogik aufbaut, kann der Benutzer unter Verwendung der relativen Suchoperationen in eine Anfrage auf der Grundlage der modifizierten Semantik überführen. Das ist noch keine abschließend befriedigende Lösung, da die unterschiedliche semantische Interpretation lediglich an der Form des Suchkonstrukts (Fläche oder Kurve) abgelesen werden kann, was gerade für wenig geübte Benutzer schwer zu vermitteln sein dürfte; sie bietet sich

¹ Beispielanfrage zu diesem Suchtypus in Anhang 10.6.

aber als ein Kompromiß an, der die funktionale Leistungsfähigkeit des Systems optimiert. Hier zeigt sich ein weiterer Ansatzpunkt, das Prinzip der doppelten Interpretierbarkeit der Benutzerschnittstelle aufzugreifen, wie es im WOB-Modell angelegt ist. Die geschilderte Zuweisung von Suchsemantik zu Suchtypus steht dem weniger erfahrenen Benutzer als Default-Belegung zur Verfügung; dem fortgeschrittenen Benutzer wäre ein geeignetes Werkzeug an die Hand zu geben, mit dem er Präferenzen für die Interpretation graphischer Suchkonstrukte festlegen kann.

8.1.2.2 Weitergehende Flexibilisierung der Suchsemantik

Die geschilderte Modifikation der Suchsemantik verbleibt im von der Kernimplementierung vorgegebenen funktionalen Rahmen und berücksichtigt keine weitergehenden Überlegungen, die sich aufgrund der Evaluierung des graphischen Retrieval ergaben. Dabei sind insbesondere drei Aspekte relevant:

- a) Die Möglichkeit einer reinen Mustersuche, die kurvenförmige Suchkonstrukte bzw. Streubänder nicht gebunden an ihre Lage im Werteraum, sondern nur hinsichtlich ihrer visuellen Form auswertet,
- b) die unterschiedlich dichte Belegung des Datenraums in der Anwendungsdomäne Werkstoffdaten - ein nicht nur für diesen Bereich typisches Phänomen (s.u. Kap. 8.2) - und mit ihr verbunden der Wunsch der Benutzer nach einem positiven Suchergebnis im Sinn einer *next neighbour*-Suche und
- c) die Notwendigkeit, statt im gesamten Wertebereich starre Toleranzbändern zu verwenden, kurvenbezogene und punktuelle Anfragen in Abhängigkeit von Domäne und Position der Anfrage im Werteraum flexibel zu bewerten.

Dieses Problembündel sprengt den Rahmen der Kernimplementierung von *Wing-Graph*, da eine Lösung nicht ohne die Verwaltung zusätzlichen Wissens über Domäne, Datengrundlage und Benutzer möglich ist. Die technische Lösung für eine nach diesen Kriterien dynamisch zu gestaltende Suchlogik könnte man sich unter Zuhilfenahme der folgenden Bewertungsverfahren und Wissensquellen vorstellen:

Eine Mustersuche kann man durch Errechnung von Wertetabellen aus der Datenbasis erreichen, die für jeden Datensatz an den Stützpunkten der Datenbasis die Kurvensteigung (erste Ableitung) als Wertereihe speichern. Dies kann durch Differenzierung des Interpolationspolynoms bzw. des *splines* des Datensatzes geschehen. Bei der Formrecherche sucht das System nicht mit den tatsächlich gemessenen Daten, sondern mit ihrer Ableitung, die von der Lage im Datenraum entkoppelt ist. Auf diese Weise kann das System alle zu einer Suchvorgabe (Streubänder und kurvenförmige Suchhypothesen) formgleichen Datensätze finden. Dabei ist der Aufwand hinsichtlich der Datenhaltung relativ hoch, wenn die Ableitungen als vollständige Mengen von Wertepaaren gespeichert sind. Allerdings könnte für den Fall, daß statt der tatsächlichen Meßwerte die bewerteten Koeffizienten des zugrundeliegenden Werkstoffmodells in der Datenbank abgelegt sind, eine Vereinfachung dahingehend

zu erreichen sein, daß an Stelle konkreter Werte der Ableitung nur ihre formale Beschreibung durch Polynomkoeffizienten abgespeichert ist und diese zur dynamischen Errechnung der tatsächlichen Steigungswerte herangezogen wird.

Die Implementierung eines *next neighbour*-Algorithmus könnte auf die Anfragevereinfachungsstrategien zurückgreifen, wie sie von Werkstoffachtleuten üblicherweise angewandt werden: Die Anfrage wird dabei solange hinsichtlich der Wertegrenzen erweitert, bis ein positives Suchergebnis vorliegt. Das kann sowohl (bei kurvenförmigen Suchkonstrukten) durch schrittweise Wiederholung der Anfrage mit erweitertem Toleranzrahmen bis zu einem positiven Suchergebnis, als auch durch Elimination einzelner Suchbedingungen bei komplexen Anfragen geschehen (Komplexitätsreduktion). Die hohe Zahl konjugierter Suchbedingungen bei relativen und dem produktiven Suchverfahren könnte durch ein *query sampling* schrittweise vermindert werden, wobei zusätzlich Domänenwissen für die Auslegung der Samplingstrategie heranzuziehen wäre. Neben einer allgemeinen Strategie, bei jeder Anfrageerweiterung nach negativem Suchergebnis z.B. jede dritte Bedingung des Streubandes wegzulassen, könnte eine wissensbasierte Anfragemodifikationstechnik stehen, bei der das System gezielt Anfragen in dem Bereich der unabhängigen Variablen eliminiert, der für das Informationsbedürfnis des Benutzers weniger relevant ist. Diese Strategie soll ein Beispiel verdeutlichen. Ein mit *Wing-Graph* erstelltes graphisches Streuband unterhalb des Werkstoffs *IN718* ergibt das folgende formale SQL-Statement:²

```
SELECT DISTINCT SPZFK FROM KNW11 WHERE (I = 1) AND
((
  (TMPRT = 100 AND EMOD BETWEEN 160 AND 169)
  OR (TMPRT = 200 AND EMOD BETWEEN 155 AND 164)
  OR (TMPRT = 300 AND EMOD BETWEEN 149 AND 158)
  OR (TMPRT = 400 AND EMOD BETWEEN 144 AND 153)
  OR (TMPRT = 500 AND EMOD BETWEEN 138 AND 147)
  OR (TMPRT = 600 AND EMOD BETWEEN 131 AND 140)
  OR (TMPRT = 700 AND EMOD BETWEEN 123 AND 132)
  OR (TMPRT = 800 AND EMOD BETWEEN 113 AND 122)
  OR (TMPRT = 900 AND EMOD BETWEEN 99 AND 108)
  OR (TMPRT = 1000 AND EMOD BETWEEN 81 AND 90)
) AND SPZFK NOT IN
(SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE
  (TMPRT = 100 AND NOT EMOD BETWEEN 160 AND 169)
  OR (TMPRT = 200 AND NOT EMOD BETWEEN 155 AND 164)
  OR (TMPRT = 300 AND NOT EMOD BETWEEN 149 AND 158)
  OR (TMPRT = 400 AND NOT EMOD BETWEEN 144 AND 153)
  OR (TMPRT = 500 AND NOT EMOD BETWEEN 138 AND 147)
  OR (TMPRT = 600 AND NOT EMOD BETWEEN 131 AND 140)
  OR (TMPRT = 700 AND NOT EMOD BETWEEN 123 AND 132)
  OR (TMPRT = 800 AND NOT EMOD BETWEEN 113 AND 122)
  OR (TMPRT = 900 AND NOT EMOD BETWEEN 99 AND 108)
  OR (TMPRT = 1000 AND NOT EMOD BETWEEN 81 AND 90)
)) ORDER BY SPZFK;
```

² Unter Verwendung der modifizierten, laxeren Suchsemantik.

Verwendet man eine unspezifische Strategie der Eliminierung, so könnte ein *query sampling* erfolgen, das jede zweite (dritte, vierte etc.) Bedingung eliminiert.³

```
SELECT DISTINCT SPZFK FROM KNW11 WHERE (I = 1) AND
((
  OR (TMPRT = 200 AND EMOD BETWEEN 155 AND 164)
  OR (TMPRT = 400 AND EMOD BETWEEN 144 AND 153)
  OR (TMPRT = 600 AND EMOD BETWEEN 131 AND 140)
  OR (TMPRT = 800 AND EMOD BETWEEN 113 AND 122)
  OR (TMPRT = 1000 AND EMOD BETWEEN 81 AND 90)
) AND SPZFK NOT IN
(SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE
  OR (TMPRT = 200 AND NOT EMOD BETWEEN 155 AND 164)
  OR (TMPRT = 400 AND NOT EMOD BETWEEN 144 AND 153)
  OR (TMPRT = 600 AND NOT EMOD BETWEEN 131 AND 140)
  OR (TMPRT = 800 AND NOT EMOD BETWEEN 113 AND 122)
  OR (TMPRT = 1000 AND NOT EMOD BETWEEN 81 AND 90)
)) ORDER BY SPZFK;
```

Eine Alternative zur starren Elimination ist die wissensbasierte Modifikation. Es könnte auf die in der Datenbank enthaltene Anwendungstemperatur eines Werkstoffs zurückgegriffen werden, die für die Beurteilung eines Werkstoffs besonders wichtig ist. Daraus wäre zu folgern, daß Bedingungen im Bereich der Anwendungstemperatur in der Regel besonders relevant sind und als letzte eliminiert werden sollten. Der Werkstoff *IN718* hat seine Anwendungstemperatur bei 650 °C, woraus sich folgern ließe, daß Suchbedingungen in diesem Bereich nicht zu eliminieren sind. Im Ergebnis könnte es zu einer Reduktion der Bedingungen im unteren Temperaturbereich kommen:

```
SELECT DISTINCT SPZFK FROM KNW11 WHERE (I = 1) AND
((
  OR (TMPRT = 500 AND EMOD BETWEEN 138 AND 147)
  OR (TMPRT = 600 AND EMOD BETWEEN 131 AND 140)
  OR (TMPRT = 700 AND EMOD BETWEEN 123 AND 132)
  OR (TMPRT = 800 AND EMOD BETWEEN 113 AND 122)
  OR (TMPRT = 900 AND EMOD BETWEEN 99 AND 108)
  OR (TMPRT = 1000 AND EMOD BETWEEN 81 AND 90)
) AND SPZFK NOT IN
(SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE
  OR (TMPRT = 500 AND NOT EMOD BETWEEN 138 AND 147)
  OR (TMPRT = 600 AND NOT EMOD BETWEEN 131 AND 140)
  OR (TMPRT = 700 AND NOT EMOD BETWEEN 123 AND 132)
  OR (TMPRT = 800 AND NOT EMOD BETWEEN 113 AND 122)
  OR (TMPRT = 900 AND NOT EMOD BETWEEN 99 AND 108)
  OR (TMPRT = 1000 AND NOT EMOD BETWEEN 81 AND 90)
)) ORDER BY SPZFK;
```

³ Ein solches Verfahren wird ohnehin spätestens dann erforderlich, wenn Messungen nicht wie in der MTU-Datenbank bei einer relativ geringen Stützpunktzahl, sondern bei mehreren hundert Meßpunkten erfolgen, was durch moderne Techniken der Versuchsprotokollierung keine Seltenheit mehr ist, die Datenbankschnittstelle aber überfordern würde.

Der dritte Problembereich der flexiblen Anfragebewertung steht, was die für ihn notwendigen Wissensquellen anbelangt, in engem Zusammenhang mit der *next neighbour*-Suche: Einerseits ist aufgrund von Charakteristika der Werkstoffdomäne bekannt, daß Messungen in unterschiedlichen Bereichen unterschiedlich stark streuen, andererseits können die Informationsbedürfnisse der Benutzer ergeben, daß eine graphische Anfrage in Kurvenform nicht über den ganzen Bezugsbereich mit gleichem Toleranzrahmen interpretiert werden soll. Idealerweise könnte man in der Datenbasis abgespeicherte Konfidenzintervalle direkt für den Anfrageaufbau heranziehen. Es stünde beispielsweise fest, daß bei einer Messung des Zeitstandverhaltens bei 800 °C eine Streuung von 15 % zu erwarten wären, während sie bei 500 °C nur 8 % betrüge usw. Für den Anfrageaufbau folgte daraus eine unterschiedliche Gewichtung jeder einzelnen Bedingungskonjunktion auf der Basis von Domänenwissen.

In der Zusammenschau zeigt sich, daß ein polyfaktorielles Bündel von Kriterien bei der flexiblen Anfragebewertung zu berücksichtigen ist, das nicht ohne weiteres zur Deckung zu bringen ist:

- a) Anfragestrategien und Informationsbedürfnisse der Benutzer mit der möglichen, aber nicht für alle Benutzergruppen relevanten Priorisierung „positiver“ Suchergebnisse,
- b) inhaltliche Schwerpunktbildung auf einzelnen Teilbedingungen komplexer Anfragen (Beispiel Anwendungstemperatur) und
- c) Wissen der Anwendungsdomäne für die differenzierte Bewertung von Anfragen.

Die genannten Kriterien können, wollte man sie gleichberechtigt bei der Anfrageerstellung berücksichtigen, auch zu Zielkonflikten führen: Ist etwa die wahrscheinliche Streuung einer Messung bei der Anwendungstemperatur eines Werkstoffs bezüglich der gewählten Kenngröße besonders gering und signalisiert der Benutzer gleichzeitig ein hohes Interesse an dem „nächstbesten Ergebnis“ für diese Anwendungstemperatur, so stehen sich wissensbedingte einschränkende Anfragebewertung und an den Benutzerbedürfnissen orientierte Erweiterung des Suchspielraums gegenüber und könnten sich im Ergebnis gegenseitig aufheben. Daher empfiehlt sich für die Implementierung einer flexiblen Anfragebewertung für das graphische Retrieval eine zweistufige Strategie:

- a) Berücksichtigung von Bewertungsfaktoren (Wissen über Streubreite bei verschiedenen Temperaturen), soweit sie aus der Datenbasis zu erschließen sind, als Grundlage der automatischen Anfragemodifikation und
- b) in einer zweiten Schicht der Systemfunktionalität für fortgeschrittene Benutzer die Möglichkeit, zusätzliche systemseitige Anfragemodifikationen zu steuern (Zulassen von Formsuche und *next neighbour*-Suche, Auswahl der Bewertungsstrategie (*query sampling* vs. interessengesteuerte Erweiterung oder Eingrenzung von Anfragen)).

Ein solches Vorgehen verhindert, daß das Ineinandergreifen verschiedener Bewertungsverfahren die Transparenz der Suchlogik soweit mindert, daß für den Benutzer nicht mehr erkennbar ist, auf welcher Grundlage die Anfrageauswertung des graphischen Suchkonstrukts durch das System erfolgt.

Zwei Aspekte seien unter diesem Gesichtspunkt abschließend genannt, die den Zielkonflikt zwischen Flexibilisierung der Anfragebewertung und Systemtransparenz tendenziell auflösen:

- a) Die Visualisierung der vom System errechneten Anfragebewertung (etwa als farblich abgesetztes Streuband um eine Suchkurve, das den tatsächlichen Bewertungsrahmen anzeigt und vom Benutzer wiederum zu modifizieren wäre) sowie eine verbesserte Datenbestandsanzeige, die von vornherein sichtbar macht, wo bezüglich einer graphischen Anfrage in der Datenbasis überhaupt Treffermöglichkeiten bestehen⁴ und
- b) die textuelle Wiedergabe zusätzlicher Bedingungen der erweiterten Anfragebewertung als natürlichsprachliche Feedbackinformation, wie sie im Prototyp *Wing-M2* erfolgreich eingesetzt werden konnte. Sie kann das Verständnis der Anfragebewertung der Benutzer erleichtern, indem beispielsweise die Breite des Bewertungsrahmens explizit angegeben wird und dann durch den Benutzer leicht zu verändern ist („Suchkurve mit einem Toleranzrahmen von 12,5%“).⁵

Beide Aspekte zusammengenommen ermöglichen eine Doppelstrategie zur gleichzeitigen Erhöhung sowohl der Leistungsfähigkeit der Anfragebewertung als auch der Adaptierbarkeit des Systems an unterschiedliche Benutzergruppen und ihre Informationsbedürfnisse, ohne deswegen die Transparenz der Transformation von graphischen Suchkonstrukten in formale Anfragen entscheidend zu verringern.

8.1.3 Interaktionsinhärente Suchartenwahl und Modifikation der Auswahlshalter

Neben der Anfragebewertung ist die Ausgestaltung des zentralen Handlungskreislaufs von *Wing-Graph* aus expliziter Verfahrensauswahl, Anfrageaufbau und Suche durch das System ein weiterer möglicher Ansatzpunkt für Gestaltungsalternativen. Die Ausgestaltung der Verfahrensauswahl war durch die spezifische Testsituation von *Wing-Graph* motiviert: Da jeweils nur wenig Zeit zur Einführung in das System und zur Testdurchführung zur Verfügung stand, wurde die Suchtypenunterscheidung explizit in der Benutzeroberfläche als visualisierte Aktionsalternativen implementiert. Daraus folgt eine starke Untergliederung der Suchtypen einerseits, eine Parallelisierung der Ausführung mehrerer Recherchen oder Anfragedefinitionsschritte andererseits. Um verschiedene Suchverfahren miteinander kombinieren zu

⁴ Beschreibung der Implementierung einer verbesserten Datenbestandsanzeige in Kap. 8.1.5.

⁵ Ausführlicher Gestaltungsvorschlag in Kapitel 8.3.2.

können, ist vor Anwendung eines sekundären graphischen Operators auf eine primäre Anfragedefinition (etwa das Zeichnen einer Suchkurve) die explizite Auswahl des sekundären Verfahrens notwendig.

Dieses Gestaltungsverfahren erwies sich im Benutzertest insofern als erfolgreich, als die Versuchspersonen in der überwiegenden Anzahl der Fälle den Aufgaben die korrekten Suchverfahren zuordneten, was bei einer nicht expliziten Anwahl weniger wahrscheinlich gewesen wäre. Gleichzeitig sollten *alle* Suchverfahren untersucht werden, wobei ebenfalls die explizite visuelle Präsentation der Suchtypen in symbolischer Darstellung auf den Auswahlaltern hilfreich war. Die parallelisierte Durchführung der einzelnen graphischen Recherchedefinitionen unterteilt Anfragestrategien so, daß jedem *unterschiedlichen* graphischen Verfahren jeweils ein vollständiger Interaktionszyklus zugeordnet ist. Der Benutzer ist gezwungen, zur Anwahl eines anderen Verfahrens jeweils wieder auf das im Verhältnis zur graphischen Anfragedefinition externe Konzept der Verfahrensauswahl zurückzugreifen.

Für eine vereinfachte Durchführung eines komplexeren Anfrageaufbaus, der mehr als nur ein graphisches Verfahren verwendet, ist es wünschenswert, die Selektion eines bestimmten graphischen Operators von der Anwahl des Auswahlalters zu entkoppeln. Bei der Analyse der Struktur der Kernimplementierung von *Wing-Graph* zeigt sich, daß sich Suchverfahren auch aus dem konkreten Kontext der graphischen Interaktion bestimmen lassen, wenn das System den Kontext der Retrievalsituation auswertet. Dazu kann man auf folgende Faktoren zurückgreifen:

- Art der Interaktionshandlung
- Inhalt des graphischen Fensters
- Zustand der angezeigten Daten (Markierungskonzept)
- Beziehung zwischen Interaktionshandlung und angezeigten Daten

Weist man den einzelnen Kategorien eine feste Anzahl unterschiedlicher Ausprägungen zu, läßt sich abstrakt die logische Mächtigkeit eines solchen Verfahrens abschätzen. Interaktion (*click* vs. *click & drag*), Inhalt des graphischen Fensters (Daten angezeigt/nicht angezeigt) und Zustand angezeigter Daten (Markierung vorhanden/nicht vorhanden) sind jeweils binär ausgelegt. Für die Relation von Interaktion und angezeigten Daten ergibt sich in Abhängigkeit von ersteren Parametern eine größere Menge an Ausprägungen (Interaktion ober- und unterhalb von Kurven, direkt auf Kurve oder Meßpunkt, im „leeren“ Koordinatenraum etc.). Schon nach Berücksichtigung der ersten drei Kategorien lassen sich mindestens acht verschiedene Verfahren direkt aus dem Interaktionskontext bestimmen; zumindest formal bietet eine interaktionsinhärente Verfahrensauswahl die Möglichkeit, zwischen allen gewünschten Suchverfahren zu differenzieren. In Tab. 13 ist dieser Gedanke zu einem Gestaltungsvorschlag ausgearbeitet. Er zeigt, wie eine interaktionsinhärente Auswahl von Suchverfahren realisiert werden kann.

Der Gestaltungsvorschlag erfolgt im Vorgriff auf mögliche Erweiterungen gegenüber der Funktionalität der Kernimplementierung: Der im Temperaturbereich

flexible Vergleich zweier Kurven ist ebenso berücksichtigt wie die Möglichkeit, eine Kurve in ihrer Gesamtheit zu verschieben. Für die Suchflächen und Suchbereiche ist deren interaktive Modifikation *post definitionem* vorgesehen: Ähnlich der Funktionalität von Graphikprogrammen können die Suchflächen an den Stützpunktstellen mit Aufhängepunkten versehen werden (*handles*), die sie nach der Erstdefinition modifizierbar machen. In der Kernimplementierung ist keine Modifikation eines einmal definierten Suchbereichs möglich; soll er verändert werden, ist eine Neudefinition erforderlich. Nur im Verhältnis von Besser-Schlechter-Relation und Kurvenbereich (Streuband) kann die Kontextauswertung noch während der Interaktionshandlung einen Wechsel des Suchverfahrens bedingen: Ein Kurvenbereich wird erst definiert, wenn die Interaktionshandlung sowohl ober- als auch unterhalb der markierten Kurve erfolgt ist. Diese Einschränkung der Mächtigkeit des Suchverfahrens Streuband ist legitim, da im Benutzertest Streubänder immer um die Vorlagekurven herum definiert wurden.

Vorlage-information	Markierung	Interaktion	Relation Daten/ Markierung/Interaktion	zugeordneter Suchtyp
-	-	click	-	Suchpunkt(e) definieren
-	-	click & drag	-	Suchbereich(e) definieren
+	-	click	Interaktionsort Kurve	Markierung setzen
+	-	click & drag	beliebig	Kurve definieren
+	+	click	in Leerraum	Markierung aufheben
+	+	click	auf unmarkierte Kurve	zweite Kurve für Vergleich markieren
+	+	click & drag	nur über/unter Kurve	globale Besser-Schlechter-Relation
+	+	click & drag	über und unter Kurve	Kurvenbereich definieren
+	+	click & drag	zwischen zwei markierten Kurven	Vergleichsbereich festlegen
+	+	click & drag	ausgehend von Meßpunkt auf markierter Kurve	Kurve ändern
+	+	click & drag	aus gehend von markierter Kurve (nicht Meßpunkt)	Kurve verschieben, ablegen, löschen
+	+	click & drag	an Aufhängepunkt einer Suchfläche	Suchfläche modifizieren

Tabelle 13: Zuordnung von Suchverfahren ohne explizite Verfahrensauswahl

Die inhärente Zuordnung kommt ohne weitere Hilfsmittel aus und eröffnet durch die erweiterte Verwendung des Markierungskonzeptes eine Möglichkeit zu dessen Generalisierung für die Bearbeitung von Suchbereichen (Markierung und Bearbeitung von Suchbereichen für spezielle Rechercheformen). Problematisch erscheint nur die Differenzierung zwischen abstrakten und produktiven Suchverfahren: Das System interpretiert nach diesem Vorschlag *click & drag* als abstrakten Suchbereich, wenn keine Vorlageinformation vorhanden ist, sonst als Definition einer Suchkurve. Die Zuordnung kommt aufgrund der Beschränkung auf die Kontextauswertung und die graphische Interaktion zustande. Unter Zuhilfenahme weiterer Steuerungselemente wie zusätzlicher Tasten (etwa mit gedrückter *Control*-Taste

Bereichsdefinition, sonst Kurvendefinition) oder eines Wechselschalters für die graphische Form des Suchkonstrukts wäre die Suchverfahrensauswahl zwar nicht mehr nur durch den Kontext determiniert, aber möglicherweise transparenter.

An sich könnte man nach diesem Gestaltungsvorschlag auf die Auswahlshalter der Kernimplementierung völlig verzichten. Dagegen spricht aber für den ungeübten Benutzer schwer erkennbare Zusammenhang zwischen Interaktionshandlung und automatischer Zuweisung der Suchtypen. Daher empfiehlt sich eine Lösung, bei der eine symbolische Repräsentation der Suchverfahren wie auf den Auswahlshaltern nach wie vor angeboten wird, aber vornehmlich der Statusanzeige des interaktioninhärent bestimmten Suchverfahrens dient und nur subsidiär von ungeübten Benutzern auch zur expliziten Verfahrensanwahl zu nutzen ist.

Der Aspekt der Statusanzeige ist besonders für Fälle interessant, in denen das Suchverfahren während *einer* Interaktionshandlung wechselt. Mit der neuen Aufgabenzuweisung muß auch eine Gestaltungsänderung stattfinden, für die die folgenden Gründe sprechen:

- a) Im WOB-Modell von *Wing-M2* sind nur Aktionstasten mit abstrakter Aktionsauslösung (*OK, Abbruch, Ende*) zulässig, während mit konkreten Handlungsanweisungen nach dem Objekt-Aktions-Schema belegte Aktionstasten im Sinne der Geschlossenheit des objektorientierten Systemdesigns zu vermeiden sind.⁶ Die Gestaltungsvariante der Kernimplementierung von *Wing-Graph* weicht zwar bereits vom Standarderscheinungsbild der MS-Windows-Aktionstasten ab, der Unterschied (plastischere Konturen im Normalzustand, weiße Hintergrundfläche mit roter Umrandung bei Aktivierung) lehnt sich aber noch relativ eng an den Standard an. Bei der Einbettung von *Wing-Graph* in das WOB-Modell würden daher die ursprünglichen der Kernimplementierung zu einem Metaphernbruch führen.
- b) Die Auswahlshalter lösen schon in der Kernimplementierung von *Wing-Graph* anders als Standard-Aktionstasten nicht direkt Systemhandlungen aus, sondern *parametrisieren das Interaktionswerkzeug* hinsichtlich des gewählten graphischen Suchverfahrens. Durch die Auswahl eines Suchverfahrens erfolgt unmittelbar keine systemseitige Aktion, lediglich die Bedeutung zukünftiger graphischer Interaktionshandlungen wird bestimmt. Unter diesem Aspekt ist es wünschenswert, einem semantisch anders belegten Dialogelement auch eine andere visuelle Gestaltung zu geben.

Die überarbeitete Gestaltung bietet dem Benutzer statt einer Menge visuell strukturierter Auswahlshalter eine durchgehende horizontale Leiste, auf der die Suchverfahrenssymbole erscheinen (Abb. 47). Ein über der Leiste verschiebbarer roter Rahmen markiert jeweils die aktuelle Parametrisierung. Er positioniert sich entweder

⁶ Vgl. KRAUSE 1994:Kap. 3.2.4; die Vermeidung handlungsbezogener Aktionstasten geht auf negative empirische Ergebnisse zum Recherchesystem *Wing-M1* zurück.

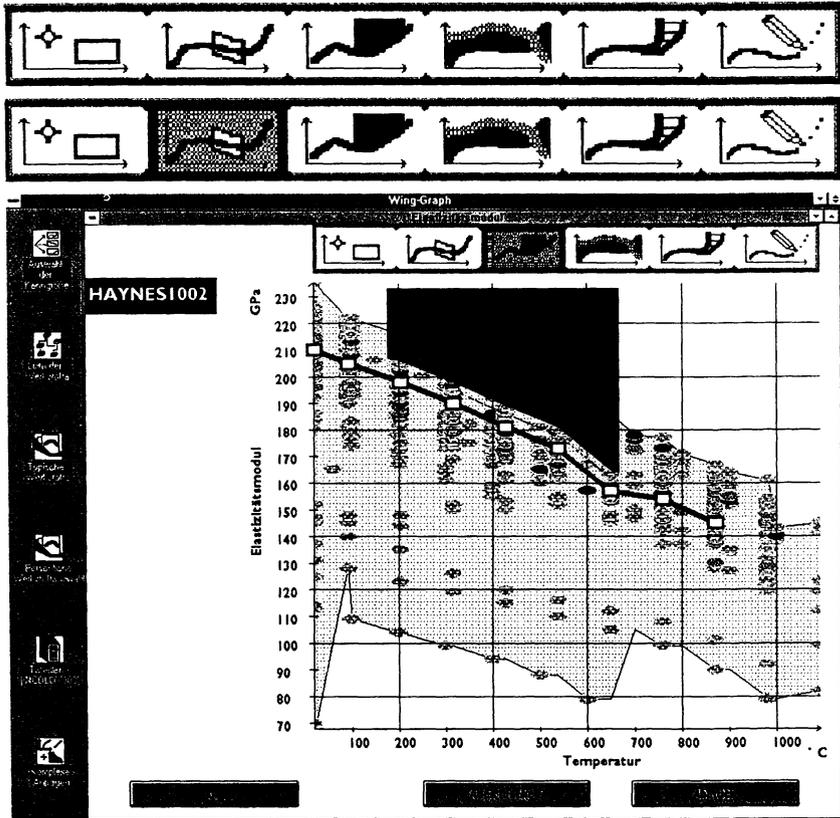


Abbildung 47: Statusanzeige und Auswahlleiste für die graphischen Suchverfahren und resultierendes Interfacelayout

aufgrund der interaktionsinhärenten Suchartenwahl oder durch explizite Auswahl des Benutzers (Doppelfunktion). Als Gestaltungsmetapher stehen Leiste und Rahmen in Analogie zu den weit verbreiteten immerwährenden Kalendern, bei denen man den aktuellen Tag durch Verschieben eines roten Rähmchens bestimmen kann. Im Detail sind auch die Suchverfahrenssymbole selbst geändert, soweit das nach den empirischen Erkenntnissen sinnvoll erschien (z.B. Weglassen der blau dargestellten Vorlagekurve für das abstrakte Suchverfahren Suchpunkte/-bereiche setzen, da sich in diesem Fall die Anfrage nicht auf eine Vorlagekurve bezieht).

Zusätzlich ist die Leiste in das graphische Hauptfenster integriert, was das Interfacelayout insgesamt vereinfacht und dem von *Wing-M2* angleicht: Die Bildschirmoberfläche ist in nur noch zwei Bereiche gegliedert, das graphische Hauptfenster und die Werkzeugikonen (Abb. 47).

8.1.4 Erleichterung von Retrievalzyklen

Eines der interessantesten Ergebnisse des Benutzertests sind Anfragestrategien, bei denen die Benutzer mehrere Suchverfahren miteinander verknüpfen. Durch den Vorschlag der interaktionsinhärenten Zuweisung von Suchtypen in der Erweiterung der Kernimplementierung von *Wing-Graph* wird die Ausführung solcher Suchstrategien erheblich erleichtert, da die explizite Verfahrensauswahl zwischen den Einzelschritten des Anfrageaufbaus entfällt. Allerdings lassen sich nur bestimmte, besonders leistungsfähige Suchformen miteinander kombinieren. Tab. 14 gibt eine Kombinationsmatrix der Suchverfahren an (unter Verwendung der üblichen Abkürzungen für die einzelnen Suchverfahren).

primärer Suchtypus	sekundärer Suchtypus					
	PS/BS	2KV	KBS	GBS	KÄ	KS
PS/BS	+	—	—	—	—	—
2KV	—	—	+ ⁷	—	—	—
KBS	—	—	—	—	—	—
GBS	—	—	—	—	—	—
KÄ	—	+	+	+	+	—
KS	—	+	+	+	+	—

Tabelle 14: Kombinierbarkeit der Suchverfahren

Die Übersicht zeigt die überragende Bedeutung der datenmodifizierenden und -definierenden Verfahren *Suchkurve skizzieren* und *Suchkurve modifizieren* im Rahmen komplexer Anfragedefinition, da auf diesen Suchverfahren jeweils andere Suchtypen „aufgesetzt“ werden können; dagegen eignen sich die relativen Verfahren „nur“ für einen zweiten oder abschließenden Schritt im Aufbau einer Datenbankrecherche. Die absoluten Verfahren sind insoweit miteinander kombinierbar, als jeweils mehrere Suchpunkt und/oder -bereiche miteinander verknüpft werden können (logische Kombination *innerhalb* des Suchverfahrens).

Die Kurvenproduktion bekommt durch ihre Rolle als Ausgangsverfahren in einem kombinierten Anfrageaufbau eine zusätzliche, durch den Benutzertest bestätigte Bedeutung: Sie dient nicht mehr nur der Produktion einer Kurvenform als unmittelbarer Suchhypothese, sondern kann zur schnellen, groben Skizze einer Verlaufstendenz herangezogen werden, die z.B. mit einem Streuband umgeben wird. Das kann die beobachteten Schwächen der Produktionsfähigkeit ausgleichen, da es auf den Detailverlauf der Kurvenskizze nicht mehr genau ankommen muß. Ähnliches gilt für die Kurvenform-Modifikation.

Mit der (in *Wing-Graph* implementierten) Kombinierbarkeit der Suchtypen ist nur ein einzelner Subzyklus bis hin zur Datenbankabfrage angesprochen. In der

⁷ Ein Streuband um den Vergleich zweier Kurven ist in der Kernimplementierung nicht vorhanden, bildet aber auf der Basis der engen Suchsemantik des Kurvenvergleichs und dessen guten Abschneidens im Benutzertest eine sinnvolle Erweiterung.

Makroperspektive wird die iterative Recherche erleichtert, da nach Vorliegen eines jeweils neuen Suchergebnisses bei inhärenter Suchverfahrensauswahl der Benutzer nicht wieder bestimmte Verfahren explizit anwählen muß, sondern ohne Bruch mit den (neuen) gegebenen Daten weiterarbeiten kann.

8.1.5 Zusätzliche Visualisierung von Metainformation

Die Visualisierung von Metainformation als Hintergrund des graphischen Displays (Datenbestandsvisualisierung) hat sich im Benutzertest bewährt und bei der Definition von Anfragen auf die Bestimmung von Lage und Ausdehnung von Suchbereichen eingewirkt. Die Annahme, daß die Präsentation von Zusatzinformation die Arbeit mit graphischen Darstellungen erleichtern kann und ein komplexeres Darstellungsformat sich nicht unbedingt negativ auswirken muß, bestätigte sich.⁸ Daher liegt es nahe, solche Zusatzinformation verstärkt in *Wing-Graph* zu implementieren.

Dabei kann man zwischen statischer und dynamischer Visualisierung von Metainformation unterscheiden. Die Datenbestandsvisualisierung der Kernimplementierung ist statisch, d.h. für die gewählte Kenngröße erscheint immer dieselbe Metainformation. Als Nachteil hat sich herausgestellt, daß die Visualisierung allein aus den Extremwerten der Datenbasis aufgebaut ist und den in der Datenbasis abgedeckten Bestand als homogene Fläche erscheinen läßt. Eine Verbesserung ist möglich, wenn man nicht nur die Grenzen des Bestands, sondern alle Wertepaare der Kenngröße verwendet und so die unterschiedliche Belegungsdichte graphisch darstellt.

Der Visualisierungsalgorithmus der Kernimplementierung wurde daher um eine Komponente ergänzt, die die tatsächlichen Datenpunkte je nach ihrer Belegungsdichte farblich hervorhebt. Je öfter ein bestimmtes Wertepaar in der Datenbasis vorhanden ist, um so intensiver erscheint es in der Visualisierung (Abb. 48). Da die Berechnung der zusätzlichen Information direkt vom Umfang der Datenbasis abhängt und bei größeren Datenbeständen langwierig sein könnte, ist sie grundsätzlich von der Rechercharbeit des Benutzers mit dem System zu entkoppeln: Die Datenbestandsvisualisierung liegt in *Wing-Graph* als Bitmap vor, das auf die Größe des Suchfensters (bzw. des Koordinatensystems) skaliert ist und abgespeichert werden kann. Eine Neuberechnung der Visualisierung ist prinzipiell bei veränderter Datengrundlage erforderlich.

Ein zweiter Aspekt der Darstellung von Metainformation ist die dynamische Präsentation zusätzlicher visueller Elemente. Gerade bei dem von der Interaktion her komplexen Suchtypus „Kurve skizzieren“ bietet es sich an, dem Benutzer schon während der Anfragedefinition Informationen über die Beziehung von Anfrageaufbau und Datenbestand zu geben. Konkret bedeutet das eine mit der Definition zeitgleiche Extrapolation der vom Benutzer skizzierten Kurvenform. Exemplarisch berechnet ein *look-ahead*-Algorithmus auf der Basis der an der Position des zuletzt

⁸ Vgl. KOSSLYN 1989, LOHSE 1991A.

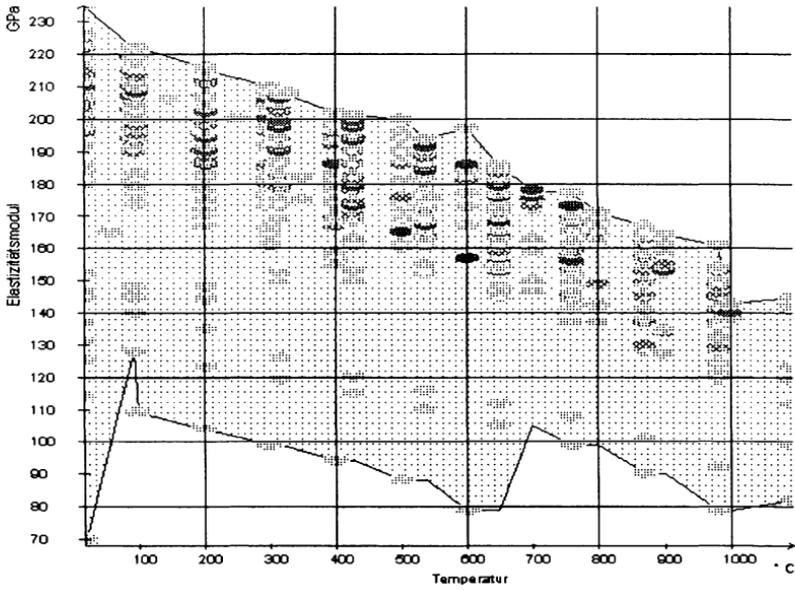


Abbildung 48: Visualisierung aller Wertepaare der Kenngröße

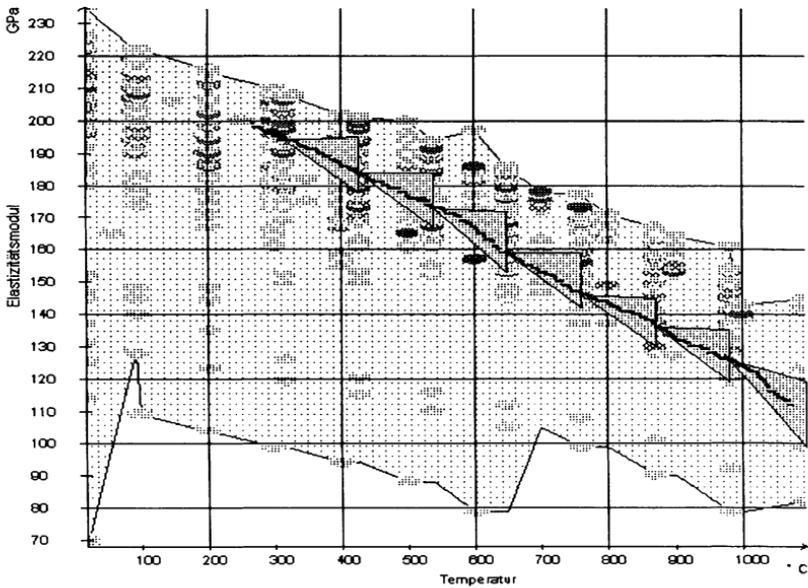


Abbildung 49: Dynamische Metainformation zur Kurvenskizze

durchlaufenen Meßstützpunktes definierten Suchbedingung, welchen Spielraum der Benutzer bei fortgesetztem Anfrageaufbau für den Verlauf der Suchkurve zum nächsten Stützpunkt hat. Der *look-ahead*-Algorithmus visualisiert den Bereich im Koordinatensystem, in dem positive Suchergebnisse möglich sind. Dabei zeigt das Display ein Dreieck an, dessen Ecken die am zuletzt durchlaufenen Meßpunkt abgelesene Suchbedingung (z.B. Suchkurve bei 150 GPa am Stützpunkt 871 °C) und die obere und untere Grenze der am nächst höheren Stützpunkt gefundenen Datenbelegung bilden (im Beispiel Messungen zwischen 127 und 150 GPa bei 982 °C, Abb. 49).

Der *look-ahead*-Algorithmus nutzt ausschließlich den *tatsächlichen* Datenbestand zur gewählten Kenngröße. Er steht exemplarisch für eine weitergehende dynamische Unterstützung des Benutzers beim Anfrageprozeß. Bei verfügbarem Domänenwissen in der Datenbasis (allgemeine Werkstoffgleichungen, die das physikalische Verhalten einer Kenngröße beschreiben) könnte nicht nur für das Skizzieren von Suchhypothesen eine dynamische Beeinflussung des Definitionsprozesses durch das System erreicht werden. So ist etwa denkbar, die Kurvenform-Modifikation durch das System zu unterstützen, so daß bei einer lokalen Änderung der Suchkurve das System auf der Basis seines Werkstoffwissens einen plausiblen Gesamtverlauf der neuen Suchkurve errechnet, den der Benutzer weiter modifizieren kann. Bei der Kernimplementierung muß der Benutzer jeden Punkt der Ausgangskurve einzeln versetzen, bis eine „sinnvoll“ modifizierte Form entsteht.

8.1.6 Komplexe Anfragen in *Wing-Graph*

Ein wesentlicher Nachteil der Kernimplementierung von *Wing-Graph* ist die Beschränkung der visuellen Recherchefunktionalität auf jeweils *eine* abhängige Variable *einer* in der Datenbank gut belegten Kenngröße. Die Beschränkung hat zwei logische Komponenten, die fehlende Berücksichtigung zusätzlicher Parameter der gewählten Kenngröße und die Einschränkung von Anfragen auf eine einzige Kenngröße.

Schon angesichts der in Kap. 3.2.2, Tab. 1 vorgelegten Kennwertübersicht wird deutlich, daß prinzipiell Kenngrößen existieren, die weit stärker parametrisierbar wären, als die in *Wing-Graph* getroffene Auswahl. Zwar sind sie in der MTU-Datenbank in so geringem und lückenhaftem Ausmaß mit Daten belegt, daß die Anwendung des graphischen Retrieval für sie nicht angebracht erscheint. Dieses Argument ist jedoch an den tatsächlichen Umfang der für den Benutzertest zur Verfügung stehenden Grundlage gekoppelt. Die Notwendigkeit, zusätzliche Parameter spezifizieren zu müssen, läßt sich aber für *Wing-Graph* mit der Einbettung in das Gesamtsystem *Wing-M2* abdecken. Dort ist die Möglichkeit gegeben, für jede Kenngröße in einem *Kennwert-Präziserer* für jeden in der Datenbank enthaltenen Parameter eine Suchbedingung zu setzen, wobei diese Funktionalität sowohl bei jeder Anfrage aktuell als auch dauerhaft als Voreinstellung („Vorparametrisierung eines Kennwerts“) für alle nachfolgenden Anfragen wirksam sein kann. Aus dem vorlie-

genden empirischen Material läßt sich nicht unmittelbar ableiten, welche zusätzlichen Informationen der Kontrolle des Benutzers zu überlassen sind; allerdings ist die Notwendigkeit eines solchen Zusatzangebotes offensichtlich.

Auch innerhalb des graphischen Interaktionskerns selbst ist die Suchlogik von *Wing-Graph* in ihrer Mächtigkeit beschränkt: Suchanfragen beziehen sich jeweils auf *eine* Datentabelle; komplexe Anfragen, die sich auf mehr als nur eine Datentabelle erstrecken, können nicht durchgeführt werden. Die empirische Materialbasis typischer Benutzeranfragen zeigt, daß solche Anfragen in gewissem Umfang wahrscheinlich sind: Eine Verknüpfung von bis zu drei Kennwerten in einer Anfrage ist ein Desiderat der funktionalen Ausgestaltung der Suchlogik, wobei als Verknüpfungsoperatoren *AND* und *OR* prinzipiell genügen dürften.⁹

In *Wing-Graph* ist eine solche Anfrageform ausschließlich als lineare Abfolge mehrerer graphischer Recherchen denkbar, da zu jedem Interaktionszeitpunkt nur ein graphisches Manipulationsfenster zur Verfügung steht, mit dem der Benutzer keine komplexe Anfrage aufbauen kann.¹⁰ Wie schon in Kap. 4.3.3 angedeutet, läßt sich aber eine visuelle Sprache auf höherer Ebene für die Kombination von Anfragen entwickeln, die insofern die Ausdrucksmächtigkeit von *Wing-Graph* erhöht. Graphische Anfragedefinitionen lassen sich ähnlich wie die Auswahlknoten typischer Werkstoffe in visualisiert-abstrahierter Form darstellen und können so als Interfaceobjekt einer komplexen Anfragestrategie zur Verfügung stehen. Konkret bedeutet dieser Gedanke, für komplexe, mehrere Kennwerte umfassende Anfragen, eine einfache visuelle Anfragerepräsentationssprache auf der Grundlage ikonischer Teilanfragen (*ikonische Anfrageabstracts*) zu implementieren, die dem Benutzer logische Verknüpfungsoperatoren in visueller Form verfügbar macht.

Dies ist exemplarisch für *Wing-Graph* realisiert: Für den Aufbau einer „komplexen“, Anfrage mit mehreren, in sich wiederum komplexen graphischen Teilanfragen, steht ein weiteres ikonisches Werkzeug an der Benutzeroberfläche zur Verfügung. Es ist ähnlich den Auswahlbehältern für Werkstoffe dazu gedacht, ikonische Anfragedefinitionen aufzunehmen. Der Benutzer kann eine im graphischen Hauptfenster definierte graphische Anfrage in diesen Behälter ablegen und mit weiteren Anfragen (zu anderen Kennwerten) kombinieren. Die Zahl der Anfragen ist auf drei eingeschränkt, als logische Operatoren stehen „und“ (Schnittmengenbildung), „oder“ (Vereinigungsmengenbildung) sowie die Klammerung von je zwei von drei Anfrageikonen (explizite Festlegung der Operatorenpräzedenz) zur Verfügung.

Legt der Benutzer zwei Anfragen in den Behälter, so sind sie automatisch durch „und“ verbunden, da im Regelfall eine komplexe Anfrage die Ergebnismenge durch

⁹ Dies belegt auch der Blick auf das Interface der *HTM-DB* des IAM/JRC Petten: Dort können - innerhalb der sehr umfangreichen Parametrisierungsmöglichkeiten zu *einem* Kennwert - die Bedingungen mit *AND* und *OR* verknüpft werden.

¹⁰ Eine denkbare Erweiterung wäre die simultane Verwendung mehrerer graphischer Manipulationsfenster zu verschiedenen Kenngrößen mit Hilfe des *multiple document interface* von MS-Windows.

mehrere (graphische) Bedingungen eingrenzen soll, d.h. eine Schnittmengenbildung gewünscht ist. Die logische Verknüpfung ist durch das Schnittmengensymbol (Vereinigungsmengensymbol) sowie die Beschriftung mit „und“ („oder“) symbolisiert. Der Benutzer kann durch Mausclick auf Text oder Symbol den Status der logischen Verknüpfung ändern, d.h. zwischen „und“ und „oder“ wechseln. Die Klammerung geschieht durch eine *click & drag*-Operation über die zu verbindenden Anfrageikonen. Während die Lasso-Funktion für die Klammerung („Einfangen“ der logisch zusammengehörenden Teilanfragen) leicht zu vermitteln sein dürfte, ist die Verwendung von Symbolen der Mengenlehre für die UND- und ODER-Verknüpfung software-ergonomisch nicht unproblematisch, da sie leicht zu Verwechslungen bei der Interpretation führen kann. Die Kombination von Text („und“ / „oder“) und Symbol (\cap / \cup) soll die Deutung erleichtern.

Die graphische Anfrage selbst ist in abstrahierter Form als ikonisches *visual abstract* wiedergegeben: Das Koordinatengitter ist auf die Achsen reduziert, eine Werkstoffkurve ist nur dargestellt, wenn es sich um eine graphische Suchhypothese (rot) oder um Bezugsinformation (blau) eines graphischen Suchverfahrens handelt. Die eigentlichen graphischen Suchkonstrukte erscheinen rot. In der Titelleiste ist der Name der Bezugskurve bzw. die Art des Suchkonstruktes („WASPALOY“, „Werkstoff X“, „Suchbereich“ etc.) angegeben, darunter der Kennwert, auf den die Anfrage sich bezieht. Die Abstraktion von den Details der Darstellung im graphischen Hauptfenster soll die Reduktion auf das Wesentliche bewirken: Die graphische Form des visuellen Suchkonstruktes, die nach der im graphischen Hauptfenster erfolgten Definition auch den Charakter einer Statusinformation hat.

Abb. 50 zeigt zwei Beispiele für die Darstellung der *visual query abstracts*. Im ersten Fall sucht der Benutzer nach Werkstoffen, die einer von ihm ausgehend vom Werkstoff *HAYNES556* erstellten Suchkurve zum Elastizitätsmodul entsprechen und gleichzeitig entweder eine Zugfestigkeit aufweisen, die im oberen Temperaturbereich in einem Streuband um *HAYNES556* liegt, oder im oberen Temperaturbereich eine höhere Bruchdehnung als dieser Werkstoff aufweisen. Im zweiten Fall sollen entweder zwei Suchbereiche zum Elastizitätsmodul *und* eine Suchkurve zur Zeitstandfestigkeit erfüllt sein *oder* die gewünschten Werkstoffe müssen in einem Streuband um *INCOLOY903* bezüglich der spezifischen Wärmekapazität liegen.

8.2 Generalisierung von Wing-Graph

Das in *Wing-Graph* implementierte graphische Retrieval ist einer Generalisierung unter verschiedenen Gesichtspunkten zugänglich; schon die Ausgangsidee ergebnisbasierter Retrievalzyklen ist auf andere Domänen übertragbar. Der Gedanke von aufgesetzten Retrievaliterationen mit der Einheit von Ergebnis- und Anfragedisplay ist in keiner Weise an eine bestimmte Visualisierungsform gebunden, die Verallgemeinerung des Vorlagecharakters der Ergebnisinformation und dessen direkte (nicht unbedingt graphische) Wiederverwertung für weitere Suchanfragen im Rahmen

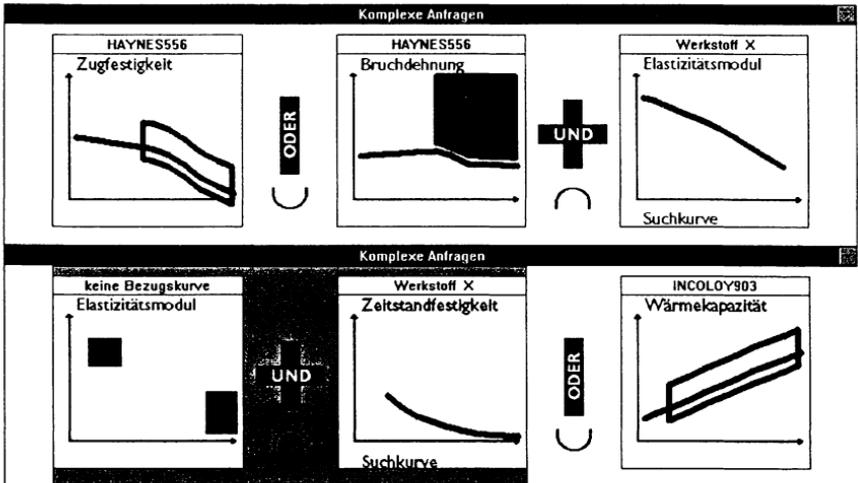


Abbildung 50: Beispiele für die Darstellung komplexer Anfragen in visual query abstracts

komplexer Recherchestrategien läßt sich auf zahlreiche Systemtypen und Datendomänen übertragen.¹¹

Diese allgemeinste Ebene der Generalisierung soll hier nicht weiter verfolgt werden; es geht vielmehr auf einem konkreten Niveau um die 1:1-Übertragung von *Wing-Graph* auf weitere Domänen: Die Implementierung und der erfolgreiche Benutzertest von *Wing-Graph* belegt zwar die Nutzbarkeit des graphischen Retrieval in der Anwendungsdomäne Werkstoffinformation, gibt aber nur globale Hinweise auf die Generalisierung des hier verfolgten Ansatzes. Immerhin ist die Grobklassifikation der graphischen Suchtypen auf einem domänenunabhängigen Modell der Grapheninterpretation aufgebaut und auch hinsichtlich der empirischen Erkenntnisse zur visuellen Informationsverarbeitung validiert. Von daher liegt es nahe, den Ansatz auf weitere Domänen weitgehend unmodifiziert zu übertragen und so weitere Aufschlüsse über die Leistungsfähigkeit und die Schwachpunkte von *Wing-Graph* zu gewinnen.

8.2.1 Voraussetzungen domänenbezogener Generalisierung

Wesentliche technische Voraussetzung für die Übertragung von *Wing-Graph* auf eine neue Datengrundlage ist das Vorliegen einer geeigneten Datenbasis: Numerische Wertereihen, die sich sinnvoll in Liniendiagrammen visualisieren lassen. Diese Datenstrukturierung liegt in zahlreichen Wissensgebieten vor, von denen einige genannt seien:

¹¹ Ein Beispiel ist die partielle Verwirklichung der Einheit von Anfrage- und Ergebnisdarstellung im Datenblatt von *Wing-M2*, das einen QBE-Modus für die Recherche anbietet.

- naturwissenschaftliche Meßdaten
- geologische Messungen
- Zeitreihen mit wirtschaftlichem oder soziologischem Bezug

Weniger von der Datenstruktur als von der Art des Rechercheproblems her gesehen ergibt sich zusätzlich eine Mindestanforderung, was den Umfang der Datengrundlage angeht: Das graphische Retrieval, wie es in *Wing-Graph* modelliert ist, ist erst sinnvoll, wenn ein *Selektionsproblem* auftritt. Der Benutzer darf nicht von vorneherein alle zu visualisierenden Datensätze kennen, es muß ein Suchproblem bestehen; andernfalls wären sämtliche Datensätze der Datengrundlage sofort direkt anwählbar, die Suche entfiere. Greift man auf die in Kapitel 3 vorgestellte Analyse der Anwendungsdomäne MTU zurück, so zeigt sich, daß der Umfang der MTU-Datenbasis hinsichtlich des graphischen Retrieval eher am unteren Rand liegt: Die Menge der Werkstoffe ist relativ überschaubar, die Werkstoffexperten haben eine relativ gute Übersicht über die zur Verfügung stehenden Daten. Beobachtet man den Erfolg von *Wing-Graph* im Benutzertest unter diesen an sich ungünstigen Bedingungen, so kann man eine positive Prognose für umfangreichere Domänen (etwa Kunststoffdatenbanken mit potentiell Tausenden von Werkstoffen) stellen.

Neben den elementaren Voraussetzungen von Datenstruktur und Datenumfang kommt aus der Perspektive des Benutzers die Notwendigkeit der graphischen Aufbereitung von Faktendaten einerseits und die Erfahrung mit solchen graphischen Darstellungen andererseits hinzu. Ohne näher ins Detail gehen zu müssen, ist aus der Darstellung der breiten empirischen Forschungsgrundlage in Kapitel 5.2.4 deutlich geworden, daß graphische Darstellungen eine nahezu universelle Verwendung finden; Liniendiagramme zählen unter der kaum zu überschauenden Palette von Visualisierungsformaten für Faktendaten neben Säulen- und Tortendiagrammen zu den grundlegenden, „klassischen“ Darstellungsmöglichkeiten, ein Aspekt, der die 1:1-Übertragung von *Wing-Graph* unter Beibehaltung des konkreten Formates rechtfertigen kann.

8.2.2 Modifikationen bei Schnittstellengestaltung und Datenmodellierung

In *Wing-Graph* vollzog sich die Generalisierung in zwei Schritten: Zunächst eine Erweiterung des Interfaces, die es erlaubt, beliebige Faktentabellen mit der in Kapitel 3.2.3 vorgestellten Struktur einzubinden und in einem zweiten Schritt die tatsächliche Einbindung einer neuen Datendomäne und deren erste empirische Überprüfung.

Den ersten Schritt - die funktionale Erweiterung - repräsentiert ein veränderter Systemzugang sowie die Modifikation des Werkzeugs zur Auswahl der Kenngröße für das graphische Retrieval. Da das System nicht mehr auf eine bestimmte Anwendungsdomäne zugeschnitten ist, muß der Benutzer bereits beim Beginn seiner Inter-

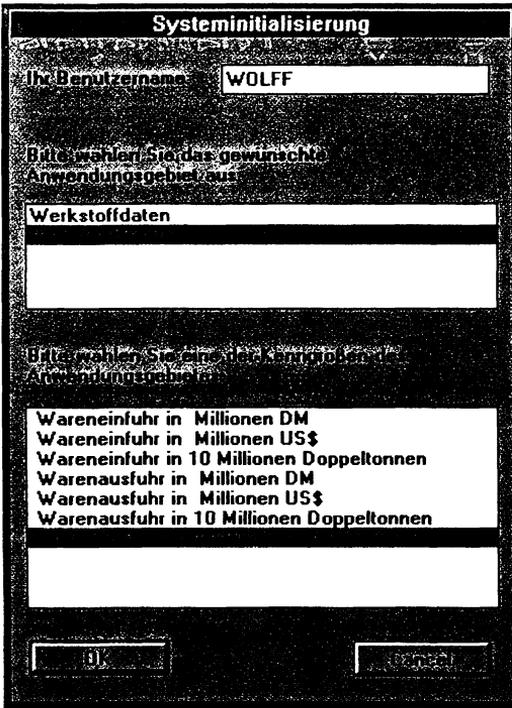


Abbildung 51: Dialogfenster zur Selektion von Domäne und Kenngröße bei Systemstart

machen. Zu diesem Zweck ist das System um ein weiteres Dialogfenster ergänzt worden, in dem sich Parameter neuer Domänen spezifizieren lassen (hypothetisches Beispiel einer Tabelle mit Daten zur Einwohnerzahl verschiedener Städte, die als numerische Zeitreihe darstellbar sind, Abb. 52). Das Dialogfenster ist über eine Aktionstaste im Werkzeugobjekt *Kenngrößenauswahl* zugänglich. Grundsätzlich ist seine Benutzung nur für den fortgeschrittenen Benutzer sinnvoll, der auch Kenntnisse über die technische Struktur der Datenbasis hat. Es ist ein weiteres Beispiel einer zweiten Schicht der Systemfunktionalität im Sinne des WOB-Modells.

Die Parameter können von *Wing-Graph* in eine Domänenhierarchie eingefügt werden, die die dem System zugänglichen Domänen und Kenngrößen verwaltet und in binärer Form abspeichert.¹² Es entsteht eine baumartige Domänenstruktur, die auf drei Ebenen die Parameter der einzelnen Kenngrößen verwaltet: Auf der ober-

aktion die gewünschte Domäne und darin eine bestimmte Kenngröße auswählen. Im Beispiel von Abb. 51 hat der Benutzer sich für „Wirtschaftsdaten“ entschieden, worauf das System ihm in der unteren Liste der verfügbaren Kenngrößen die verschiedenen Daten bezüglich der Domäne anbietet. Auf der Basis dieser Selektion errechnet das System die konkrete Form der graphischen Darstellung, also Achsenskalierung, Visualisierung von Metainformation etc. und der Benutzer kann in den graphischen Retrievaldialog übergehen.

Um überhaupt zusätzliche Domänen implementieren zu können, bedarf es der Möglichkeit, die wesentlichen Parameter einer zusätzlichen Kenngröße und/oder Domäne dem System zugänglich zu

¹² Implementiert unter Rückgriff auf die in den *Microsoft Foundation Classes* vorhandene Funktionalität zur dynamischen Abspeicherung von Klasseninstantiierungen (*object serialization*).

Einwohner	EINW
Stadt	STADT
Zeit	ZEIT
Jahr/Monat	
Zahl der Einwohner	EINW_NUM
IP	

Abbildung 52: Dialogfenster zur Eingabe zusätzlicher Kenngrößen

des Datenschlüssels in Singular und Plural („Werkstoff/Werkstoffe“, „Land/Länder“, „Stadt/Städte“ etc.), der technische Spaltenname für den Datenschlüssel („SPZFK“, „LAND“, „STADT“) und der Name der ausgewählten Domäne („Werkstoffdaten“, „Wirtschaftsdaten“). Auf der untersten Ebene (Klasse *SubDomain*) finden die Parametrisierungen einzelner Kenngrößen statt, wie sie in der obigen Abbildung des Dialogfensters zu sehen sind: Datenbankbezeichnung und Beschriftung für Achsen, Kenngröße (Tabellename) und Einheiten, jeweils die Minima- und Maximawerte der beiden Achsen und zusätzliche Bedingungen für die Zusammensetzung der SQL-Statements in der Datenbankschnittstelle. *Wing-Graph* instantiiert sich auf der Basis des jeweils aktiven Objekts vom Typ *SubDomain*, durch die Objekthierarchie sind die Eigenheiten der jeweiligen Oberklasse verfügbar.¹³ Die noch sehr einfache Objekthierarchie generalisiert in technischer Hinsicht die zugrunde liegende Datenbasis, die Hierarchie ist aber noch weiter verfeinerbar, um beliebige Datenarten, die eine grundsätzlich geeignete Struktur aufweisen, modellieren zu können.¹⁴

¹³ Das graphische Hauptfenster verfügt über eine Eigenschaft vom Typ *SubDomain*, die durch die aktive Kenngröße instantiiert wird und die aktuellen Darstellungsparameter setzt.

¹⁴ So stehen zur Modellierung der Skalierung der unabhängigen Variablen (X-Achse) im Augenblick nur die auf die beiden Beispieldomänen bezogenen Alternativen *numerische Einteilung* und *Zeitreihe* zur Verfügung. Gerade im Bereich der nicht-numerischen Skalierung gibt es zahlreiche weitere Einteilungsmöglichkeiten, die auf einer allgemeinen Grundlage zu berücksichtigen wären.

sten Ebene (Klasse *DataRoot*) sind lediglich der technische und der natürlichsprachliche Name der angeschlossenen Datenbank eingetragen - im Augenblick greift *Wing-Graph* immer auf dieselbe relationale Datenbank zurück, in der die beiden Beispieldomänen mit ihren Kenngrößentabellen enthalten sind; die Modellierung sieht insofern die Möglichkeit vor, das System von einer bestimmten Datenbasis zu entkoppeln. Auf der nächst tieferen Ebene (Klasse *Domain*) sind die domänenspezifischen Parameter festgehalten: Die natürlichsprachliche Bezeichnung

8.2.3 Beispiel: Zeitreihen aus dem Bereich Wirtschaft

Der voranstehende Abschnitt diskutiert die Generalisierung von *Wing-Graph* auf dem abstrakten Niveau der gestalterischen Modifikation von Schnittstelle und Datenverwaltung, was keine zusätzlichen Erkenntnis über die tatsächliche Verwendung des graphischen Retrieval ergibt und nur die technische Realisierbarkeit andeutet. Um auf der Ebene des tatsächlichen Einsatzes des graphischen Retrieval Erkenntnisse über dessen generelle Verwendbarkeit zu bekommen, erfolgte die genannte 1:1-Übertragung auf der Basis von Daten zu wirtschaftlichen Kenngrößen: Aus den im Rahmen des Projektes *WIDAB*¹⁵ in der Gestaltung einer experimentellen Benutzerschnittstelle für den Zugang zu Wirtschaftsdaten verwendeten Daten konnte ein (relativ kleiner) Ausschnitt in *Wing-Graph* übernommen werden. Die Bedeutung der graphischen Informationsaufbereitung in dieser Datendomäne zeigt sich schon an der Berücksichtigung der Informationsvisualisierung in der Benutzeroberfläche der *WIDAB*-Datenbankschnittstelle, in der neben tabellarischer Darstellung eine parametrisierbare¹⁶ Aufbereitung in Linien- und Balkendiagrammen möglich ist. Um Daten aus diesem Bestand in *Wing-Graph* zu übernehmen, war allerdings eine Reihe von Anpassungen notwendig.

8.2.3.1 Anpassung der *WIDAB*-Daten an *Wing-Graph*

Bei den verwendeten Daten handelt es sich um Erhebungen bezüglich der Höhe des Warenverkehrs von und nach Deutschland, jeweils in drei unterschiedlichen Einheiten (DM, US\$, Doppeltonne (DT)) gemessen. Den Datenschlüssel bilden die unterschiedlichen Länder in die bzw. von denen aus der Warenaustausch erfolgte. Zusätzliche Datensätze, die die Einzelwerte verschiedener Länder gruppieren (Länder der EG, Zusammenfassung nach Kontinenten, Wirtschaftsräumen) sind dabei zugunsten einer homogenen Vergleichsgrundlage ausgeklammert, d.h. den Datenschlüssel bilden jeweils einzelne Länder. Nach der Überführung der ursprünglich in einem gesonderten Datenformat abgelegten Information aus der *WIDAB*-Datenbasis in das in *Wing-Graph* verwendete relationale Schema durch eine zu diesem Zweck definierte Konvertierungsroutine standen in der neuen Anwendungsdomäne *Wirtschaftsdaten* sechs zusätzliche Kenngrößen für das graphische Retrieval zur Verfügung:

- Wareneinfuhr in Millionen DM
- Wareneinfuhr in Millionen US\$
- Wareneinfuhr in 10 Millionen Doppeltonnen
- Warenausfuhr in Millionen DM

¹⁵ *WirtschaftsInformations- und Datenbanken*, gefördert durch den BMWi, vgl. ENGLMEIER 1993:5ff.

¹⁶ Glättungsoperationen, Datensubselektion, Einstellen des Zeithorizontes etc., vgl. ENGLMEIER 1993:143ff.

- Warenausfuhr in Millionen US\$
- Warenausfuhr in 10 Millionen Doppeltonnen

Die in *Wing-Graph* übernommenen Daten umfassen den Zeitraum 1990-1992, auf der Basis monatlicher Erhebungen, also bis zu 36 Datenpunkte pro Zeitreihe. Schon durch die analytische Betrachtung der inhaltlichen Struktur der wirtschaftlichen Zeitreihen zeigten sich deutliche Unterschiede zu den Werkstoffdaten der MTU: Die wirtschaftlichen Daten sind - wenn sie auch je typische visuelle Muster aufweisen - in deutlich stärkerem Maße unabhängig vom Skalenniveau der abhängigen Variablen (Warenein- oder ausfuhr) zu betrachten, vergleichbare und visuell zu deutende Entwicklungsmuster fallen mitnichten auch in einer einheitlich skalierten Darstellung zusammen - im Unterschied zu Werkstoffdaten. Hinzu kommt die sehr ungleiche Verteilung der Daten im insgesamt abgedeckten Wertespektrum: In etwa 90% der Wertebandbreite finden sich allenfalls 10% der Datensätze (inhaltlich gesehen die Haupthandelspartner Deutschlands), im restlichen schmalen Band am unteren Ende der Skala drängt sich die überwältigende Mehrzahl der Länderdaten. In der Benutzerschnittstelle des *WIDAB*-Systems zog man daraus die Konsequenz, mehrere Datensätze mit überlappender Skalierung in einem Display zur Deckung zu bringen, d.h. in der visuellen Darstellung erhält jede Kurve ihre eigene Skala auf der Y-Achse.¹⁷ Damit sind visuelle Muster unabhängig von der numerischen Ausprägungshöhe miteinander vergleichbar. Da eine solche Darstellungsmöglichkeit in *Wing-Graph* nicht verfügbar ist¹⁸ und die Suchsemantik der Kernimplementierung an das Wertenniveau der Daten gebunden ist, war schon *ex ante* eine beschränkte Anwendbarkeit der relativen und produktiven Suchverfahren zu erwarten - der Mustervergleich bezüglich der Wirtschaftsdaten ist kaum mit dem Niveau verkoppelt. Selbst nach einer den Datenraum vereinfachenden quartalsbezogenen Durchschnittsbildung,¹⁹ die eine Glättung der zum Teil hohen lokalen Schwankungen bewirkt, liegen noch graphische Muster vor, die kaum schwer global zu interpretieren und wohl kaum durch den Benutzer als Suchhypotesenskizze zu produzieren sind (Abb. 53).

¹⁷ Dabei ist natürlich die Zahl gleichzeitig visualisierbarer Zeitreihen stark eingeschränkt, vgl. ENGLMEIER 1993:142f.

¹⁸ Die *zooming*-Funktion des graphischen Hauptfensters zur Ausschnittsvisualisierung schafft nur einen schwachen Ausgleich; mit ihr kann zwar der dicht mit Kurven belegte Bereich vergrößert werden, die Suchsemantik ändert sich aber nicht (vgl. Kap. 6.2.1.1).

¹⁹ Die Reduktion auf maximal 12 Meßpunkte pro Zeitreihe entlastet durch die verringerte Anfragekomplexität die Datenbankschnittstelle von *Wing-Graph/SQLBase* erheblich. Schon bei vergleichsweise bescheidenem Anwachsen des Datenbestandes von durchschnittlich zehn (Meßwertreihen der MTU-Datenbank) auf 36 Datenpaare pro Kurve (*WIDAB*-Daten) zeigte sich ein nicht-lineares Anwachsen der Antwortzeiten der *database engine*, was auf die rekursive Suchsemantik bei relativen und produktiven Verfahren zurückzuführen ist - ein Argument für das schon angesprochene *query sampling*; eine Optimierung der technischen Leistungsfähigkeit der Datenbankschnittstelle ist hier aber nicht zu erörtern.

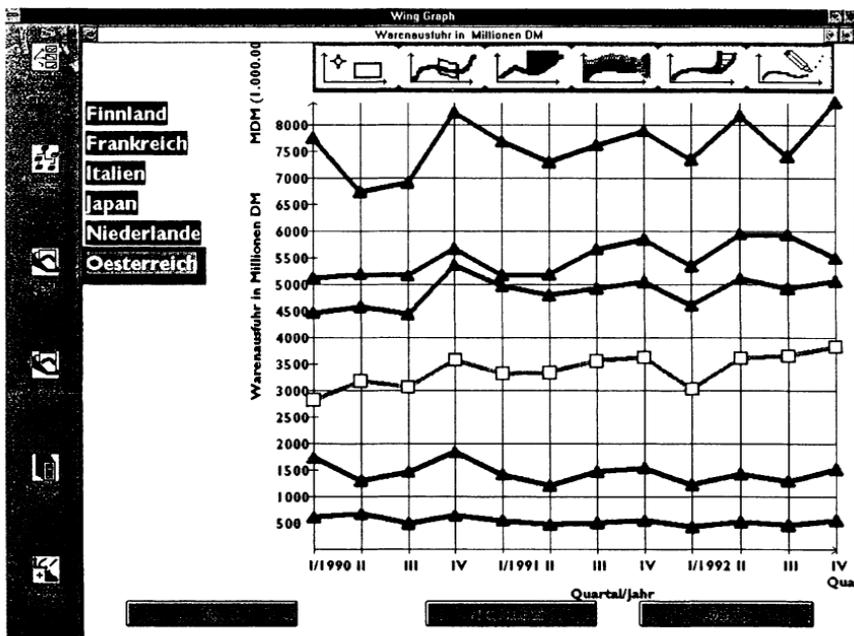


Abbildung 53: Wirtschaftsdaten in Wing-Graph (Warenausfuhr)

Um der ungünstigen Ausgangssituation abzuhelfen, wurde aus dem gegebenen Datenbestand eine weitere Kenngröße abgeleitet, die die prozentuale Entwicklung der Wareneinfuhr im gemessenen Zeitraum darstellt: Der Beginn der Zeitreihen (1. Quartal 1990) als Ausgangsniveau der Wareneinfuhr legt den Referenzpunkt (= 100%) für die im Jahresabstand errechnete quartalsbezogene Entwicklung fest, als Werte ergeben sich Prozentangaben relativ zum Ausgangspunkt, wobei die Zeitreihen nur mehr acht Datenpunkte (1991/92) umfassen. Da die Werte jeweils nur die proportionale Entwicklung unabhängig von Ausgangsniveau darstellen, lassen sich die Niveauunterschiede weitgehend egalisieren - formal gesehen handelt es sich um die abschnittsweise Differenzierung der einzelnen Datensätze.

8.2.3.2 Benutzertest auf der Basis der Wirtschaftsdaten

Mit dem so erweiterten Datenbestand erfolgte im Rahmen einer Projektarbeit²⁰ ein Benutzertest unter den gleichen Bedingungen der in Kap. 7 detailliert erörterten Evaluierungsstudie: Wiederum ein aufgabenbasierter qualitativer Benutzertest unter Betonung der *thinking aloud*-Methode. Als für die geänderte Datengrundlage zumindest annähernd „passende“ Versuchspersonen fanden sich Studenten der Wirt-

²⁰ Vgl. NOVTTIC-SCHROPP & WOLFF 1994.

schaftsgeographie bzw. der Betriebswirtschaftslehre. Bedingt durch die aufwendige qualitative Auswertung und den „Zusatzcharakter“ der Generalisierungsüberlegungen nahmen an dem Benutzertest nur sechs Versuchspersonen teil - zu wenig für eine solide Validierung, aber immerhin genug, um erste aussagekräftige Tendenzen herauszuarbeiten. Dem Test lag eine an die Aufgaben- bzw. Suchverfahrenstypologie des ersten Benutzertests angenäherte Liste von Problemstellungen zugrunde - jedem der nunmehr nur noch sechs Suchverfahren der modifizierten Variante von *Wing-Graph* war eine Aufgabe zugeordnet. Im Zentrum stand ebenfalls die graphische Umsetzung ergebnisbasierter Informationsbedürfnisse (graphisches Ergebnisretrieval), die Aufgaben bezogen sich also vor allem auf vorgegebene visualisierte Information.²¹ Durchschnittlich benötigten die Versuchspersonen knapp eine halbe Stunde zur Lösung der Aufgaben.

Ohne die Einzelergebnisse des zusätzlichen Tests referieren zu können, seien die wichtigsten Ergebnisse genannt: Mit Ausnahme einer Versuchsperson begrüßten alle Testteilnehmer die Möglichkeit, Anfragen in graphischer Form zu konstruieren, kritisierten aber die Auswahl der Datengrundlage: Die Wareneinfuhr- und ausfuhrzeitreihen erwiesen sich als ungünstige Wahl, da die Daten von den Versuchspersonen nur schwer zu interpretieren waren. Die unmittelbare Interpretierbarkeit der absoluten Suchverfahren (Suchpunkte und Suchbereiche) blieb erhalten, d.h. die absolute Fixierung der graphischen Muster in Relation zum vorgegebenen Koordinatensystem interpretierten die Versuchspersonen korrekt. Nur eingeschränkt kann man das für die relativen Verfahren behaupten: Gerade das Zeichnen von Kurven und die Streubereiche um vorgegebene Kurven deuteten sie niveauunabhängig im Sinn einer Mustersuche: Die konkrete visuelle Form der Kurven hat in dieser Domäne einen wesentlich höheren Stellenwert als ihre konkrete Verortung im Koordinatensystem.

Auch das aus dem MTU-Test schon bekannte Problem der zweistufigen Interpretationsleistung bei der Durchführung des graphischen Retrieval trat wiederholt auf: Danach muß man zwischen der Übersetzung der Aufgabenstellung in eine graphische Operation des Benutzers einerseits, und der Interpretation der dem graphischen Konstrukt durch das System zugewiesenen Suchlogik andererseits unterscheiden. In der Regel konnten die Versuchspersonen einer Aufgabenstellung den korrekten Suchtypus zuordnen und ihn umsetzen, unklar blieb ihnen aber z.T. die Interpretation durch das System: Am Beispiel des Streubandes zeigten sich ja bereits unterschiedliche Vorstellungen bezüglich des Restriktionsniveaus der Suchlogik, die im Anschluß an die Kritik der Versuchspersonen der MTU geändert wurde. In der Domäne Wirtschaftsdaten kommt das Verhältnis von Form und Skalenniveau im Informationsbedürfnis des Benutzers verschärfend hinzu: Die konkrete Anbindung des graphischen Suchkonstrukts an das Wertenniveau der Daten erwies sich als nicht adäquat und zu restriktiv. Das unterstreicht die konkreten Schwächen der Kernimple-

²¹ Als Systemeinstieg diene wiederum eine ikonische Auswahlmenge „typischer Länder“ sowie die Länderliste mit allen verfügbaren Datensätzen.

mentierung von *Wing-Graph*, gibt aber interessante Aufschlüsse über die Bandbreite graphischen Denkens und Recherchierens: Die Domäne Wirtschaftsinformation ist mit der stärker musterbezogenen Interpretation sicher kein Einzelfall, das visuelle Denken ist hier noch stärker auf die inhärente Struktur der Daten selbst bezogen. Wendet man darauf die Graphenanalyse KOSSLYNS an, so ist offensichtlich, daß der *specifier* unabhängig vom Rahmen analysiert wird - an sich eine Verstärkung der genuin graphischen Aspekte des Suchverhaltens. Setzt man diesen noch stärker auf die graphische Form bezogenen Aspekt der potentiellen Informationsbedürfnisse in Bezug zu den Anforderungen an den Benutzer bei der Formulierung formalsprachlicher Abfragen, erscheint die konzeptuelle Kluft zwischen graphischer Retrievalmöglichkeit und exakter formaler Suchanfrage noch vertieft:

Schon ein relativ einfaches graphisches Muster (z.B. das der Fragestellung „welche Länder haben in 1991 einen starken Abfall der Wareneinfuhr zu verzeichnen“ entsprechende fallende Kurvenstück) ist als niveaunabhängige Mustersuche formalsprachlich wesentlich schwieriger umzusetzen als sein - schon hinreichend umfangreiches - niveauperortetes Pendant. Die Implementierung einer in diese Richtung geänderten Suchsemantik wäre zwar mit erheblichem Aufwand verbunden, die erhöhte Leistungsfähigkeit des graphischen Retrieval rechtfertigte einen solchen Aufwand aber zweifellos.²² Die für den Test abgeleitete Kenngröße der prozentualen Entwicklung der Wareneinfuhr konnte eine solche Mustersuche bezogen auf die absoluten Werte der Ausgangsdaten nur unzureichend ersetzen, da auch für diese *Metadaten* ein Bedürfnis nach niveaunabhängigem Recherchieren bestand.

Aus den komplexeren Mustern der Wirtschaftsdaten kann man für die Ausgestaltung graphischer Retrievaloperationen noch eine weitere Folgerung ableiten: Gerade das produktive Suchverfahren dient nicht nur der globalen Skizze einer vollständigen Suchkurve als Suchhypothese, sondern kann auch der Spezifikation elementarer visueller Muster dienen: Typische *Kurvenabschnittsformen* (inhaltlich: „Baisse“, „Hausse“, „Aufschwung“, „Stagnation“ etc.) sind als Skizze einfacher zu erstellen als vollständige Suchkurven und mit dem Interaktionsinstrumentarium von *Wing-Graph* problemlos umzusetzen, da das System kein Kriterium für die Vollständigkeit einer Suchhypothese kennt und jede beliebig einfache Kurvenskizze als Suchhypothese akzeptiert. Zudem deutet diese Beobachtung auf der Ebene des ikonischen Systemzugangs auf eine Designalternative hin: Anstelle vollständiger „typischer Datensätze“ („typische Werkstoffe“, „typische Länder“ etc.) könnten bei stärker musterbezogener graphischer Anfrageinterpretation elementare Muster zum Einsatz kommen, die über Verknüpfungsoperatoren kombinierbar wären (kompositionales graphisches Retrieval).

Die Erkenntnis der domänenbezogenen Varianzbreite der Grapheninterpretation und der sich daraus für die Ausgestaltung der Suchsemantik ableitbaren Folgerun-

²² Die Mustersuche bestätigt sich also *domänenübergreifend* als sinnvolle Erweiterung, vgl. oben Kap. 8.1.2.2.

gen für das Systemdesign sind das wesentliche Ergebnis dieses ersten Generalisierungsversuchs. Daneben wäre noch auf eine Vielzahl von Einzelhinweisen einzugehen, die etwa den ikonischen Systemzugang wie im MTU-Test als sinnvollen Zugangsweg bestätigen, die Suchstrategiebildung durch Kombination elementarer Suchverfahren unterstreichen sowie die Parametrisierbarkeit des Systems durch den Benutzer (individueller Werkstoff- bzw. Länderauswahlbehälter) als Desiderat betonen. Die Einsicht in die Bandbreite der benutzer- und domänenspezifischen Korrelationen zwischen graphischer Anfragekonstruktion und deren logischer Interpretation durch das System ist ein bedeutender Aspekt der in Kap. 8.5 folgenden Diskussion wissenschaftlicher Erweiterungen von *Wing-Graph*.

8.2.4 Ausblick: Weitere Möglichkeiten der Generalisierung

Die Untersuchung einer zusätzlichen Datenbasis im Rahmen der Implementierung von *Wing-Graph* deckt nur den domänenbezogenen Aspekt der Generalisierung unter Beibehaltung der engen Gestaltungsbedingungen dieses Systemprototyps ab. In einem weitergehenden Ansatz wäre zu untersuchen, inwiefern sich das graphische Retrieval auf andere Darstellungsarten für numerische Information anwenden läßt und ob bei einem solchen Transfer grundlegende Modifikationen am kognitiven Kreislaufmodell für das graphische Retrieval notwendig würden bzw. inwiefern sich die Dreiteilung graphischer Suchoperation bestätigen ließe.

Ein Beispiel, das für beide in *Wing-Graph* untersuchten Anwendungsdomänen benützt werden könnte, sind Stern diagramme, in denen Ausprägungen verschiedener Eigenschaften auf sternförmig von einem Mittelpunkt ausgehenden Achsen aufgetragen werden. Je nach Eigenschaftsprofil entstehen durch Verbindung der Ausprägungen unterschiedliche graphische Muster, die dem geübten Betrachter auf einen Blick die Erfassung einer solchen mehrdimensionalen Kriterienmenge erlauben. An diesem Darstellungsformat ließen sich die Rechercheverfahren des graphischen Retrieval anwenden: Mit einem produktiven Verfahren könnte durch Markierungen auf den Achsen ein Suchprofil frei erstellt werden, relative Operationen an der Vorlage eines Stern diagramms ansetzen und dieses als Suchkonstrukt nach den Vorstellungen des Benutzers modifizieren, und im Sinn von *Wing-Graph* abstrakte Verfahren wiederum Suchbereiche über einzelnen oder mehreren Eigenschaften spezifizieren. Dabei stellten sich ähnliche Fragen wie für die Recherche mit Liniendiagrammen: Wie stark beeinflussen Erfahrungswissen und visuelle Vorstellungsfähigkeit die Produktion einer Suchhypothese, wie muß die Suchsemantik für unterschiedliche graphische Rechercheverfahren ausgelegt werden, wie lassen sich andere graphische Formate in den Gesamtzusammenhang eines multimodalen Recherchesystems einbinden?

Dies sind lediglich erste Hinweise auf die breiten Erweiterungspotentiale für das graphische Retrieval und die Operationalisierung visuellen Denkens. Das Fernziel ist die Verbindung einer generalisierten graphischen Suchtypologie für verschiedene Diagrammformate mit Algorithmen eines intelligenten *presentation planning*-

Systems, wie sie in Kap. 5.2.4 angedeutet wurde. Ein solches System könnte aus Struktur der Datenbasis und dem Wissen über die jeweilige Anwendungsdomäne und die Informationsbedürfnisse verschiedener Benutzergruppen ein geeignetes Darstellungsformat auswählen und die passenden graphischen Rechercheoperationen zur Verfügung stellen.

8.3 Einbettung von *Wing-Graph* in eine multimodale Benutzeroberfläche

Die Eingliederung des als *stand-alone*-Modul getesteten graphischen Retrievalsystems *Wing-Graph* in ein multimodales Recherchesystem ist unter verschiedenen Gesichtspunkten interessant:

- a) Sie rechtfertigt die mehrfach angesprochene Ausgliederung funktionaler Bereiche eines typischen Recherchesystems, insbesondere der Berücksichtigung der nicht graphisch darstellbaren Suchbedingungen bei komplexen Kenngrößen,
- b) sie kann zeigen, daß sich das graphische Retrieval sinnvoll in eine multimodale Benutzerumgebung einordnen läßt und relativiert die Argumente für ein graphisches Rechercheverfahren im Sinne der Berücksichtigung der Gesamtheit der Rechercheprobleme an ein Fakteninformationssystem, von denen sich nur ein Teil auf graphisch darstellbare Information bezieht und
- c) schließlich wirft die Eingliederung die Frage nach der Wechselwirkung von graphischer Recherche im Sinne des graphischen Retrieval und der Interaktion mit natürlichsprachlicher oder tabellarischer (alphanumerischer) Darstellung von Faktenrecherchen auf.

Unter diesen drei Gesichtspunkten ist der letzte der eigentliche wichtige: Die Wechselwirkung von graphischer und textueller Darstellungs- und Rechercheform soll als multimodales Gestaltungsprinzip die wechselseitigen Nachteile der jeweiligen Repräsentationsform ausgleichen helfen und damit eine Verbesserung der Effektivität des Retrieval bewirken. Dabei sind im einzelnen Vorschläge zu folgenden Funktionsbereichen des multimodalen Interface zu diskutieren:

- a) Die Wechselwirkung zwischen graphischer Darstellung in *Wing-Graph* und der tabellarischen Datendarstellung (Defaultausgabemodus in *Wing-M2* bzw. Tabellenbehälter in *Wing-Graph*),
- b) die Entwicklung einer natürlichsprachlichen Feedbackkomponente für das graphische Retrieval in Analogie zur automatischen Generierung von Anfragetexten in *Wing-M2*, wobei das Ziel die vollständige gegenseitige Durchdringung beider Anfragemodi ist (d.h. auch eine automatische Erstellung graphischer Anfragekonstrukte als Feedback auf natürlichsprachliche Eingaben) und

- c) eine unmittelbare Integration von graphischem Retrieval und alphanumerischem QBE-Anfragemodus in einem multimodalen Datenblatt, das für Überblicksinformation verschiedene Anfragemethoden bereitstellt.

Der Aspekt der unmittelbaren Anpassung von *Wing-Graph* an die Auswahl der Gestaltungselemente von *Wing-M2* wurde bereits bei der Überarbeitung der Suchverfahrensauswahl erörtert (Kap. 8.1.3) und kann hier übergangen werden.

8.3.1 Erweiterung des Tabellenwerkzeugs

Die Basisfunktionalität der tabellarischen Datenaufbereitung (auch als Standardformat in *Wing-M2*) ist die Suchergebnisdarstellung. Als solche ist sie Darstellungsalternative zum graphischen Hauptfenster, wie es das Transformator-konzept von *Wing-M2* vorsieht. Damit ist allerdings noch keine Legitimation im Sinne des *Wing-Graph*-Ansatzes gegeben. Sie kann aber in zusätzlicher Funktionalität des Tabellenwerkzeugs realisiert werden.

Wie im QBE-Modus des Datenblatts von *Wing-M2* dient das Tabellenwerkzeug dabei wie das graphische Hauptfenster nicht nur der Repräsentation von reinem Datenbankwissen, was lediglich dem Endpunkt einer Recherche zuzuordnen wäre, sondern bekommt zusätzlich die Funktion einer Suchkomponente. Der Benutzer verfügt so zum einen über die klassischen Möglichkeiten der QBE-Anfrage, d.h. er kann die tabellarische Strukturierung der Daten für Anfragen nutzen. Zum anderen soll die Tabelle den Stand der Anfrage im graphischen Fenster widerspiegeln. Damit ist zweierlei geleistet: Die numerische Darstellung in der Tabelle gibt die graphische Suchfestlegung auf einer anderen kognitiven Ebene wieder und hat somit einen der natürlichsprachlichen Komponente in *Wing-M2* vergleichbaren Feedbackcharakter. Zum anderen bleibt die Anfrageformulierung auch auf numerischer Basis erhalten, wenn der Benutzer die Anfrage graphisch definiert hat, d.h. eine wechselseitige Beeinflussung ist möglich. Die visuelle Anordnung der numerischen Information ist durch die Tabellenstruktur weitgehend vorgegeben. Allerdings wäre daran zu denken, visuelle Mittel auch auf die tabellarische Zahlendarstellung anzuwenden (farbliche Hervorhebung der in einer graphischen Anfrage betroffenen Wertebereiche der Tabelle) oder gar visuelle Anfrageoperationen für die Interaktion mit der Tabelle einzuführen, die auch für den alphanumerischen Darstellungsmodus eine graphische Anfragedefinition zulassen.

8.3.2 Graphisches Retrieval und natürlichsprachliches Feedback

Ein wesentlicher Aspekt der multimodalen Systemgestaltung im WOB-Modell ist die Durchlässigkeit und dynamische Anpassung zwischen den verschiedenen Grundmodalitäten natürlichsprachliche Anfrageerstellung und Interaktion in einer

maskenorientierten graphischen Benutzeroberfläche. Zu jeder Anfragedefinition im graphischen Modus generiert der Prototyp *Wing-M2* eine entsprechende natürlich-sprachliche Anfrageformulierung, die sowohl die Funktion einer Statusanzeige erfüllt, als auch selbst ediert und zur Anfragemodifikation genutzt werden kann. Dieses Wechselspiel der Darstellungsmodalitäten kann man auch für das graphische Retrieval fruchtbar machen, wo der Unterschied zwischen inhärent graphischer und natürlich-sprachlicher Darstellung noch wesentlich deutlicher ist als bei der Kontrastierung von Eingabemasken und natürlich-sprachlichen Anfragesätzen. Der entscheidende Punkt ist die Art der Transformation graphischer Suchkonstrukte in eine textuelle Repräsentation. In *Wing-M2* erfolgt eine genaue Wiedergabe aller bisher vom Benutzer gesetzten Suchbedingungen, also auch der Parametrisierungen zu einzelnen Kennwerten, z.B. „Werkstoffe mit einem Elastizitätsmodul von > 150 GPa bei einer Temperatur > 500 °C.“ Dieses Verfahren ist für das graphische Retrieval nicht generell geeignet, da bei den komplexeren Anfragekonstrukten eine sehr hohe Bedingungsanzahl zu repräsentieren wäre²³ und im Unterschied zum Feedback in *Wing-M2* die Funktion eines schnellen Überblicks über die im Verlauf des Anfrageaufbaus angesammelten Suchbedingungen ins Gegenteil verkehrt würde: Ein Argument für das graphische Retrieval ist ja auch, daß sich mit ihm komplexe Anfragen realisieren lassen, die im textuellen Modus zumindest aus der Sicht der Pragmatik nicht zu realisieren sind.

Geht man von einer logischen 1:1-Übersetzung ab, so ist offen, wie eine Reduktion des graphischen Anfragekonstrukts im textuellen Modus erfolgen könnte. Es bieten sich zwei Gestaltungsrichtlinien an: Zum einen die Ausrichtung an der Typologie der Suchverfahren, zum anderen die textuelle Repräsentation derjenigen Charakteristika der graphischen Anfrage, die in der visuellen Darstellung nicht oder unzureichend Berücksichtigung finden oder für die eine textuelle Repräsentation sinnvoll erscheint.

Das bedeutet neben der Angabe des Suchverfahrens im einzelnen bei

- a) *abstrakten* Suchverfahren die Detailangabe der Bereichsgrenzen (da kein Bezugswerkstoff vorhanden ist),
- b) *relativen* Suchverfahren die Angabe des Bezugswerkstoffs und des Bereichsanfangs und -endes und
- c) bei der Kurvenform-Modifikation und der Kurvenproduktion zusätzlich die Angabe der Breite des Toleranzrahmens, der um die kurvenförmige Suchhypothese gelegt ist. Bei entsprechender Funktionalität könnte ein Hinweis auf die verwendete Suchsemantik erfolgen (reine Muster- bzw. Formsuche bzw. genaue Niveaueverortung).

²³ Man vergleiche die SQL-Beispielstatements in Kap. 8.1.2.2 und Anhang 10.6, die eine Vorstellung davon vermitteln, wie komplex (und unübersichtlich) ein solches Feedback wäre.

Diese Auslegung reduziert das natürlichsprachliche Feedback auf die für jede graphische Anfrage wesentlichen Faktoren. Sie können ediert werden und wirken auf das graphische Display zurück, d.h. die Darstellung der graphischen Suchanfrage paßt sich der Änderung an. Auf eine Detaildarstellung der einzelnen Suchbedingungen bei relativen und produktivem Verfahren, d.h. der expliziten Angabe aller konjugierten Einzelbedingungen mit ihren Suchgrenzen, kann verzichtet werden, da sie im wesentlichen nur Informationen über die Bezugskurve *an sich* repräsentieren. Es wäre denkbar, den Bezeichner des Suchverfahrens oder der Bezugskurve als Hypertextelement zu gestalten, bei dessen Anwahl eine Liste der Detailbedingungen erscheint; es ist allerdings zu vermuten, daß solche Modifikationswünsche bezüglich relativer Anfragen selten auftreten.

Der folgende Gestaltungsvorschlag gibt die Syntax für die wechselseitige Erstellung natürlichsprachlicher bzw. graphischer Anfragekonstrukte an. Grundlage dafür ist die überarbeitete Suchtypologie von *Wing-Graph*. Dabei ist darauf hinzuweisen, daß anders als für das natürlichsprachliche Feedback von *Wing-M2* für graphische Retrievaloperationen kein Korpus an natürlichsprachlich formulierten Anfragen der Benutzer vorliegt, aus dem die wahrscheinlichste syntaktische Form für den Gestaltungsvorschlag abzuleiten wäre; es handelt sich vielmehr um einen heuristischen Vorschlag in Anlehnung an den natürlichsprachlichen Aufbauf in *Wing-M2*, der durch eine Sammlung empirischen Materials zu validieren wäre.²⁴

Notation:

□	optionale Argumente
{ }	Auswahlmöglichkeiten, von denen jeweils eine zu wählen ist
<>	abstrakter oder konkreter Bezug zum Datenschlüssel („Werkstoffe“ bzw. „Waspaloy“, „Incoloy“ etc.
fett	Bezeichnung des gewünschten Anfragetyps
<i>kursiv</i>	Zusätzliche sprachliche Elemente

Abstraktes Suchverfahren (Suchbereiche und Suchpunkte)

<Suchschlüssel>, [{die|deren Kurven} durch {den|die} **Suchpunkt[e]** XWert1/YWert1, ..., XWertN/YWertN] | [{und} {den|die} **Suchbereich[e]** XWert1A-XWert1B/YWert1A-YWert1B [... , {, |und} XWertNA-XWert1N/YWert1N-YWertNB]] laufen.

Beispiele:

Werkstoffe, die durch den Suchpunkt 500 °C/200 GPa laufen.

Werkstoffe, die durch die Suchbereiche 200-400 °C/160-200 GPa, 800-1000 °C/100-140 GPa laufen.

Relative Suchverfahren

Kurvenbereich/Streuband (typisierte Variante):

<Suchschlüssel> in [einem] {**Streuband|Kurvenbereich**} {um|über|unter} <Bezugsdatensatz> von StartWertX bis EndWertX mit einer Breite von {Y-Bereich|%-Bereich}

²⁴ Das könnte durch ein *paper-and-pencil*-Verfahren erfolgen, bei dem graphische Suchkonstrukte und Kurvenformen zu verbalisieren sind.

Beispiele:

Werkstoffe in einem Streuband um Waspaloy von 400-1000 °C mit einer Breite von 20 GPa.

Werkstoffe in einem Streuband über Waspaloy mit einer Breite von 10 %.

Kurvenbereich (frei positionierte Variante):

<Suchschlüssel> in [einem] {**Streuband|Kurvenbereich**} zu <Bezugsdatensatz> von StartWertX bis EndWertX mit einer Breite von {Y-Bereich|%-Bereich} und einem {unteren|oberen|mittleren} {Start|End}niveau von YWert

Beispiele:

Werkstoffe in einem Kurvenbereich um IN718 von 800-1100 °C mit einer Breite von 20 GPa und einem mittleren Startniveau von 150 GPa.

Vergleich zweier Datensätze (global und bereichsbezogen):

<Suchschlüssel> {im | in einem} **Vergleich** von <Bezugsdatensatz1> und <Bezugsdatensatz2> [im Bereich von XWert1 bis XWert2]

Beispiele:

Werkstoffe in einem Vergleich von Rene 41 und Waspaloy im Bereich von 300-700 °C.

Besser-Schlechter-Relationen (global und bereichsbezogen):

<Suchschlüssel> {über|unter} <Bezugsdatensatz> [in einem Bereich von XWert1-XWert2]

Beispiele:

Werkstoffe über ASTROLOY im Bereich von 800-1000 °C.

Werkstoffe unter TD NICKEL

Kurvenform-Modifikation

<Suchschlüssel>, die einer **Modifikation** von <Bezugsdatensatz> [mit einem Toleranzrahmen von X %] [und {strenger|laxer} Suchlogik] entsprechen

Beispiele:

Werkstoffe, die einer Modifikation von WAsPALOY mit einem Toleranzrahmen von 10 % und strenger Suchsemantik entsprechen.

Produktives Suchverfahren

Kurvenskizze

<Suchschlüssel>, die einer **Kurvenskizze** von XWert1-XWert2 [mit einem Toleranzrahmen von X %] [und {strenger|laxer} Suchlogik]

Beispiele:

Werkstoffe, die einer Kurvenskizze von 300-800 °C mit einem Toleranzrahmen von 5 % und laxer Suchsemantik entsprechen.

Ein einfacher Parsing- und Generierungsalgorithmus für die Verarbeitung solcher typisierter quasi-natürlichsprachlicher Anfragen steht für den Prototyp *Wing-M2* bereits zur Verfügung. Sein Lexikon ist für die Erweiterung zur Verarbeitung von Anfragen mit Bezug zu graphischen Anfragedefinitionen entsprechend zu erweitern.

Mit diesem Gestaltungsvorschlag wird die Durchlässigkeit zwischen *Wing-Graph* und der natürlichsprachlichen Anfrage gewährleistet, Anfragen sind aber

nicht als 1:1-Übersetzung, sondern als gezielte Reduktion repräsentiert. Für die meisten Suchverfahren ergibt sich so auch die Möglichkeit des (in den Benutzertests allerdings kaum verwendeten) Ersteinstiegs in die graphische Recherche über ein natürlichsprachliches Statement, etwa durch die Angabe: „Werkstoffe, die beim Elastizitätsmodul zwischen 300 und 600 °C über Waspaloy liegen“ als natürlichsprachliches Pendant zur globalen Besser-Schlechter-Relation. Durch die Typisierung der Suchverfahren in *Wing-Graph* läßt sich eine ebenso typisierte Syntax mit entsprechendem Wortschatz entwickeln, d.h. Parsing und Generierung werfen wie schon bei *Wing-M2* durch die enge Restriktion auf die implementierten Suchtypen keine wesentlichen Probleme auf, sind aber auf die vorgegebene Auswahl reduziert und insofern einer formalen Sprache angenähert.²⁵

Berücksichtigte man zusätzlich die Generalisierung von *Wing-Graph* für unterschiedliche graphische Formate und Anfrageoperationen, so wäre ein Parser bzw. Generator zu entwickeln, der das *spatial parsing* des graphischen Retrieval allgemein in sprachliche Repräsentationen überträgt und je nach verwendetem visuellen Format passende Übersetzungen für Adverbien findet, die den räumlichen Bezug von Anfragekonstrukten ausdrücken.

8.3.3 Erweitertes multimodales Datenblatt

Ein dritter Bereich der Einbindung des graphischen Retrieval in eine multimodale Datenbankschnittstelle betrifft die in *Wing-M2* vorgenommene Strukturierung der Suchmöglichkeiten nach dem Detailliertheitsgrad der Information. Dort wird zwischen Überblicksinformation zu Werkstoffen als Substrat aus den umfangreichen Meßwertreihen und der ausführlichen Detailinformation selbst unterschieden. Es ergeben sich die in Kap. 1.3.1, Abb. 4 und 5, abgebildeten Zugangswege. Obwohl das graphische Ergebnisretrieval zunächst als Recherche- und Darstellungsalternative zur Suche nach Detailinformation vorgesehen ist, läßt sich aus den in Kap. 5 vorgestellten Eigenheiten graphischer Informationsdarstellungen *und* der Ausgestaltung von Datenblättern in traditionellen Informationsmedien ableiten, daß eine Integration des graphischen Retrieval in die Überblickssuche sinnvoll ist:

- a) Graphisch dargestellte Information hat im Gegensatz zur tabellarischen Aufbereitung ebenfalls Überblickscharakter, da sie zur schnellen Beurteilung von Trends und funktionalen Zusammenhängen ohne Rekurs auf Detailinformation dienen kann.
- b) Datenblätter sind ein weit verbreitetes Informationsmedium nicht nur im Werkstoffbereich und

²⁵ Methodisch steht hinter einem solchen Vorschlag die Annahme, daß durch die Pragmatik der Sprachverwendung in der Anwendungssituation die Leistungsfähigkeit der Sprachkomponente stark reduziert werden kann - bis hin zu einer stark typisierten Auswahl sprachlicher Konstrukte, die einen quasi-formalsprachlichen Status haben.

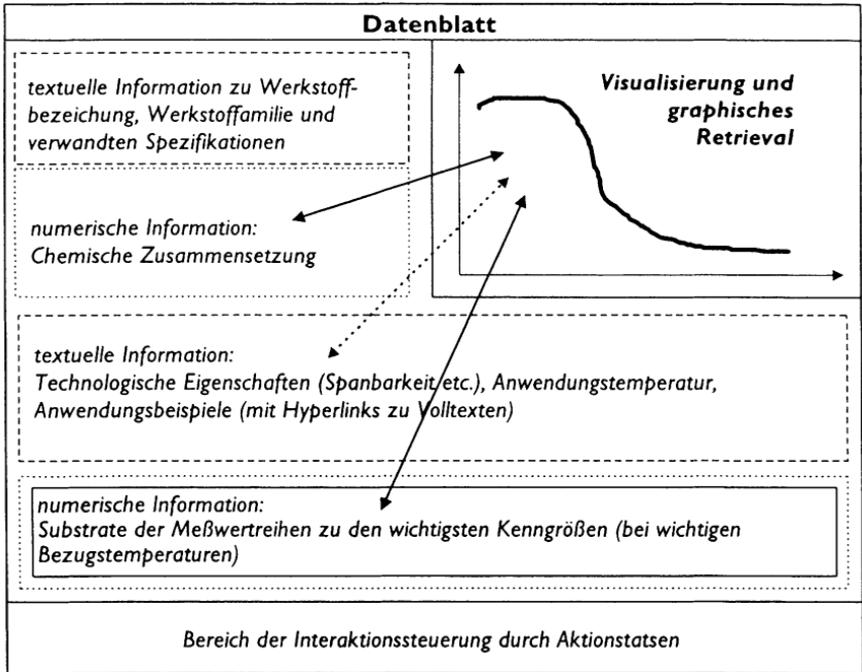


Abbildung 54: Layoutvorschlag für ein multimodales Datenblatt

- c) vereinen Informationen in verschiedenen Modalitäten: Texte, Bilder, Graphiken, Tabellen mit numerischer Information.
- d) Die Kernimplementierung *Wing-Graph* hat informationelle Defizite, als sie aus methodischen Gründen auf die für das graphische Retrieval *unmittelbar* und *funktional* wesentliche Information beschränkt ist, d.h. nur solche Informationen, die zur graphischen Darstellung direkt benötigt und für das Retrieval erforderlich sind, werden angezeigt.

Der erste Schritt der Integration ist die Einbindung eines graphischen Manipulationsfensters in das Informationslayout des Datenblatts von *Wing-M2*, wie es Abb. 54 zeigt.

Dabei ist die eigentliche Leistungsfähigkeit einer solchen Gestaltung nicht durch die bloße Nebeneinanderstellung graphischer und alphanumerischer Informationsdarstellung begründet. Erst bei wechselseitiger dynamischer Anpassung der unterschiedlichen Strukturelemente des Datenblatts ergibt sich ein neuer Aspekt: Bei Aktivierung oder Markierung eines Bereiches der alphanumerischen Information paßt sich die graphische Anzeige an die betrachtete Datenart an: Klickt der Benutzer auf ein Kennwertsubstrat (z.B. „Wert der Wärmeausdehnung bei Anwendungstemperatur“), so erscheint im Graphikfenster die vollständige Meßwertkurve. Sie kann mit den graphischen Anfrageoperationen von *Wing-Graph* bearbeitet werden.

Für unterschiedliche Informationsarten sind verschiedene graphische Darstellungsformate bereitzustellen (Balkendiagramme zur Anzeige der chemischen Zusammensetzung, Sternendiagramme, die die Kennwertsubstrate im Überblick visualisieren, Spezialformate für die Visualisierung technologischer Eigenschaften (z.B. Verschleiß von Schneidmaterial bei spanender Bearbeitung)). Jedem graphischen Darstellungsformat ist die jeweils passende Menge an Rechercheoperationen auf der Basis der Dreiteilung in abstrakte, relative und produktive Verfahren beizuordnen. Zumindest für den Darstellungsaspekt des Graphikfensters muß seine Leistungsfähigkeit nicht auf die Visualisierung numerischer Information beschränkt bleiben, sondern kann auch Bildmaterial zur textuellen Information anbieten (Versuchsaufbau, Abbildungen der Mikrostruktur des Metallgitters etc.).

Im Ergebnis wäre damit ein voll parametrisierbares Suchformular gegeben, in dem sowohl für den graphischen als auch den alphanumerischen Darstellungsaspekt der QBE-Gedanke genutzt wird. Tabellenstruktur und graphische Darstellung dienen als Vorlageinformation, die sich wechselseitig beeinflußt und zur Anfragerstellung herangezogen werden kann. Die oben angesprochene wechselseitige Beeinflussung von graphischem Retrievalbereich und tabellarischer Darstellung bzw. natürlichsprachlicher Anfragerrepräsentation kann dann auch *innerhalb* eines Suchmoduls Datenblatt Anwendung finden.

8.4 Übersicht zum Implementierungsstand

Da sich die voranstehenden Überarbeitungen und Gestaltungsvorschläge auf unterschiedlichen Realisierungsniveaus befinden, ist in Tab. 15 ihr Realisierungszustand als Übersicht zusammengefaßt. Dabei wird zwischen vollständiger Implementierung, exemplarischer Umsetzung (zumindest im System simulierbare Elemente, ggfs. ohne Recherchefunktionalität) und reinen Gestaltungsvorschlägen unterschieden.

Kapitel	Gestaltungselement	Implementierungszustand
8.1	Vereinfachung der Suchtypologie	implementiert
	Modifizierte Suchbedingungskonjunktion	implementiert
	Flexibilisierung der Suchsemantik	Gestaltungsvorschlag
	Interaktionsinhärente Suchartenwahl	Gestaltungsvorschlag
	Modifizierte Suchauswahleiste	implementiert
	Kombinierbarkeit verschiedener Suchverfahren	bereits in Kernimplementierung
	Modifizierte Datenbestandsanzeige	implementiert
	look-ahead-Algorithmus	implementiert
	<i>visual query abstracts</i>	exemplarisch implementiert (nur Darstellungsfunktionalität)
8.2	Domänenunabhängiges Datenmodell	exemplarisch implementiert
	Anpassung an WIDAB-Daten	implementiert
8.3	Erweitertes Tabellenwerkzeug	Gestaltungsvorschlag
	Natürlichsprachliches Feedback	Gestaltungsvorschlag
	Integration in multimodales Datenblatt	Gestaltungsvorschlag
8.5	Wissensbasierte Systemerweiterung	Vorüberlegungen

Tabelle 15: Implementierungszustand der Gestaltungsvorschläge

8.5 Ausblick: Wissensbasierte Systemerweiterung

Die verschiedenen Vorschläge zur Erweiterung von *Wing-Graph* und die im Test aufgetretenen Defizite des Ansatzes sind nicht ohne Struktureingriff in das Design der Kernimplementierung von *Wing-Graph* mit ihrer starren Auswahl von Suchverfahren und Suchsemantik sowie den fehlenden Möglichkeiten der Anpassung an unterschiedliche Benutzerbedürfnisse zu lösen. Sie machen vielmehr den Rückgriff auf Wissen über Benutzer und Anwendungsdomäne erforderlich. Ohne einen *Detail*vorschlag zur wissensbasierten Erweiterung von *Wing-Graph* machen zu wollen, sollen die wichtigsten Problemfelder angedeutet werden. Vier Aspekte des graphischen Retrieval, die im Rahmen der Evaluierung und der weitergehenden Überlegungen in diesem Kapitel diskutiert wurden, sind dabei von besonderem Interesse:

- a) Die Steuerung der Suchsemantik in Abhängigkeit von Anwendungsdomäne und Benutzercharakteristika,
- b) die Selektion geeigneter Werkstoff-Auswahlmengen für verschiedene Benutzer(gruppen) für den graphischen Rechercheeinstieg,
- c) die Bewältigung von Fehlersituationen in der Interaktion, soweit sie aus Eigenheiten des graphischen Retrieval entstehen und
- d) bei generalisiertem Ansatz die Auswahl des visuellen Darstellungsformats, der graphischen Rechercheverfahren und der insgesamt angezeigten Informationsmenge (*presentation planning*).

Auf diese Problembereiche nehmen verschiedene Randbedingungen der Benutzung von *Wing-Graph* unterschiedlich Einfluß:

- Individuelle Charakteristika einzelner Benutzer (Informationswünsche, Erfahrung, motorische Fertigkeit bei der graphischen Anfragedefinition)
- Gemeinsame Merkmale von Benutzergruppen (typische Interpretations- und Recherchestrategien bei der Verarbeitung von Information, gemeinsame Arbeitsziele, ähnliche Gruppenbildung bezüglich besonders relevanter Datensätze)
- Prinzipielle Eigenheiten der Anwendungsdomäne (Werkstoffgleichungen als Validierungsmöglichkeit für Meßdaten und die Interaktion des Benutzers, Streubereiche der Messungen, Zusammenhang zwischen Meßdaten und Zusatzinformation etc.)
- Struktureigenheiten der zu visualisierenden Daten selbst (Aufbau und Umfang von Meßreihen)

Zwischen Problembereichen und unterschiedlichen Wissensquellen kann man keine 1:1-Zuordnung herstellen, d.h. es besteht ein komplexes Geflecht von Faktoren, die zu berücksichtigen sind. Einige Beispiele mögen dies verdeutlichen:

Für die Auswahl typischer Werkstoffmengen läßt sich die Gruppenzugehörigkeit eines Benutzers nutzen, wie in Kap. 3.2 geschildert. So kann man am Beispiel der

MTU für unterschiedliche Abteilungen und Projekte gruppenbezogene Mengen besonders relevanter Werkstoffe erstellen, ohne dabei wesentlich mehr als die Gruppenzugehörigkeit über einen Benutzer ermitteln zu müssen, da durch Zusatzinformation im Datenblatt eine Zuordnung von Projektziel (z.B. Schaufelkonstruktion) und Werkstoffauswahl zu erreichen ist. Das schließt dann aber divergierende Interessen auf der Ebene des individuellen Benutzers nicht aus, für den aus durch die Gruppenzugehörigkeit nicht ersichtlichen Gründen die Auswahl keine Hilfe ist bzw. dessen Interessen auf eine andere Auswahl hin ausgerichtet sind. Damit liegt ein klassischer Zielkonflikt zwischen Individualisierung und typisierender Anpassung eines Systems durch ein Benutzermodell vor (KOK 1991:36ff.).

Das zweite Beispiel, das bereits bei der Diskussion von Modifikationen der Suchsemantik erwähnt wurde, legt einen Konflikt zwischen Domänenwissen und individuellen Benutzerpräferenzen offen: Aus den Eigenheiten einer Meßgröße kann im Einzelfall zu folgern sein, daß aufgrund der in einem bestimmten Bereich besonders geringen Streubreiten und Meßschwankungen auch die bei kurvenförmigen Suchkonstrukten verwendeten Toleranzbänder besonders eng auszulegen sind. Eine solche Strategie, die den Anforderungen der Domäne gerecht wird, kann in Widerspruch zu den Interessen des Benutzers stehen, der an Daten in diesem Bereich besonders interessiert ist und eher eine *vague next neighbour*-Suche durchführt, als vom System lediglich bestätigt zu bekommen, daß bei enger Suchauslegung kein Ergebnis zu finden ist. Die Dimension der Gruppeneigenschaften kommt hinzu: Wie sich im Rahmen der Studien von *Wing-IIR* ergeben hat, kann man verschiedenen Aufgabenbereichen (und damit Benutzergruppen) auch eine unterschiedlich enge Auslegung der Recherchedefinition zuweisen. Beispielsweise haben Benutzer, die mit Schadensanalyse, Werkstoffprüfung oder Datenaufbereitung befaßt sind, in der Regel ein sehr spezifisches Rechercheinteresse, während ein Konstrukteur nur einen groben Überblick über mögliche Alternativwerkstoffe recherchieren will und seine graphische Suchkurve daher eher weit zu interpretieren ist. Diese Gruppendifferenzierung schiebt sich zwischen individuelle Vorgaben und Eigenheiten der Domäne.

Ein drittes Beispiel aus dem Bereich der Fehlerbehandlung soll verdeutlichen, wie Wissen über die den graphischen Suchkonstrukten zugewiesene Semantik fehlerhafte Interaktionsfolgen aufdecken kann.²⁶ Die für die Übersetzung in formale Statements ohnehin notwendige Analyse der graphischen Anfragedefinitionen kann gleichzeitig für die Planerkennung hinsichtlich des Rechercheziels des Benutzers verwendet werden. Setzt ein Benutzer beispielsweise zwei Suchpunkte direkt untereinander, da er annimmt, dieses Suchverfahren verwendete eine *ODER*-Verbin-

²⁶ Damit ist das Problemfeld von Planerkennung und aktiven Hilfesysteme angeschnitten; vgl. den zur Verwendung im Rahmen von *Wing-IIR* (und zukünftigen Versionen von *Wing-Graph*) vorgesehenen Ansatz der Planerkennung, der bei KRAUSE, MITTERMAIER & HIRSCHMANN 1993 beschrieben ist. Er generiert Erklärungshypothesen für ambige Interaktionen, die sich nicht uneindeutig als Fehlersituationen klassifizieren lassen und verwendet dazu eine Plan- und Fehlerbibliothek. Die Hypothesen sind dann auf Abruf zugänglich.

derung der einzelnen Suchbedingungen, so könnte das System durch entsprechende Analyse der Wertepaare den Fehler entdecken und einen Hinweis geben. Noch interessanter sind Fälle, in denen Fehlvorstellungen nicht eindeutig zu erkennen sind, wenn etwa ein Suchbereich über einen so großen Teil des Datenraumes definiert wird, daß die Ergebnismenge extrem umfangreich wird und sich dem Gesamtdatenbestand annähert. In einem solchen Fall kann sowohl eine Fehlinterpretation der Suchsemantik (z.B. Breite des Streubands als Angabe, in welchen Wertenniveaus formgleiche Kurven zu finden sein sollen) als auch eine gezielte Überblickssuche vorliegen. Das System sollte in diesen Fällen nicht von sich aus Unterstützung leisten, sondern sie nur auf Anfrage bieten.

Diese disparaten Beispiele belegen die Komplexität und Vielfalt wissensbasierter Erweiterungsmöglichkeiten, ohne den Problemraum schon vollständig auszuschöpfen. Das Anforderungsprofil an die wissensbasierte Systemerweiterung wird aber in seinen Grundzügen deutlich:

- Ein robustes Basissystem, das auch bei minimalem Wissensstand die wesentlichen Funktionsbereiche bereitstellt (entsprechend der Kernimplementierung von *Wing-Graph*)
- Hybride Kombination verschiedener Wissensquellen
- Einbettung des Wissens über Benutzer und Domäne in eine Objekthierarchie, die die Generalisierbarkeit gewährleistet und eine effektive Integration zusätzlicher Datentypen und -domänen ermöglicht
- Ein offenes Wissensmodell, das nicht einseitig auf das Vorhandensein einer bestimmten Klasse von Wissen für eine bestimmte Systemsituation angewiesen ist
- Flexible Interpretationsroutinen mit *fall-back*-Strategien, die bei Ausfall einer Wissensquelle auf eine andere zurückgreifen bzw. auch ohne Zusatzinformation arbeiten können (z.B. starre vs. kontextsensitive Errechnung der formalen Abfragen)
- Möglichkeit der Einbettung zusätzlichen Wissens nach Kenntnislage (z.B. Werkstoffwissen bei Kurveninterpretation und -manipulation)

Diese allgemeinen Kriterien lassen sich durch Hinweise auf eine Designstrategie für eine wissensbasierte Unterstützungskomponente konkretisieren: Als Basisschicht sollte die Implementierung domänenbezogenen Wissens zum Zuge kommen, das die Grundeinstellungen für Format- und Verfahrensauswahl, Suchsemantik und zugehörigem *spatial parsing* graphischer Anfragen (und „graphischer Fehlersituationen“) setzt. Dazu kann der sehr einfache Vorschlag einer Domänenhierarchie (Kap. 8.2.2) um entsprechende Einträge erweitert werden (z.B. für bereichsbezogene Toleranzrahmen einzelner Kennwerte und Ausschlußbedingungen für die Definition graphischer Anfragen).

Neben die Domänenhierarchie ist in einer zweiten Schicht ein zunächst nicht individualisiertes Benutzermodell zu stellen, das statisches Wissen (Langzeitmodell)

über gruppenspezifische Charakteristika verwaltet und das System (die Benutzeroberfläche) entsprechend modifiziert. Hier können Einträge wie bevorzugte Werkstoffkategorien zur Ableitung und Parametrisierung der Auswahlmengen erfolgen.²⁷ Mit der Anpassung an benutzer(gruppen)spezifische Faktoren ist der Forschungsbe- reich der Benutzermodellierung angesprochen.²⁸

Erst in der obersten, die beiden unteren Schichten überlagernden Ebene kämen individuelle und temporäre Aspekte des Benutzers und seiner Interaktion mit dem System zum Zuge: Beispielsweise kann man aus der wiederholten Erweiterung vorgegebener Toleranzbreiten durch den Benutzer²⁹ auf den Wunsch nach automatischer Erweiterung des Suchrahmens schließen. Die Übernahme benutzerkonfigurierter Auswahlmengen, wie in der Kernimplementierung bereits mit dem Werkzeugobjekt „persönliche Werkstoffauswahl“ vorhanden, ist unter diesem Gesichtspunkt als einfaches Merkmal der Adaptierbarkeit selbstverständlich.

Dabei ist dann zwischen der expliziten Parametrisierung des Systems durch den Benutzer und der automatischen Anpassung durch das System zu unterscheiden, d.h. für zahlreiche Einzelfälle ist eine Designentscheidung zwischen Adaption und Adaptierbarkeit zu fällen. Grundsätzlich ist die Präferenz auf die benutzerseitige Adaptierung zu legen, da nur in diesem Fall sichergestellt ist, daß der Benutzer seine Vorstellungen wie gewünscht umsetzen kann und das System transparent bleibt. Das bedeutet, daß vor der verstärkten Nutzung wissensbasierter Techniken die Möglichkeiten der Visualisierung von Anfragen und der Modifizierbarkeit visueller Konstrukte (bzw. deren natürlichsprachlichem Feedback) auszuschöpfen sind, wie sie in Kap. 8.1.5 und 8.3.2 angedeutet wurden. Es verbleibt aber gerade bei einem so komplexen Problem wie dem der Suchsemantik eine Menge an Resteinstellungen, die auf diese Weise zu nicht bewältigen sind, selbst wenn man wie im WOB-Modell eine Aufteilung der Sichtweisen auf die Systemfunktionalität für unterschiedlich erfahrene und versierte Benutzer vorsieht.³⁰

Diese globalen Hinweise auf wissensbasierte Techniken können und sollen deren konkrete Ausgestaltung und Modellierung nicht ersetzen. Für die genaue Spezifikation einer flexiblen Wissenskomponente sind weitere empirische Untersuchungen notwendig, da aus dem qualitativen Benutzertest von *Wing-Graph* nur punktuelle Folgerungen für den Aufbau von Domänen- und Benutzermodell zu gewinnen sind: Die Probleme und Optimierungsmöglichkeiten lassen sich zwar bereits umreißen,

²⁷ Beispiel: Gruppeneintrag „Konstruktion Triebwerksgehäuse“ im Modell und Nutzung des Eintrags über Regeln, die versuchen, aus der Datenbasis zum Gruppenkriterium passende Information zu selektieren und diese zur Interfaceadaption zu verwenden (hier: Suche nach Gehäusewerkstoffen im Datenblatt und Übernahme dieser Gruppe in eine Auswahlmenge).

²⁸ Als Überblick vgl. WAHLSTER & KOBASA 1989, KOK 1991.

²⁹ Insofern diese (anders als in der Kernimplementierung) a) visualisiert werden und b) zu modifizieren sind; alternativ Auswertung entsprechender Eingaben in das natürlichsprachliche Feedback graphischer Anfragen.

³⁰ Vgl. KOBASA 1993:152, OPPERMANN 1992:42.

für eine Detailspezifikation ist aber die empirische Basis noch nicht ausreichend. Zu fragen ist dann auch, wie weit man die in der Benutzermodellforschung entwickelten Strukturtypen auf das graphische Retrieval und seine Besonderheiten (visuelles Denken, direkter graphischer Anfrageaufbau mit vielfältigen Feedback-Möglichkeiten) übertragen kann bzw. an welchen Stellen sich aus den Charakteristika des graphischen Ergebnisretrieval die Notwendigkeit einer Modifikation ergibt.

9 Zusammenfassung

Ausgangspunkt dieser Arbeit war die Überlegung, angesichts der weitverbreiteten Verwendung graphischer Darstellungsformate numerischer Information diese auch für den Retrievalprozeß in Faktendatenbanken heranzuziehen. Im interdisziplinären Schnittfeld von Information Retrieval-Forschung, Wahrnehmungs- und Kognitionspsychologie sowie Software-Ergonomie ließ sich sowohl ein theoretisches Modell für den Rechercheprozeß mit Liniendiagrammen entwickeln als auch ein Prototyp eines entsprechenden Recherchesystems implementieren und evaluieren. Den konkreten wissenschaftlichen Rahmen bildete das Forschungsprojekt *Wing-IIR* der Informationswissenschaft an der Universität Regensburg, in dem die Gestaltungsprinzipien für multimodale Benutzeroberflächen für Werkstoffdatenbanken im Zentrum stehen.

Im Rahmen von *Wing-IIR* deckt das vorliegende graphische Retrievalsystem einen wesentlichen Aspekt multimodalen Systemzugangs ab, nämlich die Verwendung visueller Mittel beim Anfrageaufbau und die Modellierung eines Ergebnisretrieval unter Aufgreifen der Ergebnisdarstellung zur Recherchefortsetzung. Gleichzeitig bieten das WOB-Modell für werkzeuggesteuerte objekt-orientierte Gestaltung von Benutzeroberflächen und seine exemplarische Realisierung durch den Prototyp *Wing-M2* von *Wing-IIR* Gestaltungsvorgaben für die Entwicklung eines graphischen Retrievalsystems.

Analysiert man das Rechercheverhalten von Datenbankbenutzern und die Struktur typischer Benutzerschnittstellen zu Faktenretrievalsystemen, so kann man auf einer globalen Ebene eine kognitive Bruchstelle zwischen Ergebnispräsentation und Anfrageerstellung postulieren. In traditionellen Datenbankschnittstellen ergibt sich zwischen der Interpretation von Suchergebnissen und der Erstellung von Folgeanfragen auf der Basis dieser Ergebnisse eine schwerwiegende Schwachstelle des Systemdesigns. Bei Vorliegen des gewünschten graphischen Darstellungsformates der Ergebnisse besteht keine adäquate Möglichkeit, ohne Moduswechsel zur Anfrageerstellung überzugehen; die Vorteile des visuellen Denkens bei der Interpretation bleiben ungenutzt. Da sich Recherchestrategien in der Regel über mehr als eine Anfrage-Ergebnisabfolge erstrecken und somit der Retrievalprozeß ein zyklisches Moment aufweist, wurde das Konzept eines *graphischen Ergebnisretrieval* entwickelt, das die in graphischen Darstellungsformaten verwendeten visuellen Mittel auch für die Anfrageerstellung nutzt und gleichzeitig in einem iterativen und zyklischen Retrievalprozeß vornehmlich als Werkzeug der Anfragefortsetzung nach Anzeige eines initialen Suchergebnisses dient.

Um eine tragfähige Basis für Implementierung und Evaluierung des Ergebnisretrieval schaffen und theoretische Überlegungen zum graphischen Retrieval mit den typischen Problemstellungen und Informationsbedürfnissen von Datenbankbenutzern abgleichen zu können, erfolgte die Analyse der Anwendungsdomäne *Werkstoffdatenbanken*, in der sowohl numerische Information als auch deren graphische Darstellung eine zentrale Rolle spielen. Diese Arbeit greift auf die Werkstoffdatenbank des Kooperationspartners von *Wing-IIR*, der MTU GmbH München, zurück. Eine Plausibilitätsstudie im Vorfeld der Implementierung des graphischen Retrievalmoduls ergab, daß die visuelle Aufbereitung von numerischer Information, d.h. von Meßdaten zu verschiedenen Werkstoffkenngrößen, unabdingbar ist und eine zentrale Anforderung an die Gestaltung von Datenbankoberflächen darstellt. Bei der Beurteilung von Liniendiagrammen als Ausgangspunkt weiterer Recherchen steht die Suche nach zur Vorlageinformation *ähnlichen* Datensätzen und damit eine *visuelle Interpretation des Ähnlichkeitsbegriffs* im Vordergrund.

Für die Gestaltung eines visuellen Retrievalsystems konnte auf die nicht zuletzt durch die hohe Verbreitung graphischer Benutzerschnittstellen entstandene Fülle visueller Informationssysteme zurückgegriffen werden. Bei der Analyse der verschiedenen graphischen Gestaltungsmittel solcher Systeme kristallisierte sich das Konzept visueller Sprachen als geeignetes Modellierungsvehikel für das graphische Retrieval heraus. Visuelle Sprachen kommen für das graphische Retrieval mit Diagrammdarstellungen auf zwei Ebenen zum Zuge: Zum einen als durch das Darstellungsformat und die typischen Fragestellungen der Datenbankbenutzer strukturierte Menge visueller Anfrageoperationen, zum anderen auf einer höheren und abstrakteren Ebene als ikonische visuelle Sprache für die Auswahl der zu visualisierenden Datensätze sowie zur Kombination mehrerer graphischer Anfragen in einem ikonischen Anfrageabstract.

Empirische Studien zur Verwendung von Diagrammen bei der Interpretation numerischer Information erlauben aufgrund ihrer Beschränkung auf einen jeweils sehr engen Anwendungskontext kaum mehr als die Feststellung, daß für Auswahl und Verwendungszusammenhang graphischer Informationsdarstellungen eine hohe Zahl unterschiedlicher Faktoren (Datengrundlage, Fragestellung, Erfahrung etc.) entscheidend ist. Mithin kann nicht *generell* von einer Überlegenheit graphischer Darstellungen gegenüber alphanumerischer bzw. tabellarischer Informationsaufbereitung gesprochen werden. Für den hinsichtlich des Formates begrenzten Kontext dieser Arbeit läßt sich die Auswahl des Liniendiagramms aber bestätigen.

Aus der Beobachtung, daß das visuelle Denken ein leistungsfähiges Mittel der Interpretation numerischer Information in graphischer Darstellung ist, folgt unmittelbar die Frage, wie sich dieses Phänomen durch wahrnehmungs- und kognitionspsychologische Erkenntnisse erklären läßt. Auf der Basis der Studien von BERTIN 1974 und KOSSLYN 1989 kann man zunächst ein einfaches Strukturmodell für graphische Informationsformate entwickeln, nach dem sich ein Diagramm in Hintergrund, Rahmen, Bezeichner und *specifier* als der das Darstellungsformat instantii-

renden und parametrisierenden Information gliedert. Im Beispiel eines Liniendiagramms mit Werkstoffkennkurven bildet das Koordinatensystem den Rahmen, dessen Erklärung über die Bezeichner (Achsenbeschriftung und Legende) erfolgt. Die Werkstoffkurven als *specifier* parametrisieren das Liniendiagramm, wobei der Hintergrund in der Regel leer bleibt.

CLEVELAND 1985 hat durch eine Reihe psychophysikalischer Experimente nachgewiesen, daß elementare Verarbeitungsroutinen der visuellen Wahrnehmung für die Leistungsfähigkeit graphischer Darstellungen verantwortlich sind und sie nach dem Grad ihrer Exaktheit geordnet. Danach sind Liniendiagramme für die Beurteilung funktionaler Zusammenhänge und globaler Trends besonders geeignet, da sich die Position visueller Elemente (die Punkte und Liniensegmente der Kurve) auf einer gemeinsamen Skala besonders gut einschätzen lassen. Erst das prozessuale Modell der Graphenwahrnehmung von PINKER 1990 gibt eine tragfähige Grundlage einer Modellbildung für das graphische Retrieval ab, da seine Theorie anders als die CLEVELANDS nicht nur lokale Aspekte der Wahrnehmung untersucht, sondern den Gesamtprozeß der Grapheninterpretation berücksichtigt. Dabei nimmt PINKER an, daß der Betrachter im Langzeitgedächtnis über je nach Erfahrung unterschiedlich detailliert ausgeprägte Graph-Schemata für unterschiedliche Formate verfügt, die bei der Betrachtung eines Diagramms durch dessen Information im Arbeitsgedächtnis instantiiert werden und die die Wahrnehmung des Diagramms steuern. Die *graph schemas* reflektieren auch die Tatsache, daß in graphischen Informationsdarstellungen Modalitätsmischungen von graphischen und textuellen Elementen auftreten, die durch unterschiedliche Prozesse interpretiert werden müssen. Neben die Wahrnehmung von Kurvenformen durch elementare Wahrnehmungsroutinen tritt z.B. die bewußte kognitive Entschlüsselung der Bezeichner und die Berechnung exakter Werte im Koordinatengitter.

Für das graphische Retrieval wird der einfache Wahrnehmungs- und Interpretationsprozeß zu einem zyklischen Modell erweitert, bei dem die visuelle Vorstellungsfähigkeit des Betrachters, seine graphischen Anfrageoperationen (Handlungsaspekt) und die Recherche durch das System einen Kreislauf aus Informationsinterpretation, Anfrageerstellung, Recherche und erneuter Darstellung der Suchergebnisse mit einer sich potentiell anschließenden weiteren Recherche entstehen lassen. Aus der Strukturanalyse des Darstellungsformates Liniendiagramm und den typischen Fragestellungen an diesen Darstellungsmodus lassen sich drei Grundtypen visueller Anfragen ableiten: *Abstrakte* Anfrageverfahren, die keinen direkten Bezug zur im Diagramm dargestellten Information aufweisen, *relative* Verfahren, die in ihrer visuellen Syntax direkt von der Vorlageinformation beeinflußt werden, und schließlich ein *produktives* Verfahren, bei dem der Benutzer selbst einen *specifier* als Recherchehypothese zeichnet, im Fall des Liniendiagramms also eine (Werkstoff-)Kurve skizziert.

Das experimentelle Recherchesystem *Wing-Graph* wurde auf der Grundlage des Kreislaufmodells implementiert und stellt zur Recherche mit Liniendiagrammen verschiedene *abstrakte*, *relative* und ein *produktives* Suchverfahren zur Verfügung.

Der Schwerpunkt der visuellen Suchsprache liegt auf den *relativen* Verfahren, die unterschiedliche Deutungen des Ähnlichkeitsbegriffes visuell abbilden (Streubänder um Kurven, Besser-Schlechter-Relation zur Bezugskurve, unmittelbarer Vergleich mehrerer Kurven). Neben der visuellen Rechtersprache als Kern des Systems bietet *Wing-Graph* dem Benutzer eine Reihe weiterer Module zur Unterstützung des Rechercheprozesses an. In Ikonen dargestellte Werkstoffkurven machen den Ersteinstieg in die graphische Recherche möglich, wobei nach erfolgreicher Suche ein Ablagebehälter die Ergebnisse als Kurvenikonen aufnehmen kann. Über eine Liste aller verfügbarer Datensätze läßt sich der Ersteinstieg in die Recherche mit den gewöhnlichen Mitteln einer graphischen Benutzerschnittstelle bewerkstelligen. Da trotz der Betonung des visuellen Denkens auf eine alphanumerische Präsentation der Datensätze nicht verzichtet werden kann, bietet ein Tabellenbehälter die zu den jeweils visualisierten Kurven zugeordneten Meßwertreihen an. Über ein eigenes Werkzeug läßt sich die gewünschte Kenngröße auswählen, die die Parameter des Liniendiagramms (Achsenskalierung, Bezeichner etc.) bestimmt. Die Oberflächen-gestaltung orientiert sich dabei an der Designmetapher eines objekt-orientierten Werkzeugsystems, wie sie im WOB-Modell entwickelt wurde. Sie sieht eine Strukturierung der Systemfunktionalität durch einzelne, wechselseitig aufeinander einwirkende Werkzeugobjekte vor. In diesem Sinn verfügt *Wing-Graph* über verschiedene Module, die das Darstellungsfenster modifizieren und parametrisieren bzw. selbst von ihm beeinflußt werden. Die Suchverfahren der visuellen Sprache lassen sich als unterschiedliche Möglichkeiten deuten, das Interaktionswerkzeug für den graphischen Dialog mit dem Liniendiagramm zu einzustellen.

Die Evaluierung von *Wing-Graph* durch Werkstoffingenieure eines Kooperationspartners von *Wing-IIR* hatte zwei wesentliche Ziele: Zum einen sollte die prinzipielle Akzeptanz des graphischen Retrieval untersucht werden, zum anderen war auf der Detailebene die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Anfrageverfahren zu vergleichen und zu überprüfen, inwieweit sich visuelle Vorstellungsfähigkeit und graphische Produktionsfähigkeit auf den Rechercheprozeß auswirken. Neben der hohen Akzeptanz für das neue Suchverfahren bestätigen die Ergebnisse im wesentlichen die herausragende Bedeutung der Nutzung von Vorlageinformation durch *relative* Suchverfahren. Zugleich validiert diese Beobachtung die Hypothese über die Einsatzmöglichkeit graphischer Recherchen als *Ergebnisretrieval*, da die Vorlageinformation einen vorangegangenen Rechterschritt voraussetzt. Die kognitive Bruchstelle zwischen Ergebnispräsentation und Folgeanfragen ist durch die Verwendung der graphischen Retrievalkomponente deutlich vermindert, da kein Modalitätsbruch zwischen Interpretation und Anfrageerstellung auftreten kann.

In der abschließenden Überarbeitung der *Kernimplementierung* von *Wing-Graph* standen neben Detailverbesserungen auf der Grundlage der empirischen Ergebnisse und Gestaltungsvorschlägen zur erweiterten Wechselwirkung zwischen graphischem Retrieval und einer multimodalen Systemumgebung weiterführende Überlegungen zur Generalisierung des graphischen Retrieval auf einer geänderten Datengrundlage

zur Diskussion. In einem zweiten Benutzertest verwendeten Wirtschaftsgeographen *Wing-Graph* zur Recherche in Warenein- und Ausfuhrdaten. Dabei zeigte sich zwar eine ähnlich hohe grundsätzliche Akzeptanz, im Detail war aber festzustellen, daß sich die für die Domäne Werkstoffinformation implementierte Suchsemantik der graphischen Anfrageverfahren nicht ohne Modifikation auf andere Sachgebiete übertragen läßt. Die für die weitergehende Flexibilisierung der Suchsemantik und die Generalisierung auch hinsichtlich des Darstellungsformates notwendige Wissenskomponente (Domänenwissen und Benutzermodell) konnte nur in ihren Grundzügen angedeutet werden.

Die weiterführenden Überlegungen machen deutlich, daß das graphische Retrieval mit Liniendiagrammen nur ein erster Schritt ist, visuelles Denken über die Standardelemente graphischer Benutzeroberflächen hinaus für die Arbeit mit Informationssystemen fruchtbar zu machen. Die Verwendung verschiedener Klassen visueller Operationen über graphischen Vorlagestrukturen gibt ein Handlungsmuster vor, dessen Verwendung weit über das Retrieval numerischer Information mit Diagrammen hinaus für eine Vielzahl von Informationssystemen in unterschiedlichen Domänen denkbar ist.

10 Anhänge

10.1 Literaturverzeichnis

- AALBERSBERG, Ijsbrand Jan (1992). „Incremental Information Retrieval.“ In: BELKIN, INGWERSEN & MARK PEJTERSEN (1992), 11-22.
- AGGER, Sten; JENSEN, Henrik (1989). The Book House. Visual Design. Risø National Laboratory, Roskilde, Dänemark, Arbeitsbericht Risø-M-2812.
- AGOU, Shinji; RASKIN, Victor; SALVENDY, Gavriel (1993). „Combining Natural Language with Direct Manipulation: The Conceptual Framework for a Hybrid Human-Computer Interface.“ In: Behaviour & Information Technology 12(1) (1993), 48-53.
- ALLAN, Jeff B.; WYVIL, Brian; WITTEN, Ian H. (1989). „A Methodology for Direct Manipulation of Polygon Meshes.“ In: EARNSHAW, Rae A.; WYVILL, Brian (edd.) (1989). New Advances in Computer Graphics. Proc. CG International '89. Berlin et al.: Springer, 451-469.
- ALLEN, Frank H. et al. (1991). „The Development of Versions 3 and 4 of the Cambridge Structural Database System.“ In: Journal of Chemical Information and Computer Sciences 31 (1991), 187-204.
- AMMERSBACH, Karin (1987). „Unterstützungsbedarf bei Recherchen an Werkstoffdatenbanken auf der Basis empirischer Ergebnisse.“ GMD-IPSI, Unveröffentlichtes Manuskript, Darmstadt: GMD.
- AMMERSBACH, Karin; FUHR, Norbert; KNORZ, Gerhard (1989). „Eine neue Generation von Werkstoffdatenbanken.“ In: Proc. Deutscher Dokumentartag 1989, Frankfurt: Deutsche Gesellschaft für Dokumentation, 249 - 261.
- ANDERSON, David B. (1992). „Expert Systems and Materials Property Databases.“ In: BARRY & REYNARD (1992), 243-254.
- ANDERSON, J.R.; BOWER, G.H. (1973). Human Associative Memory. New York: V.H. Winston.
- ANDRÉ, Elisabeth et al. (1993). „WIP: The Automatic Synthesis of Multimodal Presentations.“ In: MAYBURY (1993A), 75-93.
- ANGELACCIO, Michele; CATARCI, Tiziana; SANTUCCI, Giuseppe (1989). „QBD: A Graphical Query Language with Recursion.“ In: SALVENDY, Gavriel; SMITH, Michael J. (edd.) (1989). Designing and Using Human-Computer Interfaces and Knowledge-Based Systems. Proc. of the Third International Conference on Human-Computer Interaction, Boston, September 1989. 2 Vols. Amsterdam: Elsevier [= Advances in Human Factors/Ergonomics, Vol. 12A/B], 384-391.
- ARENS, Yigal; MILLER, Lawrence; SONDHEIMER, Norman (1991). „Presentation Planning Using an Integrated Knowledge Base.“ In: SULLIVAN & TYLER (1991), 241-258.
- ARNDT, Timothy (1990). „A Survey of Recent Research in Image Database Management.“ In: Proc. of the 1990 IEEE Workshop on Visual Languages. Los Alamitos/CA: IEEE Computer Society Press, 92-97.

- ARNHEIM, Rudolf (1969). *Visual Thinking*. Berkeley/CA: University of California Press.
- AUDDINO, Annamaria; AMIEL, Eric; BHARGAVA, Bharat (1991). „Experiences with SUIPER, a Database Visual Environment.“ In: DEXA 91. Database and Expert Systems Applications. Proc. of the International Conference, Berlin, August 1991. Wien et al.: Springer, 172-178.
- BALKWILL, Peter. (1991). „Achilles - an Expert System on Corrosion and Corrosion Control.“ In: DOYAMA et al. (1991), 59-63.
- BALZERT, Helmut et al. (edd.) (1988). *Einführung in die Software-Ergonomie*. Berlin und New York: DeGruyter [= *Mensch Computer Kommunikation Grundwissen Bd. 1*].
- BARICHELLA, Enrico et al. (1990). „A Visual Environment for Liver Simulation Studies.“ In: ICHIKAWA et al. (1990), 255-275.
- BARRETT, Anthony J. (1989). „CODATA Activities on Materials Data.“ In: GLAZMAN & RUMBLE (1989), 99-108.
- BARRY, Tom I.; REYNARD, Keith W. (edd.) (1992). *Computerization and Networking of Materials Databases, Vol. 3*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials [=ASTM-STP 1140].
- BATINI, Carlo et al. (1992). „Visual Query Systems: A Taxonomy.“ In: Knuth, E.; Wegner, L.M. (edd.) (1992). *Visual Database Systems II*. Proc. IFIP TC2/WG2.6 Second Working Conference, Budapest, September/Oktober 1991. Amsterdam et al.: North-Holland (Elsevier) [= IFIP Transactions A (1992) Vol.A-7], 153-68.
- BAUER, Gabi (1990A). *Verfahren zur Unterstützung des Rechercheprozesses*. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 3, Juni 1990.
- BAUER, Gabi (1990B). „Analytisch-interpretative Auswertung der Retrievalprotokolle.“ In: KRAUSE, Jürgen; WOMSER-HACKER, Christa (edd.) (1990). *Das Deutsche Patentinformationssystem. Entwicklungstendenzen, Retrievaltests und Bewertungen*. Köln et al.: Carl Heymanns, 77-114.
- BEIMEL, Jürgen; SCHINDLER, Raimund; WANDKE, Hartmut (1993). „Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs). Understanding and Acceptance of the First Draft International Standard ISO 9241 Part 10: Dialogue Principles.“ *Arbeitspapier ISO/TC 159/SC 4/WG 5 N 234* [Humboldt-Universität Berlin].
- BELKIN, Nicholas J. (1990). „The Cognitive Viewpoint in Information Science.“ In: *Journal of Information Science* 16(1) (1990), 11-15.
- BELKIN, Nicholas J. (1993). „Interaction with Texts: Information Retrieval as Information Seeking Behavior.“ In: KNORZ, KRAUSE & WOMSER-HACKER (1993), 55-66.
- BELKIN, Nicholas J.; INGWERSEN, Peter; MARK PEJTERSEN, Annelise (edd.) (1992). *SIGIR '92*. Proc. of the Fifteenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Kopenhagen, Juni 1992. New York: ACM [= SIGIR Forum, special issue].
- BENBASAT, Izak; TODD, Peter (1993). „An Experimental Investigation of Interface Design Alternatives: Icon vs. Text and Direct Manipulation vs. Menus. In: *International Journal of Man-Machine Studies* 38 (1993), 369-402.
- BERETTA, Maurizio et al. (1986). „A Visual Language for Hepatologist/Machine Communications.“ In: Proc. of the 1986 IEEE Computer Society Workshop on Visual Languages. Dallas/TX, Juni 1986. Washington/DC: IEEE Computer Society Press, 159-166.
- BERTIN, Jacques (1974). *Graphische Semiologie*. Berlin und New York: DeGruyter.

- BERTIN, Jacques (1982). *Graphische Darstellungen*. Berlin und New York: DeGruyter.
- BIEDERMAN, Irving (1987). „Recognition-by-components: A Theory of Human Image Understanding.“ In: *Psychological Review* 94 (1987), 115-147.
- BIEDERMAN, Irving (1990). „Higher-Level Vision.“ In: OSHERSON, KOSSLYN & HOLLERBACH (1990), 41-72.
- BINOT, J.-L. et al. (1990). „Architecture of a Multimodal Dialogue Interface for Knowledge Based Systems.“ In: *ESPRIT '90. Proc. of the Annual ESPRIT Conference (EUR 13148)*. Dordrecht: Kluwer, 412-433.
- BLASER, A. (ed.) (1980). *Data Base Techniques for Pictorial Applications*. Proc. of the Conference, Florenz, Juni 1979. Berlin et al.: Springer [= *Lecture Notes in Computer Science* Vol. 81].
- BLOCK, Ned (1990). „The Computer Model of the Mind.“ In: OSHERSON, David N., SMITH, E.E. (ed.) (1990). *Thinking. An Invitation to Cognitive Science*, vol. 3. Cambridge/MA & London: The MIT Press, 247-288.
- BOFF, Kenneth R.; KAUFMAN, Lloyd; THOMAS, James P. (1986). *Handbook of Perception and Human Performance*. Vol. II: *Cognitive Processes and Performance*. New York et al.: Wiley.
- BOOKSTEIN, Abraham; CHIARAMELLA, Yves (ed.) (1991). *SIGIR '91. Proc. of the Fourteenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, Chicago, Oktober 1991. New York: ACM Press [= *SIGIR Forum*, special issue].
- BORDOGNA, G. et al. (1989). „Iconic Queries on Pictorial Data.“ In: *Proc. of the 1989 IEEE Workshop on Visual Languages*. Rom, 1989. Washington/DC: IEEE Computer Society Press, 38-42.
- BORTZ, Jürgen (1984⁴). *Lehrbuch der empirischen Forschung für Sozialwissenschaftler*. Berlin et al.: Springer.
- BREITKOPF, Günther (1994). *Verfahren zur Ermittlung eines 'ähnlichen' Werkstoffs*. Unveröff. Arbeitsmaterialie für das Projekt *Wing-IIR*. München: MTU GmbH.
- BROOKES, B.C. (1980). „The Foundations of Information Science: Part I: Philosophical Aspects.“ In: *Journal of Information Science* 2 (1980), 125-133.
- BROWN, Alan W.; TOOK, Roger K.; DALY, William G. (1990). „Design and Construction of Graphical Database User Interfaces Using Surface Interaction.“ In: BROWN, Alan W.; HITCHCOCK, Peter (ed.) (1990). *Proc. of the 8th British National Conference on Databases*, York, Juli 1990. London: Pitman, 243-262.
- BRUCE, Vicki; GREENE, Patrick R. (1985). *Visual Perception. Physiology, Psychology, and Ecology*. Hillsdale/N.J.: Lawrence Erlbaum.
- BRUNER, Jerome S. (1957). „On Perceptual Readiness.“ In: *Psychological Review* 64 (1957), 123-152.
- BUDDE, Reinhard et al. (ed.) (1984). *Approaches to Prototyping*. Proc. of the Working Conference on Prototyping, Namur, October 1983. Berlin et al.: Springer.
- BÜTTNER, Peter (1988). „Fakten-Datenbanken.“ In: *Cogito* 3 (1988), 18 - 21.
- CAMPANAI, M; DEL BIMBO, A.; NESI, P. (1991). „Linguaggio visuale per interrogazioni su basi di immagini attraverso manipolazione diretta di modelli 3D“ In: *Pixel* 12 (1991), 5-12.
- CAMPBELL, Douglas M.; EMBLEY, David W.; CZEJDO, Bogdan (1987). „Graphical Query Formulation for an Entity-Relationship Model.“ In: *Data & Knowledge Engineering* 2 (1987), 89-121.

- CARD, Stuart K.; MORAN, T.P.; NEWELL, Alan. (1983). *The Psychology of Human-Computer-Interaction*. Hillsdale/NJ: Lawrence Erlbaum.
- CARROLL, John M. (ed.) (1991). *Designing Interaction. Psychology at the Human-Computer Interface*. Cambridge University Press.
- CARTER, Launor F. (1947). „An Experiment on the Design of Tables and Graphs Used for Presenting Numerical Data.“ In: *Journal of Applied Psychology* 31 (1947), 640-650.
- CASNER, Stephen Michael (1990). *Task-Analytic Design of Graphic Presentations (Human-Computer Interaction)*. Ph.D. Thesis, University of Pittsburgh.
- CATARCI, Tiziana; SANTUCCI, Giuseppe (1989). „Query by Diagram: a Graphic Query System.“ In: *Proc. 7th International Conference on Entity Relationship Approach 1989*, 291-308.
- CATARCI, Tiziana; SANTUCCI, Giuseppe; ANGELACCI, Michele (1993). „Fundamental Graphical Primitives for Visual Query Languages.“ In: *Information Systems* 18(2) (1993), 75-98.
- CHAMBERS, John M. et al. (1984). *Graphical Methods for Data Analysis*. Belmont/CA: Wadsworth International Press.
- CHANG, Ning San; FU, King-Sun (1979). „Query-by-Pictorial Example.“ In: *COMPSAC '79. Proc. International Computer Software & Applications Conf. Chicago/IL*, 325-330.
- CHANG, Shi-Kuo (1989). *Principles of Pictorial Information Systems Design*. Englewood Cliffs/NJ: Prentice Hall.
- CHANG, Shi-Kuo (1990). „Visual Languages: A Tutorial and Survey.“ In: *GORNY & TAUBER (1990)*, 1-23.
- CHANG, Shi-Kuo et al. (1987). „Icon Purity - Towards a Formal Theory of Icons.“ In: *Proc. of the 1987 IEEE Computer Society Workshop on Visual Languages*. Washington/DC: IEEE Computer Society Press, 3-16.
- CHANG, Shi-Kuo; ICHIKAWA, Tadao; LIGOMENIDES, Panos A. (edd.) (1986). *Visual Languages*. New York: Plenum.
- CHANG, Shi-Kuo; JUNGERT, Erland (1990). „A Spatial Knowledge Structure for Visual Information Systems.“ In: *ICHIKAWA et al. (1990)*, 277-304.
- CHARLES, Stephen; SCRIVENER, Stephen (1990). „Using Depictive Queries to Search Pictorial Databases.“ In: *DIAPER, Dan et al. (edd.) (1990). Human-Computer Interaction - INTERACT '90*. Amsterdam et al.: North-Holland (Elsevier), 493-498.
- CHASE, William G. (1986). „Visual Information Processing.“ In: *BOFF, KAUFMAN & THOMAS (edd.) (1986)*, 28/1-28/71.
- CHAUDHURI, Surajit (1990). „Generalization and a Framework for Query Modification.“ In: *Proc. Sixth International Conference on Data Engineering*. Los Alamitos/CA: IEEE Computer Society Press, 138-145.
- CHEN, Hsinchun; DHAR, Vasant (1990). „Online Query Refinement on Information Retrieval Systems: A Process Model of Searcher/System Interactions.“ In: *VIDICK (1990)*, 115-133.
- CID [Centre de Hautes Etudes Internationales d'Informatique Documentaire, Paris]; CASIS [Center for the Advanced Study of Information Systems, Inc., New York] (edd.) (1994). *Proc. RIAO '94 - Intelligent Multimedia Information Retrieval Systems and Management*, New York, Oktober 1994.
- CLARK, James M.; PAIVIO, Allan (1987). „A Dual Coding Perspective on Encoding Processes.“ In: *MCDANIEL, Mark A.; PRESSLEY, Michael (edd.) (1987). Imagery and Related Mnemonic Processes. Theories, Individual Differences, and Applications*. New York et al.: Springer, 5-33.

- CLEVELAND, William S. (1985). *The Elements of Graphing Data*. Belmont/CA: Wadsworth International Press.
- CLEVELAND, William S.; MCGILL, Robert (1984). „Graphical Perception: Theory, Experimentation and Application to the Development of Graphical Methods.“ In: *Journal of the American Statistical Association* 79 (1984), 531-554.
- COHAN, Peter (1987). „Current Technologies in Chemical Structure and Substructure Searching Using Microcomputers.“ In: *Online Information '87*, 533-546
- CROFT, W.B. (1987). „Approaches to Intelligent Information Retrieval.“ In: *Information Processing and Management* 23 (1987) 249-254.
- CROFT, Bruce W.; VAN RIJSBERGEN, Cornelis J. (edd.) (1994). *SIGIR '94. Proc. of the Seventeenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, Dublin, Juli 1994. London et al.: Springer.
- CROS, Frederic; BROCK, Philip J. (1988). „A Method for Providing Full Interactive Control of the Shape of 3-D-Curves and Figures.“ In: DUCE, David A.; JANCENE, P. (edd.) (1988). *Eurographics '88*. Amsterdam et al.: North-Holland (Elsevier), 443-455.
- CROUCH, Donald B.; KORFHAGE, Robert R. (1990). „The Use of Visual Representations in Information Retrieval Applications.“ In: ICHIKAWA, JUNGERT & KORFHAGE (1990), 305-326.
- CROXTON, Frederick E.; STEIN, Harold (1932). „Graphic Comparison by Bars, Squares, Circles and Cubes.“ In: *Journal of the American Statistical Association* 27 (1932), 54-60.
- CULBERTSON, Hugh M.; POWERS, Richard D. (1959). „A Study of Graph Comprehension Difficulties.“ In: *AV Communication Review* 7 (1959), 97-100.
- CZEJDO, Bogdan; REDDY, Venugopal; RUSINKIEWICZ, Marek (1988). „Design and Implementation of an Interactive Graphical Query Interface for a Relational Database.“ In: *Proc. of the 1988 IEEE Workshop on Visual Languages*. Washington/DC: IEEE Computer Society Press, 14-20.
- DALY, William G. (1991). „Graphical Interfaces for Database Management.“ In: JACKSON & ROBINSON (1991), 168-188.
- DAVIS, Steve J. (1990). „Experimental Investigation of the Utility of Data Structure and E-R-Diagrams in Database Queries.“ In: *International Journal of Man-Machine Studies* 32 (1990), 449-459.
- DEBILI, Fathi; FLUHR, Christian; RADASOA, Pierre (1989). „About Reformulation in Full-Text IRS.“ In: *Information Processing & Management* 25(6) (1989), 647-657.
- DEL BIMBO, A.; CAMPANAI, M.; NESI, P. (1992). „3-D Visual Query Language for Image Databases.“ In: *Journal of Visual Languages and Computing* 3(3) (1992), 257-271.
- DEMAID, Adrian; OGDEN, Sean; ZUCKER, John (1992). „Materials Selection: Object-Oriented Structures for Factoring Polymer Information.“ In: BARRY & REYNARD (1992), 458-471.
- DESANCTIS, Gerardine (1984). „Computer Graphics as Decision Aids: Directions for Research.“ In: *Decision Sciences* 15 (1984), 463-487.
- DICKSON, Gary W.; DESANCTIS, Gerardine; MCBRIDE, D.J. (1986). „Understanding the Effectiveness of Computer Graphics for Decision Support.“ In: *Communications of the ACM* 29 (1986), 40-47.
- DOMKE, Wilhelm (1986¹⁰). *Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung*. Düsseldorf: Girardet.
- DOYAMA, M. et al. (edd.) (1991). *Computer Aided Innovation of New Materials*. Amsterdam: North-Holland (Elsevier).

- DZIDA, Wolfgang (1985). „Ergonomische Normen für die Dialoggestaltung.“ In: BULLINGER, H. (ed.) (1985). *Software-Ergonomie '85 - Mensch-Computer Interaktion*. Stuttgart: Teubner 1985 [= Berichte des German Chapter of the ACM Bd. 24], 430 - 444.
- ELLIS, Stephen R. et al. (edd.) (1991). *Pictorial Communication in Virtual and Real Environments*. London et al.: Taylor & Francis.
- ELMASRI, Ramez A.; LARSON, James A. (1985). „A Graphical Query Facility for ER Databases.“ In: Proc. 4th International Conference on Entity-Relationship Approach. Chicago/Ill, October 1985, 236-245.
- ENCARNAÇÃO, Jose L.; NEUMANN, T. (1980). „A Survey of DB Requirements for Graphical Applications in Engineering.“ In: Blaser (1980), 285-297.
- ENDERLE, Günter; GRAVE, Michel; LILLEHAGEN, Frank (edd.) (1986). *Advances in Computer Graphics I*. Berlin et al.: Springer.
- ENGLMEIER, Kurt (1993). *Transparentes Information Retrieval - Ein neuer Ansatz und seine Realisierung im experimentellen Informationssystem WIDAB*. Diss. Rer. Oec. Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften St. Gallen (Dissertation Nr. 1409).
- FIENBERG, Stephen G. (1979). „Graphical Methods in Statistics.“ In: *American Statistician* 33 (1979), 165-178.
- FLOYD, Christiane (1984). „A Systematic Look at Prototyping“ In: BUDDÉ et al. (1984), 1-18.
- FOLEY, James D. et al. (1990²). *Computer Graphics*. Reading/MA et al.: Addison-Wesley.
- FOX, Edward A. (1993). „From Information Retrieval to Networked Multimedia Information Access.“ In: KNORZ, KRAUSE & WOMSER-HACKER (1993), 116-124.
- FOX, Edward A. et al. (1993). „Development of a Modern OPAC: From REVTOLC to MARIAN.“ In: KORFHAGE, RASMUSSEN & WILLETT (1993), 248-259.
- GARDNER, Howard (1985). *The Mind's New Science*. New York: Basic Books.
- GAUCH, Susan; SMITH, John B. (1991). „Search Improvement via Automatic Query Reformulation.“ In: *ACM Transactions on Information Systems* 9(3) (1991), 249-280.
- GEHRMANN, Ulrich; MARX, Jutta (1991). *Die erste Serie von Benutzertests des ersten Wing-IRR Prototyps*. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IRR*, Arbeitsbericht 14, Mai 1991.
- GEWIPLAN [= Gesellschaft für Wirtschaftsförderung und Marktplanung] (1986). *Bedarfsanalyse für Werkstoff-Informationen*.
- GHANI, Jawold Abdul (1981). *The Effects of Information Representation and Modification on Decision Performance*. Ph.D. Thesis, University of Pennsylvania. Ann Arbor/MI: University Microfilms International.
- GILLESPIE, Thomas Kevin (1991). *Mapping Thoughts: Visual Interfaces for Information Retrieval*. Ph.D. Thesis, University of California at Berkeley.
- GINGRAS, L. et al. (1988). „The Effect of Format on Information Processing Using Graphics.“ In: MAGNENAT-THALMANN & THALMANN (1988), 630-642.
- GLAESER, Phyllis S. (ed.) (1987). *Computer Handling and Dissemination of Data*. Proc. of the 10th International CODATA Conference. Ottawa, Juli 1986. Amsterdam: North-Holland (Elsevier).
- GLAZMAN, J.S.; RUMBLE, J.R., Jr. (edd.) (1989). *Computerization and Networking of Materials Databases, Vol. 1*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials [= ASTM-STP 1017].

- GLÖCKNER-RIST, Angelika (1993). „Suche und Du wirst vielleicht finden: Die Formulierung von Suchproblemen und ihre Transformation in Suchanfragen.“ In: KNORZ, KRAUSE & WOMSER-HACKER (1993), 183-198.
- GOODNOW, Jacqueline J.; LEVINE, Rochelle, A. (1973). „‘The Grammar of Action’: Sequence and Syntax in Children’s Copying.“ In: *Cognition* 4 (1973), 82-98.
- GOPHER, Daniel (1984). „The Contribution of Vision-Based Imagery to the Acquisition and Operation of a Transcription Skill.“ In: PRINZ & SANDERS (1984), 195-208.
- GORDON, Ian E. (1989). *Theories of Visual Perception*. Chichester et al.: Wiley.
- GORNY, Peter; TAUBER, Michael J. (edd.) (1990). *Visualization in Human-Computer Interaction*. 7th Interdisciplinary Workshop on Informatics and Psychology, Scharding, Mai 1988. Berlin et al.: Springer [= *Lecture Notes in Computer Science* Vol. 282].
- GOULD, John D. (1987). „How to Design Usable Systems.“ In: HELANDER (1988), 757-789.
- GRÄFEN, Hubert (ed.) (1991). *Lexikon Werkstofftechnik*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- GRATTIDGE, Walter et al. (1987). „A Versatile Data Capture System for Archival Graphics and Text.“ In: GLAESER (1987) 46-51.
- GRATTIDGE, Walter; LUND, W. Bruce; WESTBROOK, Jack H.; (1992). „Problems of Interpretation and Representation in the Computerization of a Printed Reference Work on Materials Data.“ In: BARRY & REYNARD (1992), 35-63.
- GREENSTEIN, Joel S.; ARNAUT, Lynn Y. (1988). „Input Devices.“ In: HELANDER (1988), 495-519.
- GUILLOTIN, Thierry; PLAINFOSSE, Agnès (1990). „ACORD: Construction et interrogation de bases de connaissances au moyen du langage naturel et du graphisme.“ In: *Expert Systems and their Applications*. Tenth international workshop, specialized conference on Natural Language Processing and its Applications, Avignon, Mai/Juni 1990. Nanterre: EC2, 19-33.
- GUPTA [GUPTA TECHNOLOGIES INC.] (1991A). *SQLBase. SQLTalk. Version 5. Language Reference Manual*. Gupta Technologies Inc. [ohne Ort].
- GUPTA [GUPTA TECHNOLOGIES INC.] (1991B). *SQLBase Version 5. C Application Programming Interface. Reference Manual*. Gupta Technologies Inc. [ohne Ort].
- HACKER, Winfried (1986). *Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern et al.: Huber [= *Schriften zur Arbeitspsychologie* Nr. 41].
- HAMANO, T. (1988). „A Similarity Retrieval Method for Image Databases Using Simple Graphics.“ In: *Proc. IEEE Workshop on Languages for Automation: Symbiotic and Intelligent Robotics*. Washington/DC: IEEE Computer Society Press, 149-154.
- HÄNGGI, Dieter (1989). *Visuelle Vorstellungsfähigkeit*. Diss. Phil. Freiburg (Schweiz) 1988. Freiburg (Schweiz): Universitätsverlag/Bern et al.: Hans Huber [= *Freiburger Beiträge zur Psychologie* Bd. 5].
- HARADA, Minoru; KUNII, Toshiyasu L. (1984). „A Recursive Graph Theory - as a Formal Basis for a Visual Design Language.“ In: *Proc. of the 1984 IEEE Computer Society Workshop on Visual Languages*. Hiroshima, Dezember 1984. Silver Spring/MD: IEEE Computer Society Press, 124-135.
- HEARST, Marti A. (1994). „Using Categories to Provide Context for Full-Text Retrieval Results.“ In: *CID & CASIS* (1994), 115-130.
- HELANDER, Martin (ed.) (1988). *Handbook of Human-Computer Interaction*. Amsterdam et al.: North-Holland (Elsevier).

- HELM, Richard; MARRIOTT, Kim (1991). „A Declarative Specification Semantics for Visual Languages.“ In: *Journal of Visual Languages and Computing* 2 (1991), 311-331.
- HEMMJE, Matthias (1993). „LyberWorld - Eine 3D-basierte Benutzerschnittstelle für die computer-unterstützte Informationssuche in Dokumentmengen.“ In: *GMD-Spiegel* 23(1) (1993), 56-63.
- HEMMJE, Matthias (1994). „LyberWorld - A Visualization User Interface Supporting Full-text Retrieval.“ In: CROFT & VAN RIJSBERGEN (1994), 249-259.
- HENNINGS, Ralf-Dirk (1991). *Informations- und Wissensverarbeitung*. Berlin: DeGruyter [= *Mensch Computer Kommunikation* Bd.6].
- HERCZEG, Michael (1994). *Software-Ergonomie. Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion*. Bonn et al.: Addison-Wesley.
- HERGET, Josef; KUHLEN, Rainer (edd.) (1990). *Pragmatische Aspekte beim Entwurf und Betrieb von Informationssystemen. Proc. 1. Internationales Symposium für Informationswissenschaft (ISI '90)*. Konstanz: Universitätsverlag [= *Schriften zur Informationswissenschaft* Bd. 1].
- HIRANO, Tohru (1991). „A Design Expert System for Functionally Gradient Materials.“ In: DOYAMA et al. (1991), 945-950.
- HIRATA, Kyoji; KATO, Toshikazu (1992). „Query by Visual Example.“ In: PIROTTE, DELOBEL & GOTTLÖB (1992), 56-71.
- HOLLANDS, J.G.; SPENCE, Ian (1992). „Judgements of Change and Proportion in Graphical Perception.“ In: *Human Factors* 34(3) (1992), 313-334.
- HOLLNAGEL, Erik (1991). „The Influence of Artificial Intelligence on Human-Computer Interaction: Much Ado About Nothing?“ In: RASMUSSEN, Jens; ANDERSEN, Henning B.; BERNSEN, Niels Ole (edd.) (1991). *Research Directions in Cognitive Science: European Perspectives. Vol. 3*. Hove: Lawrence Erlbaum, 153-202.
- HOSSAIN, M. Kamal; BARRY, Tom (1992). „The Needs of Users and their Response to Materials Databases.“ In: BARRY & REYNARD (1992), 3-14.
- HUTCHINS, E. (1989). „Metaphors for Interface Design.“ In: TAYLOR, NÉEL & BOUWHUIS (1989), 11-28.
- HÜTTE (1991²⁹). *Hütte - Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften*. Im Auftr. d. Wiss. Ausschusses d. Akad. Vereins Hütte e.V. hrsg. v. Horst CZICHOS. 29., völlig neu bearb. Aufl. Berlin et al.: Springer.
- IAM/JRC [Commission of the European Communities. Joint Research Centre, Institute for Advanced Materials - Petten/NL Site] (ed.) (1993). *HTM-DB User Manual. Description of the Use of the HTM-DB*. Juli 1993.
- ICHIKAWA, Tadao; JUNGERT, Erland; KORFHAGE, Robert R. (edd.) (1990). *Visual Languages and Applications*. New York und London: Plenum.
- IIVARI, Juhani (1984). „Prototyping in the Context of Information Systems Design.“ In: BUDDE et al. (1984), 261-277.
- INGWERSEN, Peter (1992). *Information Retrieval Interaction*. London et al.: Taylor Graham.
- IWATA, Shuichi (1989). „Experts Systems Interfaces for Materials Data Bases.“ In: GLAZMAN & RUMBLE (1989), 175-184.
- JACKSON, M.S.; ROBINSON, A.E. (edd.) (1991). *Aspects of Databases. Proc. of the Ninth British National Conference on Databases*, Wolverhampton, Juli 1991.
- JARVENPAA, Sirkka L. (1989). „The Effect of Task Demands and Graphic Format on Information Processing Strategies.“ In: *Management Science* 35(3) (1989), 285-303.

- JARVENPAA, Sirkka L.; DICKSON, Gary W. (1988). „Graphics and Managerial Decision Making: Research Based Guidelines.“ In: Comm. of the ACM 31(6) (1988), 764-774.
- JOLICOEUR, Pierre (1988). „Curve Tracing Operations and the Perception of Spatial Relations.“ In: PYLYSHYN, Zenon W. (ed.) (1988). *Computational Processes in Human Vision*. Norwood/N.J.: Ablex, 133-168.
- JOSEPH, Thoams; CARDENAS, Alfonso F. (1988). „PICQUERY: A High Level Query Language for Pictorial Database Management.“ In: IEEE Transactions on Software Engineering 14(5) (1988), 630-638.
- JUNGERT, Erland (1984). „Conceptual Modelling of Image Information.“ In: Proc. of the 1984 IEEE Computer Society Workshop on Visual Languages. Hiroshima, Dezember 1984. Silver Spring/MD: IEEE Computer Society Press, 120-123.
- JUNGERT, Erland (1986). „A Conceptual Image Data Model for Image Information Retrieval.“ In: CHANG et al. (1986), 285-301.
- JUNGERT, Erland (1990). „Towards a Visual Query Language for an Object Oriented Geographical Information System.“ In: Proc. of the 1990 IEEE Workshop on Visual Languages. Los Alamitos/CA: IEEE Computer Society Press, 132-137.
- KARSTEN, Karl G. (1923). *Charts and Graphs*. New York: Prentice Hall.
- KATO, Toshikazu; KURITA, Takio (1990). „Visual Interaction with Electronic Art Gallery.“ In: TJOA & WAGNER (1990), 234-240.
- KAUFMAN, J. Gilbert (1991). „Increasing Data System Responsiveness to End-User Expectations.“ In: KAUFMAN & GLAZMAN (1991), 103-113.
- KAUFMAN, J. Gilbert; GLAZMAN, J.S. (edd.) (1991). *Computerization and Networking of Materials Databases, Vol. 2*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials [= ASTM-STP 1106].
- KIM, Hyoung-Joo; KORTH, Henry F.; SILBERSCHATZ, Avi (1988). „PICASSO: A Graphical Query Language.“ In: *Software - Practice and Experience* 18(3) (1988), 169-203.
- KLINGER, Allen; PIZANO, Arturo (1989). „Visual Structure and Data Bases.“ In: KUNII (1989), 3-27.
- KNORZ, Gerhard; KRAUSE, Jürgen; WOMSER-HACKER, Christa (edd.) (1993). *Information Retrieval '93. Von der Modellierung zur Anwendung. Proc. 1. GI-Fachtagung Information Retrieval, Regensburg September 1993*. Konstanz: Universitätsverlag [= Schriften zur Informationswissenschaft Bd. 12].
- KOBSA, Alfred (1993). „Adaptivität und Benutzermodellierung in interaktiven Softwaresystemen.“ In: HERZOG, Otthein; CHRISTALLER, Thomas; SCHÜTT, Dieter (edd.) (1993). *Grundlagen und Anwendungen der Künstlichen Intelligenz. Proc. 17. Fachtagung für Künstliche Intelligenz, Berlin, September 1993*. Berlin et al.: Springer, 152-168.
- KÖHLER, Wolfgang (1947). *Gestalt Psychology*. New York: Liveright.
- KOK, André J. (1991). „A Review and Synthesis of User Modelling in Intelligent Systems.“ In: *The Knowledge Engineering Review* 6(1) (1991), 21-47.
- KORFHAGE, Robert R. (1991). „To See, or not to See - Is that the Query?“ In: BOOKSTEIN & CHIARAMELLA (1991), 134-141.
- KORFHAGE, Robert R.; RASMUSSEN, Edie; WILLETT, Peter (edd.) (1993). *SIGIR '93. Proc. of the Sixteenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Pittsburgh/PA, Juni 1993*. [= SIGIR Forum special issue].
- KOSSLYN, Stephen Michael (1985). „Graphics and Human Information Processing.“ In: *Journal of the American Statistical Association*. 80(391) (1985), 500-512.

- KOSSLYN, Stephen Michael (1989). „Understanding Graphs and Charts.“ In: Applied Cognitive Psychology 3 (1989), 185-226.
- KOSSLYN, Stephen Michael (1990). „Mental Imagery.“ In: OSHERSON, KOSSLYN & HOLLERBACH (1990), 73-97.
- KOSSLYN, Stephen Michael (1991). „A Cognitive Neuroscience of Visual Cognition: Further Developments.“ In: LOGIE & DENIS (1991), 351-381.
- KOSSLYN, Stephen Michael et al. (1979). „On the Demystification of Mental Imagery.“ In: The Behavioral and Brain Sciences 2 (1979), 535-581.
- KOSSLYN, Stephen Michael et al. (1984). „Individual Differences in Mental Imagery Ability: A Computational Analysis.“ In: Cognition 18 (1984), 195-243.
- KRAUSE, Jürgen (1986). Direkte Manipulation elektronischer Objekte und Metaphernverwendung. Linguistische Informationswissenschaft, Universität Regensburg, LIR-Arbeitsbericht, 1. Version Juli 1986.
- KRAUSE, Jürgen (1990). Zur Architektur von WING: Modellaufbau, Grundtypen der Informationssuche und Integration der Komponenten eines Intelligenten Information Retrieval. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 7, Oktober 1990.
- KRAUSE, Jürgen (1992A). „Intelligentes Information Retrieval. Rückblick, Bestandsaufnahme und Realisierungschancen. In: KUHLEN, Rainer (ed.) (1992). Experimentelles und praktisches Information Retrieval. Festschrift für Gerhard Lustig. Konstanz: Universitätsverlag [= Schriften zur Informationswissenschaft Bd. 3], 35-58.
- KRAUSE, Jürgen (1992B). WING-M2: Ein objektorientiertes, multimodales Werkzeugsystem für die Suche in Werkstoffdatenbanken. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 26, Juli 1992.
- KRAUSE, Jürgen (1993). „A Multilayered Empirical Approach to Multimodality: Towards Mixed Solutions of Natural Language and Graphical Interfaces. In: MAYBURY (1993A), 328-352.
- KRAUSE, Jürgen (1994). Das WOB-Modell. Auf der *Werkzeugmetapher* basierende strikt objekt-orientierte grafisch-direktmanipulative *Benutzeroberflächen*. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Arbeitsbericht, Juni 1994.
- KRAUSE, Jürgen et al. (1990). "WING - The Research Prototype of a Multi-modal Materials Information System Comprising Natural Language, Graphical/Direct Manipulation and Knowledge Based Components." In: HERGET & KUHLEN (1990), 329-338
- KRAUSE, Jürgen et al. (1994). „Multimodality and Object Orientation in an Intelligent Materials Information System.“ In: Journal of Document and Text Management 1(3) (1993), 256-275; 2(1) (1994), 48-66.
- KRAUSE, Jürgen; MITTERMAIER, Eva; HIRSCHMANN, Astrid (1993). „The Intelligent Help System COMFOHELP.“ In: User Modeling and User-Adapted Interaction 3 (1993), 249-282.
- KRAUSE, Jürgen; WOLFF, Christian; WOMSER-HACKER, Christa (1994). „Multimodality and Vagueness in the Context of a Graphical, Object-Oriented Materials Information System.“ In: CID & CASIS (1994), 585-597.
- KRÖCKEL, H.; STEVEN, G. (1987). „The Integration of Materials Data Banks into a European Information Service Network.“ In: GLAESER (1987) 113-120.
- KRÖCKEL, Hermann; STEVEN, Günter (1989). „European Activities Towards the Integration and Harmonization of Materials Data Systems.“ In: GLAZMAN & RUMBLE (1989), 63-74.

- KRÖCKEL, Hermann., WESTBROOK, Jack H. (1987). "Computerized Materials-Information Systems." In: Philosophical Transactions of the Royal Society London, A 322, S.373-391.
- KUHLEN, Rainer (1990). „Zum Stand pragmatischer Forschung in der Informationswissenschaft.“ In: HERGET & KUHLEN (1990), 13-18.
- KUNII, Toshiyasu L. (ed.) (1989). Visual Database Systems. Proc. of the IFIP TC 2/WG 2.6 Working Conference on Visual Database Systems. Amsterdam: North-Holland (Elsevier).
- KURITA, Yasuyuki et al. (1991). „Applications of the Computer Aided Chemistry System ACACS in Agricultural Chemical Research.“ In: Doyama et al. (1991), 455-460.
- KWOK, Kui Lam (1991). „Query Modification and Expansion in a Network with Adaptive Architecture.“ In: BOOKSTEIN & CHIARAMELLA (1991), 192-201.
- LAKIN, Fred (1986). „Spatial Parsing for Visual Languages.“ In: CHANG, ICHIKAWA & LIGOMENIDES (1986), 35-85.
- LARKIN, Jill H.; SIMON, Herbert A. (1987). „Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words.“ In: Cognitive Science 11 (1987), 65-99.
- LARSON, James A. (1986). „A Visual Approach to Browsing in a Database Environment.“ In: IEEE Computer, Juni 1986, 62-71.
- LEGGE, Gordon E.; GU, Yuanchao; LUEBKER, Andrew (1991). „Efficiency of Graphical Perception.“ In: ELLIS et al. (edd.) (1991), 111-130.
- LICKLEDER, Gerhard (1990). Der Zugriff auf Werkstoffdatenbanken mit der Abfragesprache Query-By-Example (QBE) am Beispiel der Werkstoffdatenbank von MTU. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 10, November 1990.
- LOGIE, Robert H.; DENIS, Michel (edd.) (1991). Mental Images in Human Cognition. Amsterdam et al.: Elsevier.
- LOHSE, Gerald Lee (1991A). A Cognitive Model for Understanding Graphical Perception. Ph.D. Thesis, University of Michigan.
- LOHSE, Gerald Lee (1991B). „A Cognitive Model of the Perception and Understanding of Graphs.“ In: ROBERTSON, OLSON & OLSON (1991), 137-144.
- LUCAS, Henry C. (1981). „An Experimental Investigation of the Use of Computer-Based Graphics in Decision Making“ In: Management Science 27 (7) (1981) 757-768.
- LUCAS, Henry C.; NIELSEN, Norman R. (1980). „Cognitive Aspects of Annual Reports: Field Independence/Dependence.“ In: Management Science 16(10) (1980).
- LUDWIG, Michaela (1993). Übersicht kommerzieller Werkstoffinformationssysteme. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 41, Juli 1993.
- MAAB, Susanne (1993). „Software-Ergonomie. Benutzer- und aufgabenorientierte Systemgestaltung.“ In: Informatik Spektrum 16(4) (1993), 191-205.
- MACGREGOR, James N.; LEE, Eric S. (1989). „The Feature Matching Approach to the Computer Retrieval of Graphics: An Enhancement.“ In: Information Services and Use 9 (1989), 127-137.
- MACKENZIE, I. Scott; SELLEN, Abigail; BUXTON, William (1991). „A Comparison of Input Devices in Elemental Pointing and Dragging Tasks.“ In: ROBERTSON, OLSON & OLSON (1991), 161-166.
- MACKINLAY, Jock D. (1986A) Automatic Design of Graphical Representations. Ph.D. Thesis, Stanford University, Stanford/CA. Ann Arbor/Mi.: University Microfilms International.
- MACKINLAY, Jock D. (1986B). „Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information.“ In: ACM Transactions on Graphics 5(2), 110-141.

- MACKINLAY, Jock D. (1988). „Applying a Theory of Graphical Presentation to the Graphic Design of User Interfaces.“ In: Proc. of the ACM SIGGRAPH Symposium on User Interface Software. Banff, Alberta, Canada, 17-19 Oct 1988. New York: ACM Press, 179-89.
- MACKINLAY, Jock D. (1991). „Search Architectures for the Automatic Design of Graphical Presentations.“ In: SULLIVAN & TYLER (1991), 281-292.
- MACKINLAY, Jock D.; CARD, Stuart K.; ROBERTSON, George G. (1990). „A Semantic Analysis of the Design Space of Input Devices.“ In: Human-Computer Interaction 5(2-3) (1990), 145-90.
- MAGNENAT-THALMANN, Nadia; THALMANN, Daniel. (1986). „Introduction à l'Informatique Grafique.“ In: ENDERLE, GRAVE & LILLEHAGEN (1986), 3-51.
- MAGNENAT-THALMANN, Nadia; THALMANN, Daniel (edd.) (1988). New Trends in Computer Graphics. Proc. CG International '88. Berlin et al.: Springer.
- MAINZER, Klaus (1985). „Der Intelligenzbegriff in erkenntnis- und wissenschaftstheoretischer Sicht.“ In: STROMBACH, Werner; TAUBER, Michael J.; REUSCH, Bernd (edd.) (1985). Der Intelligenzbegriff in den verschiedenen Wissenschaften. Wien und München: Oldenbourg [= Schriftenreihe der österreichischen Computergesellschaft Bd. 28], 41-56.
- MARK PEJTERSEN, Annelise (1993). „Designing Hypermedia Representation from Work Domain Properties.“ In: FREI, Hans-Peter; SCHÄUBLE, Peter (edd.) Hypermedia. Proc. Internationale Hypermedia '93 Konferenz, Zürich, März 1993. Berlin et al.: Springer, 1-32.
- MARR, David (1982). Vision. San Francisco: Freeman.
- MARX, Jutta (1990). Natürliche Sprache als Abfrageform von Werkstoffdatenbanken. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 2, Juli 1990.
- MARX, Jutta (1991). Benutzertests zur natürlichsprachlichen Komponente von WING-IIR. Testaufbau, Ergebnisse und Anforderungsprofil für den Parser. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 18, Juli 1991.
- MARX, Jutta (1992). Die Strategieanalyse der Benutzertests zu *Wing-M1*. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 32, November 1992.
- MARX, Jutta (1993). „Der Einsatz natürlichsprachlicher Komponenten in einer multimodalen Benutzerschnittstelle für Werkstoffinformation.“ In: PÜTZ, Horst P.; HALLER, Johann (edd.) (1993). Sprachtechnologie: Methoden, Werkzeuge, Perspektiven. Proc. Jahrestagung 1993 der Gesellschaft für Linguistische Datenverarbeitung, Kiel, März 1993. Hildesheim et al.: Olms, 93-107.
- MARX, Jutta; PFLÜGER, Michaela (1992). Der Benutzertest zu *Wing-M1*. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 25, Juli 1992.
- MARX, Jutta; ROPPEL, Stephan; WOLFF, Christian (1991). Der erste multimodale Systementwurf für den WING-Prototyp. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 21, November 1991.
- MARX, Jutta; SCHUDNAGIS, Monika (1992). Testdesign, Testaufbau und Pretest zum Benutzertest des WING-Prototyps M2. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 38, Juli 1993 1992.
- MAYBURY, Mark (1993B). „Introduction“ In: MAYBURY (1993A), 1-8.
- MAYBURY, Mark (ed.) (1993A). Intelligent Multimedia Interfaces. Menlo Park/CA et al.: AAAI Press/The MIT Press.

- MCCARTHY, John L. (1989). „Information Systems Design for Material Properties Data.“ In: GLAZMAN & RUMBLE (1989), 135-150.
- MCCLELLAND, James L.; RUMELHART, David E.; Hinton, Geoffrey E. (1986). „The Appeal of Parallel Distributed Processing.“ In: RUMELHART & MCCLELLAND (1986), 3-44.
- MCILRAITH, Sheila A. (1989). „Qualitative Modelling: Application of a Mechanism for Interpreting Graphical Data.“ In: Computational Intelligence 5(2) (1989), 111-120.
- MCKIM, Robert (1980). Thinking Visually. A Strategy Manual for Problem Solving. Belmont/CA: Lifetime Learning Publications.
- MEYBERG, Kurt; VACHENAUER, Peter (1993²). Höhere Mathematik 1. Differential- und Integralrechnung. Vektor- und Matrizenrechnung. Berlin et al.: Springer.
- MILLER, Irvin M. (1969). „Computer Graphics for Decision Making.“ in: Harvard Business Review 47(6) (1969), 121-132.
- MILLER, Irvin M. (1975). „Graphics in Business Decision Making.“ In: Computers & Graphics 1 (1975), 293-296.
- MINSKY, Marvin (1975). „A Framework for Representing Vision.“ In: Winston, P.H. (ed.). The Psychology of Computer Vision. New York: McGraw-Hill.
- MONKHOUSE, F.J.; WILKINSON, H.R. (1971³). Maps and Diagrams. London: Methuen. [1952¹].
- MORRIS, Charles W. (19622). „Foundations of the Theory of Signs.“ In: NEURATH, Otto; CARNAP, Rudolf; MORRIS, Charles W. (edd.). (19622). International Encyclopedia of Unified Science. Vol. I, Nos. 1-10, 77-137.
- MÜLLER-LORENTZ, Matthias (1988). „Literaturdatenbanken. Das internationale Angebot an Werkstoffinformationen.“ In: Cogito 3 (1988), 10 -15.
- MURCH, G.M. (1986). „Human Factors of Color Displays.“ In: HOPGOOD, F. Robert A.; HUBBOLD, Roger J.; DUCE, David A. (edd.) (1986). Advances in Computer Graphics II. Berlin et al.: Springer, 1-27.
- MURRAY, B.S.; MCDAID, E. (1993). „Visualizing and Representing Knowledge for the End User: A Review.“ In: International Journal of Man-Machine Studies 38 (1993), 23-49.
- MYERS, Brad A. (1986). „Visual Programming, Programming by Example and Program Visualization: A Taxonomy.“ In: MANTEI, Marilyn; ORBETON, Peter (edd.) (1986). Human Factors in Computing Systems III. Proc. of the CHI '86 Conference, Boston, April 1986. Amsterdam et al.: North-Holland (Elsevier), 59-66.
- MYERS, Brad A. (1990). „Taxonomies of Visual Programming and Program Visualization.“ In: Journal of Visual Languages and Computing.“ 1 (1990), 97-123.
- NEAL, Jeannette G.; SHAPIRO, Stuart C. (1991). „Intelligent Multimedia Interface Technology.“ In: SULLIVAN & TYLER (1991), 11-44.
- NEWELL, Allen (1981). „Physical Symbol Systems.“ In: NORMAN (1981A), 37-85.
- NEWELL, Allen; SIMON, Herbert A. (1976). „Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search.“ In: Communications of the ACM 19(3) (1976), 113-126.
- NORMAN, Donald A. (1981B). „What is Cognitive Science?“ In: NORMAN (1981A), 1-11.
- NORMAN, Donald A. (ed.) (1981A). Perspectives on Cognitive Science. Norwood/NJ: Ablex, Hillsdale/NJ: Lawrence Erlbaum.
- NOVITIC-SCHROPP, Eliane; WOLFF, Christian (1994). Generalisierung und Benutzertest von *Wing-Graph* auf der Basis wirtschaftlicher Zeitreihen. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 48, März 1994.
- ODDY, R.N. (1971). „Information Retrieval through Man-Machine Dialogue.“ In: Journal of Documentation 33(1) (1971), 1-14.

- OLSEN, Kai A. et al. (1993). „The Visualization of a Document Collection.“ In: *Information Processing and Management* 29 (1993), 69-81.
- OLSON, Judith Reitman.; OLSON, Gary M. (1990). „The Growth of Cognitive Modeling in Human-Computer Interaction since GOMS.“ In: *Human-Computer Interaction* 5 (1990), 221-265.
- OPPERMANN, Reinhard (1992). „Wie und warum sollen Systeme an Benutzer angepaßt werden?“ In: *GMD-Spiegel* 22(2) (1992), 40-47.
- ORMAN, Levent V. (1991). „Visual Development of Database Applications.“ In: MILUTINOVIC, V.; Shriver, B.D. (edd.) (1991). *Proc. of the Twenty-Fourth Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Kauai/HI, Januar 1991. Vol. 3. Los Alamitos/CA: IEEE Computer Society Press, 471-476.*
- ORMAN, Levent V. (1992). „A Visual Data Model.“ In: *Data & Knowledge Engineering* 7 (1992), 227-238.
- OSHERSON, Daniel N., LASNIK Howard (edd.) (1990). *Language. An Invitation to Cognitive Science, vol. 1. Cambridge/MA und London: The MIT Press.*
- OSHERSON, Daniel N.; KOSSLYN, Stephen Michael; HOLLERBACH, John M. (1990). *Visual Cognition and Action. An Invitation to Cognitive Science, vol. 3. Cambridge/MA.: The MIT Press.*
- OVER, H.H. et al. (1993). *Data Management with the High Temperature Materials Database. Research Paper, Institute for Advanced Materials of the Commission of the European Communities, Joint Research Centre (IAM/JRC), Petten (NL).*
- PAIVIO, Allan (1971). *Imagery and Verbal Processes. Hillsdale/NJ: Lawrence Erlbaum.*
- PAIVIO, Allan (1991). *Images in Mind: The Evolution of a Theory. New York et al.: Harvester Wheatsheaf.*
- PALMER, Thomas C. (1992). *A Language for Molecular Visualization. In: IEEE Computer Graphics and Applications* 12(3) (1992), 23-32.
- PAREDAENS, Jan; THYSSSENS, Inge (1991). „Grafische querytalen.“ In: *Informatie* 33 (1991), 709-720.
- PARMANTO, Bampang (1992). *Vibe User's Manual. University of Pittsburgh, Department of Information Science, Juni 1992.*
- PETERSON, Lewis V.; SCHRAMM, Wilbur (1954). „How Accurately are Different Kinds of Graphs Read?“ In: *AV Communication Review* 2 (1954), 178-189.
- PINKER, Steven (1981). *A Theory of Graph Comprehension. Center for Cognitive Science, Massachusetts Institute of Technology, Occasional Paper No. 15. Cambridge/MA: MIT.*
- PINKER, Steven (1990). „A Theory of Graph Comprehension.“ In: Freedle, Roy (ed.) (1990). *Artificial Intelligence and the Future of Testing. Hillsdale/NJ: Lawrence Erlbaum, 73-126.*
- PINKER, Steven (ed.) (1985). *Visual Cognition. Cambridge/Ma.: The MIT Press [= Cognition* 18 (1994), Special Issue on Visual Cognition].
- PINKER, Steven; KOSSLYN, Stephen Michael (1983). „Theories of Mental Imagery.“ In: SHEIKH, Anees A. (1983). *Imagery. Current Theory, Research, and Application. New York et al.: Wiley, 43-71.*
- PIROTTE, Alain; DELOBEL, Claude; GOTTLÖB, Georg (edd.) (1992). *Advances in Database Technology - EDBT '92. 3rd International Conference on Extending Database Technology, Wien März 1992. Berlin: Springer.*
- POWERS, Mathew; LASHLEY, Conda; SANCHEZ, Pamela; SHNEIDERMAN, Ben. (1984). „An Experimental Comparison of Tabular and Graphic Data Presentation.“ In: *International Journal of Man-Machine Studies* 20 (1984), 545-566.

- PRIBBENOW, Simone (1993). „Räumliche Inferenzen und Bilder.“ In: Künstliche Intelligenz 7(4) (1993), 7-13.
- PRINZ, Wolfgang; SANDERS, A.F. (edd.) (1984). Cognition and Motor Processes. Berlin et al.: Springer.
- PYLYSHYN, Zenon W. (1973). „What the Mind's Eye tells the Mind's Brain: A Critique of Mental Imagery.“ In: Psychological Bulletin 80 (1973), 1-24.
- PYLYSHYN, Zenon W. (1978). „Cognitive Science, 1978.“ Report of the State of the Art Committee to the Advisors of the Alfred P. Sloan Foundation, October 1, 1978, 75 - 80.
- PYLYSHYN, Zenon W. (1984). Computation and Cognition. Cambridge/Mass.: The MIT Press.
- RABITTI, Fausto; SAVINO, S. (1991). „Image Query Processing Based on Multi-level Signatures.“ In: BOOKSTEIN & CHIARAMELLA (1991), 305-314.
- RABITTI, Fausto; STANCHEV, Peter (1989). „GRIM_DBMS: A GRaphical IMage DataBase Mangement System.“ In: KUNII (1989), 415-430.
- RASMUSSEN, Jens (1992). Cognitive Engineering Approaches to the Design of Information Systems. Eingeladener Vortrag, SIGIR '92, Juni 1992, Kopenhagen. Kopenhagen: The Royal School of Librarianship.
- REDTENBACHER, Wolfgang (1994). Neue Softwarebestimmungen: Die EG-Richtlinie 90/270/EWG. Vorabinformation über gesetzliche Regelungen zur Softwareauswahl und -gestaltung. Renningen: Redtenbacher Software-Vertrieb.
- RESNIKOFF, Howard L. (1989). The Illusion of Reality. New York et al.: Springer.
- REYNARD, Keith W. (1989). „VAMAS Activities on Materials Data Banks.“ In: GLAZMAN & RUMBLE (1989), 43-54.
- REYNARD, Keith W. (1992). „Standards for Materials Databases - National and International Programmes - Do they Provide for Data User Needs?“ In: BARRY & REYNARD (1992), 413-426.
- ROBERTSON, George G.; MACKINLAY, Jock D.; CARD, Stuart K. (1991). „Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information.“ In: ROBERTSON, OLSON & OLSON (1991), 190-194.
- ROBERTSON, Scott P.; OLSON, Gary M.; OLSON, Judith S. (edd.) (1991). Reaching through Technology. Proc. CHI '91: Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press.
- ROGERS, Yvonne (1989). „Icons at the Interface: Their Usefulness.“ In: Interacting with Computers 1 (1989), 105-117.
- ROHR, Gabriele (1984). „Understanding Visual Symbols.“ In: Proc. of the 1984 IEEE Computer Society Workshop on Visual Languages. Hiroshima, Dezember 1984. Silver Spring/MD: IEEE Computer Society Press, 184-191.
- ROHR, Gabriele (1986). „Using Visual Concepts.“ In: CHANG et al (1986), 325-348.
- ROHR, Gabriele (1988). „Graphical User Languages for Querying Information: Where to Look for Criteria?“ In: Proc. of the 1988 IEEE Workshop on Visual Languages. Washington/DC: IEEE Computer Society Press, 21-28.
- ROHR, Gabriele (1990). „How Poepple Comprehend Unknown System Structures: Conceptual Primitives in Systems' Surface Representation.“ In: GORNY & TAUBER (1990), 89-105.
- ROPPEL, Stephan (1990). Hilfefunktionen für die graphische Benutzeroberfläche des Werkstoff-Informationssystems WING. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 4, Juli 1990.

- ROPPEL, Stephan (1993A). Intelligent Retrieval in a Multimodal Materials Information System.“ In: RIX, J.; SCHLECHTENDAHL, E.G. (edd.) (1993). Interfaces in Industrial Systems for Production and Engineering. Proc. IFIP TC/WG 5.10 Conference, Darmstadt, März 1993. Amsterdam et al.: North-Holland (Elsevier) [= IFIP Transactions B-10], 73-86.
- ROPPEL, Stephan (1993B). Ein Modell über Benutzerinteressen zur Reduzierung der Interaktionskomplexität. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt Wing-IIR, Arbeitsbericht 45, November 1993.
- ROPPEL, Stephan; WOLFF, Christian (1992). Der erste multimodale Prototyp WING-M1. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 24, Juli 1992.
- ROPPEL, Stephan; WOLFF, Christian; WOMSER-HACKER, Christa (1993). „Intelligentes Faktenretrieval am Beispiel der Werkstoffinformation.“ In: KNORZ, KRAUSE & WOMSER-HACKER (1993), 154-168.
- ROSENBAUM, David A. (1991). Human Motor Control. San Diego et al.: Academic Press.
- ROTH, Steven F.; HEFLEY, William E. (1993). „Intelligent Multimedia Presentation Systems: Research and Principles.“ In: MAYBURY (1993A), 13-57.
- ROTH, Steven F.; MATTIS, Joe (1990). „Data Characterization for Intelligent Graphics Presentation.“ In: SIGCHI Bulletin, Special Issue April 1990: CHI '90 Proc., 193-200.
- RUMELHART, David E.; MCCLELLAND, James L. et al. (edd.) (1986). Parallel Distributed Processing. Explorations in the Microstructure of Cognition. Vol. 1: Foundations, 3-44.
- SALTON, Gerard; MCGILL, Michael J. (1983). Introduction to Modern Information Retrieval. New York et al.: McGraw-Hill.
- SANCHEZ, J.M.; BECKER, J.D.; CARLSSON, A.E. (1991). „Phase Stability and Diagrams: A Case Study in Computational Materials Engineering.“ In: DOYAMA et al. (1991), 791-794.
- SARGENT, Philip (1991). „Data models and dictionaries for materials information.“ In: DOYAMA et al. (1991), 9-12.
- SARGENT, Philip et al. (1992). „Materials Information and Conceptual Data Modeling.“ In: BARRY & REYNARD (1992), 172-191.
- SCHENCK, Peter K.; DENNIS, Jennifer R. (1989). „PC-Access to Ceramic Phase Diagrams.“ In: GLAZMAN & RUMBLE, 292-303.
- SCHMAUKS, Dagmar (1991). Deixis in der Mensch-Maschine-Interaktion. Tübingen: Niemeyer [= Sprache und Information Bd. 23].
- SCHMID, Calvin T. (1983). Statistical Graphics: Design Principles and Practices. New York.
- SCHNEIDER, Michel; TREPIED, Claude (1989). „A Graphical Query Language for Semantic Data Models.“ In: DEGROSS, J.I.; HENDERSON, J.C.; KOSYNSKI, B.R. (edd.) (1989). Proc. of the Tenth International Conference on Information Systems, Boston, Dezember 1989. New York: ACM, 153-163.
- SCHNEIDER, Michel; TREPIED, Claude (1990). „Graphical Description and Query Interface for Databases.“ In: COCKTON, G. (ed.) (1990). Engineering for Human-Computer Interaction. Proc. of the IFIP TC 2/WG 2.7 Working Conference on Engineering for Human-Computer Interaction. Napa Valley/CA, August 1989. Amsterdam et al.: North-Holland (Elsevier), 63-86.
- SCHUDNAGIS, Monika (1991). Der Benutzertest zum Hypertextzugang. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt Wing-IIR, Arbeitsbericht 20, November 1991.

- SCHUTZ, Howard G. (1961). „An Evaluation of Formats for Presentation of Graphic Multiple Trends - Experiment II/III.“ In: *Human Factors* 3 (1961), 99-107 und 108-119.
- SCOTT, Peter; NICOLSON, Rod (1991). *Cognitive Science Projects in Prolog*. Hove, London, Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- SEARLE, John R. (1993). *Die Wiederentdeckung des Geistes*. München: Artemis & Winkler.
- SEARS, Andrew; SHNEIDERMAN, Ben (1991). „High Precision Touchscreens: Design Strategies and Comparisons with a Mouse.“ In: *International Journal of Man-Machine Studies* 34(4) (1991), 593-619.
- SEGEWICK, Robert (1992). *Algorithmen in C*. Bonn et al.: Addison-Wesley.
- SEIFFERT, Helmut; RADNITZKY, Gerard (edd.) (1992). *Handlexikon zur Wissenschaftstheorie*. München: dtv.
- SELFRIDGE, Oliver G. (1959). „Pandemonium: A Paradigm for Learning.“ In: *The Mechanisms of Thought Processes*. London: H.M. Stationery Office.
- SELFRIDGE, Oliver G.; NEISSER, Ulric (1960). „Pattern Recognition by Machine.“ In: *Scientific American* 203 (1960), 60-68.
- SELKER, Ted; KOVED, Larry (1990). „Elements of Visual Language.“ In: *Proc. of the 1988 IEEE Workshop on Visual Languages*. Washington/DC: IEEE Computer Society Press, 38-44.
- SHACKEL, Brian (1987). „Human Factors of Input and Output Devices.“ In: ROGERS, D.F.; EARNSHAW, Rae A. (edd.) (1987). *Techniques for Computer Graphics*. Berlin et al.: Springer, 403-419.
- SHAW, Debora (1991). „The Human-Computer Interface for Information Retrieval.“ In: *Annual Review of Information Science and Technology (ARIST)* 26 (1991), 155-195.
- SHNEIDERMAN, Ben (1982). „The Future of Interactive Systems and the Emergence of Direct Manipulation.“ In: *Behaviour and Information Technology* 1(3) (1982), 237-256.
- SHNEIDERMAN, Ben (1983). „Direct Manipulation: A Step beyond Programming Languages.“ In: *IEEE Computer* 16(8) (1983), 57-69.
- SHU, Nan C. (1986). „Visual Programming Languages.“ In: CHANG et al. (1986), 11-34.
- SIMCOX, William A. (1984). „A Method for Pragmatic Communication in Graphic Displays.“ In: *Human Factors* 26(4) (1984), 483-487.
- SIMKIN, David; HASTIE, Reid (1987). „An Information Processing Analysis of Graph Perception.“ In: *Journal of the American Statistical Association* 82(398) (1987), 454-465.
- SIMON, Herbert A. (1981). „Cognitive Science: The Newest Science of the Artificial.“ In: NORMAN (1981A), 13-25.
- SINGER, Ronald A. (1990B). „Human-Computer Graphical Dialogue.“ In: NORRIE, Douglas H.; SIX, Hans-Werner (edd.) (1990). *Computer Assisted Learning. Proc. 3rd International Conference, ICCAL '90, Hagen, Juni 1990* [= *Lecture Notes in Computer Science* Vol. 438], 50-66.
- SLACK, John M. (1984). „Cognitive Science Research.“ In: O'SHEA, Tim, EISENSTADT, Marc (edd.) (1984). *Artificial Intelligence. Tools, Techniques, and Applications*. New York: Harper & Row, 155-177.
- SLATER, William J. (1987). „Human Factors in Knowledge Acquisition.“ In: HELANDER (1987), 957-968 [= Kap. 45].
- SMITH, Sidney L.; MOSIER, Jane N. (1986) *Design Guidelines for User-Interface Software*. Bedford/MA: The MITRE Corporation.

- SPARCK JONES, Karen (1983). „Intelligent Retrieval.“ In: JONES, K.P. (ed.) (1983). Proc. Informatics 7. Intelligent Information Retrieval. London: Aslib, 136-142.
- SPIJKERS, Will (1993). Sehen und Handeln: Die Rolle visueller Information bei zielgerichteten Bewegungen. Aachen: Verlag Shaker.
- SPOEHR, Kathryn T.; LEHMKUHLE, Stephen W. (1982). Visual Information Processing. San Francisco: Freeman.
- SPOERRI, Anselm (1994). „InfoCrystal: Integrating Exact and Partial Matching Approaches through Visualization.“ In: CID & CASIS (1994), 687-696.
- STEINMÜLLER, Wilhelm (1993). Informationstechnologie und Gesellschaft. Einführung in die Angewandte Informatik. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- STILLINGS, Neil A. et al. (edd.) (1987). Cognitive Science. Cambridge/MA und London: The MIT Press.
- STÖGERER, Josef Karl (1991). Suchen und Ersetzen in Bilddatenbanken. Diss. TU Graz.
- STREITZ, Norbert (1988). „Mental Models and Metaphors: Implications for the Design of Adaptive User-System Interfaces.“ In: MANDL, Heinz; LESGOLD, Alan (edd.) (1988). Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems. New York et al.: Springer, 164-186.
- SULLIVAN, Joseph W.; TYLER, Sherman W. (edd.) (1991). Intelligent User Interfaces. Reading/MA: Addison-Wesley/ACM Press.
- SUNDMAN, Bo (1991). „Thermo-Calc, A General Tool for Phase Diagram Calculations.“ In: DOYAMA et al., 795-798.
- TAMURA, Hideyuki; YOKOYA, Naokazi (1984). „Image Database Systems: A Survey.“ In: Pattern Recognition 17 (1984), 29-43.
- TAYLOR, M.M.; NÉEL, F.; BOUWHUIS, D.G. (edd.) (1989). The Structure of Multimodal Dialogue. Amsterdam et al.: North-Holland (Elsevier) [= Human Factors in Information Technology Vol. 4].
- THOMAS, Katheryne Colvin (1933). „The Ability of Children to Interpret Graphs.“ In: The Teaching of Geography: 32nd Yearbook. Chicago/Ill.: University of Chicago Press [= Yearbook of the National Society for the Study of Education], 492-494.
- TJOA, A Min; WAGNER, R. (edd.) (1990). DEXA '90. Database and Expert Systems Applications. Proc. of the International Conference, Wien, August 1990. Wien et al.: Springer.
- TONOMURA, Yoshinobu; ABE, Shinji (1989). „Content Oriented Visual Interface Using Video Icons for Visual Database Systems.“ In: Proc. of the 1989 IEEE Workshop on Visual Languages. Rom, 1989. Washington/DC: IEEE Computer Society Press, 68-73.
- TSUDA, Kazuyuki et al. (1989). „IconicBrowser: An Iconic Retrieval System for Object-Oriented Databases.“ In: Proc. of the 1989 IEEE Workshop on Visual Languages. Rom, 1989. Washington/DC: IEEE Computer Society Press, 130-137.
- TUFTE, Edward R. (1983). The Visual Display of Quantitative Information. Cheshire/Conn.: Graphics Press.
- TULLIS, Thomas S. (1988). „Screen Design.“ In: HELANDER (1988), 377-411.
- ULLMAN, Shimon (1984). „Visual Routines.“ In: Cognition 18 (1984), 97-157.
- VAN EMMERIK, Maarten J.G.M. (1989). „Creation and Modification of Parametrized Solid Models by Graphical Interaction.“ In: Computers and Graphics 13 (1989), 71-75.
- VAN EMMERIK, Maarten J.G.M. (1990). „A System for Interactive Graphical Modeling with Three-Dimensional Constraints.“ In: CHUA, Tat-Seng; KUNII, Toshiyasu L. (edd.) (1990). Proc. CG International '90. Berlin et al.: Springer, 361-376.
- VAN SOMMERS, Peter (1984). Drawing and Cognition. Cambridge University Press.

- VANCOILLE, Marc J. et al. (1992). „Probing the Boundaries of Knowledge-Based Systems.“ In: BARRY & REYNARD (1992), 290-299.
- VIDICK, J.-L. (ed.) (1990). SIGIR '90. Proc. of the Thirteenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Brüssel 1990. Brüssel: Universitätsverlag.
- VOLPERT, Walter (1987). „Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten.“ In: KLEINBECK, Uwe; RUTENFRANZ, Joseph (edd.) (1987). Arbeitspsychologie. Göttingen et al.: Verlag für Psychologie Dr. C.J. Hogrefe, 1-42 [= Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Serie III, Bd. 1].
- WAHLSTER, Wolfgang; KOBZA, Alfred (edd.) (1989). User Models in Dialog systems. Berlin et al.: Springer.
- WAKIMOTO, Koji et al. (1990). „An Intelligent User Interface to an Image Database Using a Figure Interpretation Method.“ In: Proc. 10th International Conference on Pattern Recognition, Atlantic City/NJ, Juni 1990. Los Alamitos/CA: IEEE Computer Society Press, Vol. II, 516-520.
- WANDMACHER, Jens (1993). Software-Ergonomie. Berlin & New York: De Gruyter [= Mensch-Computer-Kommunikation: Grundwissen Bd. 2].
- WASHBURNE, John N. (1927). „An Experimental Study of Various Graphic, Tabular, and Textual Methods of Presenting Quantitative Materials. In: Journal of Educational Psychology 18 (1927), 361-376 und 465-476.
- WATSON, Collin J.; DRIVER, RUSSELL, W. (1983). „The Influence of Computer Graphics on the Recall of Information.“ In: MIS Quarterly 7 (1983), 45-53.
- WEBER, J. et al. (1988). „Molecular Graphics: A New Tool in Computer-Assisted Chemistry.“ In: Magnenat-Thalmann & Thalmann (1988), 499-508.
- WEBER, Robert J.; KOSSLYN, Stephen M. (1986). „Computer Graphics and Mental Imagery.“ In: CHANG et al. (1986), 305-324.
- WEINTRAUB, Samuel (1937). „Reading Graphs, Charts and Diagrams.“ In: The Reading Teacher 20 (1937), 343-348.
- WERSIG, Gernot (1993). Fokus Mensch - Bezugspunkte postmoderner Wissenschaft: Wissen, Kommunikation, Kultur. Frankfurt a.M.; Lang.
- WERTHEIMER, Max (1922/3). „Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt.“ In: Psychologische Forschung 1 (1922) 47-58 und 4 (1923) 301-350.
- WESTBROOK, Jack H.; RUMBLE, John R. (edd.) (1983) Computerized Materials Data Systems. Proc. of a Workshop Devoted to Discussion of Problems Confronting their Development. Fairfield Gate/TN, November 1982.
- WESTLAKE, A.J.; KLEINSCHMIDT, I. (1990). „The Implementation of Area and Membership Retrievals in Point Geography Using SQL.“ In: MICHALEWICZ, Zbigniew (ed.) (1990). Statistical and Scientific Database Management. Proc. fifth International Conference, SSDBM V, Charlotte/NC, April 1990. Berlin et al.: Springer [= Lecture Notes in Computer Science Vol. 420], 200-218.
- WHITESIDE, John et al. (1985). „User Performance with Command, Menu, and Iconic Interfaces.“ In: BORMAN, L.; CURTIS, B. (edd.) (1985). Human Factors in Computing Systems-II. Proc. of the CHI '85 Conference. Amsterdam et al: North-Holland (Elsevier), 185-191.
- WILLETT, Peter; WINTERMAN, Vivienne; BAWDEN, David (1986). „Implementation of Nearest-Neighbor Searching in an Online Chemical Structure Search System.“ In: Journal of Chemical Information and Computer Science 26(1) (1986), 36-41.

- WILLIM, Bernd (1989). Leitfaden der Computergraphik. Berlin: R3-Verlag.
- WINN, William (1990). „Encoding and Retrieval of Information in Maps and Diagrams.“ In: IEEE Transactions on Professional Communication 33 (1990), 103-107.
- WOLFF, Christian (1990A). Probleme der Modellierung einer graphischen Benutzeroberfläche für ein Werkstoffdatenbanksystem. Unveröffentlichte Magisterarbeit, Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft.
- WOLFF, Christian (1990B). Die graphische Benutzeroberfläche des Forschungsprototypen WING und der kognitiv-graphische Zugangsweg WING-KOGRA. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 5, Juli 1990.
- WOLFF, Christian (1992). Überlegungen zum graphischen Retrieval in Werkstoffdatenbanken. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 31, November 1992.
- WOLFF, Christian (1993A). Graphisches Retrieval in *Wing-IIR*: Kurzbeschreibung des *Wing-Graph*-Systems. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 37, Juli 1993.
- WOLFF, Christian (1993B). Der Benutzertest zu *Wing-Graph*. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 44, November 1993.
- WOLFF, Christian; WOMSER-HACKER, Christa (1991). „Eine multimodale Benutzerschnittstelle für Werkstoffinformation.“ In: NEUBAUER, Wolfram; MEIER, Karl-Heinz (edd.) (1991). Proc. Deutscher Dokumentartag 1991. Frankfurt: Deutsche Gesellschaft für Dokumentation, 521-544.
- WOMSER-HACKER, Christa (1990). Die Motoren- und Turbinen-Union als Anwendungsbereich von *Wing-IIR*. Unter fachlicher Mitarbeit von Werner BUCHMANN, MTU. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 1, Januar 1990.
- WOMSER-HACKER, Christa (1992). Dokumentation werkstoffbezogener Wissensbereiche in WING-IIR. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 29, November 1992.
- WOMSER-HACKER, Christa (1994). Die Vagheitsproblematik im Information Retrieval am Beispiel der Werkstoffinformation. Universität Regensburg, Linguistische Informationswissenschaft, Projekt *Wing-IIR*, Arbeitsbericht 46, Februar 1994.
- WORMELL, Irene (ed.) (1987). Knowledge Engineering. Expert Systems and Information Retrieval. London und Los Angeles: Taylor Graham.
- XU, Xiaoshu, ROCK Alan; JONES, Jerry E. (1991). „Accelerated Learning Neural Network for Material Processing Sensor Data Analysis.“ In: DOYAMA et al. (1991), 42-48.
- YAMADA, S. (1993). „Method of Inputting Arbitrary Solid Shape by Hand Referring to Virtual Object in Virtual Space Presented on CRT Display.“ In: LUCZAK, Holger; ÇAKIR, Ahmed; ÇAKIR, Gisela (edd.) (1993). Work with Display Units 92. Amsterdam et al.: Elsevier, 158-162.
- YEN, John; NECHES, Robert; DEBELLIS, Michael (1988). „Specification by Reformulation: A Paradigm for Building Integrated User Support Environments.“ In: AAAI '88. Proc. of the Seventh National Conference on Artificial Intelligence. Menlo Park/CA, Vol. 2, 814-818.
- ZLOOF, Moshe M. (1977). „Query-by-Example: A Database Language.“ In: IBM Systems Journal 16(4) (1977), 324-343.

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Benutzeroberfläche von Wing-Graph mit Beispielanfrage	13
Abbildung 2:	Der interdisziplinäre Kontext der Informationswissenschaft (INGWERSEN 1992:8, Abb. 1-2)	16
Abbildung 3:	Eingangsbildschirm von Wing-M1	27
Abbildung 4:	Wing-M2 - Detailsuche	31
Abbildung 5:	Wing-M2 - Datenblattrecherche	31
Abbildung 6:	Iterativer Ablauf des Retrieval (SALTON & MCGILL 1983:237, Abb. 6-9).....	38
Abbildung 7:	Kognitive Bruchstelle zwischen Ergebnisinterpretation und Folgeanfrage	49
Abbildung 8:	Schema des graphischen Retrievalzyklus in Wing-Graph	51
Abbildung 9:	Aufbau und hierarchisches Zugriffsschema des MTU-Datenbankzugangs	61
Abbildung 10:	Graphisches Anfrageschema in <i>CANDID</i> (SCHNEIDER & TREPIED 1990:75)	87
Abbildung 11:	Beispielanfrage in Vibe (Korfhage 1991:138)	88
Abbildung 12:	Das Interface von IconicBrowser: Beispielanfrage (TSUDA et al. 1989:134 Abb. 8)	91
Abbildung 13:	„LyberTree“ und „LyberWorld“ (HEMMJE 1993:59, Abb. 5, 1993:61, Abb. 8).....	96
Abbildung 14:	Ikonisches Interface mit direkter Grapheneingabe (BARICHELLA et al. 1990:261, Abb. 2).....	98
Abbildung 15:	Oberflächengestaltung für das qualitative data modeling (MCILRAITH 1989:116, Abb. 6)	100
Abbildung 16:	Basisanalyse graphischer Informationsdarstellungen nach KOSSLYN (KOSSLYN 1989:188 Abb. 1)	111
Abbildung 17:	Kombinierte Darstellung von PLAYFAIR (TUFTE 1983:34)	114
Abbildung 18:	Beispiele typischer Diagrammformate	115
Abbildung 19:	Vergleich alphanumerischer und graphischer Informationsdarstellung	116
Abbildung 20:	Standardmodell der visuellen Informationsverarbeitung (KOSSLYN 1989:190)	124
Abbildung 21:	PINKERS Modell der Graphenwahrnehmung (PINKER 1990:104).....	135
Abbildung 22:	Kreislaufmodell des graphischen Retrieval.....	144
Abbildung 23:	Modifiziertes Kreislaufmodell für das graphische Retrieval in <i>Wing-Graph</i>	145
Abbildung 24:	Visuelle Vorstellung und graphisches Retrieval	151
Abbildung 25:	Schematisches Beispiel für den Handlungsablauf einer graphischen Anfragedefinition	155
Abbildung 26:	Systemstruktur von <i>Wing-Graph</i>	166
Abbildung 27:	Bildschirmaufbau <i>Wing-Graph</i>	173
Abbildung 28:	Unterschiedliche Datenbestandsvisualisierungen	177
Abbildung 29:	Auswahlleiste der Interaktionsverfahren (unmarkierter und mit selektiertem Suchverfahren	180
Abbildung 30:	Ikonische Zusatzobjekte	183
Abbildung 31:	Werkstoffliste als Trefferdarstellung und als Liste aller verfügbaren Werkstoffe.....	184
Abbildung 32:	Kennwertliste.....	185
Abbildung 33:	Beispiel einer Tabelle (hier zum Werkstoff INCOLOY903)	186
Abbildung 34:	Werkstoffbehälter „typische Werkstoffe“	187

Abbildung 35:	Suchpunkt setzen.....	191
Abbildung 36:	Definition von Suchpunkten im graphischen Hauptfenster	193
Abbildung 37:	Setzen eines Suchbereichs.....	195
Abbildung 38:	Setzen eines Streubandes	198
Abbildung 39:	Vergleich von RENE41 und WASPALOY	200
Abbildung 40:	Globale Better-Schlechter-Relation	202
Abbildung 41:	Eingeschränkte Better-Schlechter-Relation	204
Abbildung 42:	Kurvenform-Modifikation	205
Abbildung 43:	Freie Kurvendefinition.....	208
Abbildung 44:	Anfrageaufbau und -verarbeitung in <i>Wing-Graph</i>	215
Abbildung 45:	Dialogsituationen in <i>Wing-Graph</i>	217
Abbildung 46:	Durch die modifizierte Suchsemantik im Ergebnis enthaltene Kurven	265
Abbildung 47:	Statusanzeige und Auswahlleiste für die graphischen Suchverfahren und resultierendes Interfacelayout	275
Abbildung 48:	Visualisierung aller Wertepaare der Kenngröße	278
Abbildung 49:	Dynamische Metainformation zur Kurvenskizze.....	278
Abbildung 50:	Beispiele für die Darstellung komplexer Anfragen in <i>visual query abstracts</i>	282
Abbildung 51:	Dialogfenster zur Selektion von Domäne und Kenngröße bei Systemstart	284
Abbildung 52:	Dialogfenster zur Eingabe zusätzlicher Kenngrößen	285
Abbildung 53:	Wirtschaftsdaten in <i>Wing-Graph</i> (Warenausfuhr).....	288
Abbildung 54:	Layoutvorschlag für ein multimodales Datenblatt.....	298

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht zu den Kennwerttabellen in der MTU-Datenbank.....	63
Tabelle 2:	Struktur der in <i>Wing-Graph</i> verwendeten Werkstoffdaten	66
Tabelle 3:	Beispiel einer zwei Datensätze umfassenden Ausprägung zur Streckgrenze.....	67
Tabelle 4:	Klassifikation des Anfragekorpus von <i>Wing-IIR</i>	70
Tabelle 5:	Interpretationskriterien für die Bewertung graphischer Anfragen	78
Tabelle 6:	Ordnungskriterien für Werkstoffauswahlmenü.....	79
Tabelle 7:	Beziehungsmatrix zur Beurteilung der Suchtypenkomplexität in <i>Wing-Graph</i>	162
Tabelle 8:	Zuordnung von Aufgaben und Interaktionsverfahren.....	225
Tabelle 9:	Lösungszeiten (bereinigt) in sec.....	253
Tabelle 10:	Erfolgreiche Lösungswege und Alternativstrategien	255
Tabelle 11:	Anzahl korrekter Primärzuordnungen bei den einzelnen Aufgaben	256
Tabelle 12:	Bewertung der einzelnen Interaktionsverfahren nach Versuchspersonen.....	257
Tabelle 13:	Zuordnung von Suchverfahren ohne explizite Verfahrensauswahl	273
Tabelle 14:	Kombinierbarkeit der Suchverfahren.....	276
Tabelle 15:	Implementierungszustand der Gestaltungsvorschläge	299
Tabelle 16:	Übersicht zu den in <i>Wing-Graph</i> verwendeten Modulen und Fensterklassen.....	334
Tabelle 17:	Bereichsgrenzen- und lage bei Aufgabe 3.....	339f

10.4 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung	MB	MessageBox (Fehlermeldungen, Systemhinweise)
°C	Grad Celsius	MDI	<i>multiple document interface</i>
2KV	Suchtypus „zwei Kurven vergleichen“	MP	Meßpunkt (Datenpunkt auf einer Kurve)
AIV	Auswahlschalter für Interaktionsverfahren	MS	Microsoft®
An	Aufgabe <i>n</i>	MTU	Motoren- und Turbinen-Union München GmbH
BS	Suchtypus „Bereich setzen“	NI	Nachinterview
DDE	<i>dynamic data exchange</i> , Datenaustauschprotokoll von MS-Windows	NL	<i>natural language</i> - natürlichsprachlich
EBS	Suchtypus „eingeschränkte Besser-Schlechter-Relation“	P	(Such-)Punkt
GBS	Suchtypus „globale Besser-Schlechter-Relation“	PS	Suchtypus „Suchpunkt setzen“
GPa	Gigapascal	PS*	Suchtypus „Suchpunkte setzen“
GUI	<i>graphical user interface</i> - graphische Benutzerschnittstelle	QBE	<i>Query-By-Example</i>
IR	Information Retrieval	STM	<i>short term memory</i> - Kurzzeitgedächtnis
IIR	Intelligentes Information Retrieval	T	Temperatur
IRS	Information Retrieval-System	Tab.	Tabelle
IS	Informationssystem	TW	Auswahlbehälter <i>Typische Werkstoffe</i>
IV	Interaktionsverfahren	VP _n	Versuchsperson <i>n</i>
KÄ	Suchtypus „Kurve ändern“	VVR	Vorwegnahme-Veränderung-Rückkopplung
Kap.	Kapitel	WOB	Werkzeugmetapher für strikt objektorientierte graphische Benutzeroberflächen
KB	Kurvenbereich	W	Werkstoff
KBS	Suchtypus „Kurvenbereich setzen“		
KI	Künstliche Intelligenz		
KS	Suchtypus „Kurve skizzieren“		
LTM	<i>long term memory</i> - Langzeitgedächtnis		

10.5 Programmübersicht

Die folgende knappe Übersicht beschreibt die wesentlichen Elemente des Quellcode von *Wing-Graph*. Bedingt durch die Verwendung der objekt-orientierten Programmiersprache C++ ist der Programmtext wie die Benutzeroberfläche von *Wing-Graph* in einzelne Objekte aufgegliedert. Die Objekte selbst verfügen über Eigenschaften und Methoden, die die Programmfunktionalität bereitstellen; sie sind hier nicht aufgeführt, lassen sich aber über die Klassendefinitionen in der jeweiligen Header-Datei (*.h) einer Objektklasse leicht erschließen. Im wesentlichen ist jeder Klasse ein eigenes Programmmodul zugeordnet, wie Tab. 16 zeigt. Eine Ausnahme bilden die Funktionen für die technische Abarbeitung der Datenbankabfragen (SQL-Schnittstelle), die die prozedurale Funktionsbibliothek des *SQLBase Windows API*

verwenden und daher nicht in die Klassenstruktur eingegliedert sind. Zu den genannten Modulen kommt noch eine Reihe von sog. Ressourcen, die in *Wing-Graph* verwendeten Textstrings, Bilder (Bitmaps), Ikonen, Cursor und Dialogboxschemata enthalten (*.rc, *.bmp, *.ico, *.cur *.dlg).

Modul (C++-Quellcode (* .cpp) und Headerfile (* .h))	Objektklasse	Programmelement	Funktionen
<i>graphn</i>	WinApp	Applikation	Instantiierung der Applikation und der einzelnen Fensterobjekte; Aufbau der Datenbankverbindung
<i>mainfrm</i>	MainWindow	Hauptfenster	Hauptfenster der Applikation, Verwaltung der <i>client area</i> , Konvertierungsalgorithmen zur Überführung von Daten im WIDAB-Format in die SQL-Datenbank von <i>Wing</i>
<i>graphwv</i>	GraphWindow	Graphisches Manipulationsfenster	Zentrales Modul von <i>Wing-Graph</i> : Verwaltung und Aufbau des graphischen Hauptfensters; Verarbeitung der graphischen Interaktion; Aufbau formaler SQL-Statements; Steuerung der Recherchezyklen
<i>toolbox</i>	ToolBox	Suchverfahrensauswahl	Darstellung der Auswahlhalter, Parametrisierung des graphischen Hauptfensters
<i>flipbutt</i>	CFlipButt	Einzelne Parametrisierungsfelder/Auswahlhalter	Modifizierte Aktionstasten mit Wechselschalterfunktion und Verwaltung der Suchverfahrenssymbole
<i>subdomse</i>	SubDomainSelector	Kenngroßenwahl	Dialogbox zur Auswahl der Kenngröße; Parametrisierung der aktiven Subdomäne von <i>Wing-Graph</i> und des graphischen Hauptfensters
<i>material</i>	MaterialList	Werkstoffliste	Anzeige verfügbarer bzw. gefundener Datensätze
<i>folder</i>	Folder	Ikonenbehälter	Anzeige und Verwaltung ikonischer Auswahlbehälter
<i>folderite</i>	FolderItem	Auswahlkonen	Darstellung ikonischer Liniendiagramme und Verarbeitung der Interaktion mit ihnen (Parametrisierung des Hauptfensters)
<i>queryfol</i>	QueryFolder	Anfragenbehälter	Verwaltung ikonischer Anfragen; Verarbeitung der Interaktion bei der Erstellung komplexer Anfragen durch Ikonenkombination
<i>queryite graphsql</i>	QueryItem —	Anfragenkonen —	Darstellung einzelner ikonischer Anfragen Datenbankschnittstelle und Algorithmen zur Berechnung der Datenbestandsanzeige

Tabelle 16: Übersicht zu den in *Wing-Graph* verwendeten Modulen und Fensterklassen

Die Darstellung der Daten, mit denen das System bei Recherche und Visualisierung arbeitet, erfolgt über eine einheitliche Datenstruktur *DataSeries*, die einen Array mit den Datenpunkten des jeweiligen Datensatzes (X- und Y-Werte der unabhängigen bzw. abhängigen Variablen) umfaßt, sowie gesondert den Namen des Datensatzes (also ein Werkstoffbezeichner bzw. ein Ländername) und den ersten und letzten Datenpunkt der Datenreihe und die Anzahl der Datenpunkte. Die Struktur *DataSeries* wird selbst als Array verwendet, in den bei jeder Datenbankrecherche die gefundenen Ergebnisse aus der Datenbank geladen werden und auf den dann für den visuellen Aufbau des Interface, die Bearbeitung der Benutzerinteraktion und die Errechnung von formalen SQL-Anfragen zurückgegriffen wird.

Die allgemeinen Systemparameter, die die Darstellung des graphischen Hauptfensters steuern und von der gewählten Domäne abhängig sind, stehen dem System ständig als Eigenschaften der aktuellen Instanz der Objektklasse *SubDomain* (als Eigenschaft *theSubDomain* des Objektes *GraphWindow*) zur Verfügung (vgl. oben Kap. 8.2.2).

Sowohl von Bedeutung als auch vom Umfang des Quellcodes her gesehen bildet die Klasse *GraphWindow* den Schwerpunkt der Implementierung von Wing-Graph. Dabei lassen sich drei wesentliche funktionale Bereiche unterscheiden:

- a) Die Analyse der Mausinteraktionen des Benutzers nach getroffener Verfahrensanwahl. Mausbewegung und Mausklicks (bzw. die entsprechenden Windows-Systemnachrichten wie WM_MOUSEMOVE oder WM_LBUTTONDOWN) werden vom System abgefangen und nach Art des gewählten Interaktionsverfahrens erfolgt als systemseitige Reaktion der Aufbau des entsprechenden graphischen Suchkonstrukts mittels geeigneter Zeichenroutinen. Die Behandlung läuft über den jeweiligen Windows-Systemnachrichten zugeordnete Objektmethoden der Klasse *GraphWindow*.
- b) Der Aufbau der SQL-Anfragen anhand der Daten über das graphische Anfragekonstrukt nach Drücken der OK-Taste im graphischen Hauptfenster. Aus Art und Lage des Anfragekonstrukts, den Daten über etwaige Vorlageinformationen, auf die sich das Anfragekonstrukt bei relativen Suchverfahren bezieht und dem fest implementierten Wissen über die jedem Verfahren zugeordnete Suchsemantik errechnet das System einen SQL-Anfragestring, wie er im Beispiel in Anhang 10.6 wiedergegeben ist. Dabei wird auch das in der aktuellen Instanz von *SubDomain* abgelegte Wissen über die Datenbankstruktur (Spaltenbezeichner etc.) benutzt, wie das folgende Quellcode-Beispiel zum Aufbau des SQL-Strings für eine dynamische *look-ahead*-Anfrage (vgl. Kap. 8.1.5) zeigt:

```
sqlstatement = "SELECT MIN(" + theSubDomain.m_YCol + ")FROM " +
               theSubDomain.m_DataTable;
sqlstatement += "WHERE " + theSubDomain.m_AddCondition + " AND(" +
               theSubDomain.m_XCol + " = ";
sqlstatement += _itoa(Scr2[i+1], buffer, 10);
```

```

sqlstatement += " AND " + theSubDomain.m_SetKey + "IN(SELECT DISTINCT ";
sqlstatement += theSubDomain.m_SetKey + " FROM " + theSubDomain.m_DataTable
+ " WHERE " + theSubDomain.m_XCol + " = ";
sqlstatement += _ittoa(Set2[i], buffer, 10);
sqlstatement += " AND " + theSubDomain.m_YCol + " BETWEEN ";
sqlstatement += _ittoa((mousePos.y - ((theSubDomain.m_yMax -
theSubDomain.m_yMin)/20)), buffer, 10);
sqlstatement += " AND ";
sqlstatement += _ittoa((mousePos.y + ((theSubDomain.m_yMax -
theSubDomain.m_yMin)/20)), buffer, 10);
sqlstatement += "));";

```

- c) Den dritten Schwerpunkt der Funktionalität von *GraphWindow* bilden die Routinen zum visuellen Aufbau des graphischen Hauptfensters. Wie bereits in Kap. 6 geschildert, erfolgt dabei zunächst eine Analyse der Datengrundlage des gewählten Kennwerts, aus der die notwendigen Parameter für den Bildschirmaufbau und die Visualisierung von Metainformation abgeleitet werden. Zeichenroutinen erstellen dann die visuelle Darstellung der einzelnen Diagrammelemente. Dieser Funktionalitätsbereich ist auch bei jeder Änderung des Interface relevant, insbesondere beim Bildschirmneuaufbau nach erfolgter Anfrage an das System.

Die übrigen Objektklassen des Systems sind in ihrer Funktionalität jeweils auf das zentrale graphische Suchfenster bezogen und operieren mit der allen Modulen bekannten aktuellen Instanz der Klasse *GraphWindow* (*theGraphWindow*), wobei ihnen dadurch natürlich gleichzeitig auch die entsprechenden Systemparameter in der Eigenschaft *theSubDomain* bekannt sind. Diese Systemparameter werden beispielsweise nach Anwahl eines anderen Kennwertes in der Kennwertauswahldialogbox (Objektklasse *SubDomSel*) automatisch neu berechnet und das System wie beim Systemstart neu parametrisiert.

10.6 SQL-Beispielanfragen

Als Beispieltypus zur Illustration der Umsetzung graphischer Anfragedefinitionen durch die Datenbankschnittstelle von *Wing-Graph* dient das Streuband. Dabei wird gleichzeitig der Unterschied von (restriktiver) Suchsemantik der Kernimplementierung und seiner Überarbeitung in zweiten Prototypingzyklus verdeutlicht (gültig für die relativen Suchverfahren mit Ausnahme der Kurvenformmodifikation). Das Beispiel repräsentiert eine Anfrage, die mit *Wing-Graph* tatsächlich durchgeführt wurde und eine positive Ergebnismenge hatte. In *Wing-Graph* wird die zu *SQLBase* gehörende Implementierung von *SQL* verwendet (GUPTA 1991A).

Ergebnis der Datenbankrecherchen ist jeweils eine Menge von Werkstoffspezifikationen, deren Daten zur gewählten Kenngröße entweder direkt über eine weitere *SQL*-Abfrage selektiert und visualisiert bzw. die in der Werkstoffliste dem Benutzer zur Nachselektion präsentiert werden.

10.6.1 Suchsemantik der Kernimplementierung

Das Beispiel zeigt die rekursive Schnittmengenbildung bei der Suchsemantik der Kernimplementierung: Ist von einem Werkstoff eine beliebige Bedingung nicht erfüllt (weil er z.B. in seinem Datensatz eine Lücke aufweist), so fällt er aus dem Suchergebnis.

Strukturell ist die Suchsemantik der Kernimplementierung bei relativen und produktiven Suchverfahren ähnlich; lediglich die Ableitung der Suchgrenzen für die Schnittmengenbildung ist unterschiedlich ausgeprägt.

```
SELECT DISTINCT SPZFK FROM KNW11 WHERE SPZFK IN (
SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE TMPRT = 204 AND EMOD BETWEEN 166 AND
198 AND SPZFK IN (
SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE TMPRT = 316 AND EMOD BETWEEN 163 AND
195 AND SPZFK IN (
SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE TMPRT = 427 AND EMOD BETWEEN 162 AND
194 AND SPZFK IN (
SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE TMPRT = 538 AND EMOD BETWEEN 161 AND
193 AND SPZFK IN (
SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE TMPRT = 649 AND EMOD BETWEEN 151 AND
183 AND SPZFK IN (
SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE TMPRT = 982 AND EMOD BETWEEN 107 AND
139))));
```

10.6.2 Modifizierte Suchsemantik

Im folgenden ein Beispiel für eine Anfrage zum Suchtypus „Bereich um Kurve/Streuband“ unter Verwendung der modifizierten (laxeren) Suchsemantik. In diesem Beispiel eines Streubands um die Kurve zum Elastizitätsmodul von *HASTEL-LOYX* im unteren und mittleren Temperaturbereich ist auch die Abbildung auf die zweite Stützpunktkette angegeben, die bei den anderen Beispielen aus Platzgründen weggelassen wurde. Sie erfolgt bei allen kurvenbezogenen oder kurvenförmigen Suchverfahren. *Wing-Graph* arbeitet die beiden Statements sequentiell ab und bildet dann aus beiden Bezeichermengen die Vereinigungsmenge. Die Aneinanderkettung der Statements mit anschließender Vereinigungsmengenbildung entspricht dem *union*-Befehl von SQL, der allerdings ein für das graphische Retrieval zu schlechtes Laufzeitverhalten aufweist.

Statement zur ersten Stützpunktkette:

```
SELECT DISTINCT SPZFK FROM KNW11 WHERE
(
    (TMPRT = 200 AND EMOD BETWEEN 172 AND 196)
    OR (TMPRT = 300 AND EMOD BETWEEN 165 AND 189)
    OR (TMPRT = 400 AND EMOD BETWEEN 157 AND 181)
    OR (TMPRT = 500 AND EMOD BETWEEN 150 AND 174)
) AND SPZFK NOT IN (
```

```
SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE
(
    TMPRT = 200 AND NOT EMOD BETWEEN 172 AND 196)
    OR (TMPRT = 300 AND NOT EMOD BETWEEN 165 AND 189)
    OR (TMPRT = 400 AND NOT EMOD BETWEEN 157 AND 181)
    OR (TMPRT = 500 AND NOT EMOD BETWEEN 150 AND 174)
);
```

Statement zur zweiten Stützpunktkette:

```
SELECT DISTINCT SPZFK FROM KNW11 WHERE
(
    (TMPRT = 204 AND EMOD BETWEEN 169 AND 196)
    OR (TMPRT = 316 AND EMOD BETWEEN 161 AND 188)
    OR (TMPRT = 427 AND EMOD BETWEEN 153 AND 180)
    OR (TMPRT = 538 AND EMOD BETWEEN 144 AND 171)
) AND SPZFK NOT IN (
SELECT SPZFK FROM KNW11 WHERE
(
    TMPRT = 204 AND NOT EMOD BETWEEN 169 AND 196)
    OR (TMPRT = 316 AND NOT EMOD BETWEEN 161 AND 188)
    OR (TMPRT = 427 AND NOT EMOD BETWEEN 153 AND 180)
    OR (TMPRT = 538 AND NOT EMOD BETWEEN 144 AND 171)
);
```

10.7 Einzelbeobachtungen der Testauswertung

Im folgenden sind exemplarisch die Einzelbeobachtungen aus den Versuchsprotokollen zu Aufgabe 3 aufgeführt. Eine vollständige Auflistung der Versuchsbeobachtungen sowie die Transkription der Testprotokolle findet sich in WOLFF 1993B.

10.7 Aufgabe 3

10.7.1 Relevanzbewertung und Interpretation der Aufgabenstellung

- 10.7.1.1 Spontane Interpretation als Streuband (VP2, VP4)
- 10.7.1.2 Aufgabe zunächst auf ganzen Kurvenverlauf bezogen, aber auch eingeschränkte Interpretation denkbar (VP3)
- 10.7.1.3 Streubandinterpretation mit Tendenz Ausweitung nach oben/bessere Werte (VP6)
- 10.7.1.4 Temperaturbereich aus der Aufgabenstellung sehr eng abgeleitet (VP5, VP9)
- 10.7.1.5 Temperaturbereich für Streuband unklar (nur knapp unter 500/0-500) (VP8)
- 10.7.1.6 Fehlinterpretation „unter 500“ auf Elastizitätsmodul-Querschnitt abgebildet (VP9)
- 10.7.1.7 Aufgabenstellung Zerspantechnik nicht relevant (VP5), Werkstofftechnik nicht relevant (VP6)

10.7.2 Kognitive Zuordnung von Aufgabenstellung und Interaktionsverfahren

- 10.7.2.1 Korrekte Primärzuordnung (alle Versuchspersonen außer VP5)
- 10.7.2.2 Zuordnung 2KV zu A3 (bzw. der Semantik von KB) (VP5)

10.7.3 Interpretation und Bewertung der Suchsemantik

- 10.7.3.1 Leerergebnis als leerer Datenraum (VP3)

10.7.3.2 presearch-Interpretation des zu schmalen Streubandes als Nullergebnis (exploratives Arbeiten (VP4)

a) Unklare Suchsemantik:

10.7.3.3 Suche nach Formähnlichkeit (VP6, VP8, VP9), (Versuch mit S=120) (VP4)

10.7.3.4 Formähnlichkeit der Kurve oder Zugehörigkeit zum Streuband ? (VP2, VP3)

10.7.3.5 „ungraphische“ Interpretationsweise KB: KB als Temperaturspezifikation, bei der dann im zusätzlich angegebenen Elastizitätsmodul-Bereich Werkstoffe ähnlichen Verlaufs gefunden werden (Querschnitt ähnlicher Verläufe) (VP9)

b) Erwartungen bezüglich der Suchsemantik:

10.7.3.6 Zugehörigkeitskriterium Mindestanzahl von Datenpunkten ? (VP3)

10.7.3.7 Auch hinein- und hinauslaufende Kurven (VP2, VP3, VP4, VP5)

10.7.3.8 Hinweis auf enge Bereichswahl erwartet (bei jetziger Semantik) (VP3)

10.7.3.9 Suche mit Steigungsquerschnitt und Fangradius (d.h. Formähnlichkeit) (VP4)

10.7.3.10 Sucherfolg bei Mindestmaß an Übereinstimmung (VP6)

c) Vorschläge:

10.7.3.11 Suchtypen: Völlige und anteilige Übereinstimmung (bzw. entsprechender Hinweis) (VP6)

10.7.4 Ausführung der Interaktion

10.7.4.1 Die Tabelle beschreibt Lage und Breite der von den Versuchspersonen gesetzten Streubänder in chronologischer Reihenfolge, d.h. die Iterationsabfolge läßt sich gut beurteilen.

VP	untere Grenze	obere Grenze	Breite	Lage ¹	Sonstiges/Fehler
1	0	460	18	K	
	0	450	32	K	
2	0	500	16	KoK	
	0	500	35	KuK	
	0	420	35	KuK	
	0	630	25	K	Exploration
3	0	430	5	K	
	0	430	10	K	
	240	550	20	K	
	100	400	16	K	
4	0	430	3	K	
	0	430	25	K	
	80	400	120	KoK	Exploration
5	470	500	5	KoK	Endzuordnung
	30	500	12	KoK	Endzuordnung
	30	400	37	KoK	Endzuordnung

¹ Bedeutung der Notation: K = Bereich liegt gleichmäßig um Kurve, KoK = Bereich liegt um Kurve herum, mit Schwergewicht nach oben, KuK = Bereich liegt um Kurve herum, mit Schwergewicht nach unten.

VP	untere Grenze	obere Grenze	Breite	Lage ¹	Sonstiges/Fehler
6	420	50	5	KoK	
	420	10	12	KoK	
	420	10	25	KoK	
7	0	400	5	K	
	0	480	25	K	
8	0	430	15	K	
	0	490	35	KuK	
9	450	500	80	KuK	falscher Startwerkstoff aus Aufgabe 2
	480	500	55	KuK	Fehlinterpretation Pragmatik
	430	500	55	KuK	Fehlinterpretation Pragmatik
	530	250	50	KuK	Fehlinterpretation Pragmatik

Tabelle 17: Bereichsgrenzen- und lage bei Aufgabe 3

10.7.5 Besonderheiten der Interaktion

- 10.7.5.1 KBS von rechts nach links (Temperatur < 500 in Aufgabenstellung!) (VP6)
 10.7.5.2 Öffnen des Tabellenwerkzeugs bei Werkstoffselektionsproblem (VP7)

10.7.6 Hilfestellungen des Testleiters

- 10.7.6.1 Breiteres (Elastizitätsmodul), schmäleres (T) Streuband (VP1, VP2, VP3, VP5, VP6, VP7, VP8)
 10.7.6.2 Falscher Ausgangswerkstoff IN718 aus A2 (VP9)