
Konzept zur Unterstützung der Informationssuche im Konstruktionsprozess

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Sven Düselmann
aus Berlin

Von der Fakultät V Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -
genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Henning J. Meyer

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Lucienne Blessing

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Frank-Lothar Krause

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 10. Oktober 2007

Berlin, 2008

D 83

Inhaltsverzeichnis

1	ZIELSETZUNG UND MOTIVATION	1
1.1	Bedeutung von Information	1
1.2	Motivation und Ziel.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	GRUNDLAGEN.....	5
2.1	Übersicht	5
2.2	Der Konstruktionsprozess	5
2.3	Bedeutung von Information im Konstruktionsprozess	7
2.3.1	Zusammenhang zwischen Daten, Information und Wissen.....	7
2.3.2	Informationsbedarf beim Aufgaben- und Problemlösen	11
2.3.3	Suche nach Information	11
2.3.4	Verfügbarkeit von Information.....	12
2.3.5	Zeitliche Abhängigkeit von Information	14
2.4	Konstruktionstätigkeit als Problemlösungsprozess	15
2.4.1	Systemtechnische Grundlage allgemeiner Problemlösungsprozesse	15
2.4.2	Aufgabe und Problem	16
2.5	Methoden	18
2.5.1	Definition Methode.....	18
2.5.2	Zuverlässigkeit von Methoden.....	18
2.5.3	Generative und konstituierende Methoden	19
2.5.4	Schablonen, Ablaufpläne, Dialoge und Prinzipien.....	19
2.5.5	Übersicht über Methoden.....	20
2.5.6	Phasenorientierte Prozessmodelle.....	22
2.6	Produktmodell.....	32
2.7	Hilfsmittel.....	34
3	POTENTIAL UND HYPOTHESE	36
3.1	Übersicht	36
3.2	Grundlegendes Ziel des Konstrukteurs	36
3.3	Notwendige Tätigkeit des Konstrukteurs	37
3.3.1	Beschaffung von Information	37
3.3.2	Vorgehensweisen zur Suche in elektronisch abgelegten Daten.....	37
3.3.3	Suchstrategien.....	41

3.4 Hypothese	43
4 KONZEPT UND PROTOTYPISCHE VISUALISIERUNG	45
4.1 Übersicht	45
4.2 Konzept	45
4.2.1 Struktur	45
4.2.2 Kognitive Aspekte der Strukturdarstellung	47
4.2.3 Ausgestaltung des Konzepts	50
4.3 Prototypische Visualisierung	51
4.3.1 Vorgehen.....	51
4.3.2 Entwicklungsszenario und Konstruktionsaufgabe.....	52
4.3.3 Dokumentation des Vorgehens.....	54
4.3.4 Visualisierung der Benutzungsoberfläche	55
5 EVALUIERUNG DES KONZEPTS	60
5.1 Übersicht	60
5.2 Zielsetzung und Vorgehen	60
5.3 Bewertung der Ergebnisse der empirischen Untersuchung	63
5.3.1 Analyse der Fragebögen und freien Interviews	63
5.3.2 Analyse der Videoaufzeichnung.....	68
5.4 Schlussfolgerung	76
6 ERWEITERUNG DES KONZEPTS	77
6.1 Übersicht	77
6.2 Fragestellungen	77
6.3 Erweiterte Struktur	78
6.4 Demonstrator	80
6.4.1 Randbedingungen	80
6.4.2 Benutzungsoberfläche.....	82
6.4.3 Visualisierung des Datenraums	83
6.4.4 Metamerkmale	85
6.4.5 Bewertung von Suchergebnissen.....	85
6.4.6 Verknüpfungen	86
6.5 Test des Funktionsumfangs	88
6.5.1 Vorgehen.....	88
6.5.2 Erhebung industrieller Daten.....	88

6.5.3	Bewertung des Funktionsumfangs des Demonstrators.....	92
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	98
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	101
9	INHALTSVERZEICHNIS DES ANHANGS	106

1 Zielsetzung und Motivation

1.1 Bedeutung von Information

Seit Beginn der Menschheitsgeschichte wird Information genutzt, um anderen Ausschnitte des individuellen Wissens mitzuteilen oder Teile ihres Wissens aufzunehmen. Die rekonstruierte Menschheitsgeschichte zeigt eindrucksvoll, dass sich mit der Zeit nicht nur die Qualität von Information in Abhängigkeit von epochalen Randbedingungen geändert hat, sondern auch die Art ihrer Speicherung und Weitergabe.

So wurde zum Beispiel zur Zeit der Urmenschen die Information durch Nachahmen bestimmter Verhaltens- oder Vorgehensweisen von einem Individuum an die Gruppenmitglieder weitergegeben. Eine einschneidende Veränderung im Umgang mit Information resultierte aus der Nutzung der sich im Rahmen der Evolution entwickelnden Sprache. Es war nun möglich, die Realität auf einer abstrakten Ebene zu beschreiben und Information verbal zu vermitteln. Eine erneute einschneidende Veränderung im Umgang mit Information belegen die Funde von bildhaften Darstellungen sowie Schriftzeichen, mit deren Hilfe persönlich Erfahrenes dokumentiert und so für einen längeren Zeitraum gespeichert werden konnte.

Für die heutige Informationsgesellschaft ist die Beschaffung und Weitergabe von Information sowie deren unterschiedliche Ausprägung selbstverständlich. Der Stellenwert von Information, bezogen auf den Entwicklungsprozess technischer Produkte, wurde vor allem durch die Entwicklungen Mitte des 18. Jahrhunderts geprägt. Der Umbruchprozess von der vorindustriellen, traditionellen Wirtschaftsgesellschaft zur modernen Industriegesellschaft wurde durch eine Fülle von qualitativen Veränderungen wirtschaftlicher, sozialer, kultureller und politischer Art, die wiederum in einem engen Wirkungszusammenhang standen, ermöglicht. Als wichtigster Anstoß dieser Veränderungen wird meist jener Komplex technologischer Neuerungen genannt, mit denen Erkenntnisse naturwissenschaftlichen Denkens und Forschens in Antriebs- und Arbeitsmaschinen sowie die Nutzung chemischer Prozesse umgesetzt wurden /Hahn-98/.

Die Integration unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen in den Entwicklungsprozess ermöglichte, technische Eigenschaften des zu entwickelnden Produkts im Voraus zu bestimmen. Diese technischen Eigenschaften wurden durch entsprechende Modelle - Abbildungen bestimmter Aspekte der Realität auf einer abstrakten Ebene - beschrieben.

Die Notwendigkeit, diese Modelle und somit die im Entwicklungsprozess anfallende Information zu dokumentieren und abzulegen, folgt aus der Aufteilung der Arbeit auf unterschiedliche Personen. Die sich abzeichnende Trennung in Konstruktion und Fertigung erforderte von den Beteiligten der Konstruktion die Bereitstellung der erarbeiteten Information

für die nachfolgende Fertigung. Zugleich bedeutete Aufteilung der Tätigkeit des Konstruierens auf mehrere Personen, dass ein effizienter Informationsaustausch in Dialogform nicht mehr möglich war.

Mit der Zeit entwickelte sich eine "technische Sprache", die es erlaubte, mit Hilfe von Zeichnungen, Symbolen, der Mathematik sowie der gewohnten Sprache, technische Sachverhalte zu beschreiben und zu dokumentieren. Die effiziente Handhabung der mit Hilfe dieser technischen Sprache abgebildeten Information ist seit jener Zeit ein Schlüssel zum Erfolg jedes Unternehmens.

1.2 Motivation und Ziel

Die Entwicklung innovativer, marktfähiger Produkte ist seit der industriellen Revolution eine Aufgabe, deren Bearbeitung durch eine Vielzahl von Personen erfolgt. Durch die Kombination individueller Fähigkeiten bzw. Kenntnisse lassen sich die immer komplexer werdenden technologischen, ökologischen und soziologischen Anforderungen an die zu entwickelnden Produkte im Rahmen der Produktentwicklung berücksichtigen. Die Vielzahl der Beteiligten am Entwicklungsprozess führt zwangsläufig zu einem hohen Kommunikationsbedarf. Der Einzelne ist zur Bearbeitung seiner individuellen Aufgaben auf die Information anderer angewiesen.

Ein einfacher und zugleich sehr effizienter Weg zur Beschaffung der benötigten Information besteht in der verbalen Kommunikation zwischen dem Suchenden und dem so genannten Informationsträger. Diese Form der Informationsbeschaffung setzt jedoch voraus, dass dem Suchenden der Träger der Information bekannt ist, um im Dialog die gewünschte Information abzufordern. Durch die räumliche Verteilung bzw. die Vielzahl der am Prozess Beteiligten ist diese Art der Informationsbeschaffung allerdings oftmals nicht praktikabel anwendbar.

Deshalb erfolgt ein Großteil des Informationsaustauschs auf Basis von Daten, die aufgrund bekannter oder unterstellter Abmachungen zwischen den Nutzern entsprechende Information repräsentiert. Der Vorteil bei der Nutzung von Daten zum Informationsaustausch liegt in der Möglichkeit der rechnergestützten Speicherung und der damit zeit- und ortsunabhängigen Verfügbarkeit.

Prinzipielle Verfügbarkeit darf jedoch nicht gleichgesetzt werden mit Verfügbarkeit für den Einzelnen. Ist der Ort der abgelegten Daten nicht bekannt und somit ein direkter Zugriff auf Daten unmöglich, so liefert eine Suche die gewünschte Information. In diesem Zusammenhang ist das Ziel der vorliegenden Arbeit einen neuartigen Ansatz zur Suche in Form einer zielgerichteten Navigation in den Produktdaten aufzuzeigen. Möglich wird dies

durch die adäquate Visualisierung des Wissens des Konstrukteurs über Beziehungen von Information zueinander, die sich aus dem Konstruktionsprozess ableiten lassen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit folgt der Idee, einen Ansatz konzeptionell umzusetzen und anschließend dieses Konzept durch eine empirische Evaluierung abzusichern. Die dabei gewonnen Erkenntnisse werden zu einer Erweiterung des Konzepts und zum Aufbau eines Demonstrators genutzt. Eine Übersicht über den Aufbau der Arbeit ist in Abbildung 1 dargestellt und wird anschließend genauer beschrieben.

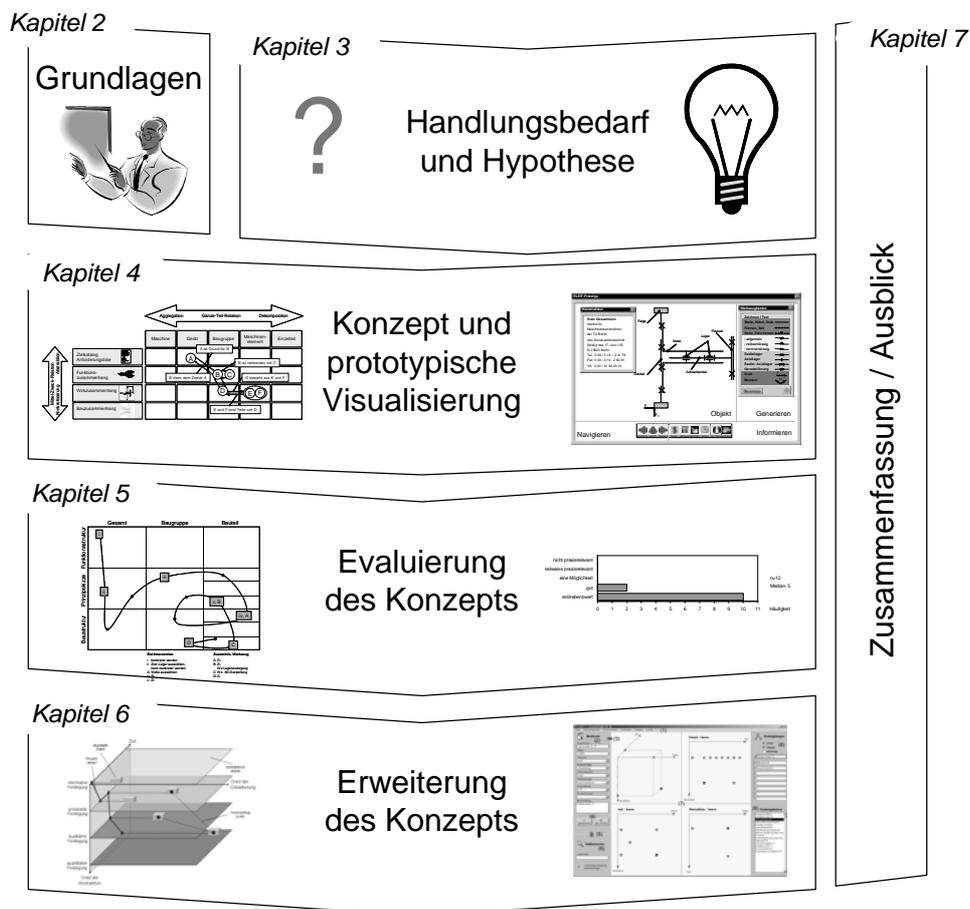


Abbildung 1 Gliederung der Arbeit

Im Grundlagenkapitel 2 werden bekannte Aspekte des Konstruktionsprozesses beschrieben, die die spätere Einordnung des in Kapitel 3 formulierten Ansatzes erleichtern. Hierzu zählen vor allem Erläuterungen über die Bedeutung von Information im Konstruktionsprozess, der Zusammenhang zu Produktmodellen, das Vorgehen von Konstrukteuren und die Beschreibung von Methoden und Hilfsmitteln.

In Kapitel 3 wird über die Beantwortung der Fragestellungen nach dem grundlegenden Ziel des Konstruktionsprozesses und was zu dessen Erreichung erforderlich ist, der Stellenwert der Suche nach Information verdeutlicht. Es wird ein Ansatz, wie die Beschaffung von Information im Konstruktionsprozess unterstützt werden kann, aufgezeigt und in Form einer Hypothese formuliert.

Dieser formulierte Ansatz wird im Kapitel 4 in Form eines Konzepts konkretisiert. Es wird eine Möglichkeit der prototypischen Visualisierung aufgezeigt, die eine spätere empirische Evaluierung des Konzepts ermöglicht. Bei der prototypischen Visualisierung werden Aspekte der Arbeitswissenschaften berücksichtigt, um einen möglichst hohen Grad der Identifizierung späterer Nutzer erzielen zu können.

In Kapitel 5 erfolgt die Darstellung der Vorgehensweise und des Ergebnisses der empirischen Evaluierung mit Industriepartnern.

Die Umsetzung der im Rahmen der industriellen Evaluierung gewonnenen Erkenntnisse wird in Kapitel 6 dargelegt. Hierzu zählen eine Erweiterung des Konzepts und die Neugestaltung der Benutzungsoberfläche, die in der Definition eines Demonstrators berücksichtigt werden.

Ein abschließende Zusammenfassung und ein Ausblick erfolgen in Kapitel 7.

2 Grundlagen

2.1 Übersicht

In diesem Kapitel werden Grundlagen beschrieben, die es dem Leser ermöglichen sollen, die in Kapitel 3.4 aufgestellte Hypothese in den Konstruktionsprozess einordnen zu können. Auf Basis einer allgemeinen Beschreibung des Konstruktionsprozesses als Leitfaden, werden im Zusammenhang stehende Fragestellungen in den dann folgenden Unterkapiteln beantwortet (Abbildung 2):

- Was ist Information und welche Bedeutung hat diese im Konstruktionsprozess?
- Was bedeutet Problemlösen während des Konstruktionsprozesses?
- Was sind Methoden und wie können diese die Konstruktionstätigkeit unterstützen?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen Produktmodellen und dem Konstruktionsprozess?
- Was sind Hilfsmittel?

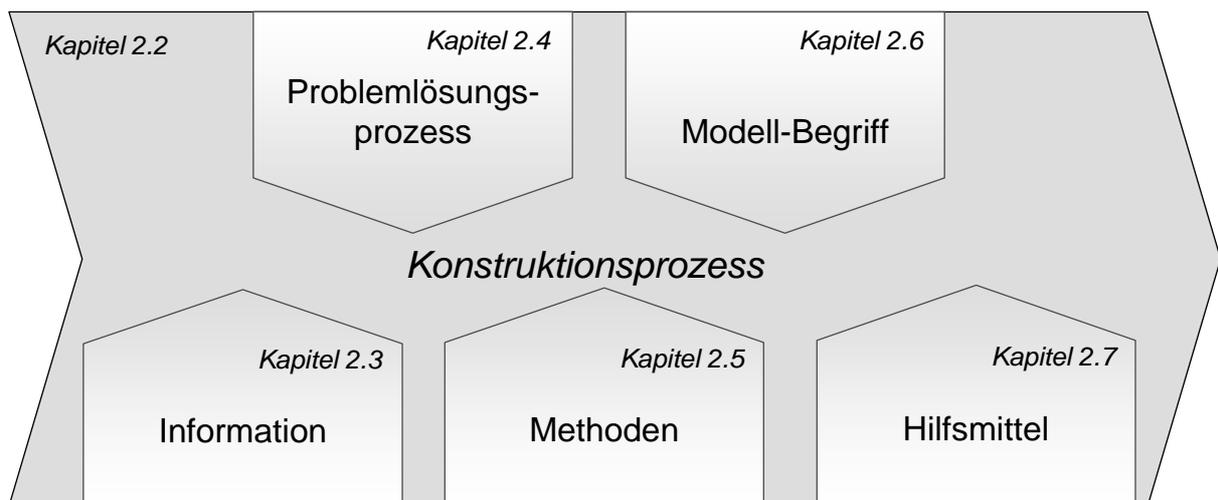


Abbildung 2 Gliederung des Kapitels Grundlagen

2.2 Der Konstruktionsprozess

Unterschiedliche Disziplinen beschreiben die vielfältigen Tätigkeiten während des Konstruktionsprozesses unter Berücksichtigung des jeweiligen fachspezifischen Fokus, systematisieren diese und betten sie in einen individuellen Kontext. Eine allgemeingültige, kontextunabhängige und allumfassende Definition des Konstruktionsprozesses existiert heutzutage nicht. Die im Folgenden erwähnten Ansätze sollen helfen, das später beschriebene Konzept besser bewerten zu können.

Als eigenständige Disziplin hat sich die Konstruktionswissenschaft zum Ziel gesetzt, durch Systematisierung und Modellierung des Konstruktionsprozesses diesen planbar,

nachvollziehbar und lehrbar zu machen. Einen exakten Zeitpunkt deren Entstehung zu nennen ist schwierig. Mit den Arbeiten von Wögerbauer /Wög-43/ liegt erstmals eine umfassende Darstellung der ‚Technik des Konstruierens‘ vor. Seit dem haben viele Konstruktionswissenschaftler bestehende Ideen aufgegriffen, erweitert, modifiziert oder neue entwickelt. Letztendlich entstanden daraus die heutigen Hilfsmittel, welche die verschiedenen Tätigkeiten des Konstruierens vereinfachen, beschleunigen, verbessern und integrieren. Für eine umfassende Darstellung sei als Ausgangspunkt auf die Arbeiten von Pahl und Beitz /PaBe-97/, Rodenacker /Rod-91/ und Koller /Kol-94/ verwiesen.

Wesentliche Aufgabe eines Konstrukteurs ist es, für technische Probleme mit Hilfe natur- und ingenieurwissenschaftlicher Erkenntnisse bei Berücksichtigung von stofflichen, technologischen, wirtschaftlichen, gesetzlichen sowie umwelt- und menschbezogenen Bedingungen bzw. Einschränkungen Lösungen zu finden /PaBe-97/. Allgemeiner formuliert Müller /Müll-90/ den Begriff des Konstruierens als Prozess des wissenschaftlichen Vorausdenkens zur Schaffung technischer Gebilde. Diese sollen die geforderten Funktionsmengen in einem Kontext von Bedingungen erfüllen und optimal herstellbar sein. Das schließt die Erstellung der notwendigen und hinreichenden Unterlagen ihrer Fertigung und die Überführung in die Anwendung ein.

Bezogen auf die Produktlebensphasen definiert Ehrlenspiel Konstruieren in Anlehnung an die Begriffsbestimmung der VDI-Richtlinie 2221 folgendermaßen /Ehr-92/: Das Konstruieren ist das Festlegen von Produktmerkmalen. Es umfasst alle Tätigkeiten, mit denen - ausgehend von einer Aufgabenstellung - die zur Herstellung und Nutzung eines Produkts notwendigen Informationen erarbeitet werden und in der Festlegung der Produktdokumentation enden. Diese Tätigkeiten schließen die vormaterielle Zusammensetzung der einzelnen Funktionen und Teile eines Produkts, den Aufbau zu einem Ganzen und das Festlegen aller Einzelheiten ein. Die Stellung der Konstruktion in Bezug zum Produktkreislauf wird in der Abbildung 3 dargestellt.

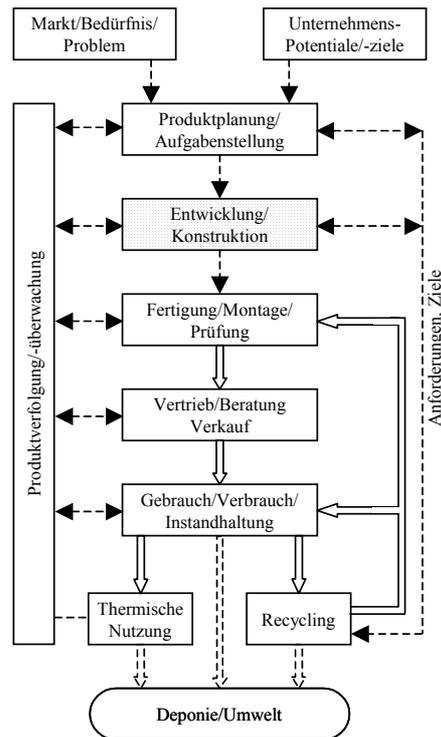


Abbildung 3 Produktkreislauf mit Produktentstehungs- und -lebensphasen einschließlich erforderlicher Informationswege /VDI 2243/

Gegenstand der Tätigkeit des Konstruierens ist das Produkt. Entscheidendes Kriterium ist, dass die Produktmerkmale immateriell in Form von Information festgelegt und als Daten dokumentiert werden. Die materielle Festlegung dieser Produktmerkmale erfolgt in der anschließenden Produktion. Aufgrund der Arbeitsteiligkeit bei der Produktentstehung muss die zunächst gedankliche Beschreibung eines Produkts von einer Person zur anderen weitergegeben werden /Wel-95/. Zu diesem Zweck wird Information in Daten und wiederum in Information gewandelt (Kapitel 2.3.1).

2.3 Bedeutung von Information im Konstruktionsprozess

2.3.1 Zusammenhang zwischen Daten, Information und Wissen

Im allgemeinen Sprachgebrauch und in der Literatur ist der Übergang zwischen den Begriffen Daten, Information und Wissen fließend. Die Bedeutung dieser Begriffe wird meist im Zusammenhang mit deren Verwendung definiert. Im Folgenden werden der Zusammenhang und die Bedeutung dieser drei Begriffe im Rahmen der vorliegenden Arbeit erläutert.

Aus den folgenden Definitionen bzw. Beschreibungen der Begriffe Daten, Information und Wissen geht hervor, dass der Mensch das Bindeglied zwischen diesen darstellt (siehe Abbildung 4).

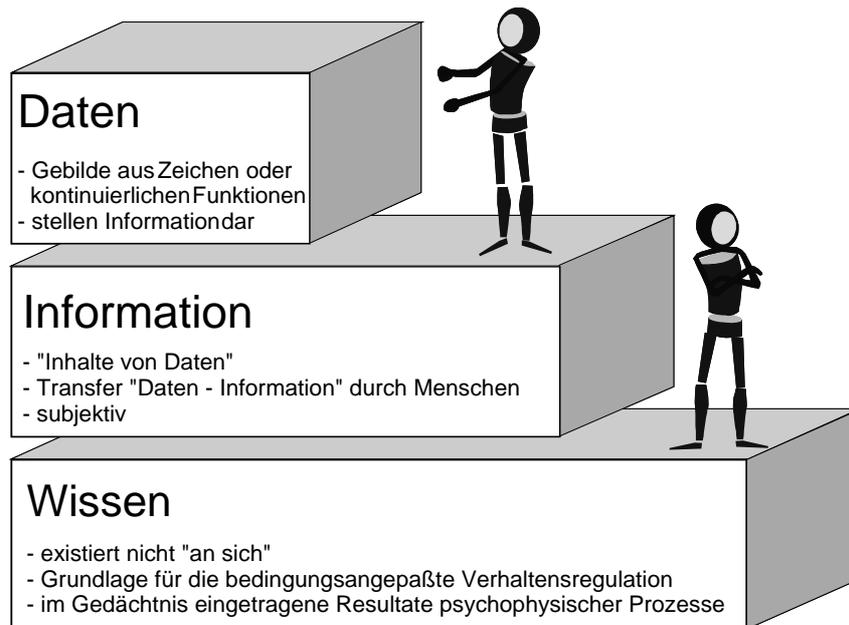


Abbildung 4 Zusammenhang zwischen Daten, Information und Wissen

Daten

Daten sind Gebilde aus Zeichen oder kontinuierlichen Funktionen, die aufgrund bekannter oder unterstellter Abmachungen Information darstellen /DIN 44300/. Bezogen auf den Kommunikationsprozess stellen Daten die kleinste Einheit dar und werden vom Menschen durch seine Sinnesorgane wahrgenommen. Die Darstellung der Daten erfolgt mit Hilfe unterschiedlicher Medien, wie z.B. Text, Bild, Ton oder Film. Eine Wertung des dargestellten Sachverhalts durch die Daten erfolgt nicht, d.h. deren Darstellung ist zweckfrei. Deshalb können Daten auch nicht direkt dazu genutzt werden, eine Entscheidung oder Handlung einer Person zu veranlassen /Irl-99/. Vielmehr stellen Daten den "Rohstoff" für die Gewinnung von Information dar.

Information

Eine ähnlich exakte und für sich allein stehende Definition, wie sie für die Daten vorgenommen wurde, lässt sich für den Begriff Information nicht festlegen. Die zentrale Stellung von Information wird im Folgenden durch die Beziehungen zu Daten auf der einen und Wissen auf der anderen Seite verdeutlicht. Die anschließende Darstellung der Arten von Information zeigt die Vielfältigkeit der unterschiedlichen Ausprägungen von Information.

Nur Lebewesen ist es möglich, aus Daten Information zu gewinnen bzw. umgekehrt Information in Form von Daten zu speichern. Die Interpretation von Daten basiert auf dem Wissen des Einzelnen. Die gewonnene Information ist somit etwas Subjektives. Um beispielsweise aus einer zugrunde liegenden technischen Zeichnung den Durchmesser einer

Welle "abzulesen", muss der Nutzer über das Wissen zum Lesen dieser Art von Daten verfügen. Fehlt ihm dieses Wissen, so ist in der Regel ein Generieren von Information auf Basis der vorliegenden Daten nicht möglich.

Unabhängig vom Wissen des Einzelnen hängt der Informationsgehalt aber auch von der individuellen Situation ab, in der Information aus Daten generiert wird. In Abhängigkeit von der individuellen Zielsetzung bzw. der zugrunde liegenden Fragestellung können aus demselben Datenmaterial unterschiedliche Informationen gewonnen werden. So kann z.B. aus der technischen Zeichnung einer Welle sowohl der Durchmesser, die Oberflächenbeschaffenheit wie auch der Name des verantwortlichen Konstrukteurs ermittelt werden.

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass bei dem "Übergang" von Daten nach Information der zweckfreie Charakter von Daten verloren geht, da diesen eine Bedeutung (Semantik) zugeordnet wurde. Hacker beschreibt deshalb auch Information als den Inhalt von Daten /Hack-95/.

Information kann nicht nur mit Hilfe von Wissen generiert, sondern auch zur Übermittlung bzw. Weitergabe von Wissen genutzt werden. Da Wissen nicht "an sich" existiert (siehe nächsten Absatz *Wissen*), erfolgt die Übermittlung bzw. Weitergabe mit Hilfe von Information, die einen zweckorientierten, situationsabhängigen Ausschnitt von Wissen repräsentiert /Müll-95/. Diese "gefilterte" Information unterliegt demnach sowohl einer qualitativen wie auch quantitativen Begrenzung /Irl-99/.

Trotz des subjektiven Charakters von Information ist in Anlehnung an Müller /Müll-95/ und die DIN 44300 /DIN 44300/ eine Klassifizierung von Information möglich. Die unterschiedlichen Arten von Information lassen sich anhand der Merkmale *Träger*, *Inhalt* und *Funktion der Information* klassifizieren. Eine weitere Unterteilung in *Ziel-*, *Sach-* und *Handlungsinformation* ermöglicht eine genauere Bestimmung der *Funktion* von Information (siehe Abbildung 5).

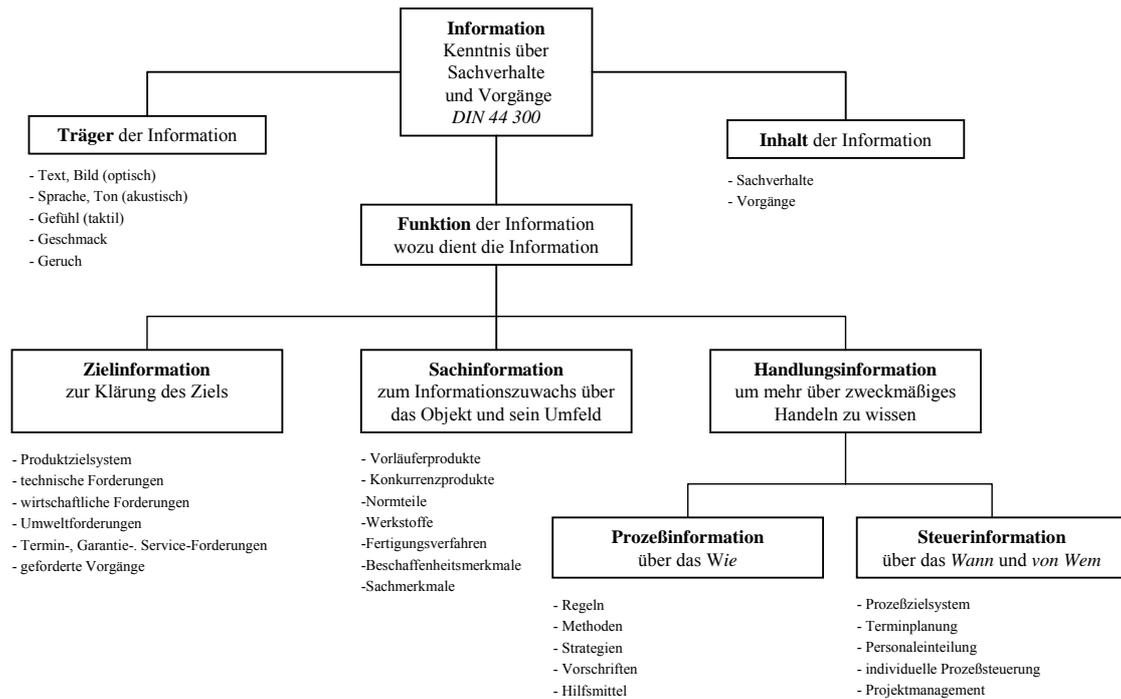


Abbildung 5 Arten von Information nach DIN 44 300 /DIN 44300/

Wissen

Wissen ist ursprünglich immer etwas im Gedächtnis eines Individuums Gespeichertes. Wissen existiert nicht "an sich", sondern ist wesentliche Grundlage für die bedingungsangepasste Verhaltensregulation des Individuums in seiner Umgebung. Das Entscheidende ist, dass es sich bei Wissen um ins Gedächtnis eingetragene Resultate psychophysischer Prozesse handelt. Insbesondere sensorische, motorische und kognitive Operationen führen zu dieser Eintragung. Teile des Wissens sind zugleich wiederum Grundlage für diese Prozesse, indem sie Programme für die Prozessabläufe darstellen /Rot-95/. Die Quellen individuellen Wissens nach Klix sind /Klix-92/:

- das Erbgut,
- die individuelle Erfahrung,
- die sprachliche Belehrung und
- das eigene Denken.

Davenport und Prusak /DaPu-98/ beschreiben Wissen als eine fließende Mischung aus strukturierten Erfahrungen, Wertvorstellungen, Kontextinformationen und Fachkenntnissen, die in ihrer Gesamtheit einen Strukturrahmen zur Beurteilung und Eingliederung neuer Erfahrungen und Informationen bietet.

2.3.2 Informationsbedarf beim Aufgaben- und Problemlösen

Information ist keine objektive Größe, sondern wird durch problemspezifische Interpretation der zur Verfügung stehenden Daten vom jeweiligen Nutzer generiert (Kapitel 2.2). Beim Aufgaben- und Problemlösen gilt es ein Informationsdefizit zu reduzieren, welches aus dem individuellen Wissen in Bezug zur jeweils zu bearbeitenden Aufgabe resultiert (Kapitel 2.4.2). Die dazu benötigte Information lässt sich nach Müller /Müll-90/ in unterschiedlichen Klassen zusammenfassen (siehe Abbildung 6).

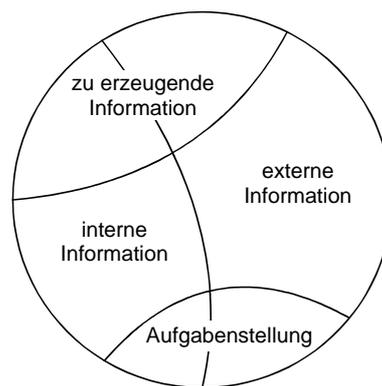


Abbildung 6 Die Struktur des Informationsbedarfs beim Problemlösen in Anlehnung an /Müll-90/

Einerseits kann zwischen Information, die während des Prozesses erzeugt wird und solcher, die bereitgestellt werden kann, unterschieden werden. Andererseits ist eine Unterteilung der Information nach deren Herkunft möglich. Information kann vom Bearbeiter selbst kommen, somit also seinem eigenen Wissen entspringen, oder wird aus einem externen Vorrat genommen. Ein Teil der benötigten Information wird durch die Aufgabenstellung vorgegeben.

Anhand dieser Klassifizierung wird deutlich, dass die Menge der benötigten externen Information von der internen abhängt. Je größer also das problemspezifische Wissen und damit der Vorrat an interner Information ist, desto geringer ist die Menge der benötigten externen Information. Dies bedeutet im Allgemeinen, dass der Aufwand für die Suche nach externer Information abnimmt, je mehr problemspezifisches Wissen beim Bearbeiter vorhanden ist.

2.3.3 Suche nach Information

Auf die Bedeutung von Information als "Bindeglied" zwischen individuellem Wissen und der Speicherung in Form von Daten wurde im Kapitel 2.3.1 eingegangen. Sieht man den Konstruktionsprozess als Informationsumsatz, so wird deutlich, dass eine effiziente Bereitstellung und Organisation von Informationsbeständen erhebliche Potentiale birgt, deren

Ausnutzung sowohl die Qualität der Produktentwicklung steigert, als auch die dafür benötigte Zeit reduziert /GrGe-97/. Analysen der Tätigkeit des Konstrukteurs haben ergeben, dass insbesondere bei Aufgaben mit hohen Innovationsanforderungen auf Informationsschaffung und Wissenserwerb etwa 50% der Arbeitszeit des Konstrukteurs verwandt werden /Pfli-91/. Nach Erhebungen im Rahmen des DFG-geförderten Projekts "Entwicklung konstruktionsaufgabenorientierter Konstruktionssysteme" entfallen ungefähr 59% der Arbeitszeit auf das Suchen nach Information /BeLuKr-98/ (Kapitel 5.3.1). Diese Zahl kann abhängig von der Branche bzw. des Entwicklungsprozesses sogar 70% betragen /Glog-98/. Die Haupttätigkeiten des Konstrukteurs lassen sich abstrahiert am besten in die Suche nach und in die Erstellung von Information differenzieren (siehe Abbildung 7).

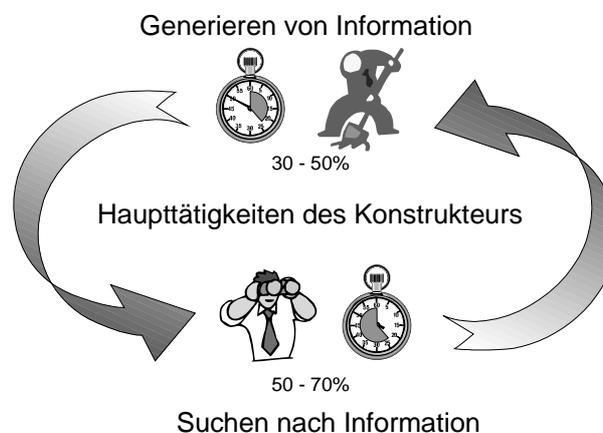


Abbildung 7 Suchen und Generieren von Information

Die Suche nach Information wird von zwei charakteristischen Merkmalen,

- der Verfügbarkeit (Kapitel 2.3.4) und
 - dem zeitlichen Verhalten von Information (Kapitel 2.3.5),
- nachhaltig beeinflusst /AhDüSchTe-99/.

2.3.4 Verfügbarkeit von Information

Um ein Problem zu lösen, ist oftmals neben der heuristischen Kompetenz des Menschen und der internen Information, die sich aus dem individuellen Wissen generieren lässt, die Beschaffung externer Information notwendig (Kapitel 2.3.1). Hierbei kann zwischen einem Zugriff und einer Recherche unterschieden werden (siehe Abbildung 8). Beim Zugriff auf Information (dünne Pfeile in Abbildung 8) werden deren Existenz sowie die Kenntnis über den Informationsträger vorausgesetzt. Somit ist die Information abrufbar und beeinflusst das weitere Vorgehen. Ist hingegen die Existenz der gesuchten Information ungewiss oder der Informationsträger unbekannt, so beeinflusst das Ergebnis der Recherche das weitere Vorgehen (dicke Pfeile in Abbildung 8). Bei einer erfolglosen Recherche, d.h. die gesuchte

- IT-erfasste Information

Charakteristisches Merkmal für IT-erfasste Information ist deren Ablage in Form von Daten (Kapitel 2.2), deren Erstellung, Änderung, Speicherung und Löschung mit Hilfe der Werkzeuge der Informationstechnik möglich ist, wie z.B. FEM- oder CAD-Daten oder mit textverarbeitender Software geschriebene Dokumente.

Zwischen vielen Informationen innerhalb dieser drei Gruppen bestehen Beziehungen. So findet man beispielsweise einen Verweis in der rechnertechnisch erfassten Information auf den Lagerort eines Prototyps, oder ein befragter Mitarbeiter kann ebenfalls diese Auskunft geben.

2.3.5 Zeitliche Abhängigkeit von Information

Ein weiteres Merkmal von Information ist deren zeitliche Abhängigkeit und damit die "Gültigkeit" bezogen auf einen Produktentwicklungsprozess (PEP). Der Zusammenhang zwischen dynamischer, statischer und quasistatischer Information wird in der Abbildung 9 dargestellt. Verschiedene Versionen einer Anforderungsliste ($V_1 \dots V_x$) und deren unterschiedliche Ausprägungen der Anforderung „leiser Motor“ verdeutlichen diesen Zusammenhang.

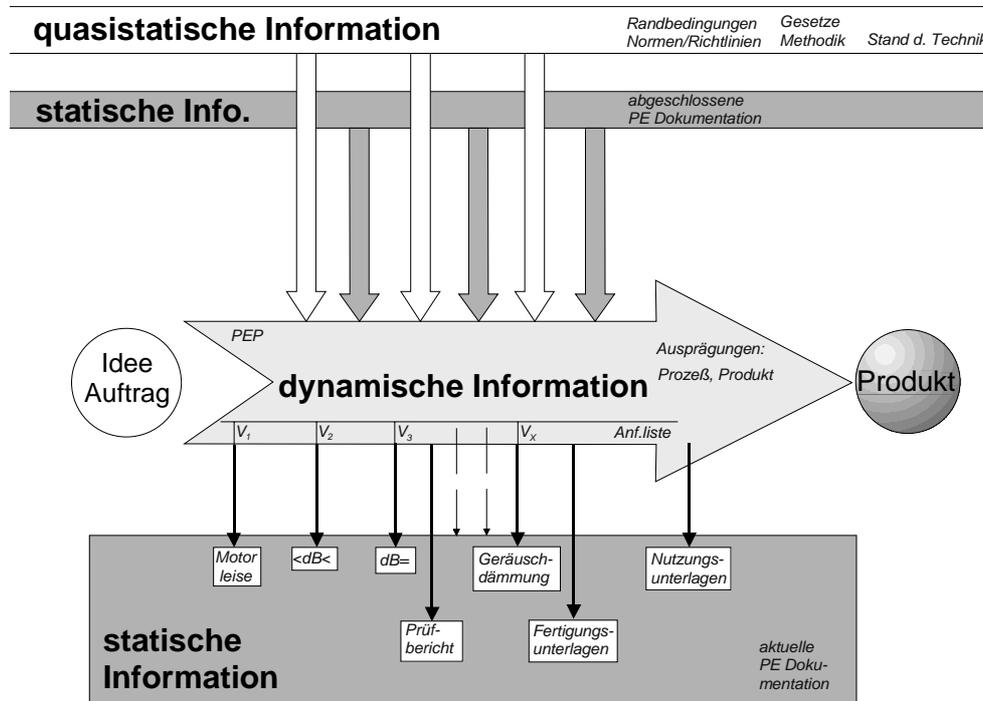


Abbildung 9 Zeitliche Einordnung von Information im Produktentwicklungsprozess

Die im Konstruktionsprozess verwendete Information dient der schrittweisen Konkretisierung des Konstruktionsgegenstands. Insofern kann man allgemein davon ausgehen, dass Information einen dynamischen Charakter besitzt, da sie einem ständigen Wandel unterzogen

ist. Erst durch deren Dokumentation geht dieser dynamische Charakter verloren und die dynamische Information wird zur statischen. Diese Produktentwicklungs-Dokumentation (PE Dokumentation) repräsentiert mit Hilfe von geeigneten Modellen den jeweiligen Stand einer Entwicklung zu einem bestimmten Zeitpunkt. Information, die über einen längeren Zeitraum besteht und produktunabhängig ist, wird als quasistatische Information bezeichnet, wie z.B. Normen, Richtlinien.

2.4 Konstruktionstätigkeit als Problemlösungsprozess

2.4.1 Systemtechnische Grundlage allgemeiner Problemlösungsprozesse

Die Systemtechnik als interdisziplinäre Wissenschaft stellt Methoden, Verfahren und Hilfsmittel zur Analyse, Planung, Auswahl und optimalen Gestaltung komplexer Systeme bereit /Dan-79/. Ausgehend davon, dass technische Gebilde Systeme darstellen, liefert die Systemtechnik Methoden zur Unterstützung bei der Entwicklung dieser technischen Gebilde.

Die von der Systemtechnik vorgeschlagene Vorgehensweise beruht auf der allgemeinen Erkenntnis, dass die Definition von Arbeitsschritten zur Lösung komplexer Probleme zweckorientiert erscheint /PaBe-97/. Die vorgeschlagene Problemlösungsstrategie beruht auf dem sog. Problemlösungszyklus, der aus folgenden Einzelschritten besteht /DaHu-94/:

- *Situationsanalyse*: Gewinnung zusätzlicher Informationen über Schwerpunkte und Randbedingungen der Aufgabenstellung.
- *Zielformulierung*: Formale Festlegung der Zielsetzung der Systementwicklung als präzisierende, lösungsneutrale Formulierung des Wesenskerns der Aufgabenstellung.
- *Synthese von Lösungen*: Entwicklung von möglichst mehreren Lösungsvarianten.
- *Analyse von Lösungen*: Analyse der Eigenschaften der Lösungsvarianten als Grundlage für die Vornahme einer Systembewertung.
- *Bewertung*: Vornahme der Systembewertung durch Vergleich der Eigenschaften der Lösungsvarianten mit den bestehenden Anforderungen.
- *Entscheidung*: Entscheidung zwischen der Auswahl einer geeigneten Lösung oder dem Abbruch der Systementwicklung.

Da die auftretenden Probleme während der Konstruktionstätigkeit sehr komplexer Natur sein können, bietet sich deren Auflösung in überschaubare und weniger komplexe, dafür aber definierte einzelne Elemente an (siehe Abbildung 10).

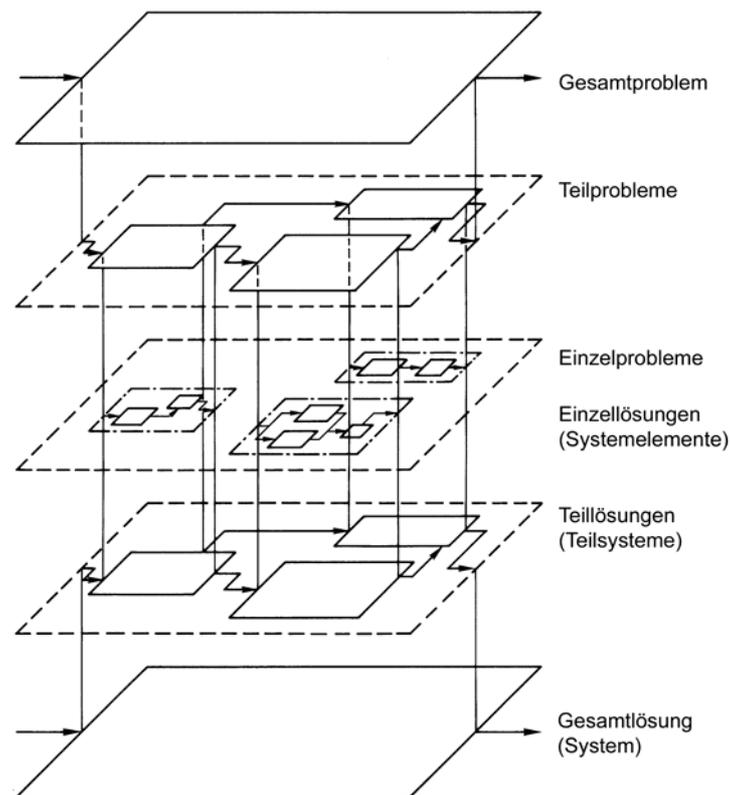


Abbildung 10 Auflösung von Teilproblemen in Gesamtprobleme /VDI 2221/

Dieses Vorgehen wird von Pahl und Beitz /PaBe-97/ als *Methode der Faktorisierung* beschrieben, bei der sich durch die Entflechtung nicht nur Teilprobleme sondern sogar Teilaufgaben ergeben, deren Bearbeitung zu einer sofortigen Lösung führen (Kapitel 2.4.2). Die entwickelten Teillösungen werden anschließend zur Gesamtlösung synthetisiert.

2.4.2 Aufgabe und Problem

Unabhängig von der Branche, dem Wissen eines Individuums oder dem zu konstruierenden Produkt, steht aus Sicht des Konstrukteurs am Beginn des Konstruktionsprozesses die Aufgabenstellung. Dabei spielt es keine Rolle, ob diese schriftlich vorliegt, mündlich vorgetragen wird oder sich aus der momentanen Arbeit ergibt. Unter den jeweils gegebenen Randbedingungen wird der Konstrukteur versuchen, eine Lösung für die jeweilige Aufgabenstellung zu erarbeiten. Dabei muss zwischen Problem und Aufgabe unterschieden werden. Ist dem Konstrukteur die Vorgehensweise (Schema) bekannt, mit der der gegebene Anfangszustand in den angestrebten Endzustand transformiert werden kann, so liegt ein Spezialfall eines Problems vor, nämlich die Aufgabe. Bei einem Problem existiert eine Barriere, die zur Lösung des Problems vom Bearbeiter überwunden werden muss. Nach Dörner /Dör-87/ ist die Fähigkeit des Menschen, nicht mathematische-Methoden zur

Gewinnung neuer Erkenntnisse zu generieren (Heuristik), die einzige Möglichkeit, diese Barriere zu überwinden und damit Probleme zu lösen (siehe Abbildung 11).

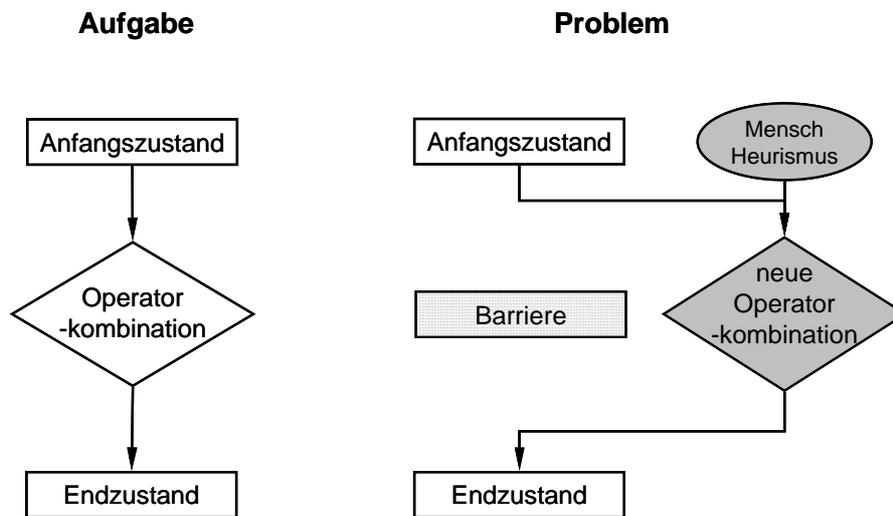


Abbildung 11 Aufgabenerfüllung und Problemlösung nach Dörner /Dör-87/

Das Verfahren zur Überwindung des Hindernisses bzw. der Barriere, welches der Transformation des gegebenen Anfangszustands in den gewünschten Endzustand entgegensteht, ist von mehreren Faktoren abhängig und nicht allgemeingültig a priori definierbar. Diese Faktoren bezeichnet man als objektive oder subjektive Unschärfe des Bearbeitungsprozesses.

Im Falle objektiv begründet unscharfer Bearbeitungsprozesse können folgende Arten von Problemen unterschieden werden /Dör-87/:

- Syntheseproblem, Operatorproblem:
Die Mittel zur Problembearbeitung sind unbekannt und müssen noch gefunden werden.
- Interpolationsproblem, Kombinations- oder Auswahlproblem:
Mittel zur Problembearbeitung sind zwar bekannt, aber diese sind so zahlreich oder es müssen so viele kombiniert werden, dass die systematische Kombination unmöglich bzw. nur unter unverhältnismäßigem Aufwand möglich ist.
- dialektisches Problem, Such- und Anwendungsproblem:
Die Ziele sind nur vage bekannt oder unscharf formuliert. Die Lösung entsteht durch ein dauerndes Abwägen und Beseitigen von Widersprüchen.

Im Falle subjektiv begründet unscharfer Bearbeitungsprozesse können weiterhin die folgenden Arten von Problemen unterschieden werden /Müll-90/:

- Einem Bearbeiter ist aufgrund seines individuellen Niveaus die Nutzung einer vorrätigen algorithmischen Methode (noch) nicht möglich.

- Ein erfahrener Bearbeiter operiert so effektiv im Bereich seines Alltagswissens, dass die Vorgabe einer Methode eine unerwünschte Einschränkung seiner Kreativität und Effizienz bedeuten würde.

2.5 Methoden

2.5.1 Definition Methode

Wesentliche Aufgabe eines Konstrukteurs ist es, für technische Probleme mit Hilfe natur- und ingenieurwissenschaftlicher Erkenntnisse bei Berücksichtigung von stofflichen, technologischen, wirtschaftlichen, gesetzlichen sowie umwelt- und menschbezogenen Bedingungen bzw. Einschränkungen Lösungen zu finden /PaBe-97/ (Kapitel 2.2). Zur Unterstützung dieser Tätigkeiten existiert eine Vielzahl von Methoden und Hilfsmitteln, deren Nutzung den Konstruktionsprozess in qualitativer und quantitativer Weise beeinflussen und vielseitige Ansätze zur Unterstützung des Konstrukteurs liefern.

Im Rahmen dieser Arbeit wird unter einer Methode die Menge von Vorschriften verstanden, deren Ausführung den Vollzug einer als zweckmäßig erachteten Operationsfolge unter gegebenen Bedingungen hinreichend sicherstellt /Müll-90/.

2.5.2 Zuverlässigkeit von Methoden

Methoden lassen sich nach Müller /Müll-90/ gemäß ihrer Zuverlässigkeit in algorithmische und heuristische Methoden einteilen. Dabei ist die Zuverlässigkeit einer Methode ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, durch Anwendung der jeweiligen Methode das beabsichtigte Ergebnis zu erreichen.

- *Algorithmische Methoden* stellen das Erreichen des Ergebnisses nach einer endlichen Anzahl von Operationen sicher oder lassen einen Abbruch der Methode begründen. Sie sind prinzipiell vollständig auf logische Elementaroperationen explizierbar.
- *Heuristische Methoden* stellen das Erreichen des Ergebnisses zwar nicht sicher, bewirken aber ein zielstrebigeres, sichereres bzw. effektiveres Ablaufen des Bearbeitungsprozesses.

Die Anwendung heuristischer Methoden kann durchaus die Nutzung algorithmischer Methoden einschließen bzw. fördert sogar deren Anwendung im Rahmen eines effizienten Lösungsfortschritts. Ansonsten ist die Anwendung algorithmischer Methoden auf die Bearbeitung von Aufgaben beschränkt, da per Definition bei diesen das Verfahren zur Überführung des gegebenen Anfangszustands in den gesuchten Endzustand bekannt ist (Kapitel 2.4.2).

Ist das Verfahren nicht bekannt, handelt es sich um ein Problem. Die damit verbundene Barriere kann mit Hilfe heuristischer Methoden überwunden werden. Durch die Nutzung heuristischer Methoden wird eine zielorientierte Erarbeitung einer Lösung ermöglicht, die nur von der subjektiven oder objektiven Unschärfe des Bearbeitungsprozesses abhängt (Kapitel 2.4.2).

Eine Unterstützung intuitiver Vorgehensweisen zur Lösung eines Problems durch algorithmische oder heuristische Methoden ist nicht möglich. Allerdings lassen sich durch die Anwendung von konstituierenden Methoden Bedingungen schaffen, die die intuitiven Abläufe begünstigen (Kapitel 2.5.3).

2.5.3 Generative und konstituierende Methoden

Methoden beschreiben nicht nur den zur Erreichung eines Ziels durchzuführenden Prozess, sondern auch Randbedingungen, denen ein solcher Prozess genügen muss, damit das Ergebnis die bestehenden Anforderungen erfüllt. Somit ist eine Unterscheidung von Methoden in Abhängigkeit ihres konstituierenden bzw. generativen Charakters möglich /Müll-90/. Durch die Anwendung konstituierender Methoden können bestehende Randbedingungen im Rahmen der Anforderungen festgesetzt werden. Die Anwendung generativer Methoden hingegen erzeugt die gesuchten Randbedingungen.

Algorithmische Methoden, wie z.B. ein Verfahren zur Auslegungsrechnung, sind stets generative Methoden. Heuristische Methoden können jedoch generativ oder konstituierend sein. Als Beispiel für eine generative Methode ist die Vorgehensweise der systematischen Variation zu nennen. Hingegen entspricht die Nutzung von Gestaltungsregeln oder die Anwendung von Kreativitätstechniken, die Vorgehensweisen beschreiben, konstituierenden Methoden.

2.5.4 Schablonen, Ablaufpläne, Dialoge und Prinzipien

Methoden lassen sich nach Müller /Müll-90/ weiterhin gemäß der Art ihrer Formulierung und damit gleichzeitig nach ihrer Detailliertheit und Verbindlichkeit einteilen:

- Schablonen:

Schablonen ordnen geläufige Zeichen in allgemeiner Konfiguration an. Die Anwendung auf den Einzelfall bzw. die Interpretation unter Verwendung von bestimmten Prozeduren wird somit ermöglicht oder auch erzwungen. Dies beinhaltet den Aufbau auszufüllender Formulare ebenso wie mathematische Formeln, in die Werte einzusetzen sind.

- Ablaufpläne:
Ablaufpläne stellen die sequentielle Anordnung von Hinweisen, Regeln, Vorschriften dar. Innerhalb von Ablaufplänen sind Verzweigungen oder Iterationen möglich.
- Dialoge:
Dialoge erzwingen die Anwendung einer Methode durch die Integration in den Arbeitsablauf. Bei der Nutzung eines Rechners kommuniziert der Benutzer mit dem Rechner über Ein- und Ausgabefunktionen.
- Prinzipien:
Prinzipien bezeichnen die verbale Benennung der Methode. Das Prinzip bezeichnet regelmäßig übergeordnete Arbeitsweisen oder -schritte und ist oft Vorläufer einer expliziten Formulierung der Methode.

Diese Einteilung gemäß der Art der Formulierung ist nicht abschließend. Gestaltungsrichtlinien lassen sich z.B. nicht in Ablaufplan- oder Schablonenform und in Prinzipform zumindest nicht so ausdrücken, dass sie ohne Zusatzinformation anwendbar wären /Müll-90/.

2.5.5 Übersicht über Methoden

Die Anwendung von Methoden bietet eine Möglichkeit, den Konstrukteur effizient bei seiner Arbeit zu unterstützen. Schon in Kapitel 2.2 wurde darauf hingewiesen, dass die Tätigkeiten während des Konstruktionsprozesses sehr vielfältig sind. Entsprechend groß ist auch die Anzahl existierender Methoden, deren vollständige Auflistung und Beschreibung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Um trotzdem eine Orientierung über die Vielzahl von Methoden zu ermöglichen, wird im Folgenden deren Grobklassifizierung nach VDI-Richtlinie 2221 /VDI 2221/ vorgenommen.

- allgemein anwendbare Methoden,
- Analyse- und Zielvorgabemethoden,
- Methoden zum Entwickeln von Lösungsideen,
- Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnung (Kalkulationsverfahren),
- Bewertungs- und Entscheidungstechniken und
- integrierte Methoden (Handlungsmodelle).

Nachfolgend werden die einzelnen Methodenklassen anhand ihrer Anwendungsgebiete kurz beschrieben. Die anschließend aufgeführte Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Methoden der einzelnen Klassen.

Allgemein anwendbare Methoden

Allgemein anwendbare Methoden sind problem- bzw. aufgabenneutral formuliert und Bestandteil vieler anderer Methoden bzw. Grundlage des methodischen Arbeitens /PaBe-97/.

Analyse- und Zielvorgabemethoden

Aus der Analyse eines vorhandenen bzw. aus der Vorstellung über die Eigenschaften eines neuen Produkts sowie des künftigen Produktumfelds werden Ziele hergeleitet, die Orientierungsvorgaben für die Produktentwicklung und -konstruktion sind.

Methoden zum Entwickeln von Lösungsideen

Voraussetzung für das Entwickeln optimierter Lösungen ist das Vorliegen möglichst vieler Lösungsideen. Nachdem die abstrakte Darstellung der Lösungen das größtmögliche Suchfeld eröffnet hat, führen heuristische und diskursive Ideenfindungstechniken - möglichst miteinander kombiniert - zur Ideenquantität und -qualität. Iteratives Durchlaufen der Arbeitsschritte nach - und vor - der Ideensuche ist charakteristisch für diesen Arbeitsabschnitt.

Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen (Kalkulationsverfahren)

Da das Optimieren eines Produkts immer dessen ganzheitliche technisch-wirtschaftliche Behandlung erfordert, müssen Verfahren zur Analyse und Prognose der Kosten, wie z.B. Material-, Fertigungs-, Wartungs- oder Vertriebskosten, gleichwertig neben derjenigen zur Berechnung der technischen Produkteigenschaften treten.

Bewertungs- und Entscheidungstechniken

Lösungsideen werden durch Bewertung und Auswahl nach technisch-wirtschaftlichen Kriterien (Funktion, Kosten, Sicherheit) zu Lösungen verdichtet, von denen wiederum durch Bewertung und Auswahl die bestgeeigneten ermittelt werden. Nach iterativem Durchlaufen vorhergehender - und nachfolgender - Arbeitsschritte erfolgt hieraus die Entscheidung für die optimierte Gesamtlösung.

Integrierte Methoden (Phasenorientierte Modelle)

Außer der methodischen Vorgehensweise beim Entwickeln und Konstruieren technischer Erzeugnisse existieren weitere Methoden als Hilfe zum Lösen technischer und sonstiger Probleme, auf denen diese basiert bzw. durch welche diese ergänzt und erweitert wird.

Tabelle 1 Klassifizierung von Methoden mit Beispielen*Allgemein anwendbare Methoden*

gezieltes Fragen
 Negation und Neukonzeption
 Vorwärtsschreiten
 Rückwärtsschreiten
 Faktorisierung
 Systematisieren

Analyse- und Zielvorgabemethoden

Anforderungsliste
 Funktionsstrukturierung
 Simulations- und Ähnlichkeitsrechnungen
 Strukturmechanik

Methoden zum Entwickeln von Lösungsideen

Konventionelle Methoden
 Intuitiv betonte Methoden
 Diskursiv betonte Methoden

Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen (Kalkulationsverfahren)

Relativkosten
 Kostenwachstumsrechnung

Bewertungs- und Entscheidungstechniken

Auswahlverfahren nach Pahl und Beitz
 Technisch-wirtschaftliches Bewerten
 Ausfalleffektanalyse
 Fehlerbaumanalyse

Integrierte Methoden (Handlungsmodelle)

Prozessmodell der VDI-Richtlinie 2221
 Prozessmodelle verschiedener Konstruktionslehren
 Prozessmodell der Wertanalyse
 TRIZ
 Quality Function Deployment

2.5.6 Phasenorientierte Prozessmodelle

Den unterschiedlichen Methodenlehren ist gemein, dass sie auf Grundlage der von der Systemtechnik vorgeschlagenen Vorgehensweise beim Problemlösen (Kapitel 2.4.1) sequentielle Ablaufpläne vorgeben, durch die der Konstruktionsprozess in Phasen zunehmender Konkretisierung des Konstruktionsgegenstands vom Qualitativen hin zum Quantitativen strukturiert wird. Bei diesen phasenorientierten Prozessmodellen handelt es sich nach der Definition in Kapitel 2.5.1 um integrierte Methoden.

Der Nutzen dieser hauptsächlich sequentiellen Strukturierung des Konstruktionsprozesses ist nicht kritiklos anerkannt. Müller beispielsweise typisiert Problemsituationen in der technischen Entwurfsarbeit und stellt fest, dass sich die globalen Ablaufpläne bei „Aufgaben“, „Routineproblemen“ und „geläufigen Problemen“ nicht sinnvoll anwenden ließen, bei „Anspruchs-“, „Kompetenz-“ oder „Über-Kompetenz-Problemen“ für eine problemadäquate

Anwendung hingegen nicht flexibel genug seien /Müll-90/. Hingegen verweisen die Autoren der unterschiedlichen Methodiklehren darauf, dass die von ihnen vorgeschlagenen Vorgehensmodelle an die jeweilige Aufgabenstellung und die damit zusammenhängenden Randbedingungen angepasst werden müssen /PaBe-97/, /Kol-98/, /Roth-00/. In diesem Zusammenhang nennt die VDI-Richtlinie 2221 /VDI 2221/ folgende Randbedingungen:

- Herkunft der Aufgabenstellung,
- die Fertigungsart,
- die Branche, innerhalb derer die Entwicklung stattfindet sowie
- allgemeine unternehmensexterne und -interne Erfordernisse.

Ein weiterer Kritikpunkt resultiert aus der Anwendung der Konstruktionsmethodiken bei der Anpassungs- oder Variantenkonstruktion. Bei diesen Konstruktionsarten bleibt das Lösungsprinzip oder die Gestalt bestimmter Baugruppen erhalten, so dass die entsprechenden Arbeitsschritte entfallen können. Durch das Überspringen einzelner Arbeitsschritte ist aber die Nachvollziehbarkeit der Entwicklung nicht mehr gewährleistet und damit die Wiederverwendbarkeit der erzeugten Lösungsdokumente in Frage gestellt /VDI 2221/. Bei Varianten- bzw. Anpassungskonstruktionen ist also zwischen einer unmittelbaren und mittelbaren Rationalisierungswirkung durch die Nutzung einer Konstruktionsmethodik abzuwägen.

Bei der Anwendung und Nutzung der Konstruktionsmethoden ist vor allem darauf zu achten, dass ästhetische Überlegungen gegenüber der funktionstechnischen Realisierung einen immer höheren Stellenwert einnehmen. Dies bedeutet, dass, entgegen der vorgeschlagenen Vorgehensweisen der Methodiklehren, die Definition der äußeren Form im Entwicklungsprozess vorzuziehen ist. Die mit der äußeren Form verbundenen Anforderungen und Restriktionen haben nämlich maßgeblichen Einfluss auf die funktionstechnische Gestaltung des Produkts /VDI 2221/.

Ungeachtet dieser Kritikpunkte erfüllen die Ablaufpläne die Forderung nach einer durchgängigen Unterstützung der Konstruktionstätigkeit. Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden anhand der nachfolgenden Darstellung unterschiedlicher Ansätze dargestellt:

- Die VDI-Richtlinie 2221 /VDI 2221/ stellt einen generellen, branchenunabhängigen Methodiküberbau dar. Sie repräsentiert den derzeitigen Stand in der Entwicklung der Methodenlehren.
- Die Methodenlehre nach Pahl und Beitz /PaBe-97/ geht im Zusammenhang mit VDI-Richtlinie 2221 sehr detailliert auf konkrete Einzelmethoden ein. Sie schafft insofern

eine umfassende Übersicht, auf die im Rahmen der Arbeit wiederholt Bezug genommen wird.

- Die Arbeiten von Koller /Kol-98/ und Roth /Roth-94/, /Roth-00/ zielen, vor dem Hintergrund des Einsatzes von CAD-Hilfsmitteln zur Unterstützung der Konstruktionstätigkeit, bei der Strukturierung des Konstruktionsprozesses auf eine weitgehende Algorithmisierung.
- Hubka und Eder /HuEd-92/ liefern einen konstruktionswissenschaftlichen Beitrag, der der weiteren Systematisierung von Konstruktionswissen förderlich ist.
- Durch die Trennung von logischem und physikalischem Wirkzusammenhang und die Wahl des logischen Wirkzusammenhangs als Ausgangspunkt der konstruktiven Überlegungen liegt ein Schwerpunkt der Methodenlehre nach Rodenacker /Rod-91/ bei der Entwicklung völlig neuartiger Lösungen.

Prozessmodell nach der VDI-Richtlinie 2221

Die VDI-Richtlinie 2221 unterteilt das Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren in sieben allgemeine Arbeitsschritte (siehe Abbildung 12). In allen Arbeitsabschnitten sind Prüf-, Bewertungs- und Auswahloperationen vorgesehen, die Iterationen initiieren können, um schrittweise eine Optimierung zu erreichen.

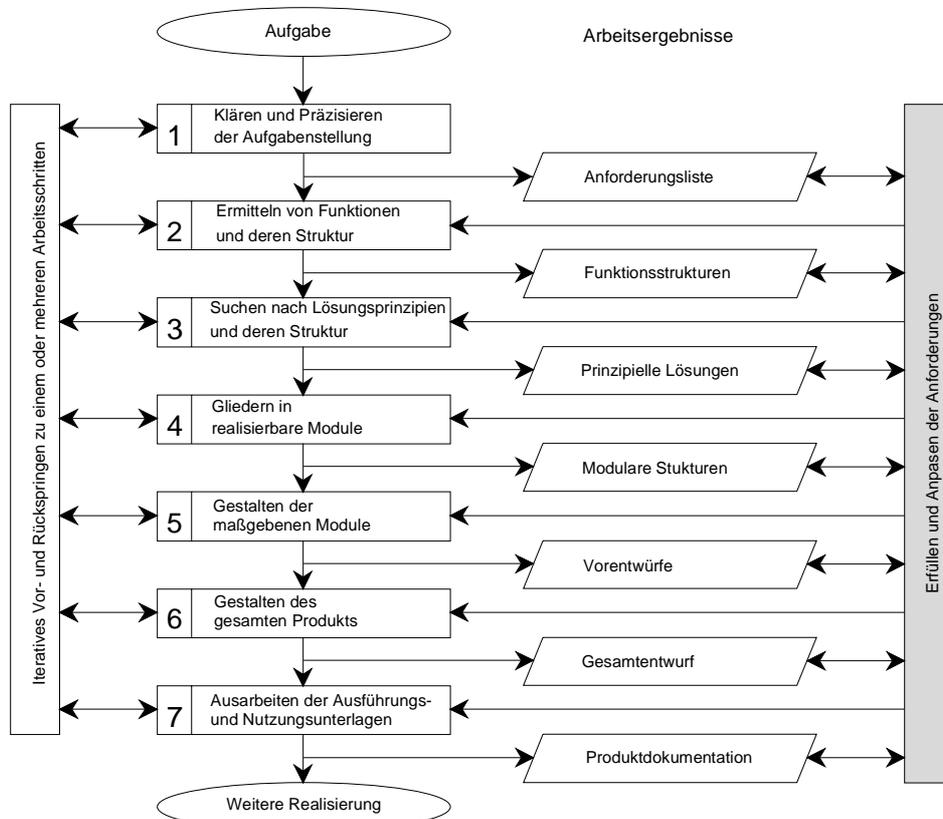


Abbildung 12 Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren /VDI 2221/

Beim Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung wird Information bezüglich der aus Produktplanung oder Kundenanforderung resultierenden Aufgabenstellung gesammelt und bestehende Informationslücken ermittelt. Die gesammelte Information wird in Form der Anforderungsliste niedergelegt und auf Belange des Konstruktionsbereichs abgestimmt.

Diese Sammlung ist für alle folgenden Arbeitsschritte eine verbindliche Informationsunterlage. Da sie stets auf dem aktuellen Stand zu halten ist, ergibt sich ein phasen- bzw. bereichsübergreifender Informationsfluss (Informationsbrücke). Der Informationsfluss erstreckt sich von der Produktplanung bzw. den ersten Gesprächen mit dem Kunden über die Entwicklung und Konstruktion bis hin zu Bereichen der Fertigung (siehe Abbildung 12).

In einem nächsten Schritt werden die Gesamtfunktion und wesentliche Teilfunktionen des zu entwickelnden Produkts ermittelt. Die Teilfunktionen werden geordnet und zu einer oder mehreren Funktionsstrukturen verknüpft.

Bei der Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen werden für ermittelte Funktionen Effekte ausgewählt und durch wirkstrukturelle Festlegungen realisiert. Anschließend werden diese Lösungsprinzipien entsprechend der Funktionsstruktur zur Wirkstruktur der prinzipiellen Lösung verknüpft.

Beim Aufteilen in realisierbare Module wird die prinzipielle Lösung in eine modulare Struktur gegliedert, die unter Berücksichtigung der Belange von Fertigung, Montage, Wartung, Recycling und anderen den wesentlichen Aufbau des Systems und die Schnittstellen zwischen den Systemelementen aufzeigt. Diese Modularisierung dient bei komplexen Aufgabenstellungen der Erkennung von Entwicklungsschwerpunkten und der effizienten Aufteilung der Produktentwicklung in parallel laufende Konstruktionslinien.

Beim Gestalten der maßgebenden Module werden von den, für die Optimierung des Systems wesentlichen, Systemkomponenten Vorentwürfe erstellt. Diese werden soweit konkretisiert, dass eine Bewertung und Auswahl nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich ist.

Beim Gestalten des gesamten Produkts erfolgt die endgültige Festlegung gestalterischer Merkmale durch das Entwerfen noch fehlender Details bzw. noch nicht bearbeiteter Elemente. Außerdem werden im Rahmen des vorhergehenden Arbeitsabschnitts noch nicht realisierte Module gestaltet. Der sich ergebende Gesamtentwurf enthält dann alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen für die Produktrealisierung.

Abschließend erfolgt das Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben. Die zu erstellende Produktdokumentation umfasst alle Unterlagen für die Produktrealisierung, wie

z.B. Zeichnungen, Stücklisten, Fertigungs-, Montage- und Prüfanweisungen und Betriebsanleitungen.

Prozessmodell nach Pahl und Beitz

Der Konstruktionsprozess nach Pahl und Beitz /PaBe-97/ stellt einen generalisierten Ablaufplan der Konstruktionstätigkeiten im Maschinenbau dar (siehe Abbildung 13). Als Hauptphasen des Konstruktionsprozesses werden das Planen und Klären der Aufgabenstellung, das Konzipieren, das Entwerfen und das Ausarbeiten unterschieden. Werden anstelle der Phasen die Tätigkeiten benannt, so unterteilt man die informative, prinzipielle, gestalterische und herstellungstechnische Festlegung des Produkts.

Für diese Hauptphasen werden Hauptarbeitsschritte vorgeschlagen, die als zweckmäßige strategische Handlungsanweisungen zum Erreichen des, zum Einleiten der nächsten Phase erforderlichen, Arbeitsergebnisses zu verstehen sind.

Beim Fortschritt innerhalb des Ablaufplans sind außerdem Entscheidungsschritte zwischen diesen Hauptphasen und teilweise auch nach den einzelnen Hauptarbeitsschritten zu berücksichtigen. Diese Entscheidungsschritte begründen die Freigabe, initiieren eine Iteration oder führen zum Abbruch der Entwicklung.

Es werden in Übereinstimmung mit der VDI-Richtlinie 2221 /VDI 2221/ sieben produktdarstellende Modelle unterschieden, die den Ergebnissen der Arbeitsabschnitte 1-7 nach Abbildung 12 entsprechen:

- Anforderungsliste,
- Funktion/Funktionsstruktur,
- Wirkprinzip/Wirkstruktur,
- Baustruktur,
- Vorentwurf,
- Gesamtentwurf und
- Produktdokumentation.

Weitere Partialmodelle können gebildet werden, so z.B. geometrische Partialmodelle oder baustrukturorientierte Partialmodelle /PaBe-97/.

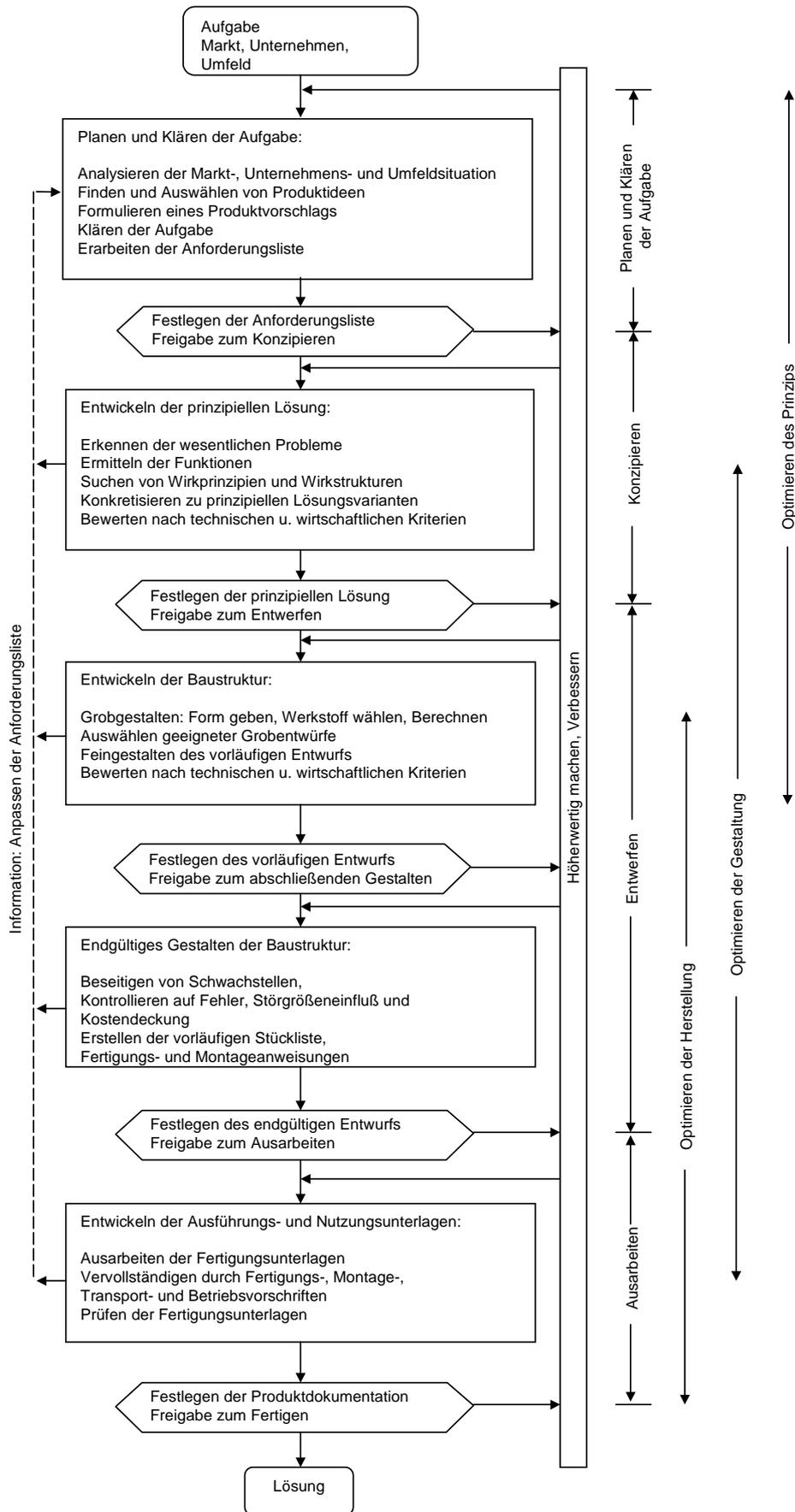


Abbildung 13 Arbeitsschritte beim Planen und Konstruieren nach Pahl und Beitz /PaBe-97/

Prozessmodell nach Roth

Es besteht weitgehende Übereinstimmung zwischen dem "algorithmischen Auswahlverfahren zur Konstruktion mit Katalogen (AAK)" und den Prozessmodellen nach der VDI-Richtlinie 2221 /VDI 2221/ sowie Pahl und Beitz /PaBe-97/. Das AAK gliedert den Konstruktionsprozess in die Aufgabenformulierungsphase sowie die funktionelle, prinzipielle und gestaltende Phase. In der prinzipiellen Phase werden getrennt voneinander Wirkprinzip und Wirkstruktur betrachtet. Die gestaltende Phase wird in die geometrisch-stoffliche und die herstellungstechnische Phase unterteilt (siehe Abbildung 14).

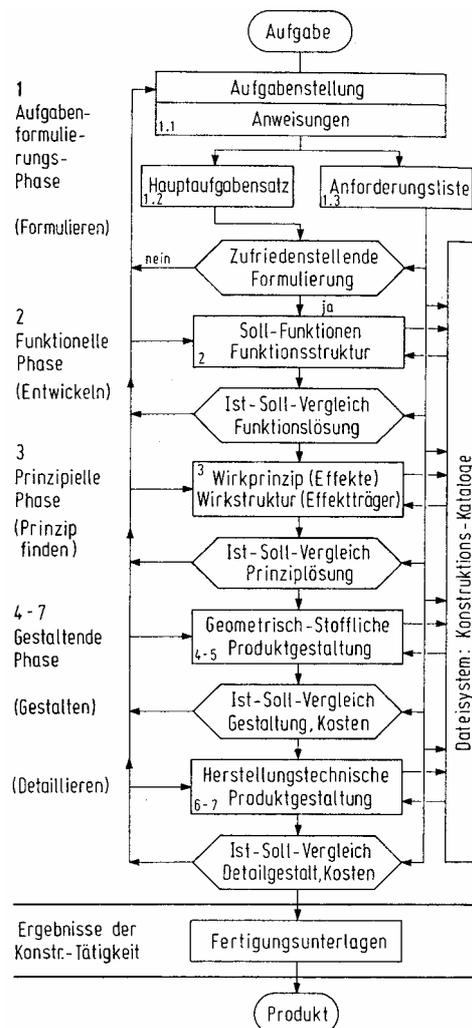


Abbildung 14 Ablaufplan für das algorithmische Auswahlverfahren zur Konstruktion mit Katalogen (AAK) /Roth-00/

Einige Unterschiede bestehen dennoch:

- Die Aufgabenformulierungsphase integriert Tätigkeiten der Abstraktion, als deren Ergebnis lösungsneutrale Aufgabensätze erstellt werden. Diese finden in der Aufgabenformulierungsphase keine weitere Verwendung, sie stellen aber eine

wesentliche Vorarbeit zum Erstellen der Funktionsstruktur dar. Insofern geht diese über die Phase des Planens und Klärens der Aufgabe nach Pahl und Beitz hinaus.

- Die Anforderungsliste wird über die qualitative und quantitative Festlegung von Forderungen und Wünschen nach Pahl und Beitz hinausgehend formalisiert. Unterschieden werden Festforderungen (als Punktforderungen), Zielforderungen (als Mindest-, Höchst-, gezielte Bereichs- oder nicht begrenzte Zielforderungen) und Wunschforderungen.
- Zur möglichst vollständigen Erfassung der Anforderungen werden mit der Produktfrageliste, der Analyse der Produktumgebung und der Analyse der Lebenslaufphase des Produkts sehr systematische, mit umfangreichen Suchmatrizen bzw. Checklisten unterstützte, Verfahren vorgeschlagen.
- Die Zahl der vorgeschlagenen produktdarstellenden Modelle ist mit etwa 17 deutlich größer als bei Pahl und Beitz.

Diese Unterschiede sind im Zusammenhang mit dem Versuch einer möglichst weitgehenden Algorithmisierung des Konstruktionsprozesses zu sehen.

Prozessmodell nach Koller

Das phasenorientierte Modell des Konstruktionsprozesses nach Koller /Kol-98/ gemäß Abbildung 15 unterscheidet sich bezüglich Nomenklatur und Vorgehensweise deutlich von dem Prozessmodell der VDI-Richtlinie 2221 /VDI 2221/.

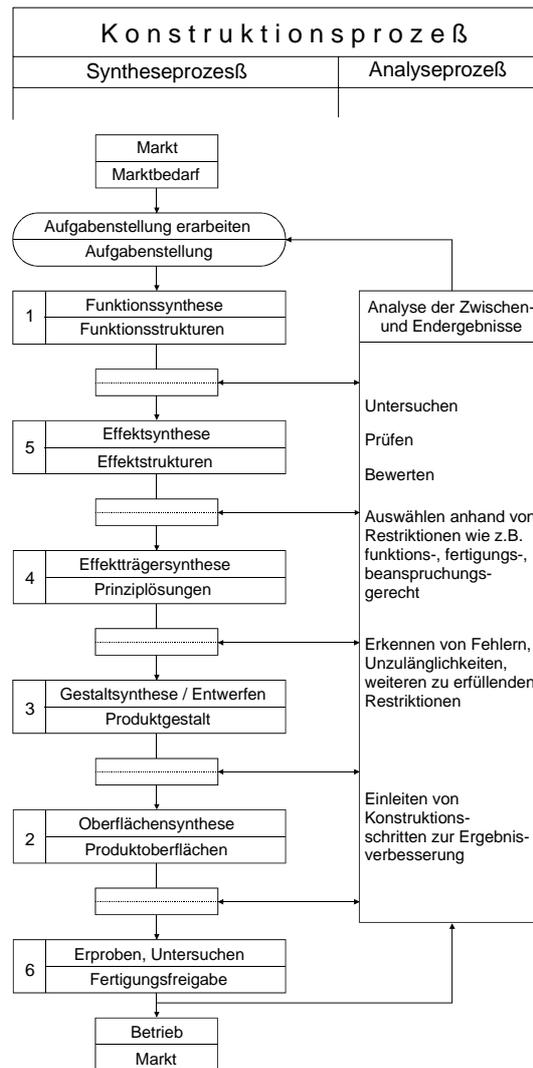


Abbildung 15 Tätigkeitsschritte und Zwischenergebnisse von Konstruktions- oder Entwicklungsprozessen nach Koller /Kol-98/

Der Prozess des Konstruierens wird in die Phasen der Funktionssynthese, Effektsynthese, Effektträgersynthese, Gestaltsynthese, Oberflächensynthese und des Erprobens/Untersuchens gegliedert. Entsprechend sind Arbeitsergebnisse der einzelnen Phasen Funktionsstrukturen, Effektstrukturen, Effektträgerstrukturen, qualitative Entwürfe, quantitative Entwürfe und Oberflächen.

Nach Koller beginnt der Konstruktionsprozess mit der abschließend geklärten Aufgabenstellung. Diese enthält neben einer möglichst vollständigen Aufzählung der von dem zu entwickelnden System zu erfüllenden Forderungen auch den Zweck des Systems in einer abstrahierten, lösungsneutralen Formulierung.

Diese Zweckbeschreibung ist Ausgangspunkt der Phase der Funktionssynthese, in der Strukturen erstellt werden, die durch eine Kombination von Elementarfunktionen den

Systemzweck realisieren können. Hierzu werden Grundoperationen kombiniert, die Energien, Stoffe oder Signale umsetzen oder Energien und Stoffe verknüpfen.

Bei der anschließenden Effektsynthese werden den erstellten Funktionsstrukturen entsprechende physikalische Effekte zugeordnet, auf deren Basis Grundoperationen aus systematischen Prinzipkatalogen ausgewählt werden können. Ist ein Effekt zur unmittelbaren Erfüllung einer Grundoperation nicht bekannt, lassen sich mittels der Prinzipkataloge systematisch passende Effektketten generieren. Im Rahmen der Effekträgersynthese werden die quantitativen und qualitativen Parameterwerte von Effekträgern festgelegt, wie z.B. Werkstoff und Werkstoffstruktur. Das Arbeitsergebnis ist eine Prinziplösung, in der die wesentlichen Funktionen des zu entwickelnden Systems festgelegt sind.

Diese Prinziplösung wird in der Phase der Gestaltsynthese konkretisiert, und je nach dem, ob es sich bei technischen Gebilden um eine Typ- oder Abmessungsvariante handelt, wird zwischen qualitativer bzw. quantitativer Gestaltsynthese unterschieden. Auch das Konstruieren von Oberflächen in der Phase der Oberflächensynthese wird als Problem des Wählens von Parameterwerten interpretiert /Kol-98/.

Zur Erfüllung der gewünschten Funktionen sind gemäß der gewählten physikalischen Effekte, Effekträger und qualitativen/quantitativen Gestaltparameter Oberflächen mit bestimmten Eigenschaften erforderlich. Diese können ebenfalls durch das Festlegen von qualitativen und quantitativen Parameterwerten realisiert werden.

Wesentliche Unterschiede zwischen den Konstruktionsmethodiken nach Koller sowie Pahl und Beitz bestehen demnach in der starken Betonung von Grundoperationen, den abstrakten physikalischen Effekten und dem Festlegen qualitativer und quantitativer Parameter.

Vergleichbar dem Vorgehen nach Roth eignet sich das phasenorientierte Prozessmodell von Koller für die Algorithmisierung des Konstruktionsprozesses und damit für die Unterstützung mit Hilfe der modernen Rechnertechnik.

Prozessmodell nach Hubka und Eder

Das von Hubka und Eder /HuEd-92/ vorgeschlagene allgemeine Vorgehensmodell des Konstruierens gleicht im Wesentlichen dem Prozessmodell nach Pahl und Beitz. Es wird als idealisiertes allgemeines Vorgehensmodell bezeichnet, das zur Ausarbeitung konkreter, praktischer Handlungspläne dienen soll.

Das Anliegen von Hubka und Eder ist weniger die konkrete Anweisung des Konstrukteurs bezogen auf die bei der Problemlösung vorzunehmenden Tätigkeiten, als vielmehr die Darlegung einer umfassenden und begrifflich vereinheitlichten Konstruktionswissenschaft.

Der derzeitige Stand der systematischen Aufbereitung des Konstruktionswissens wird als mit Mängeln behaftet erkannt, und insofern soll die vorgeschlagene Konstruktionswissenschaft als Grundlage für die Etablierung einer Denkweise dienen, die der weiteren Systematisierung von Konstruktionswissen förderlich ist.

Prozessmodell nach Rodenacker

Ausgehend von der Aufgabenstellung, die nach Rodenacker auf abstrakte Weise den Wirkzusammenhang des Systems beschreibt, gliedert er den Konstruktionsprozess in drei Phasen, deren inhaltlicher Schwerpunkt entweder die Ausarbeitung des logischen, physikalischen oder konstruktiven Wirkzusammenhangs ist /Rod-91/.

Der logische Wirkzusammenhang wird mit Hilfe der logischen Grundfunktionen Verknüpfen, Trennen und Führen hergestellt und somit eine Funktionsstruktur aufgebaut. In Abhängigkeit der dabei verwendeten logischen Grundfunktionen können anschließend entsprechende physikalische Leit-, Hemm- und Führungseffekte festgelegt werden, die den physikalischen Wirkzusammenhang wiedergeben. Dieser wird anschließend durch den konstruktiven Wirkzusammenhang erzwungen.

Durch die Trennung von logischem und physikalischem Wirkzusammenhang und die Wahl des logischen Wirkzusammenhangs als Ausgangspunkt der konstruktiven Überlegungen liegt ein Schwerpunkt dieser Methodenlehre bei der Entwicklung völlig neuartiger Lösungen.

2.6 Produktmodell

Modelle bilden unter Verringerung des Informationsgehalts Eigenschaften realer Objekte ab. Das Modellieren oder auch Instanzieren, als das Einbringen von Information in Modelle, ist Grundbestandteil der Tätigkeit des Konstrukteurs. Es entspricht im Zuge des Informationsumsatzes beim Konstruktionsprozess der Informationswiedergabe.

Ein Produktmodell bezeichnet ein Modell, das alle relevanten Informationen über ein Produkt in hinreichender Vollständigkeit enthält /PaBe-97/. Partialmodelle stellen Teilsichten auf ein Produktmodell dar. Als Phasenmodelle bezeichnet man Partialmodelle für einzelne Konstruktionsphasen bzw. die Arbeitsergebnisse solcher Phasen /PaBe-97/. Bei Partial- bzw. Phasenmodellen handelt es sich um produktneutrale, allgemeingültige Modelle /Fel-89/. Die Instanzierung von Partialmodellen zu produktdarstellenden Modellen bzw. Product Representing Models (PRM) erfolgt durch die Angabe produktdefinierender Daten (PDD) /VDI 2221/.

Ein Modellübergang entspricht der Überführung von Daten eines produktdarstellenden Modells (PRM) in eines mit einem anderen Konkretisierungsgrad. Die Erhöhung des

Konkretisierungsgrads eines produktdarstellenden Modells entspricht einer Abnahme verbleibender konstruktiver Freiheitsgrade der Lösung. Basierend auf den Daten des Ausgangsmodells werden Entscheidungen getroffen, die aus der Vielzahl der theoretisch denkbaren Lösungsmöglichkeiten eine oder mehrere Variante(en) konkretisieren.

Die Art des Modellübergangs kann danach unterschieden werden, ob Mensch oder Rechner als Quelle der Entscheidung zugrunde liegenden Information und/oder als Entscheidungsträger in Erscheinung treten /Siv-90/:

manueller Modellübergang:

Entscheidungen werden vom Konstrukteur getroffen. Die zum Treffen der Entscheidung benötigte Information befindet sich außerhalb des Rechners. Der Konstrukteur erzeugt aufgrund seiner Entscheidung das nachfolgende, rechnerinterne Modell höheren Konkretisierungsgrads.

rechnerunterstützte Informationsaufbereitung:

Entscheidungen werden ebenfalls vom Konstrukteur getroffen. Die zum Treffen der Entscheidung benötigten Daten liegen jedoch rechnerintern vor. Aufgrund der Entscheidung erzeugt der Konstrukteur mit Hilfe des Rechners das produktdarstellende Modell höherer Konkretisierungsstufe.

rechnerunterstützte Entscheidungsausführung:

Entscheidungen werden vom Rechner entsprechend implementierter Entscheidungsregeln getroffen. Erforderliche Information wird vom Konstrukteur abgefragt. Als Ergebnis der Entscheidung erzeugt der Rechner das nachfolgende, produktdarstellende Modell.

algorithmisch automatischer Modellübergang:

Entscheidungen werden vom Rechner getroffen. Hierzu werden bestehende produktmodellierende Modelle, auf dem Rechner vorliegende Daten und Entscheidungsregeln herangezogen. Als Ergebnis der Entscheidung erzeugt der Rechner das nachfolgende, produktdarstellende Modell.

Analog zu diesen Modellübergängen definiert Roth folgende Systeme /Roth-94/:

- konventionelles Konstruktionssystem,
- Katalogsystem,
- Expertensystem und
- Automatiksystem.

2.7 Hilfsmittel

Im Gegensatz zu einer Methode weist ein Hilfsmittel eine die Konstruktionstätigkeit unmittelbar unterstützende Funktionalität auf, bei der mindestens eine stoffliche Komponente außerhalb des Konstrukteurs existieren muss. Anhand bekannter Beispiele soll diese Definition verdeutlicht werden:

- Hilfsmittel sind insbesondere analoge oder digitale Schreib-, Zeichen- und Rechengeräte.
- Unter Hilfsmitteln versteht man auch Software, denn diese ist ohne Rechnerplattform nicht anwendbar. Allerdings stellt die zugrunde liegende algorithmische Verfahrensanweisung grundsätzlich eine Methode dar, da diese theoretisch in einer nicht-stofflichen Weise existieren könnte.
- Das Aufstellen einer Anforderungsliste, als einer der ersten Schritte bei der methodischen Vorgehensweise der Produktentwicklung, stellt ebenfalls eine Methode dar. Hingegen repräsentiert die ausgefüllte Anforderungsliste, mit deren Hilfe die Anforderungen dokumentiert werden, ein Hilfsmittel. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um ein beschriebenes Blatt Papier oder ein rechnerinternes Modell handelt. Auch für die Nutzung von Auswahllisten oder Ordnungsschemata gilt: Das Hilfsmittel repräsentiert die physische Form, während das Verfahren die entsprechende Methode kennzeichnet.
- Auch beim Brainstorming handelt es sich um eine Methode. Bei der Nutzung wird sie zu einem Hilfsmittel, denn die beteiligten Personen sowie die zur Informationsübertragung und -speicherung benötigten Medien sind stoffliche Komponenten außerhalb des Konstrukteurs.

Hilfsmittel bieten ein breites Spektrum an Möglichkeiten, den Konstrukteur bei seiner Arbeit zu unterstützen. Die Entwicklung konventioneller Hilfsmittel zur Unterstützung der Konstruktionstätigkeit ist weitestgehend abgeschlossen. Deren Nutzung in Form von Schreib-, Zeichen- und Rechengeräten oder Hilfsmitteln der konventionellen Lösungssuche ist Stand der industriellen Praxis. Die informationstechnischen Äquivalente in Form von Büro-, CAGM- (Computer Aided Geometric Modeling) und Berechnungssoftware sowie Datenbanken lösen in zunehmendem Maß die analogen Hilfsmittel ab.

Aktuelle Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Hilfsmitteln greifen die Forderung nach einer durchgängigen Unterstützung der Produktentwicklung auf. Die entwickelten Lösungsansätze stammen meist aus dem Bereich der Konstruktionsmethodik und des rechnerunterstützten Konstruierens. Bisherige Ansätze lassen sich in wissenschaftliche,

standardisierte und industrielle differenzieren. Diesen Ansätzen liegen in der Regel folgende Konzepte zugrunde /WeBr-97/:

- Konstruktionssysteme,
- Feature-Technik,
- Standardisierung von Austauschformaten (STEP, DXF, IGES ...),
- Kommunikationstechnologie (CORBA, OLE ...),
- monolithische Systeme und
- Hersteller- und Programmschnittstellen (APIs).

Zusätzlich lassen sich wissenschaftliche Ansätze unterscheiden:

- mit integrierendem Charakter und
- mit dem Ziel der Unterstützung von einzelnen Methoden.

Aus diesen Unterscheidungsmerkmalen resultiert die folgende Klassifizierung für die systematische Darstellung von Hilfsmitteln:

Standardisierte Austauschformate:

Die Definition von standardisierten Austauschformaten ermöglicht den Austausch von Modelldaten zwischen Unterschiedlichen CAx-Systemen.

Integrative Systeme:

Mit Hilfe eines individuellen Ansatzes verbinden integrative Systeme die für unterschiedliche Methoden entwickelten CAx-Lösungen. Da eine Methode für die Unterstützung einer bestimmten Aufgabe konzipiert ist, diese aber in unterschiedlichen Konstruktionsphasen vorkommen kann, eignen sich integrative Systeme prinzipiell für die Anwendung in unterschiedlichen Konstruktionsphasen. Die Unterstützung entlang des Konstruktionsprozesses und der damit verbundenen Definition eines übergreifenden Ansatzes ist das Ziel bei der Entwicklung von Konstruktionssystemen.

Rechnerunterstützung von Einzelmethode:

Hierunter werden auch Ansätze subsumiert, die sich mit der Entwicklung oder Aufbereitung von Einzelmethode als Vorstufe der Entwicklung entsprechender, spezifischer CAx-Lösungen befassen.

3 Potential und Hypothese

3.1 Übersicht

In diesem Kapitel wird ein Ansatz aufgezeigt und in Form einer Hypothese formuliert, wie die Beschaffung von Information im Konstruktionsprozess unterstützt werden kann. Die in Kapitel 2 dargestellten Grundlagen erleichtern ein Einordnen des vorgestellten Ansatzes hinsichtlich unterschiedlicher Aspekte des Konstruktionsprozesses. In den folgenden Unterkapiteln (Abbildung 16) werden nachstehende Fragestellungen beantwortet:

- Lässt sich ein grundlegendes Ziel des Konstrukteurs formulieren?
- Was ist zur Erreichung dieses Ziels erforderlich?
- Gibt es neben bekannten Ansätzen weitere Möglichkeiten?

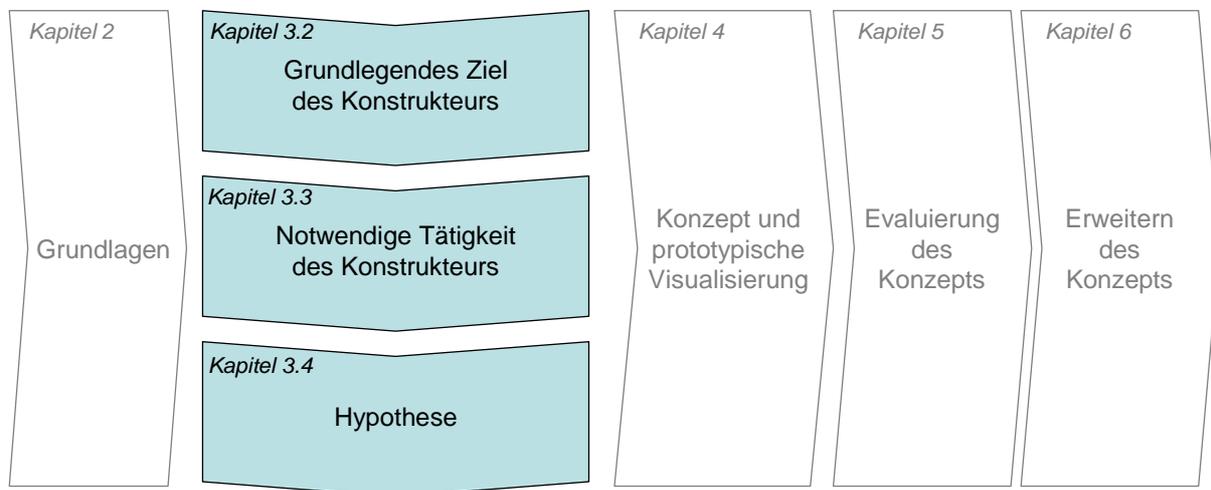


Abbildung 16 Gliederung des Kapitels Potential und Hypothese

3.2 Grundlegendes Ziel des Konstrukteurs

Die Tätigkeiten der am Konstruktionsprozess Beteiligten sind sehr vielfältig (Kapitel 2.2). Deren unterschiedliche Ausprägung hängt unter anderem von individuellen Voraussetzungen, den angewandten Methoden, den verwendeten Hilfsmitteln, der Organisation eines Unternehmens und nicht zuletzt von der Problem- bzw. Aufgabenstellung ab. Trotz der sich daraus ergebenden Vielzahl unterschiedlicher Tätigkeiten lässt sich eine übergreifende Zielsetzung bzw. Motivation erkennen. Ziel bzw. Motivation ist es, einen Beitrag zur Definition des produktdarstellenden Modells zu liefern (Kapitel 2.6). Dies führt zu einer Erhöhung des Konkretisierungsgrads des produktdarstellenden Modells und geht einher mit der Abnahme verbleibender konstruktiver Freiheitsgrade bezogen auf die Lösung. Basierend auf Information werden Entscheidungen getroffen, die aus der Vielzahl der theoretisch denkbaren Lösungsmöglichkeiten eine spezifische konkretisieren. Dieses Modellieren oder

auch Instanzieren, als das Einbringen von Information in Modelle, ist Ziel des Konstruierens. Somit wird ein Produkt definiert, welches den Bedürfnissen des Marktes entspricht und somit zum Erfolg des Unternehmens beiträgt.

3.3 Notwendige Tätigkeit des Konstrukteurs

3.3.1 Beschaffung von Information

In einem arbeitsteiligen Prozess benötigt ein Konstrukteur zur Konkretisierung des produktdarstellenden Modells Information von Prozessbeteiligten. Diese Information ist an das Wissen Einzelner gekoppelt (Kapitel 2.3.1) und somit stehen mehrere Möglichkeiten der Informationsbeschaffung zur Verfügung (Kapitel 2.3.4). Kennt der Suchende den Träger der Information, so kann er durch direkte Kommunikation mit diesem die benötigte Information erfragen. Durch die räumliche Verteilung bzw. die Vielzahl der am Prozess Beteiligten ist diese Art der Informationsbeschaffung oftmals nicht praktikabel anwendbar. Aus diesem Grund werden Informationen in Form von Daten zur Verfügung gestellt. Aus diesen Daten kann der Suchende unter Verwendung seines Wissens die benötigte Information extrahieren. Voraussetzung hierfür ist, dass diese Information in Daten ‚transformiert‘, für den Suchenden zugänglich abgelegt wurde und dem Suchenden der Ablageort bekannt ist. Somit ist ein direkter Zugriff auf die benötigten Daten möglich.

Sind eine direkte Kommunikation mit dem Informationsträger oder der Zugriff auf die Daten auf Grund der Unkenntnis des Ablageorts unmöglich, so beginnt der Konstrukteur mit der Suche nach benötigten Daten. Der Anteil der zur Suche nach Information verwendeten Arbeitszeit beträgt in Abhängigkeit von der Branche bzw. des Entwicklungsprozesses zwischen 50-70% (Kapitel 2.3.3).

Das Vorgehen und die Möglichkeiten zur Unterstützung der Suche hängen davon ab, ob Daten in Papierform oder elektronischer Form vorliegen. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt bei der Suche nach elektronisch abgelegten Daten, da diese Form der Datenablage in der industriellen Praxis überwiegend genutzt wird.

3.3.2 Vorgehensweisen zur Suche in elektronisch abgelegten Daten

Die Suche erfolgt durch eine stufenweise Reduktion der zu durchsuchenden Datenmenge. Dabei gilt es zunächst, die relevante Datenmenge einzugrenzen, diese dann grob inhaltlich zu sichten, um die dann verbleibende Datenauswahl inhaltlich auszuwerten und die gesuchte Information schließlich zu extrahieren (siehe Abbildung 17).

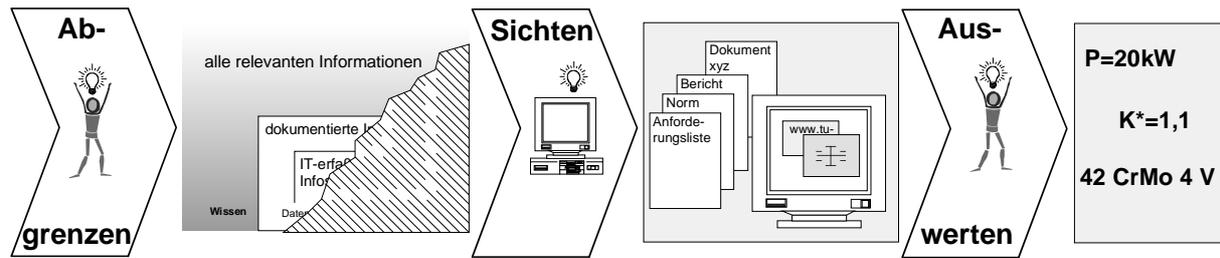


Abbildung 17 Effektive Durchführung einer dreistufigen Informationssuche in Arbeitsteilung zwischen Mensch und Informationstechnik

Erste Stufe: Abgrenzen

Am Anfang jeder Suche entscheidet sich der Suchende für eine zu verfolgende Suchstrategie und grenzt damit die zu durchsuchende Menge an Daten von der zur Verfügung stehenden Menge ab. Dies geschieht mit Hilfe von charakteristischen Merkmalen der gesuchten Information, die bewusst oder unbewusst hinterfragt und ausgewertet werden. Beispielsweise entscheidet sich ein nach Information Suchender aufgrund seines Wissens über die benötigte Information für die Suche in einer bestimmten Datenbank, das Einsehen von technischen Zeichnungen oder die Konsultation eines Experten.

In Tabelle 2 wird das mehr oder weniger intuitive Vorgehen eines nach Information Suchenden durch sechs Fragen und den sich aus den Antworten ergebenden Konsequenzen für die Suche beschrieben.

Die gewählte Reihenfolge der Fragen resultiert zwar aus einer Logik, die vom Konkretisierungsgrad der hinterfragten Merkmale ausgeht, ist aber nicht bindend. Die Einschränkung der relevanten Informationsquellen durch die Kenntnis der Art und des Ablageorts der benötigten Information ist vor der Abgrenzung durch die Dokumentationsart ebenso möglich wie sinnvoll.

Die hier zusammengestellten Fragen müssen vom Suchenden nicht bestimmt beantwortet werden können, um Information zu finden. Auch ist es denkbar, dass eine oder mehrere Fragen gar nicht beantwortet werden können. Die Beantwortung der Fragen fördert lediglich ein strukturiertes Vorgehen bei der Wahl einer spezifischen Suchstrategie.

Die Tabelle verdeutlicht weiterhin, dass eine IT-Unterstützung dieses Abgrenzungsprozesses nur schwer möglich ist. Insbesondere sind auch die Organisation und effektive Unterstützung der Informationsgewinnung aus menschlichen Ressourcen Thema (denk-)psychologischer und arbeitswissenschaftlicher Untersuchungen /Hack-96/.

Tabelle 2 Zusammenhang zwischen dem charakterisierenden Wissen zur gesuchten Information und der möglichen Abgrenzung der zu durchsuchenden Daten- und Wissensmenge

Abfrage von charakterisierendem Wissen zur gesuchten Information	Konsequenz(en) für den Suchenden
Ist die benötigte Information dokumentiert?	nein (sicher): reine Suche nach Wissen (Interaktion von Mensch zu Mensch) ja (unsicher): Suche nach Daten (in Papier- oder elektronischer Form)
Ist die benötigte Information elektronisch erfasst?	Die Suche nach Daten kann mit Hilfe des Rechners erfolgen bzw. unterstützt werden.
Wie komplex ist die benötigte Information? Verknüpfungsgrad	ermöglicht grobe Einschränkung der relevanten Informationsquellen
Welcher Art ist die benötigte Information? Sach-, Ziel-, Methoden-, Prozessinformation	(Auswahl potentieller Ansprechpartner, entsprechender Bücher, Software, Datenbanken, Internetadressen etc.)
Ist die Quelle bzw. der Ablageort (ungefähr) bekannt? Quelle: Mitarbeiter, (Werk-)Norm, eine bestimmte Produktdokumentation o.ä., Ablageort: intern/extern, Abteilung, Rechner o.ä.	ermöglicht grobe Einschränkung der relevanten Informationsquellen (In Kombination mit dem Wissen zu weiteren Merkmalen der benötigten Information kann die Suche noch zielgerichteter erfolgen.)
Wie aktuell ist die gesuchte Information bzw. muss diese sein?	ermöglicht Einschränkung der relevanten Informationsquellen vor allem zugunsten elektronisch erfasster Daten (In Kombination mit dem Wissen zu weiteren Merkmalen der benötigten Information kann die Suche noch zielgerichteter erfolgen.)

Sind die charakterisierenden Merkmale eindeutig sowie bekannt und liegt der Datenbestand dementsprechend strukturiert vor, so kann unter Umständen der folgende Schritt des Sichtens der Daten übersprungen werden. Die Auswertung der erlangten Suchergebnisse bleibt aber auch in diesem Fall erforderlich.

Zweite Stufe: Sichten

Der Abgrenzung mit Hilfe von charakterisierenden Merkmalen der gesuchten Information schließt sich die Nutzung des Wissens in Bezug auf den inhaltlichen Zusammenhang derselben an. Auch hier gilt: Je konkreter das Wissen, umso gezielter kann man die erforderlichen Daten ausfindig machen. Tabelle 3 stellt das potentiell vorhandene Wissen möglichen Suchstrategien gegenüber, die rechnerisch bereits umgesetzt sind.

Das Ziel dieses Arbeitsschritts ist das Auswählen von relevanten oder zumindest als relevant einzuschätzenden Daten. Bei dieser Sichtung der abgegrenzten Datenmenge kann die Informationstechnologie effizient eingesetzt werden.

Tabelle 3 Zusammenhang zwischen der Art des inhaltlichen Wissens über die gesuchte Information und geeigneten Suchstrategien

Abfrage von inhaltlichem Wissen zur gesuchten Information	geeignete Suchstrategien, die IT-unterstützt werden können
Sind Daten bekannt, die im direkten Zusammenhang zur gesuchten Information stehen?	Nutzen dieser Daten als Ausgangspunkt für weiterführende Informationen (Hinweise, Verweise, Dokumente etc.)
Lässt sich die gesuchte Information inhaltlich klassifizieren? bzw. Ist die Information inhaltlich einzuordnen?	Erzeugung von Sichten auf Daten, wobei diese Vorgehensweise automatisch oder automatisiert erfolgen kann
Ist die Dokumentation der gesuchten Information zumindest teilweise exakt bekannt?	gezielte Suche nach den inhaltlich bekannten Daten über einen Vergleich

Dritte Stufe: Auswerten

Ist eine Auswahl potentiell relevanter Daten bestimmt, so müssen diese Daten ausgewertet werden. Ziel ist es hierbei, die gesuchte Information sowie eventuell vorhandene, weitere nützliche Information aus den Daten zu extrahieren. Zu diesem Zweck müssen zunächst die Daten vom Suchenden mit Hilfe seines Wissens interpretiert und somit in Informationen umgewandelt werden (Kapitel 2.3.1). Erst im Anschluss daran kann die gesuchte Information ausgewählt bzw. bestimmt werden.

Die Entscheidungsfindung, welche Information dem Zweck der Suche am besten genügt, hängt am Urteilsvermögen des Suchenden (Erfahrungswissen). Die Durchführung einer Bewertung der Information hinsichtlich verschiedener, der Eignung der Informationen bestimmender, Kriterien kann die Entscheidungsfindung des Suchenden unterstützen. Weiterhin wird der subjektive Charakter der Auswahl durch die Systematik der Bewertung relativiert. Wichtige Auswahlkriterien (vergleiche /Ehr-95/) sind hierbei

- die Relevanz,
- die Genauigkeit der Information sowie die Eindeutigkeit des Inhalts,
- der Detaillierungsgrad und
- die Zuverlässigkeit der Information.

Ist dem Suchenden bekannt, wie die zu durchsuchenden Daten diesen Kriterien genügen, können diese bereits beim Abgrenzen oder Sichten der Information zu einer effektiven Reduzierung der zu durchsuchenden Datenmenge führen.

hohen Aufwand, da bei bestehenden Objekten die Ausprägungen des entsprechenden Merkmals nachträglich bewertet werden müssen.

Merkmale werden ebenfalls verwendet, um innerhalb von Klassensystemen einzelne Klassen zu beschreiben. Diese Klassen werden durch bestimmte Merkmale und deren Ausprägung charakterisiert. Daten, deren Merkmale entsprechend innerhalb definierter Klassengrenzen ausgeprägt sind, werden der jeweiligen Klasse zugeordnet. Auch hier gilt, wie schon bei den Merkmalen beschrieben, dass das Definieren von Klassen mit einer übergeordneten Fragestellung korreliert. Entspricht die Fragestellung des Suchenden nicht der zugrunde liegenden Fragestellung, die zur Definition der Klassen führte, so ist eine effiziente Suche unter Verwendung der formulierten Klassen nicht möglich.

Auch für Klassenhierarchien gilt eine Abhängigkeit von der zugrunde liegenden Fragestellung. Im Gegensatz zu Klassen werden Klassenhierarchien durch die Vererbung einzelner Merkmale realisiert. Das bedeutet, dass untergeordnete Klassen gleiche Merkmale von übergeordneten Klassen besitzen und sich durch zusätzliche Merkmale von den übergeordneten Klassen unterscheiden. Da aber genau diese Merkmale wieder von der zugrunde liegenden Fragestellung abhängen, ist die Nutzung von Klassenhierarchien ebenfalls an eine gleich lautende Fragestellung gebunden.

Bei der Festlegung der Klassengrenzen gilt es, zwischen zwei gegensätzlichen Zielsetzungen abzuwägen: Überschaubare Menge an Daten je Klasse im Gegensatz zu geringer Anzahl der Klassen und damit Übersichtlichkeit. Je enger die Klassengrenzen definiert werden, desto weniger Daten sind je Klasse zusammengefasst, aber die Anzahl der Klassen steigt. Mit der steigenden Anzahl der Klassen sinkt auch der Nutzen hinsichtlich einer effizienten Unterstützung der Suche, da die Suche nach der ‚richtigen‘ Klasse selbst wieder einen erhöhten Aufwand bedeutet. Umgekehrt, sind die Klassengrenzen weit gefasst und somit je Klasse viele Daten zusammengefasst, wird die gesuchte Klasse schnell gefunden, aber die Sichtung der in der Klasse zusammengefassten Daten erfordert einen erhöhten Aufwand.

Suche über Vergleich

Sind Ausprägungen von Daten teilweise exakt bekannt, so können diese im Rahmen eines Vergleichs von Daten herangezogen werden. Sind zum Vergleich Daten herangezogen worden, die nicht dem gesuchten entsprechen, sondern nur im Zusammenhang stehen, müssen die Ergebnisse hinsichtlich Ihrer Relevanz auf die Suchanfrage bewertet werden. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Ausprägung eines Merkmals gesucht wird, aber das Merkmal selbst zum Vergleich vorgegeben wurde. Unterschiedliche Verfahren bieten

Möglichkeiten, gefundenen Übereinstimmungen anhand weiterer Aspekte zu bewerten. Zum Beispiel kann die Anzahl der Übereinstimmungen innerhalb eines Dokumentes, die ‚Nähe‘ zu einem anderen Begriff oder auch die Anzahl der Zugriffe auf eine Dokument als zusätzliches Bewertungskriterium herangezogen werden.

3.4 Hypothese

Die Gemeinsamkeit der unterschiedlichen Tätigkeiten während des Konstruktionsprozesses liegt in deren Ziel, durch Verringerung der konstruktiven Freiheitsgrade das Produktmodell zu beschreiben (siehe 3.2), so dass eine Herstellung des Produkts möglich ist. Im Rahmen arbeitsteiliger Prozesse ist dabei jeder am Prozess Beteiligte auf Information anderer angewiesen. Zur Beschaffung der benötigten Information ist neben der direkten Kommunikation oder dem Zugriff auf die Daten vor allem die Suche nach Daten von besonderer Bedeutung (Kapitel 3.3.2). Allerdings existiert kein allgemeingültiges Suchprinzip. Vielmehr ist in Abhängigkeit des individuellen Wissenstandes, der technischen Möglichkeiten und der zugrunde liegenden Problemstellung eine von drei prinzipiell verschiedenen Arten der Suche oder eine Kombination dieser zu wählen (Kapitel 3.3.3).

Aus Sicht des Autors lassen sich diese drei bewährten Arten der Suche um eine weitere ergänzen. Diese basiert auf der Nutzung von zwei Beziehungen zwischen Informationen, die sich zum einen aus dem Konstruktionsprozess und zum anderen aus der Produktstruktur ableiten lassen.

Während des Konstruktionsprozesses findet ein Informationsumsatz statt. Dabei stehen erzeugte und gesuchte Information in einer Beziehung zueinander. Die erzeugte Information liefert in Bezug auf die gesuchte eine Antwort auf die Frage des WIE. Umgekehrt liefert die gesuchte Information in Bezug auf die erzeugte die Beantwortung der Frage WARUM.

Eine zweite Beziehung lässt sich aus der Produktstruktur ableiten. Die Produktstruktur stellt die Abhängigkeiten vom Einzelteil über Baugruppen bis hin zum Gesamten dar. Die produktbeschreibenden Informationen sind somit entweder ‚Teil von etwas‘ oder ‚sie bestehen aus‘.

Da die Suchstrategie auf der Nutzung von zwei Beziehungen basiert, kann daraus eine qualitative Aussage über die Form der Suche abgeleitet werden. Die oben genannten Beziehungen stellen eine ‚Verbindung‘ zwischen Informationen her. Da Informationen nur in Form von Daten abgelegt werden können (Kapitel 2.3.1), besteht diese Verbindung auch zwischen den abgelegten Daten. Für die Suche würde dies bedeuten, diesen Verbindungen zu folgen. Somit gleicht die Suche einer Navigation zwischen den Daten, wobei die Verbindungen durch die oben abgeleiteten Beziehungen aus dem Konstruktionsprozess und

der Produktstruktur resultieren. Die in Kapitel 3.3.2 dargestellten Zusammenhänge zwischen der Art des inhaltlichen Wissens über gesuchte Information und geeignete Suchstrategien kann unter Berücksichtigung dieser qualitativen Aussage über die Form Suche wie folgt erweitert werden (Tabelle 4).

Tabelle 4 Suchstrategie bei der Nutzung von Konstruktionsinterdependenzen

Abfrage von inhaltlichem Wissen zur gesuchten Information		geeignete Suchstrategien, die IT-unterstützt werden können
Sind vorhandene Prozess- und Produktstrukturen bekannt?	neu	Navigation zu den Daten, wobei der Suchende selbst steuert
Lässt sich die gesuchte Information inhaltlich klassifizieren? bzw. Ist die Information inhaltlich einzuordnen?	Bekannt Kapitel 3.3.2	Erzeugung von Sichten auf Daten, wobei diese Vorgehensweise automatisch oder automatisiert erfolgen kann
Ist die Dokumentation der gesuchten Information zumindest teilweise exakt bekannt?	Bekannt Kapitel 3.3.2	gezielte Suche nach den inhaltlich bekannten Daten über einen Vergleich
Sind Daten bekannt, die im direkten Zusammenhang zur gesuchten Information stehen?	Bekannt Kapitel 3.3.2	Nutzen dieser Daten als Ausgangspunkt für weiterführende Informationen (Hinweise, Verweise, Dokumente etc.)

Vorteile einer solchen Navigation in den produktbeschreibenden Daten, eine entsprechende strukturelle Darstellung und Möglichkeit zur Suche vorausgesetzt, sind:

- Der Suchende kann als Ausgangspunkt ein ihm bekanntes Modell nutzen.
- Unabhängig der Fragestellung des Suchenden, kann dieselbe strukturelle Darstellung verwendet werden.
- Trotz unterschiedlicher, individueller Kenntnisse der Anwender kann eine übergreifende Struktur genutzt werden.
- Die Kenntnis über individuelle Systematiken, wie sie heute der Ablage und Suche von Daten auf Grund spezifischer Anforderungen zugrunde liegt, wird durch eine übergreifende ersetzt.
- Der Anwender kann zur Suche ein System verwenden.

Aus dem vorher Beschriebenen wird folgende Hypothese formuliert:

Das Wissen des Konstrukteurs über die sich aus dem Konstruktionsprozess ergebenden Beziehungen von Informationen zueinander, kombiniert mit der Möglichkeit von deren adäquater Handhabung, ermöglicht eine zielorientierte Suche in den Produktdaten.

4 Konzept und prototypische Visualisierung

4.1 Übersicht

In diesem Kapitel wird ein Konzept zur Umsetzung der am Ende des vorherigen Kapitel 3.4 formulierten Hypothese dargestellt. Des Weiteren wird eine prototypische Benutzungsoberfläche definiert, die zur Evaluierung des Konzepts im folgenden Kapitel 5 dient. In den folgenden Unterkapiteln (Abbildung 18) werden nachstehende Fragestellungen beantwortet:

- Wie kann ein Konzept auf Basis des formulierten Ansatzes aussehen?
- Wie kann dieses Konzept prototypisch visualisiert werden, um eine empirische Untersuchung zu ermöglichen?

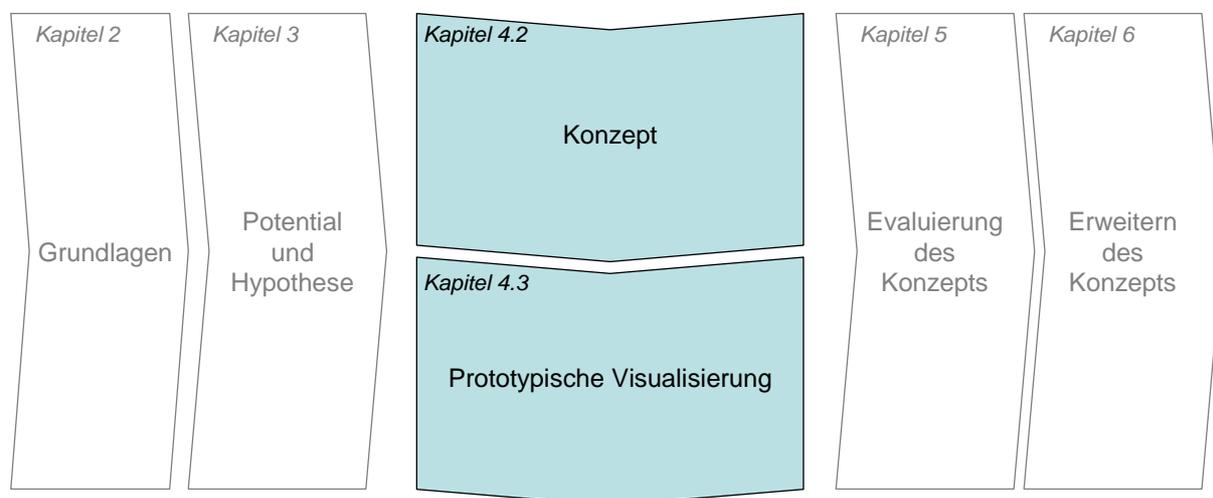


Abbildung 18 Gliederung des Kapitels Konzept und prototypische Visualisierung

4.2 Konzept

4.2.1 Struktur

In Kapitel 3.4 wurde eine Hypothese zur Suche nach Daten formuliert. Diese Daten sind Ausdruck der produktbeschreibenden Modelle, die im Rahmen des Konstruktionsprozesses zur Konkretisierung des Konstruktionsgegenstands genutzt werden. Der Ansatz basiert auf Beziehungen der Daten zueinander, die sich zum einen aus dem Konstruktionsprozess und zum anderen aus der Produktstruktur ableiten lassen.

Damit der Nutzen des zu formulierenden Konzepts nicht auf eng umrissene Anwendungsfälle einzelner Konstruktionsprozesse beschränkt bleibt, wird eine formalisierte Vorgehensweise beim Konstruieren zugrunde gelegt. Als Basis dienen hierfür die in Kapitel 2.5.6 beschriebenen phasenorientierten Prozessmodelle. Sie basieren auf der von der

Systemtechnik vorgeschlagenen Vorgehensweise beim Problemlösen. Dabei wird der Konstruktionsprozess in Phasen zunehmender Konkretisierung des Konstruktionsgegenstands vom Qualitativen hin zum Quantitativen strukturiert. Diesen Phasen sind unterschiedlich abstrakte Modelle zugeordnet, mit denen sich der Konstruktionsgegenstand entsprechend beschreiben lässt (Kapitel 2.6). Im Rahmen der Konkretisierung des Konstruktionsgegenstandes liefert das jeweils abstraktere Modell benötigte Information zur Definition des nächst konkreteren Modells. Dieser Zusammenhang der Modelle kann, resultierend aus dem Konstruktionsprozess, bei der Suche nach Information genutzt werden.

Aus Sicht des Autors kann noch eine weitere Beziehung zwischen den Daten bei der Suche genutzt werden. Die Systemtechnik schlägt zur Lösung eines Problems die Zerlegung des Gesamtsystems in Teilsysteme bis hin zu Systemelementen vor (Kapitel 2.4.1). In der technischen Praxis entspricht dies einer Gliederung des Konstruktionsgegenstandes vom Ganzen über Baugruppen bis hin zum Einzelteil. Die so genannte Produktstruktur spiegelt diesen Zusammenhang wieder. Dem entsprechend weisen auch die produktbeschreibenden Modelle diese Beziehung zueinander, resultierend aus der Produktstruktur, auf.

Diese beiden Beziehungen zwischen Modellen, die zum einen aus dem Konstruktionsprozess und zum anderen aus der Produktstruktur resultieren, sind in Abbildung 19 wiedergegeben. Die sich daraus ergebende Struktur bildet die Basis des zu definierenden Konzepts.

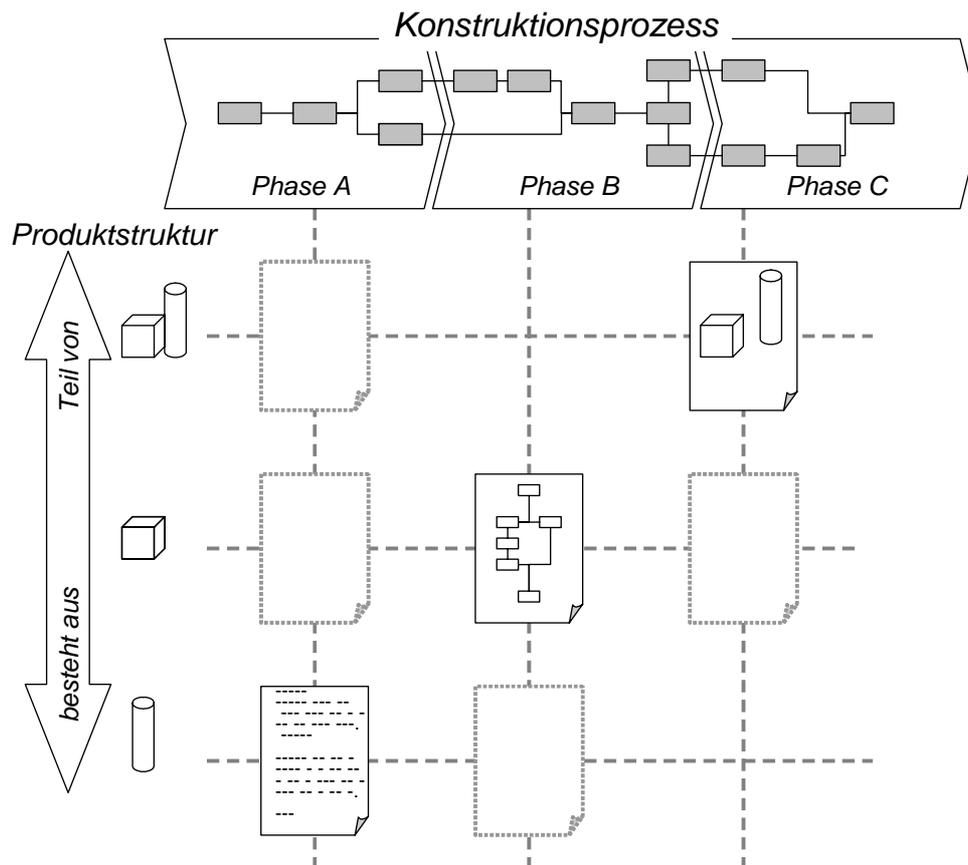


Abbildung 19 Beziehung zwischen Modell, Produktstruktur und Konstruktionsphase

4.2.2 Kognitive Aspekte der Strukturdarstellung

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Beziehungen zwischen Modellen und die daraus resultierende Struktur müssen in einer Form dargestellt werden, die deren Nutzung zur Suche ermöglicht. Hierbei handelt es sich allgemein formuliert um die Definition eines Hilfsmittels (Kapitel 2.7), welches den Anwender bei der Lösung eines Problems unterstützt. Bei der Definition solcher Hilfsmittel sollten Erkenntnisse der Arbeitswissenschaften und der Denkpsychologie berücksichtigt werden. Nur so kann erreicht werden, dass die Form des Hilfsmittels dem ureigensten Vorgehen beim Problemlösen möglichst nahe kommt. Ziel ist, eine möglichst hohe Identifikation des Nutzers mit der Form des Hilfsmittels zu erreichen.

Im Rahmen dieser Arbeit sind aus dem Bereich des so genannten Cognitive Engineering vor allem die Ansätze von Rasmussen hervorzuheben /Ras-85/. Rasmussen beschreibt ein mentales Modell in Form eines zweidimensionalen Problemraums. Mit Hilfe der ersten Dimension können funktionale Eigenschaften auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus beschrieben werden. Die zweite Dimension beschreibt die Dekompositions- bzw. Aggregationsstufe des technischen Systems. Der von beiden Dimensionen aufgespannte

Raum wird von Rasmussen als Abstraktionshierarchie bezeichnet und ist schematisch in Abbildung 20 dargestellt.

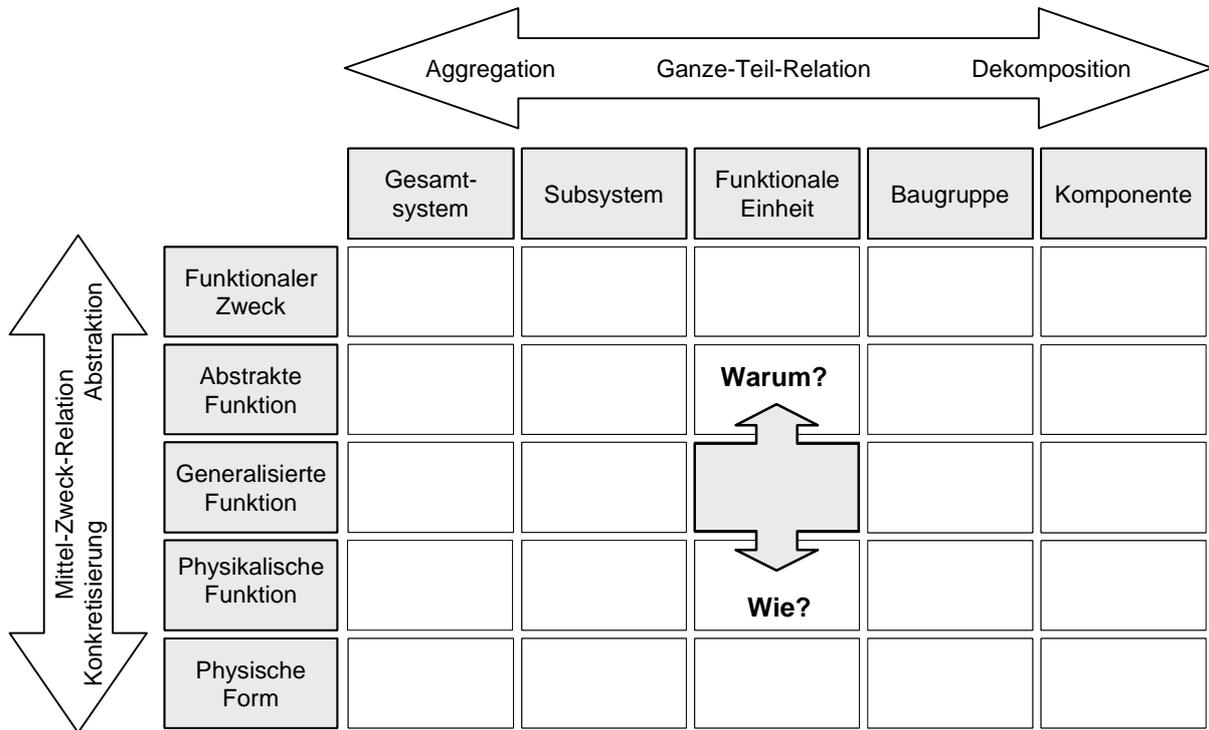


Abbildung 20 Abstraktionshierarchie nach Rasmussen /Ras-85/

Die Dimension zur Beschreibung des funktionalen Zusammenhangs kann auch als Mittel-Zweck-Beziehung interpretiert werden. Es findet eine Differenzierung in fünf Abstraktionsstufen statt. Die konkreteste Stufe ist diejenige, deren Modell die physische Form sowie das Erscheinungsbild, wie z.B. Anordnung der Komponenten, Zuordnung von Werkstoffen usw., wiedergibt. Die nächst abstraktere Stufe bildet die physikalische Funktion ab. Mit Hilfe der mittleren Abstraktionsstufe lassen sich Standardfunktionen und zu Modulen zusammengefasste Prozesse, wie z.B. Schwingkreise oder komplette Spannungsversorgungen, abbilden. Die vorletzte Stufe beschreibt Informations-, Massen- und Energieströme. Auf der abstraktesten Ebene werden Ziele des Systems definiert, die z.B. in einer Anforderungsliste festgehalten werden.

Bei näherer Betrachtung einer Abstraktionsstufe liefert die jeweils abstraktere Ebene die erläuternde Begründung in Bezug auf die Funktion (WARUM) und die nächst konkretere Ebene die Beschreibung der Umsetzung der Funktion (WIE). Damit kann der Benutzer zielgerichtet im Problemraum navigieren und Begründungszusammenhänge herstellen.

Rasmussen beschreibt die Abstraktionshierarchie ursprünglich zur systematischen Wissensrepräsentation bei Entscheidungen in Zusammenhang mit Überwachungs- und Kontrolltätigkeiten von komplexen Systemen. Diese Systematik ist jedoch auch auf andere

Aufgaben übertragbar. Die folgenden Beispiele aus unterschiedlichen Bereichen sollen die zentrale Bedeutung und die Allgemeingültigkeit des Ansatzes von Rasmussen verdeutlichen.

Rasmussen selbst nutzt sein Modell für die technische Gestaltung eines Informations- und Recherchesystems einer Bibliothek /RaPeGo-94/.

Für Diagnose- und Kontrollzwecke von energie- und verfahrenstechnischen Prozessen nutzt Lind den von Rasmussen vorgeschlagenen zweidimensionalen Problemraum. Auf verschiedenen Abstraktions- und Dekompositionsstufen können so mit Hilfe unterschiedlicher Modelle die physikalischen Systemeigenschaften abgebildet und durch Nutzung einer graphischen Repräsentationssprache dargestellt werden. Ohne die Eingabe von Daten in das System durch Menschen kann der Prozess der Fehlerdiagnose automatisiert werden /Lind-91/.

Von Frey wird das Störungsmanagement von Hubschraubern empirisch untersucht. Dazu nutzt er die Abstraktionshierarchie von Rasmussen mit drei Abstraktions- und Zerlegungsstufen /FrRoGa-92/.

Woods und Hollnagel verfolgen einen problem-, nicht werkzeuggetriebenen Ansatz der kognitiven Beschreibung komplexer Systeme, aus dem dann Gestaltungsregeln für Werkzeuge abgeleitet werden können. Dabei nutzen sie Methoden der funktionalen Beschreibung nach Rasmussen, um Problemlöseverhalten und kognitive Anforderungen unabhängig von der Implementierungssprache abzubilden /WoHo-87/.

Helander gibt einen Überblick über verschiedene Forschungsansätze, die sich mit der Entwicklung von allgemeinen Modellen menschlichen Konstruktionsverhaltens beschäftigen. Er beschreibt u. a. den Versuch, auf Grundlage verbaler Protokolldaten eine Trajektorie des Konstruktionsprozesses im zweidimensionalen Raum der Abstraktionshierarchie zu erzeugen. Konstruktionswerkzeuge auf der Basis der Funktionalitäten, die durch die Abstraktionshierarchie beschrieben werden können, sind nach seiner Einschätzung geeignet, die Konstruktion als Abwägungs- und Aushandlungsprozess zu unterstützen /Hela-94/.

Die Wechselbeziehungen zwischen Denken und Skizzieren in schöpferisch-entwerfenden Problemlöseprozessen der Konstruktion sowie standardisierte Vorgehensweisen bei der Klassifikation dieser Prozesse werden aus psychologischer Sicht von Hacker /Hack-96/ bzw. Schroda und Hacker beschrieben. Aus Analysen der Vorgehensweisen von berufserfahrenen Konstrukteuren werden Konsequenzen für Unterstützungsmöglichkeiten des Produktentwicklungsprozesses abgeleitet. Für eine lösungsorientierte Problemrepräsentation ist es nötig, die jeweiligen Ziele in die Art der Darstellung mit einzubeziehen, d. h. auch hier werden verschiedene Abstraktionsstufen der Wissensrepräsentation voneinander unterschieden. Beim Erfassen des Problems kommt es auf die vollständige Bestimmung der

Hauptfunktionen und ein gewichtetes Zusammenfassen der Zielmerkmale an. Dann kann eine abstrakte Prinzipskizze die geeignete Entwurfsprozedur sein, bevor weiter konkretisiert wird. Die Konstruktionsmethodik soll dabei als Heuristik, nicht als Algorithmus das planende Vorgehen flexibel unterstützen. Wichtig ist, dass von Anfang an das zeichnerische Fixieren und Skizzieren genutzt wird, um das Problem des begrenzten Arbeitsgedächtnisses zu umgehen. Die Skizze fungiert außerdem als Denkmittel im ständigen Wechsel der Abstraktionsebenen, wenn der Problemlöseprozess kein systematisch hierarchisches Vorgehen vom Groben zum Feinen oder vom Abstrakten zum Konkreten darstellt /ScHa-98/.

4.2.3 Ausgestaltung des Konzepts

Das Konzept nutzt die im vorherigen Kapitel 4.2.2 beschriebene Abstraktionshierarchie von Rasmussen, um damit die in Kapitel 4.2.1 beschriebene Struktur der Beziehungen zwischen Modell, Konstruktionsprozess und Produktstruktur abzubilden.

Der bei Rasmussen als Mittel-Zweck-Beziehung beschriebene Zusammenhang wird mit Hilfe der Phasen der Konstruktionslehre nach Pahl und Beitz ausgeprägt /PaBe-97/. Pahl und Beitz beschreiben verschieden abstrakte Phasen während des Konstruktionsprozesses, die beim problemorientierten, systematischen, aber auch intuitiven und kreativen Vorgehen nach der Konstruktionsmethodik durchlaufen werden (Kapitel 2.5.6). Bei der Aufgabenformulierung werden Anforderungsliste und Hauptaufgaben bearbeitet, in der funktionellen Phase die logischen Funktionsstrukturen (Stoff-, Energie-, Signalfunktionen) definiert und dann die physikalischen Effekte zur Entwicklung prinzipieller Lösungen verwendet. In der gestaltenden Phase erfolgen die Festlegung der geometrischen Wirkstrukturen und die Detailausarbeitung.

In struktureller Analogie zur Abstraktionshierarchie werden von Pahl und Beitz bezüglich der Ganze-Teil-Beziehung Maschine, Gerät, Baugruppe, Maschinenelement und Einzelteil unterschieden.

Der beschriebene Zusammenhang zwischen den Phasen der Konstruktionsmethodik nach Pahl und Beitz und der Abstraktionshierarchie von Rasmussen ist in Abbildung 21 wiedergegeben. Dieser Zusammenhang dient als Basis der konzeptionellen Leitlinie zur Visualisierung der Benutzungsoberfläche.

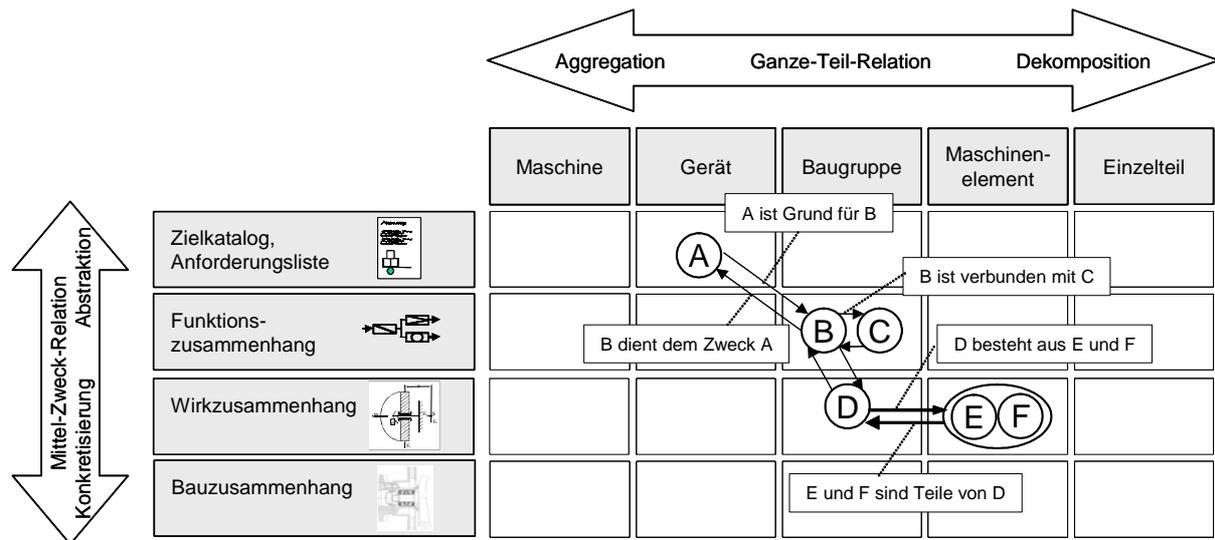


Abbildung 21 Zusammenhang der Abstraktionshierarchie und der Konstruktionsmethodik

Durch die Kopplung der Phasen der Konstruktionslehre und der Abstraktionshierarchie wird ein formales Modell zur Informationspräsentation definiert. Mit Bezug auf die konkreten Aufgaben und Probleme in der Konstruktion dient es der Abbildung der Partialmodelle, die zusammen das Lösungsfeld im Produktentwicklungsprozess darstellen, welches gleichzeitig als Navigationsraum die Information strukturiert zur Verfügung stellt.

Vorteil bei der Wahl der Abstraktionshierarchie nach Rasmussen als Basis für das Konzept ist, dass dieses über das reine und bewusste Methodenwissen eines Konstrukteurs hinaus der gewohnten und intuitiven Denkweise möglichst gut entspricht. Der Konstrukteur kann seine Aufgabe umso effizienter bewältigen, je besser die rechnerische Repräsentation von Wissensstrukturen seinem aufgabenspezifischen mentalen Modell entspricht. Der Aufwand zur Transformation von Information wird so minimiert.

4.3 Prototypische Visualisierung

4.3.1 Vorgehen

Im vorhergehenden Kapitel 4.2.3 wurde ein formales Modell zur Informationspräsentation definiert, das auf Kopplung der Phasen der Konstruktionslehre von Pahl und Beitz und der Abstraktionshierarchie von Rasmussen beruht. Hierauf aufbauend wird die prototypische Benutzungsoberfläche visualisiert, die im folgenden Kapitel 5 zur Evaluierung des Konzepts dient.

Die Gestalt der Benutzungsoberfläche sowie die Formulierung nutzbarer Funktionen orientieren sich zum einen an den Anforderungen aus dem Konzept und zum anderen an Randbedingungen, die aus einem zu definierenden Entwicklungsszenario resultieren.

Bestandteil des Entwicklungsszenarios ist eine Konstruktionsaufgabe, deren methodische Bearbeitung dokumentiert wird. Daraus werden Tätigkeiten, Hilfs- und Kommunikationsmittel identifiziert, die bei der Gestaltung der Benutzungsoberfläche und der Wahl der Interaktionskomponenten berücksichtigt werden. Die Abbildung 22 ermöglicht die Zuordnung des beschriebenen Vorgehens zu einzelnen Kapiteln.

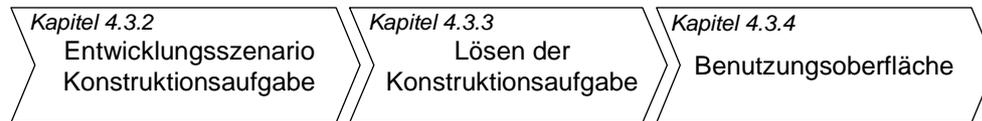


Abbildung 22 Vorgehen zur Definition der prototypischen Schnittstelle

4.3.2 Entwicklungsszenario und Konstruktionsaufgabe

Das folgende Entwicklungsszenario beschreibt das ‚virtuelle‘ Umfeld und die Situation, aus der heraus eine Konstruktionsaufgabe resultiert. Im Rahmen der Evaluierung (Kapitel 5) wird anhand dieses Entwicklungsszenarios den Konstrukteuren das Konzept und der Umgang mit der Benutzungsoberfläche (Kapitel 4.3.4) erläutert. Das Szenario wurde so gewählt, dass eine Identifikation mit der beschriebenen Situation und dem Produkt ermöglicht wird.

Entwicklungsszenario

Der Vorstand der ‚virtuellen‘ Anhänger AG hat beschlossen, bis zum Jahresende seine Produktpalette zu erweitern. Bis zum Ende des Jahres soll ein Konzept für einen Anhänger entwickelt und zur Serienreife gebracht werden. Bedingt durch den schnellen Wandel der Fertigungstechnik und unter Berücksichtigung der Standortvorteile entschied sich der Vorstand, ein bestehendes Werk zu modernisieren. In diesem Zusammenhang sollen bei der Konzeption neuer Produkte neueste Verfahren der Fertigungstechnik, Erkenntnisse des Recyclings sowie Möglichkeiten zur Variantenkonstruktion berücksichtigt werden.

Der Beschluss des Vorstands wird durch den Einsatz eines Projektteams umgesetzt. Dieses Projektteam untersteht dem Vorstand, ist ihm Rechenschaft schuldig und von Anbeginn bis zur Serienreife für dieses Projekt verantwortlich. In dem zur Untersuchung genutzten Szenario beauftragt das Projektplanungsteam einen Konstrukteur mit der Entwicklung einer Radaufhängung für einen Anhänger.

Konstruktionsaufgabe

Die Lösung der übertragenen Aufgabe ‚Entwicklung einer Radaufhängung‘ kann in Abhängigkeit von Randbedingungen die Lösung einer sehr komplexen Aufgabe bedeuten. Deren Lösung ist dann nur mit dem Know-how des jeweiligen Unternehmens in Kombination

mit den individuellen Fähigkeiten des Bearbeiters möglich. Um die Komplexität möglichst gering zu halten, werden die in Tabelle 5 aufgeführten Randbedingungen festgelegt.

Tabelle 5 Randbedingungen der Teilaufgabe ‚Entwicklung einer Radaufhängung‘

Konstruktionsobjekt: Radaufhängung	ungelenkt nicht angetrieben ungedämpft ungefedert
Randbedingungen:	zul. Gesamtgewicht 1000 kg Höchstgeschwindigkeit 150 km/h 2000 Vollaststunden (bzgl. Geschwindigkeit und Gewicht)
Zeitraumen:	3 Wochen
Systeme:	Pro/ENGINEER / Office

Das Wissen von Konstrukteuren ist aufgrund ihrer Ausbildung und ihres jeweiligen Aufgabenbereichs unterschiedlich. Trotzdem soll bei der Evaluierung des Konzepts eine möglichst hohe Identifikation der teilnehmenden Probanden mit dem, der Konstruktionsaufgabe zugrunde liegenden, Problem ermöglicht werden. Insofern werden folgende Aspekte bei der Definition einer eigenständig zu lösenden Teilaufgabe berücksichtigt:

- Die Lösung der formulierten Konstruktionsaufgabe muss in einem überschaubaren Zeitrahmen möglich sein. Die Evaluierung findet mit Probanden aus der Industrie statt, deren zeitlicher Aufwand für eine Befragung maximal eine Stunde betragen soll. In diesem Zeitrahmen muss das Systemkonzept vorgestellt, die Lösungen des im Rahmen des Szenarios auftretenden Problems von Probanden unter Zuhilfenahme der prototypischen Visualisierung gelöst und der vorgefertigte Fragebogen ausgefüllt werden.
- Zur Lösung des Problems, das im Rahmen der Konstruktionsaufgabe von Probanden bearbeitet werden soll, dürfen keine Spezialkenntnisse erforderlich sein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch die unterschiedlichen Tätigkeitsfelder der Probanden und die im Rahmen einer Ingenieurausbildung vermittelten Kenntnisse diese nicht oder nur ungenügend präsent sein können.
- Die in der prototypischen Visualisierung verwendeten Hilfsmittel müssen so gewählt sein, dass dem Probanden ein Vergleich mit Hilfsmitteln seiner vertrauten Arbeitsumgebung möglich ist. Zur Vereinfachung der Wiedererkennung und damit zur Steigerung des Nutzens werden nach Möglichkeit "standardisierte" Hilfsmittel verwendet.

Aufgrund dieser Aspekte wird aus der Konstruktionsaufgabe ‚Entwicklung einer Radaufhängung‘ die ‚Dimensionierung eines Radlagers‘ als Teilaufgabe für die Bearbeitung durch die Probanden ausgewählt.

4.3.3 Dokumentation des Vorgehens

Das Vorgehen zur Lösung der Konstruktionsaufgabe ‚Entwicklung einer Radaufhängung‘ orientiert sich an der VDI-Richtlinie 2221 /VDI 2221/, die eine branchenunabhängige und allgemeingültige Vorgehensweise für den Maschinenbau vorschlägt. Obwohl diese selten in der Industrie durchgängig angewandt wird, ist zu erwarten, dass die Probanden die vorgeschlagene Vorgehensweise mit ihrer eigenen vergleichen können.

Auf Grundlage der Anforderungen (Kapitel 4.3.2) erarbeiten zwei konstruktionsmethodisch geschulte Mitarbeiter des Instituts für Maschinenkonstruktion – Konstruktionstechnik der TU-Berlin unter Verwendung der eigenen Sachkenntnis, dem Wissen von Kollegen sowie Information aus Fachliteratur, die Lösung. Um Erkenntnisse in die Gestaltung der prototypischen Benutzungsoberfläche einfließen lassen zu können, werden die Arbeitsschritte, verwendeten Hilfsmittel und Ergebnisse eines jeden Arbeitsschritts mit Hilfe von Selbstaufschreibebögen dokumentiert (siehe Abbildung 23).

Prozessschritt: _____ Prozeßphase: _____ Beginn (Datum, Uhrzeit): _____

Lfd.-Nr.	Tätigkeit	Info-Input	Info-Output	Zeit	Hilfsmittel	Entscheidungs- tragweite
1	Bekannte Größen Zusammentragen	Bisherige Protokolle, Erinnerung (Gedächtnis), Aufgabenstellung	Arbeitsblatt (1) siehe Anhang	10	Dubbel, Vorlesungsskript Appel, Blatt, Stift	
2	Handskizze, um Kräfte anzutragen	eigene Vorstellung	Arbeitsblatt (1) siehe Anhang	5	Blatt, Stift	
3						

Abbildung 23 Selbstaufschreibebogen

Der mit Hilfe der Selbstaufschreibebögen dokumentierte Gesamtprozess wird in Teilprozessschritte zerlegt. Die einzelnen Tätigkeiten werden klassifiziert und charakterisieren somit in verallgemeinerter Form signifikante Tätigkeiten des Konstrukteurs. Diese identifizierten Tätigkeiten lassen sich auch in anderen Entwicklungsprozessen wieder finden. Deren Anwendung und iterative Nutzung führt letztendlich zur Produktdefinition und ist somit Bestandteil des Lösungsfortschritts. Folgende Tätigkeitskategorien konnten unterschieden werden /Sch-04/:

- Suche in schon bestehenden Teillösungen der Konstruktionsaufgabe (z.B. bereits vorhandene Teillösungen ansehen, Zusammenhänge veranschaulichen)
- Informationssuche in verschiedenen Medien, die vom Konstrukteur herangezogen werden (Kataloge, Listen ...)
- Kommunikation und Kooperation zur Informationsbeschaffung (z.B. Informationsaustausch mit Arbeitskollegen, ...)
- Benutzung von Werkzeugen (CAD-Software, Berechnungsprogramme, Bleistift und Papier ...) und damit verbundene Generierung neuer Informationen
- Integration neuer Informationen in das bestehende Informationsnetzwerk (z.B. Verknüpfung mit Komponenten der Baustruktur)

Aus diesen fünf Tätigkeitskategorien werden die wesentlichen Grundtypen von Interaktionskomponenten der prototypischen Benutzungsoberfläche abgeleitet.

4.3.4 Visualisierung der Benutzungsoberfläche

Der Funktionsumfang der prototypischen Benutzungsoberfläche resultiert aus der Berücksichtigung der Anforderungen des Konzepts (Kapitel 4.2.3), des dokumentierten Vorgehens zur Lösung der Konstruktionsaufgabe und der daraus identifizierten Tätigkeitskategorien und Hilfsmittel (Kapitel 4.3.3). Die Gestaltung erfolgt mit dem Multimedia-Autorensystem PowerPoint der Firma Microsoft. Die Verwendung von Sprungbefehlen, die durch Mausaktionen ausgelöst werden können, ermöglicht die Illusion eines lauffähigen Programms. Die Schwerpunkte dieser Umsetzung liegen in

- der Visualisierung des Konzepts und nicht auf der Schaffung einer industriell einsetzbaren Softwarelösung,
- der Möglichkeit, dem Probanden ein eigenständiges Arbeiten mit der prototypischen Benutzungsoberfläche zu ermöglichen,
- der Verwendung von Standardsoft- und Hardware,
- einem geringen Programmieraufwand und
- der Möglichkeit, das Konzept anhand eines Beispiels zu verdeutlichen.

Die Aufteilung der Benutzungsoberfläche in vier Bereiche orientiert sich an den in Kapitel 4.3.3 identifizierten Tätigkeitskategorien. Im Bereich *Objekt* wird das jeweilige Modell angezeigt. In Zusammenspiel mit dem Bereich *Navigieren* ist eine Suche in bestehenden Teillösungen möglich. In Abhängigkeit des im Bereich *Objekt* visualisierten Modells werden im Bereich *Generieren* Werkzeuge bereitgestellt. Diese ermöglicht die Manipulation der Modelle bzw. deren Erstellung. Die Nutzung verschiedener Medien zur Informationsgewinnung erfolgt aus dem Bereich *Informieren*. Hier können auch

Informationen zur Kontaktaufnahme oder Kooperation mit dem jeweils verantwortlichen Ersteller eines Modells abgerufen werden. Abbildung 24 zeigt den Aufbau und die Gestaltung der Benutzungsoberfläche. Die einzelnen Bereiche werden nachfolgend genauer beschrieben.

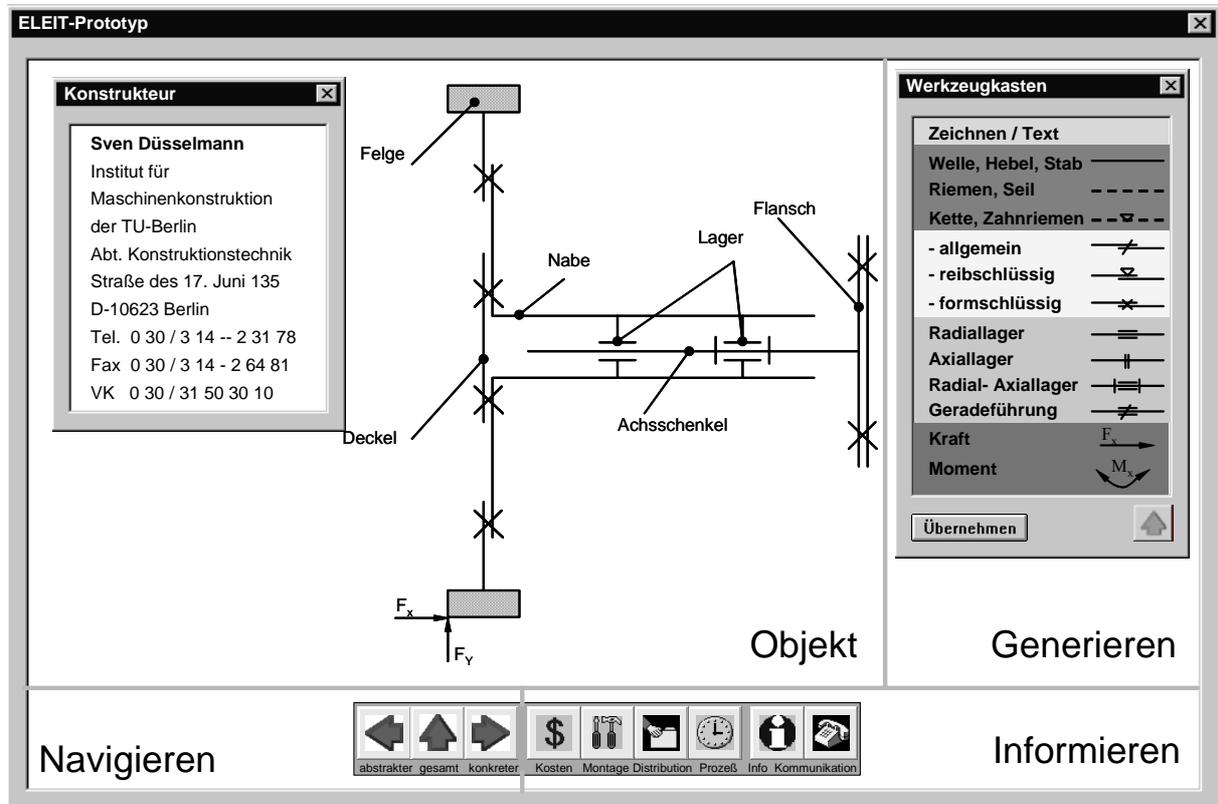


Abbildung 24 Prototypische Benutzungsoberfläche

Arbeitsbereich

Im Arbeitsbereich *Objekt* wird das aktuelle Modell dargestellt. Information, die über die Navigationsleiste abgefragt werden kann, bezieht sich immer auf das Objekt im Objektbereich. Die zur Verfügung stehenden Werkzeuge, die in dem eingblendeten Werkzeugkasten angeboten werden, orientieren sich ebenfalls am dargestellten Objekt.

Beim Überfahren mit dem Mausfeil färben sich Teile des dargestellten Objekts rot. Durch Selektieren des eingefärbten Teils (Mausklick) werden alle nicht gefärbten Teile ausgeblendet. Somit ist eine Fokussierung vom "Ganzen" zum "Teil" möglich. Dieses Vorgehen entspricht dem Folgen entlang der Ganzen-Teil-Beziehung in der Abstraktionshierarchie nach Rasmussen (siehe 4.2.2).

Je nach gewählter Sichtweise können die Funktionsstruktur, die Prinzipskizze oder die Baustruktur/Geometrie dargestellt werden. Abbildung 25 verdeutlicht anhand dieser drei Abstraktionsstufen die unterschiedlichen Darstellungen im Arbeitsbereich für die Baugruppe *gelagerte Welle* und das Bauteil *Welle*.

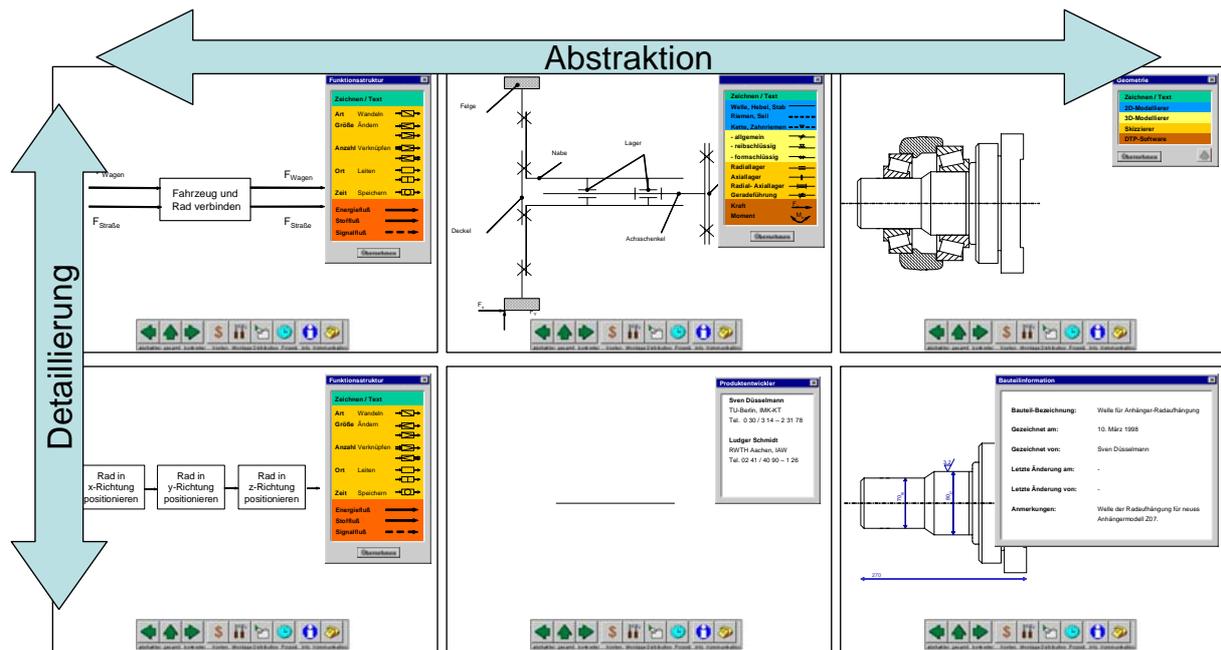


Abbildung 25 Grad der Detaillierung und Abstraktion

Navigations- und Informationsleiste

Die Navigations- und Informationsleiste ist permanent am unteren Rand eingeblendet. Die Navigationsleiste ermöglicht ein Navigieren innerhalb der zweidimensionalen Struktur (Kapitel 4.2.3) anhand der drei Schalter mit den Pfeilsymbolen. Der Pfeil nach oben ermöglicht eine Bewegung vom Detail in Richtung Gesamtsystem. Die Pfeile links/rechts erlauben einen Wechsel zwischen den Abstraktionsebenen.

In der Informationsleiste befinden sich weitere Schaltflächen, über die sich Zusatzfenster einblenden lassen, die semantisch verknüpfte Information anzeigen. Diese Information bezieht sich auf das jeweilige Objekt im Arbeitsbereich. Für diese prototypische Visualisierung wurden exemplarisch Schalter zur Anzeige von Informationen zu Kosten, Montage, Distribution und Prozess implementiert.

Über das Informationssymbol kann semantische Information bezüglich des dargestellten Objekts angezeigt werden, die sich nicht in der gewählten Form im Arbeitsbereich darstellen lässt. Mit Hilfe des Telefonsymbols kann Information bzgl. der Kommunikationsmöglichkeiten mit dem Bearbeiter des im Arbeitsfenster abgebildeten Objekts abgefragt werden (Adresse, Telefon, Fax, usw.).

Werkzeugkasten

Der Werkzeugkasten beinhaltet Werkzeuge, die für einen Arbeitsschritt benötigt werden. Der Begriff Werkzeug wird als Synonym für den Begriff Hilfsmittel (Kapitel 2.7) verwendet, da er eher gebräuchlicher ist. Er steht für softwaretechnische Produkte, die dem Konstrukteur

innerhalb eines Unternehmens zur Verfügung stehen und ihn während seiner Arbeit unterstützen sollen. Die Zusammenstellung verschiedener Werkzeuge zu Gruppen ist unternehmensabhängig. Durch die Auswertung der industriellen Untersuchung können Werkzeugkästen für die Bearbeitung unterschiedlicher Aufgaben entsprechend zusammengestellt werden.

Innerhalb des Systemkonzepts wird zwischen speziellen (kontextsensitiven) und allgemeinen Werkzeugkästen unterschieden. Alle Werkzeuge, die zum Lösen einer speziellen Aufgabe nötig sind, werden in einem "speziellen Werkzeugkasten" zusammengefasst und vom System an entsprechender Stelle des Entwicklungsprozesses dem Konstrukteur zur Verfügung gestellt. Die Erweiterung des "speziellen Werkzeugkastens" führt zum "allgemeinen Werkzeugkasten". In ihm werden alle Werkzeuge bereitgestellt, die im Unternehmen vorhanden sind und dem Konstrukteur zur Verfügung stehen. Sollte dem Konstrukteur das Angebot an Werkzeugen des speziellen Werkzeugkastens nicht ausreichen, so hat er jederzeit die Möglichkeit, Werkzeuge aus dem allgemeinen Werkzeugkasten zu nutzen.

Einschränkungen

Die zur Lösung der gestellten Konstruktionsaufgabe verwendeten, unterschiedlich abstrakten Modelle, die bei der Auswertung der Selbstaufschreibebögen identifiziert wurden, können mit Hilfe der prototypischen Benutzungsoberfläche visualisiert werden:

- die Funktionsstruktur stellt den Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen des Energie-, Stoff- und/oder Signalumsatzes unter Verwendung einer Blockdarstellung lösungsneutral dar.
- die Prinzipskizze stellt das Wirkprinzip (Wirkstruktur) der Lösung dar. Die in der prototypischen Visualisierung verwendeten mechanischen Objekte werden als Strichbilder schematisiert wiedergegeben (siehe Abbildung 24).
- die Baustruktur berücksichtigt die Notwendigkeiten der Fertigung, der Montage und des Transports und stellt den Zusammenhang von Bauteilen und -gruppen mit den zugehörigen Verbindungen dar.

In jeder dieser drei Abstraktionsstufen besteht die Möglichkeit, das Gesamtsystem in Baugruppen bzw. -teile zu zerlegen. In den Abstraktionsstufen Baustruktur und Prinzipskizze bestehen drei, in der Funktionsdarstellung vier, Zerlegungsstufen.

- Gesamtsystem Radlagerung
- Baugruppe gelagerte Welle
- Bauteil: Welle, Lager links, Lager rechts

Die softwaretechnische Visualisierung des Systemkonzepts basiert hinsichtlich der Anzahl aus Ausprägung von Funktionen auf denjenigen, die zur Lösung der Konstruktionsaufgabe *Radaufhängung* (Kapitel 4.3.2) genutzt bzw. benötigt werden. Aufgrund der Möglichkeiten des verwendeten Multimedia Autorensystems sind einige Funktionen jedoch nur angedeutet und nicht in vollem Funktionsumfang implementiert. So ist zum Beispiel mit den Werkzeugen zum Generieren und Verändern bestehender Prinzipskizzen eine Manipulation nicht möglich. Abbildung 26 verdeutlicht anhand eines Ausschnitts aus dem Zustandsübergangsdiagramm implementierte Funktionen der prototypischen Visualisierung für die Bearbeitung der Teilaufgabe „Lagerauslegung“, die auf der Komponentenebene und in der Betrachtungsart „Prinzipskizze“ unterstützt werden /BeLuKr-98/.

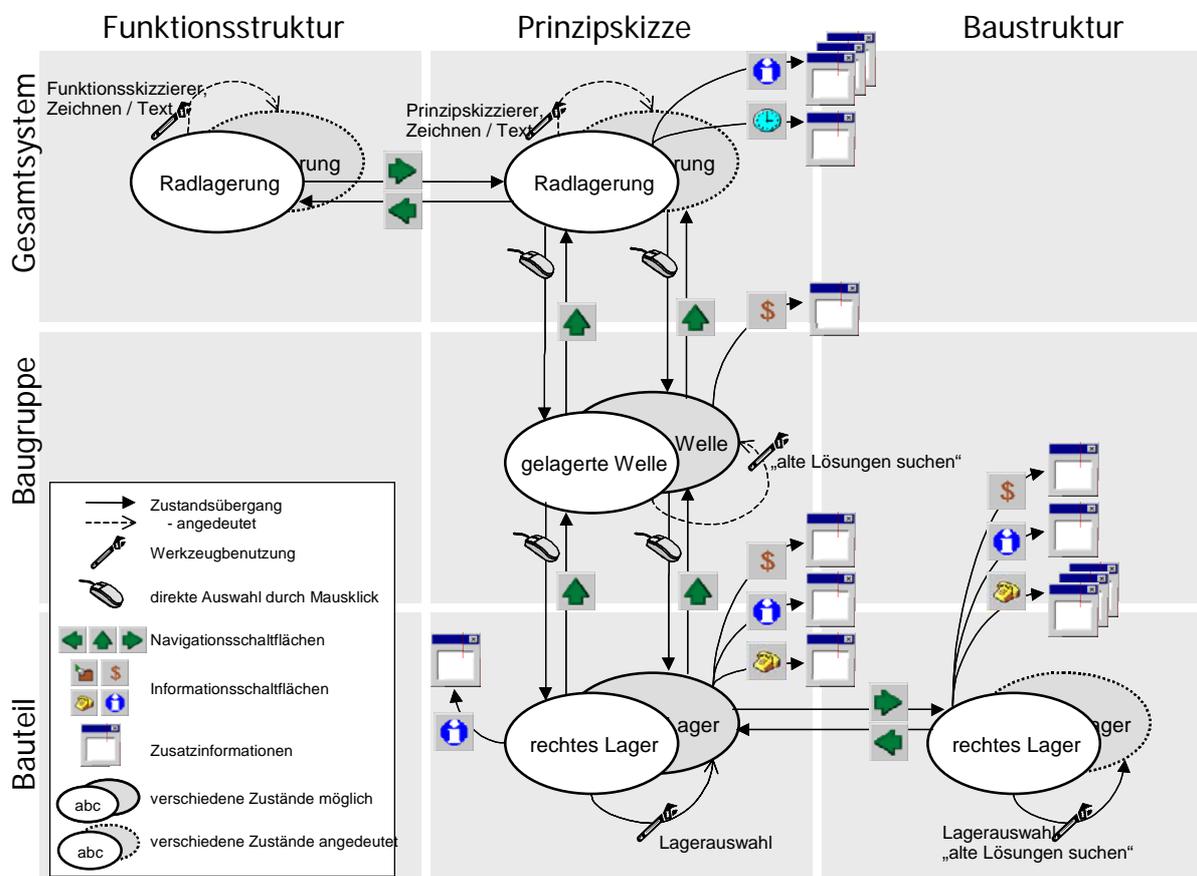


Abbildung 26 Zustandsdiagramm für einen Ausschnitt aus der Teilaufgabe 'Lagerauslegung'

5 Evaluierung des Konzepts

5.1 Übersicht

In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise und das Ergebnis der empirischen Evaluierung, des im vorherigen Kapitel 4 prototypisch visualisierten Konzepts, beschrieben. Ziel ist eine Aussage über den Nutzen des erarbeiteten Konzepts und eine Bestätigung der in Kapitel 3 formulierten Hypothese zu erhalten. In den folgenden Unterkapiteln (Abbildung 27) werden nachstehende Fragestellungen beantwortet:

- Wie sieht das Versuchsdesign für den empirischen Beweis aus?
- Wie ist das Ergebnis?

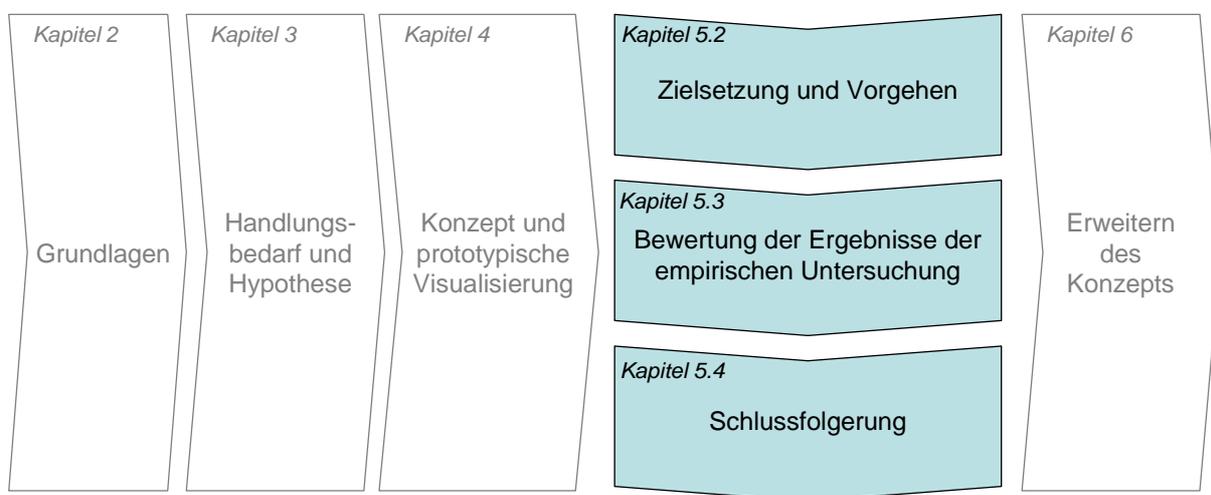


Abbildung 27 Gliederung Kapitel Evaluierung des Konzepts

5.2 Zielsetzung und Vorgehen

Zielsetzung

In Kapitel 3 wurde die Hypothese formuliert, dass das Wissen des Konstrukteurs über die sich aus dem Konstruktionsprozess ergebenden Beziehungen von Informationen zueinander, kombiniert mit der Möglichkeit deren adäquaten Visualisierung, eine zielorientierte Suche in den Produktdaten ermöglicht. Ein entsprechendes Konzept und die dazu ausgearbeitete Möglichkeit einer prototypischen Visualisierung wurden in Kapitel 4 beschrieben. Im Rahmen einer industriellen Untersuchung sollen mit Hilfe der prototypischen Benutzungsoberfläche die abgeleiteten Gestaltungskriterien für die Strukturierung der Datenpräsentation und deren Interaktionskomponenten überprüft und Defizite identifiziert werden. Folgende Kernaussagen sollen dabei näher untersucht werden (siehe auch /Sch-04/):

- Der Konstruktionsprozess wird durch sehr viele, unterschiedlich stark verknüpfte und sich gegenseitig beeinflussende Bedingungen und Entscheidungen bestimmt.

Abstraktionshierarchie und Partialmodelle sind eine geeignete, mental kompatible Abbildungsstruktur für die komplexe Vernetzung von Wissen, Informationen und Daten im Konstruktionsprozess.

- Eine Navigation in diesem komplexen Informationsnetzwerk ist je nach Situation mit einem unterschiedlichen Maß zwischen Konkretheit und Abstraktion erforderlich und durch einen individuellen Wechsel der Abstraktionsstufen möglich.
- Die umfassende und integrative Unterstützung des Entwicklungsprozesses erfordert die Bereitstellung des Wissens in Form von Daten.
- Die Suche nach Information nimmt einen großen Anteil der Arbeitszeit ein. Inhomogene Informationsstruktur und Medienvielfalt erschweren den Zugriff. Such- und Zugriffsstrategien sind daher uneinheitlich. Informationen sollten mental kompatibel an die Objekte auf der Arbeitsfläche 'angehängt' werden können.
- Als Informationsquellen sind auch mündliche, handschriftliche und nicht digitale Daten (z. B. konventionelle technische Zeichnungen) von Bedeutung. Entsprechende Zugriffsmöglichkeiten müssen realisiert werden.
- Schnittstellen zu „fachfremden“ Informationen (z. B. Kostendaten, Erfahrungen aus der Produktion) müssen ebenso möglich sein, wie zum aktuellen Konstruktionswissen.

Vorgehen

Die Dauer der Untersuchung orientierte sich mit einer Stunde an der in Kapitel 4.3.2 definierten Randbedingung. Nach einer fünf Minuten dauernden Einleitung zu den Zielen der Untersuchung wird den beteiligten Projektpartnern die prototypische Benutzungsoberfläche vorgestellt. Dies erfolgt verbal mit der Unterstützung von vorbereiteten Folien, die die Besonderheiten im Umgang mit der prototypischen Benutzungsoberfläche und mit den einzelnen Elementen verdeutlichen. Dies beansprucht zwischen 15 und 20 Minuten. An zwei Beispielen, Erstellung einer Funktionsstruktur und Kopplung der berechneten Randbedingungen der Radaufhängung mit vorhandenen Daten, wird die Arbeit mit der prototypischen Benutzungsoberfläche demonstriert.

Anschließend nutzt der Proband die prototypische Benutzungsoberfläche (15-20 Minuten), um die Teilaufgabe, Auslegung eines der beiden Radlager, eigenständig zu lösen (Kapitel 4.3). Der Umgang mit der prototypischen Benutzungsoberfläche wird per Videoaufzeichnung dokumentiert. Die Versuchsanordnung ist stets so gewählt, dass die Kamera, neben dem Rechnerarbeitsplatz stehend, auf den Probanden gerichtet ist. Durch einen zweiten Monitor, neben dem Probanden stehend und ebenfalls der Kamera zugewandt, können die Interaktionen des Probanden mit der prototypischen Benutzungsoberfläche gleichzeitig

aufgezeichnet werden. Durch das Vorgehen des "lauten Denkens" können bei der Auswertung auch Vorgehensweisen interpretiert werden, die sich nicht allein aus der Interaktion mit der prototypischen Benutzungsoberfläche hätten ableiten lassen. In Abbildung 28 ist der Versuchsaufbau schematisch dargestellt.

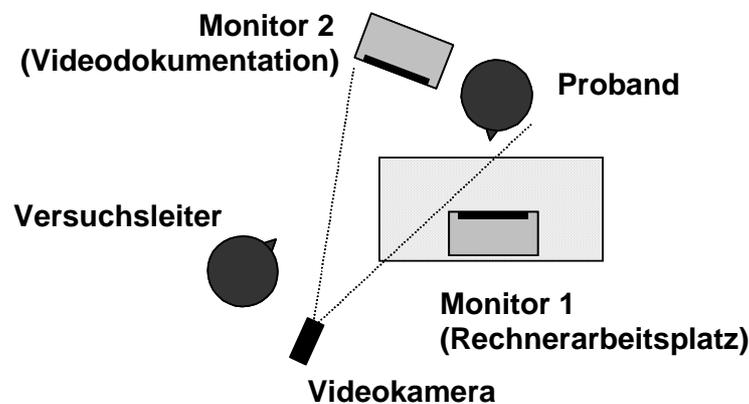


Abbildung 28 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Nach Abschluss der Dimensionierung und Einbau des Lagers ist die Arbeit mit der prototypischen Benutzungsoberfläche beendet. Der Proband füllt den im Anhang aufgeführten Fragebogen aus. In einem abschließenden freien Interview bekommt der Proband die Möglichkeit, weitere Aspekte zu nennen, die nicht im Fragebogen berücksichtigt sind.

Aus den Fragebögen können Angaben zur Person und des Unternehmens, dem derzeitigen Arbeitsumfeld des Probanden, die Bewertung des vorgestellten Systemkonzepts sowie der prototypischen Umsetzung entnommen werden. Zur Erhebung der Antworten wurden symbolisch-graphische Rating-Skalen verwendet, die ohne Abstufung ein Merkmalkontinuum abbilden (siehe Abbildung 29). Dadurch

- kann der Tendenz-zur-Mitte-Effekt minimiert werden,
- entfällt die teilweise schwierige Entscheidung für Zwischenwerte und
- wird die Vergabe von Extremwerten erleichtert.

Welchen Anteil Ihrer Arbeitszeit benötigen Sie insgesamt zur Beschaffung von Informationen?



Abbildung 29 Beispiel symbolisch-graphischer Rating-Skala

Für die spätere Auswertung wird eine lineare Transformation auf eine fünfstufig äquidistante Intervallskala vorgenommen. Da die Werte ursprünglich aus einer Kontinuumsdarstellung stammen ist die zusätzliche Bildung eines Mittelwertes möglich. In den folgenden Histogrammen werden Ergebnisse dargestellt und deren numerische Bewertung verbal erläutert. Eine vollständige Darstellung der Ergebnisse befindet sich im Anhang. Die

Auswertung des Videomaterials ermöglicht Rückschlüsse, wie der Konstrukteur in jeweiligen Situationen die durch die prototypische Visualisierung angebotene Unterstützung genutzt hat.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Arbeitswissenschaften der RWTH in Aachen und dem Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) in Berlin wurde das Konzept und dessen prototypische Visualisierung zwölf Mitarbeitern folgender Industrieunternehmen vorgestellt:

- Siemens, Berlin, Dynamo Werk,
- Siemens, Berlin, Verkehrstechnik,
- Daimler Benz, Berlin, Leistungszentrum Komponenten,
- IBM, Berlin, CAD-Vertrieb, IT-Architektur und
- Adtranz, Henningsdorf, Konstruktion, Einbauplanung, elektrische Installation.

Das Alter der Probanden variierte zwischen 27-55 Jahren und deren Berufserfahrung zwischen 1,5-20 Jahren. Mit Ausnahme von zwei Teilnehmern, deren Arbeitsschwerpunkt in der Beratung zum Thema CAD lag, waren alle anderen im Bereich der Maschinen- oder elektrotechnischen-Konstruktion tätig. Alle Probanden hatten Erfahrung im Umgang mit CAD bzw. CAE und diese in entsprechenden Schulungen erworben.

5.3 Bewertung der Ergebnisse der empirischen Untersuchung

5.3.1 Analyse der Fragebögen und freien Interviews

Die Motivation dieser vorliegenden Arbeit basiert auf der Erkenntnis, dass ein Großteil der Arbeitszeit eines Konstrukteurs auf die Suche nach Information verwendet wird (Kapitel 2.3.3 und Kapitel 3). Im Rahmen dieser Erhebung wird diese Aussage bestätigt. Bezogen auf ihr derzeitiges Arbeitsgebiet geben die Probanden an, im Durchschnitt 59% ($s=16\%$) ihrer Arbeitszeit mit der Beschaffung von Information zu verbringen (vgl. Frage 13). Dabei ist bei mehr als zwei Dritteln der Informationszugriffe ein Überschreiten der Abteilungsgrenze notwendig. Durch die Nutzung einer Vielzahl von unterschiedlichen Medien (siehe Abbildung 30) und der damit zusammenhängenden, unterschiedlichen Zugriffsstrategien wird von den Probanden eine mangelnde Unterstützung bei den Möglichkeiten der Informationsbeschaffung und -auswahl sowie Problemen bei den Schnittstellen als Problemfeld angegeben (siehe u.a. Frage 20, 21 und 29). Aussagen während der frei geführten Interviews bestätigen dieses Bild:

- "Ich nutze drei verschiedene Systeme (CAD-System, PC, Datenbanken) zur Suche. Eine Datendurchgängigkeit ist somit nicht gegeben" (Proband J).

- "Heute ist es hoffnungslos, in der Menge der vorhandenen Information selbst zu suchen. Man muss einen Kollegen befragen, um den Ablageort der gesuchten Information zu kennen" (Proband K)

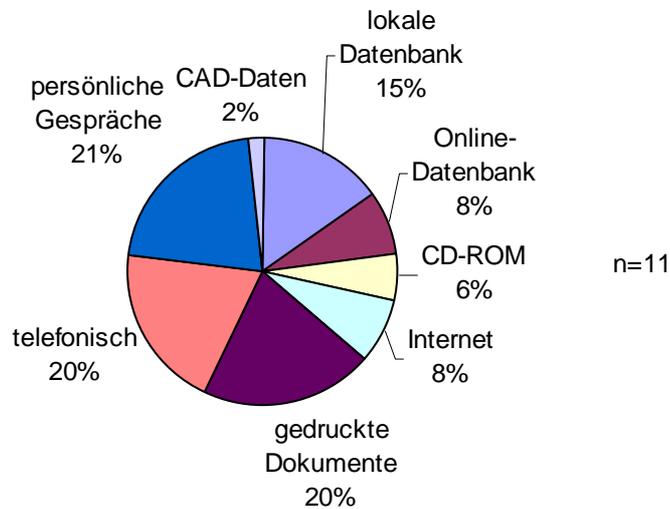


Abbildung 30 Medien für die Informationsbeschaffung (Analyseergebnis)

Verständnis für das Konzept

Um Fragen bezüglich des Konzepts bewerten zu können, muss geklärt werden, ob das grundlegende Konzept bei der Vorstellung deutlich wurde. Nur so wird sichergestellt, dass nicht aus Unverständnis weitere Fragen falsch beantwortet werden.

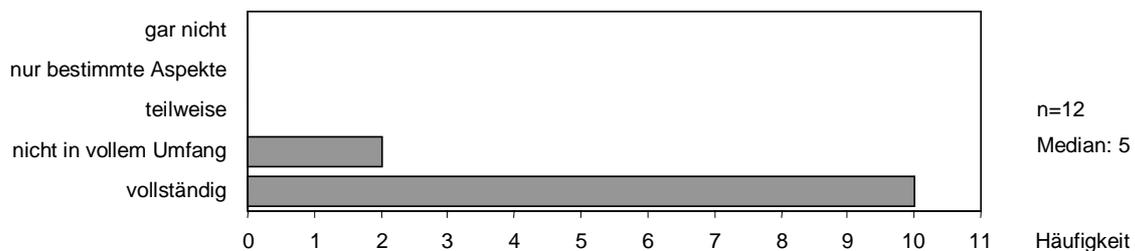


Abbildung 31 Verständnis für das Konzept

Aus Abbildung 31 geht hervor, dass zehn Probanden das Konzept "vollständig" und nur zwei Personen es "nicht in vollem Umfang" verstanden haben. Die Aussagekraft dieses Ergebnisses wird mit Hilfe eines Vorzeichen-tests bewertet. Dazu wird der Ergebnisbereich in drei Stufen geteilt:

- pro (vollständig, und nicht in vollem Umfang),
- indifferent (teilweise) und
- contra (nur bestimmte Aspekte, gar nicht).

Somit lässt sich eine Nullhypothese H_0 „Von allen Probanden bewerten höchstens so viele das vorgestellte Konzept verständlich wie unverständlich.“ gegenüber einer Alternativhypothese H_1 „Der Anteil derer, die das Konzept verständlich bewerten, ist größer als der Anteil derer, die es unverständlich bewerten.“ formulieren. Bei einem Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ liegt der so genannte Verwerfungsbereich, in dem der Nullhypothese widersprochen werden muss, bei $B=\{10, 11, 12\}$. Da 12 Antworten im Pro-Bereich liegen und somit im Verwerfungsbereich, muss der Nullhypothese widersprochen werden. Im Folgenden wird daher davon ausgegangen, dass die Antworten auf gestellte Fragen nicht aus Unverständnis falsch Beantwortet wurden.

Abstraktions- und Zerlegungsstufen

Das Systemkonzept basiert auf der Möglichkeit, mit verschiedenen Abstraktionsstufen (Modellen) zu arbeiten. Diese stellen nach Rasmussen die Ausprägungen der Mittel-Zweck-Relation dar (Kapitel 4.2.2). Zusätzlich können verschiedenen Detaillierungen der Abstraktionsstufen gewählt werden. Rasmussen beschreibt diese Unterscheidung als Ganze-Teil-Relation. Diese an die Konstruktionsmethodik angelehnte Vorgehensweise wird je nach Arbeitsgebiet, Aufgabenbereich und Ausbildung in unterschiedlichem Maß vom Konstrukteur genutzt. Es muss geprüft werden, ob eine Strukturierung in verschiedene Abstraktionsstufen bzw. eine Zerlegung des Gesamtsystems von den Probanden als zukünftige Arbeitsgrundlage vorstellbar ist.

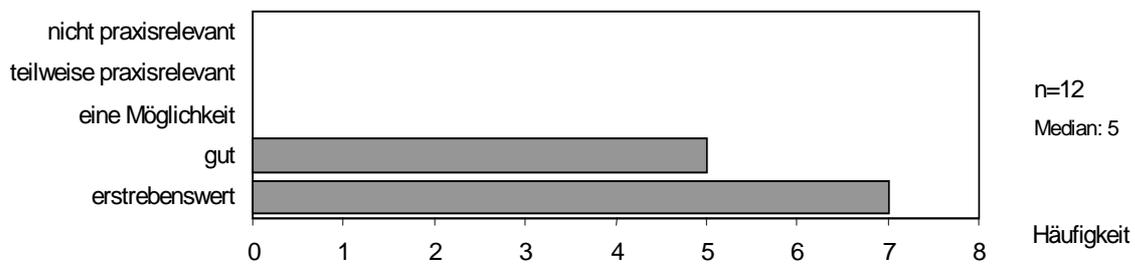


Abbildung 32 Abstraktionsstufen

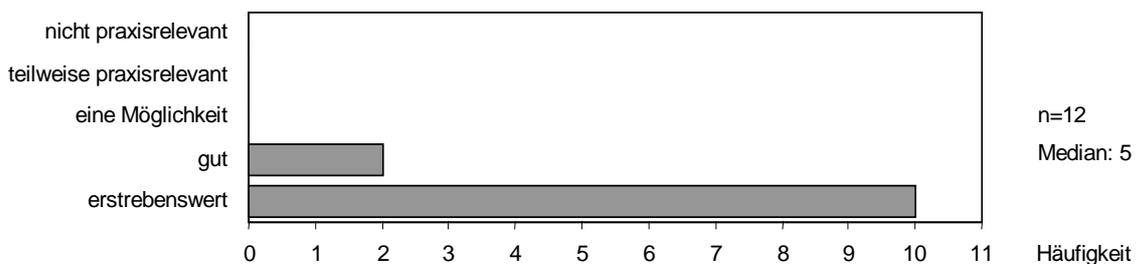


Abbildung 33 Zerlegungsstufen

Die vorgestellte Struktur des Systemkonzepts hinsichtlich der Unterscheidung in Abstraktionsebenen zur Beschreibung des Entwicklungsobjekts wird von sieben Probanden als sehr "erstrebenswert" und von fünf als "gut" erachtet (siehe Abbildung 32). Die Gliederung in Zerlegungsstufen und damit die Nutzung der Ganze-Teil-Beziehung wird sogar von zehn Probanden als "erstrebenswert" und von zwei als "gut" bewertet (siehe Abbildung 33). Analog der statistischen Auswertung der Fragestellung nach dem Verständnis des Konzepts (vorhergehende Fragestellung) lassen sich ebenfalls die Ergebnisse mit einem Vorzeichentest bewerten. Da sowohl bei der Frage nach Abstraktions- wie Zerlegungsstufen die Summe der Antworten im Pro-Bereich liegen, muss auch hier die entsprechende Nullhypothese "Von allen Probanden bewerten höchstens so viele die in der prototypischen Visualisierung vorgestellte Abstraktionshierarchie positiv wie negativ" verworfen werden.

Kontextsensitive Werkzeugauswahl

Um den Produktentwicklungsprozess effizient zu unterstützen, werden die für einen Arbeitsschritt benötigten Werkzeuge in Abhängigkeit des Arbeitsschritts zur Verfügung gestellt (Kapitel 4.3.4). Diese kontextsensitive Anwendungsumgebung kann den Nutzer in seinen Freiräumen einschränken, und ein Nutzen des Konzepts wird dann nicht erzielt. Insofern wird überprüft, ob sich die Probanden eine kontextsensitive Anwendungsumgebung bei der Werkzeugauswahl/Bereitstellung vorstellen können.

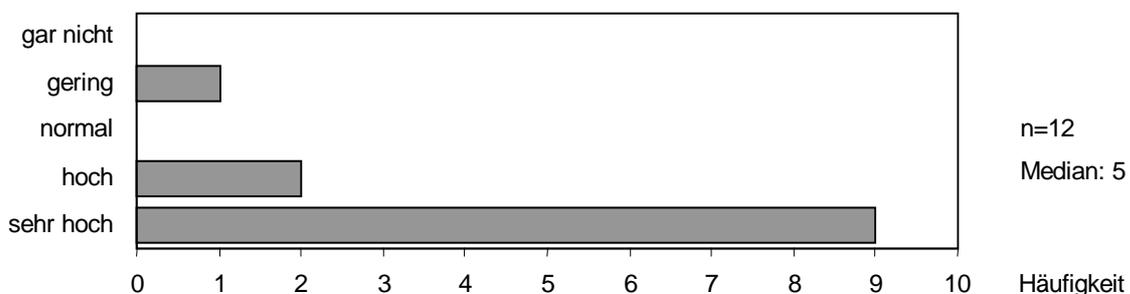


Abbildung 34 Kontextsensitive Werkzeugauswahl

Der Nutzen einer kontextsensitiven Werkzeugauswahl wird von neun Probanden als "sehr hoch" und von zwei Probanden als "hoch" und nur von einer Person als "gering" angegeben (siehe Abbildung 34). Auch hier führt ein Vorzeichentest zum Verwerfen der entsprechend formulierten Nullhypothese.

Dreiteilung der Benutzungsoberfläche

Bei der prototypischen Visualisierung wird eine dreigeteilte Oberfläche verwendet (Kapitel 4.3.4). Sie ermöglicht die Bearbeitung des aktuellen Objekts, die Navigation innerhalb vorhandener Information und die Nutzung bereitgestellter Werkzeuge. Die Probanden sollen

eine Beurteilung der Dreiteilung in Arbeitsbereich, Werkzeugkasten und Navigationsleiste vornehmen (siehe Abbildung 35).

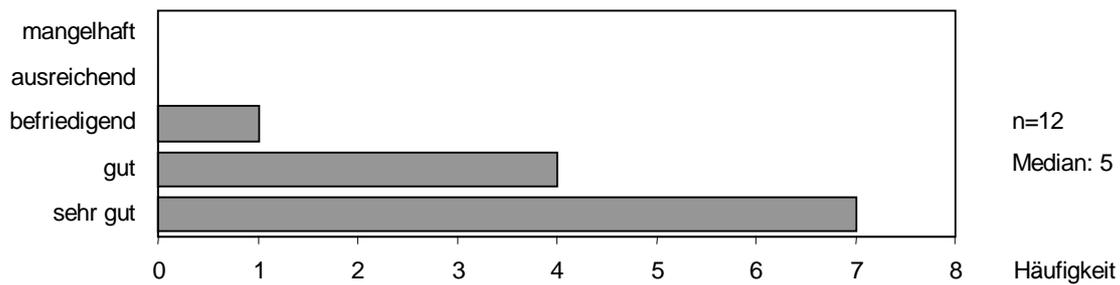


Abbildung 35 Dreiteilung der Oberfläche

Obwohl die Dreiteilung in der vorgestellten Form allen Probanden fremd ist, bewerten sieben von ihnen die Dreiteilung als "sehr gut", vier als "gut" und einer der Probanden vergibt ein "befriedigend".

Industrielle Nutzung des Konzepts

Der Einsatz des vorgestellten Konzepts in der jeweiligen Arbeitsumgebung wird unterschiedlich bewertet (siehe Abbildung 36). Sieben Probanden können sich eine sofortige Umsetzung vorstellen. Ein Proband befürwortet die Umsetzung mit einigen Änderungen. Zwei Probanden glauben der Einsatz der in ihrem Einsatzgebiet sei eher schwierig und ein Proband lehnt die Umsetzung innerhalb seines Aufgabengebiets ab, da er keine Erleichterung seiner Arbeit sieht. Ein Proband enthält sich der Bewertung. Der Proband, der die Frage unbeantwortet ließ und derjenige, der die Umsetzung für seinen Arbeitsbereich ablehnte, arbeiten in der CAD-Beratungsbranche. Das Aufgabengebiet eines Konstrukteurs unterscheidet sich erheblich von dem, in der Beratung für CAD-Systemen Tätigen. Hier lässt sich auch die Begründung für das Nichtbeantworten bzw. der ablehnenden Antwort auf diese Fragestellung vermuten. Um eine Aussage hinsichtlich möglicher Korrelationen der Bewertungen bei anderen Fragen von den beiden Probanden zu treffen, die hier eine Einführung in ihrem Arbeitsumfeld als eher Schwierig einschätzten, ist aufgrund der zu geringen Anzahl der Befragten Probanden nicht möglich.

Diese Aussagen lassen die Schlussfolgerung zu, dass ein industrieller Einsatz des vorgestellten Systemkonzepts Aussicht auf Erfolg haben könnte.

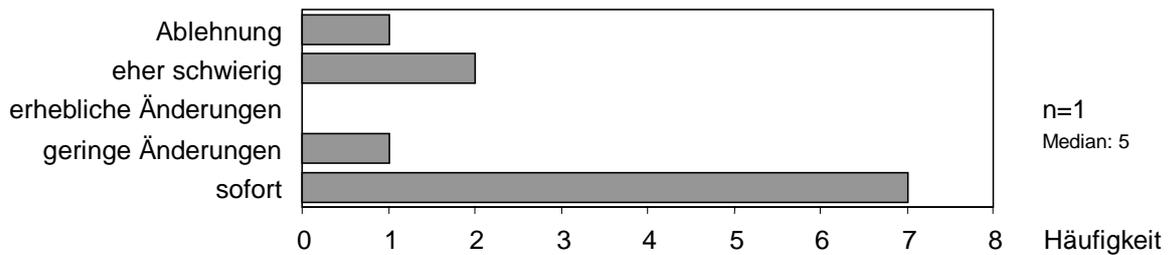


Abbildung 36 Einsatz des Systemkonzepts

5.3.2 Analyse der Videoaufzeichnung

Vor der industriellen Untersuchung wurde im Rahmen eines Vorversuchs mit vier Mitarbeitern des Instituts für Arbeitswissenschaften der RWTH Aachen die Umsetzung des Konzepts getestet. Dieses Videomaterial wurde ebenfalls bei der Analyse berücksichtigt, da zwischen dem Vorversuch und der industriellen Untersuchung keine Änderungen am Konzept und der prototypischen Visualisierung vorgenommen wurden und somit identische Versuchsbedingungen vorlagen. Die Versuchspersonen aus dem Vortest werden im Folgenden mit VV1 bis VV4, die der industriellen Untersuchung mit VP1 bis VP12 bezeichnet. Eine der Versuchspersonen aus der Industrie hatte sich gegen die Dokumentation mittels Video ausgesprochen, so dass die Auswertung auf 15 Probanden beruht.

Die im Folgenden dargestellte Analyse der Videodokumentation erfolgte in Rahmen des Projekts *Arbeitsorientierte Analyse und Gestaltung rechnerunterstützter, produktmodellierender Konstruktionssysteme* sowie durch den Projektpartner des Instituts für Arbeitswissenschaften der RWTH Aachen (siehe auch /BeLuKr-98/, /ScLu-00/, /SDSTL-00/ und /Sch-04/). Das Vorgehen der Probanden wird durch Eintragen in das in Abbildung 37 dargestellte Schema dokumentiert.

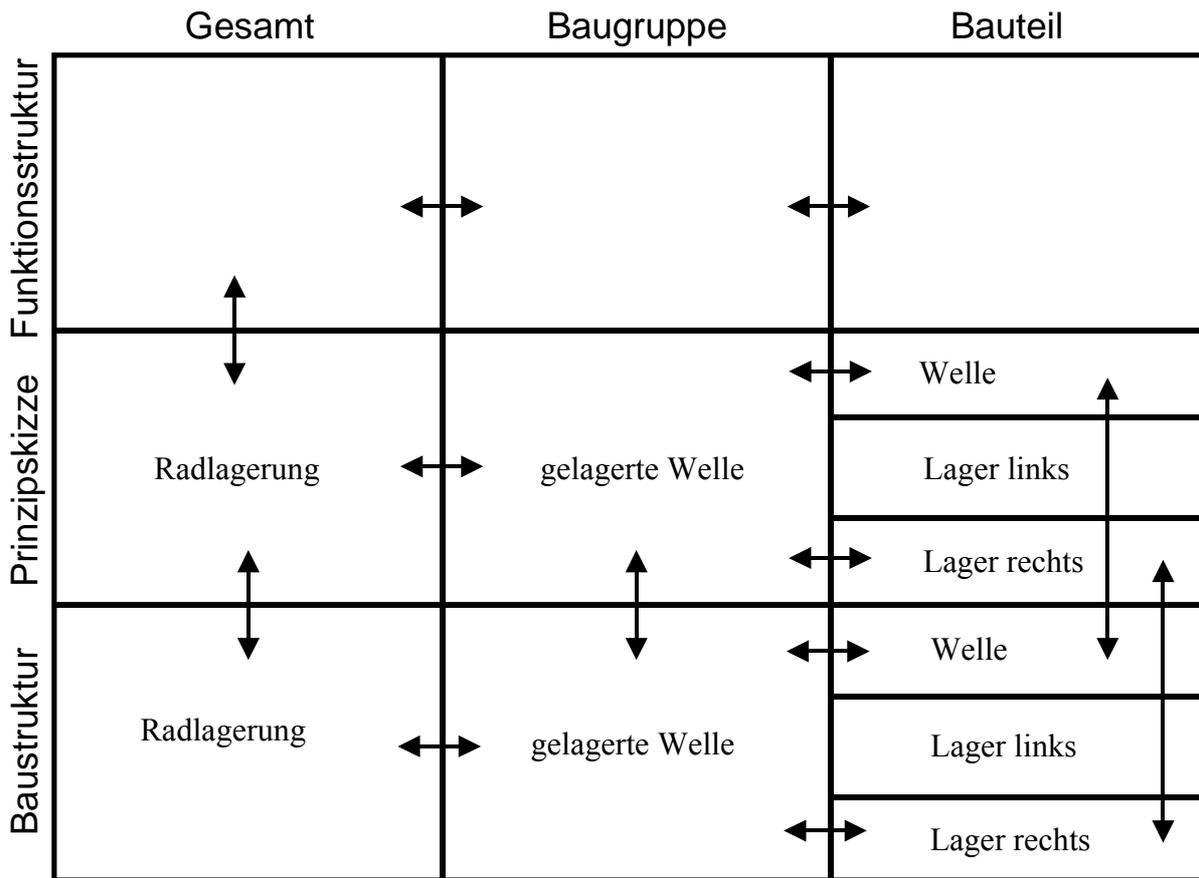


Abbildung 37 Schema der Navigation

Die entstehende Trajektorie wird an den Stellen um Kommentare ergänzt, an denen der Proband sein Vorgehen durch die Methode "des lauten Denkens" kommentiert hat (siehe Abbildung 38). Eine vollständige Darstellung aller Handlungsabläufe kann dem Zwischenbericht des DFG-Forschungsvorhabens Lu 373/17, /BeLuKr-98/ entnommen werden. Die Handlungs- und Navigations-Trajektorie (siehe Abbildung 38) des Probanden 8 wird exemplarisch im Folgenden detaillierter beschrieben.

In einem ersten Schritt verschaffte sich der Proband auf Ebene der Funktionsstruktur einen Gesamtüberblick über die, zur Lösung der Aufgabe aufgeführten, Funktionen. Mit dem Ziel, seine Betrachtungsweise für die Lagerauswahl konkretisieren zu wollen, navigierte er über die vorhandene Prinziplösung zu der durch Vorarbeiten teilweise schon festgelegten Baustuktur. Zur Lösung der Aufgabe verzweigte der Proband über die Prinziplösungsdarstellung des Baugruppe „gelagerte Welle“ zu dem bereits vorgegebenen Bauteil „Welle“, deren Geometriedarstellung einzeln und im Zusammenhang der Baugruppe betrachtet wurde. Dann erfolgte der Wechsel zwischen Geometriedarstellung und Prinzipskizze, wo nun die Auslegung der Lagerkomponente unter Berücksichtigung von Bezugsinformationen und Maßplan begonnen wurde. Nach der Entscheidung zugunsten eines bestimmten Kugellagers

getroffen und deren Auswahl, wurde das Ergebnis in der Baustruktur betrachtet und damit verknüpfte Kosteninformationen abgerufen. Im letzten Teil des analysierten Videos erfolgte noch die geometrische Einordnung der erzielten Lösung in die Baustruktur und deren Verankerung in der Prinzipskizze.

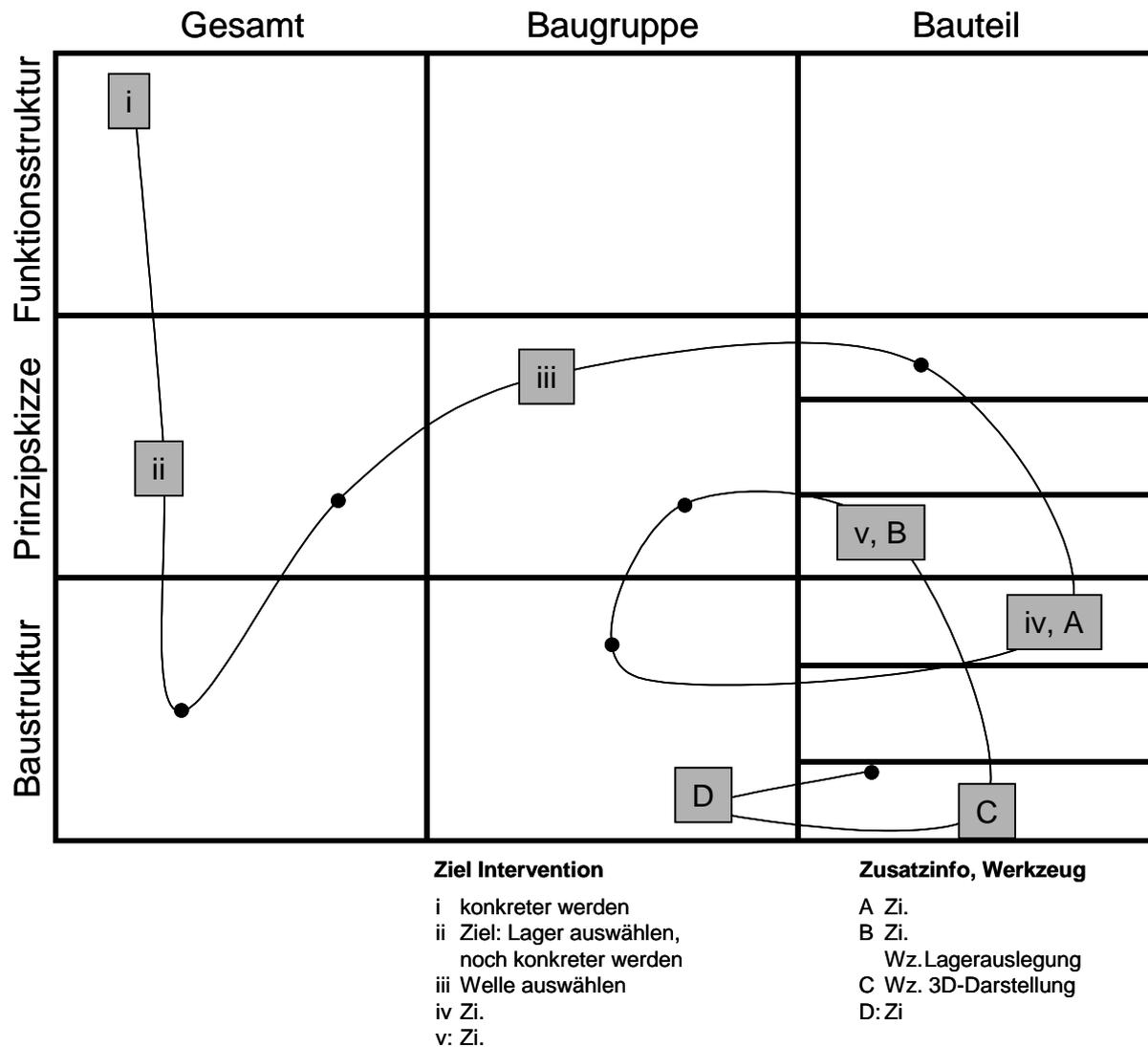


Abbildung 38 Navigationstrajektorie des Probanden 8

Für die Auswertung wurden in einem ersten Schritt die in der prototypischen Benutzungsoberfläche realisierten Kombinationen aus Abstraktions- und Zerlegungsstufen Bezeichnungen zugeordnet, die so genannten Zustände. Ein *Zustand* beschreibt die jeweilig dargestellte Ausprägung des Objekts (Funktionsstruktur, Prinzipskizze oder Baustruktur) in Abhängigkeit des Grads der Zerlegungsstufe (Gesamt-, Teilsystem oder Einzelteil). Entsprechend des vom Probanden gewählten Zustands wurde das Objekt im Arbeitsbereich präsentiert (siehe 4.3.4). Beispielsweise wird die *Prinzipdarstellung* des *Gesamtsystems* (siehe auch Abbildung 24) durch den Zustand *pg* symbolisiert. Insgesamt sind in der prototypischen

Visualisierung 16 unterschiedliche Darstellungen realisiert. Tabelle 6 listet die jeweiligen Zustände und deren Häufigkeit, mit denen die Probanden während des Versuchs diese nutzten, auf.

Tabelle 6 Auftrittshäufigkeiten der Kombination aus Abstraktions- und Zerlegungsstufe

	<i>Funktionsstruktur</i>	<i>Prinzipskizze</i>	<i>Baustruktur</i>
<i>Gesamtsystem</i>	fg (33)	pg (58)	gg (38)
<i>Baugruppe</i>	f1 (24)	ps (66)	gs (55)
<i>Bauteil</i>	f2, f3, f4 (17)	pw, pr (42)	gw, gr (37)
<i>Element</i>	f5, f6, f7 (6)	-	-

In welcher Abfolge (Sequenzen) die Probanden bestimmte Zustände nutzten, ist in Tabelle 7 wiedergegeben.

Tabelle 7 Sequenzen der Probanden

VV1	fg gs	f1 ps	f2 pg	f1 ps	f3 pr	f5 ps	f3 pr	f1 gr	f4	f1	fg	f1	fg	pg	gg	gs	gw	pw	ps	pg	gg	pg	gg	-
VV2	fg	f1	fg	pg	ps	pr	ps	pr	ps	pg	ps	pg	gg	gs	gr	pr	ps	gs	gr	gs				
VV3	fg	f1	fg	pg	ps	pr	ps	gs	gr	pr	gr	gs	gr											
VV4	fg	pg	gg	pg	gg	pg	ps	pr	ps	pg	gg	pg	ps	pr	gr	gs								
VP1	fg	pg	ps	pw	ps	pr	ps	gs	gr	gs	gr	gs	gg	pg	fg									
VP2	fg gs	f1 gg	f2 pg	f1 ps	fg gs	f1 ps	f4 pr	f7 ps	f4 gs	f1 gr	fg	pg	gg	pg	fg	pg	gg	gs	gw	pw	ps	gs	gw	-
VP3	fg	f1	f4	f1	fg	pg	ps	gs	gg	pg	ps	pw	gw	pw	ps	pr	gr	gs	gg	pg				
VP4	fg	f1	fg	f1	f4	f1	fg	pg	gg	gs	ps	gs	gw	gs	ps	pr	ps	gs	gg	pg				
VP5	fg gs	f1 gw	f4 pw	f6 ps	f4 pg	f1	fg	pg	gg	gs	ps	pr	ps	pw	ps	pg	ps	pr	ps	pg	ps	pg	gg	-
VP6	f6	pg	ps	gs	ps	pw	gw	pw	ps	pr	ps	gs	ps	gs	gg									
VP8	fg	pg	gg	pg	ps	pw	gw	gs	ps	gs	ps	pr	gr	gs	ps	pg								
VP9	fg pg	f1 gg	f3 pg	f5 gg	f3 gs	f1 gw	f5 pw	f6 gw	f4 gs	f6 gg	f4 pg	f1 ps	fg	pg	gg	gs	gw	pw	gw	gs	gg	pg	ps	-
VP10	fg pg	f1 ps	fg pw	f1 gw	f3 pw	f1 ps	fg pg	pg ps	gg gs	gs gg	ps pg	pg ps	ps gs	pg ps	ps pw	pg ps	fg	pg	ps	pw	ps	gs	ps	-
VP11	fg gg	pg gs	fg gr	pg gs	gg gg	pg	gg	gs	gg	pg	gs	gw	pw	gw	gs	gg	pg	gg	pg	ps	pr	gr	gs	-
VP12	fg ps	pg pr	gg gr	pg gs	ps gg	gs pg	gg ps	pg gs	gg gr	gs	gw	pw	gw	gs	ps	gs	gw	pw	gs	ps	gs	gw	gs	-

Zur quantitativen Analyse der Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede zwischen den Sequenzen der einzelnen Versuchspersonen wird ein gewichtetes, auf Levenshtein zurückgehendes relatives Distanzmaß herangezogen /Lev-66/. Die so genannte Levenshtein-Distanz (*LD*, auch als Zeichenketten- oder Editierdistanz bezeichnet) kennzeichnet die minimale Anzahl an Editieroptionen, die erforderlich sind, um eine Sequenz in eine andere zu transformieren. Als Editieroptionen sind das Löschen (*del*), Einfügen (*ins*) und Ersetzen (*sub*) einzelner Elemente der Sequenz zugelassen. Jede dieser Operationen kann unterschiedlich gewichtet werden. Dieses Verfahren der Distanzberechnung findet vielfältige Anwendungsgebiete, wie z.B.

DNA-Sequenzanalyse, Gas-Chromatographie, Blickbewegungsanalyse oder zum Vogelstimmenabgleich.

Die in Tabelle 7 dargestellten Sequenzen werden nun paarweise zur weiteren Analyse verglichen. Hierbei wird die Editieroperation *Löschen* und *Einfügen* einfach, das *Ersetzen* von Sequenzen doppelt gewertet. Das Ergebnis ist eine, quadratisch, symmetrische 15x15 Matrix, in deren Elementen jeweils die Levenshtein-Distanz zwischen der Sequenz und der Versuchsperson angegeben ist (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8 Levenshtein-Distanzmatrix für Sequenzen der Probanden

	VV1	VV2	VV3	VV4	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	VP6	VP8	VP9	VP10	VP11	VP12
VV1	-														
VV2	27	-													
VV3	26	9	-												
VV4	25	16	13	-											
VP1	32	13	10	17	-										
VP2	22	31	28	29	34	-									
VP3	25	20	15	18	15	27	-								
VP4	23	22	17	20	17	19	12	-							
VP5	27	18	23	24	25	29	22	20	-						
VP6	30	17	14	17	10	30	11	15	23	-					
VP8	29	18	13	12	13	25	12	16	22	12	-				
VP9	24	29	38	33	36	34	29	27	31	36	33	-			
VP10	33	32	35	30	37	31	30	28	30	31	30	39	-		
VP11	31	28	25	18	23	29	22	24	34	23	22	33	38	-	
VP12	37	30	27	24	23	27	22	26	36	23	18	35	36	22	-

Auf Basis der Levenshtein-Distanzen (siehe Tabelle 8) kann nun der Unterschied zwischen den Sequenzen ermittelt werden. Dazu werden jeweils die Summen der quadrierten Levenshtein-Distanzen ermittelt.

$$\sum LD^2 (VP_i) \text{ sei die } \sum_{j=1}^n LD (VP_i, VP_j)^2 \text{ mit } LD(VP_i, VP_j)=0; n=15$$

Durch die Quadrierung werden große Distanzwerte stärker berücksichtigt, während geringere das Ergebnis nur gering beeinflussen. Das Ergebnis ist in der folgenden Rangliste (Tabelle 9) dargestellt.

Tabelle 9 Rangliste der Sequenzen

Rang	Proband	LD	$\sum LD^2$	Sequenzlänge	$\sum LD^2$ aufgr. von Sequenzlängenunterschieden	
1	VP8	{12}	6122	16	2706	
2	VP3		{12}	6130	20	1858
3	VP4			{20}	6142	20
4	VV4	{17}	6802		16	2706
5	VP6		{14}	7033	15	2993
6	VV3	{10}		7241	13	3657
7	VP1		{13}	7869	15	2993
8	VV2	{18}		8246	20	1858
9	VP5		{34}	9834	28	1602
10	VP11	{22}		10310	28	1602
11	VP12		{37}	11146	32	2194
12	VV1	{22}		11157	31	2001
13	VP2		{31}	11369	35	2953
14	VP10	{29}		15274	42	5774
15	VP9			15833	45	7433

In der rechten Spalte der Rangliste ist der Wert der quadrierten Levenshtein-Distanzen dargestellt, die aufgrund unterschiedlicher Sequenzlängen entstehen. Dieser Wert, bezogen auf den Gesamtwert der Levenshtein-Distanz, variiert zwischen 16 % beim Rang 9 und 50 % beim Rang 6. Dies bedeutet, dass die Unterschiede der einzelnen Sequenzen nur in geringem Maße durch deren Länge (Summe der vom Probanden genutzten Zustände) beeinflusst werden.

Nach dieser Rangliste stellt die Sequenz der Versuchsperson 8 (VP8, Tabelle 8) die typischste Sequenz dar, deren summierte Abweichung von allen anderen ($\sum LD^2$) minimal ist. Im letzten Schritt soll die Frage beantwortet werden, inwieweit sich Gruppen identischen Vorgehens identifizieren lassen. Eine erste Orientierung bieten die in Tabelle 9 in der vierten Spalte wiedergegebenen summierten Abweichungen $\sum LD^2$ zwischen den Sequenzen. Damit kristallisiert sich z. B. eine führende Dreiergruppe (VP8, VP3, VP4) heraus, deren weiteres Kennzeichen eine geringe gegenseitige Levenshtein-Distanz ist. Leider sind mit der Methode des 'scharfen Hinsehens' keine weiteren Gruppen identifizierbar. Deshalb wird zur weiteren Analyse ein hierarchisches Gruppierungsverfahren eingesetzt. Ziel einer solchen Clusteranalyse ist es, die untersuchten Objekte so zu gruppieren, dass die Unterschiede zwischen den Objekten einer Gruppe bzw. eines Clusters möglichst gering und die Unterschiede zwischen den Clustern möglichst groß sind /Bor-93/ /Bac-03/. Als Proximitätsmaß wird wiederum die Levenshtein-Distanz verwendet. Die oben beschriebene Distanzmatrix lässt sich für die Clusteranalyse als Minkowski-Metrik mit der Minkowski-Konstanten $r = 1$ interpretieren (auch als L_1 -Norm bezeichnet), bei der d_{ij} die Distanz zweier

Objekte i und j , p die Anzahl der Merkmale und x_{jk} die Merkmalsausprägung des Objekts i (j) auf dem Merkmal k darstellt:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^r \right]^{\frac{1}{r}} \text{ mit } r=p=1$$

In Abbildung 39 ist das Ergebnis der hierarchisch-agglomerativen Clusteranalyse unter Verwendung des Ward-Fusionskriteriums (geringste Erhöhung der gesamten Fehlerquadratsummen) dargestellt. Das Dendogramm zeigt mit der Heterogenitätsentwicklung, in welcher Reihenfolge die Objekte schrittweise zusammengefasst wurden und mit welchem Fehlerquadratsummenzuwachs dies verbunden ist.

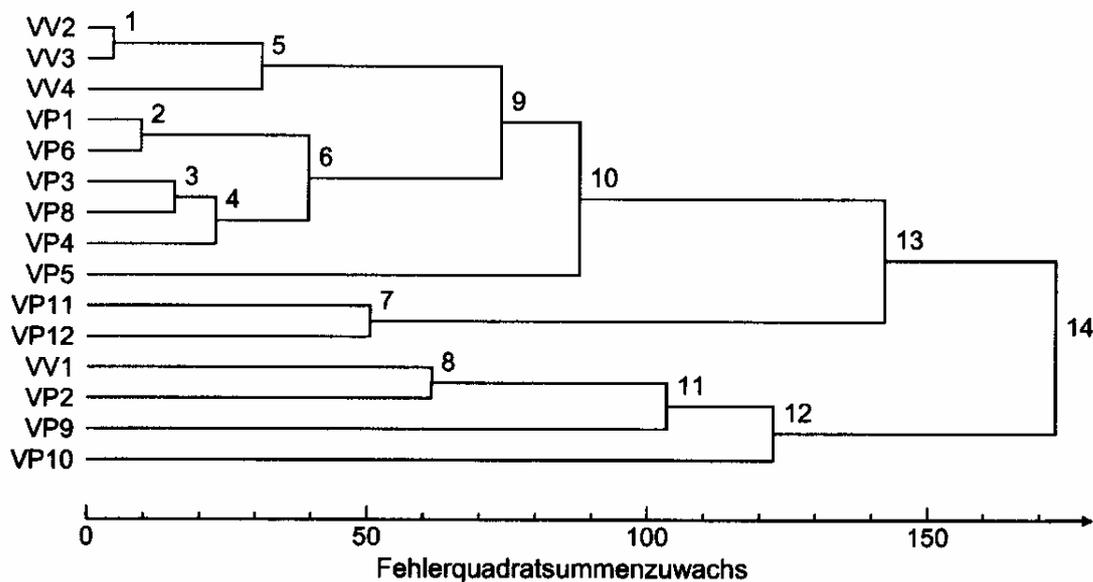


Abbildung 39 Dendogramm der hierarchischen Clusteranalyse

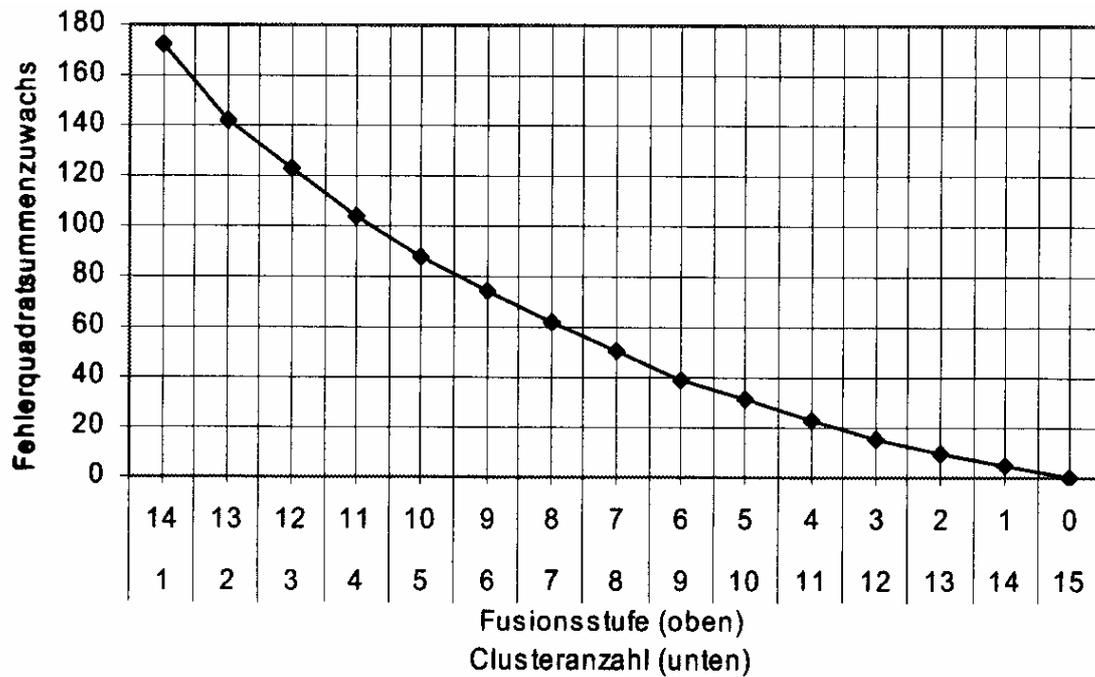


Abbildung 40 Struktogramm der hierarchischen Clusteranalyse

Mit einem Struktogramm (Abbildung 40) wird ähnlich einem Scree-Plot eine sinnvolle Anzahl von Clustern für die Objektmenge bestimmt. Ein eindeutiger „Ellenbogen“ bezüglich des Fehlerquadratsummenzuwachses lässt sich hier nicht identifizieren. Jedoch lassen sich aus unten aufgeführten sachlogischen Gründen drei großen Gruppen identifizieren.

- In Cluster 12 (VV1, VP2, VP10, VP9) finden sich Versuchspersonen mit ausgeprägter Navigation in der Funktionsstruktur (≥ 7 Zustände) und sehr großer Sequenzlänge (> 30 Zustände). In der Rangliste sind diese Personen auf den letzten Plätzen eingeordnet.
- Dem Cluster 7 (VP 11, VP 12) werden Versuchspersonen ohne ausgeprägte Navigation in der Funktionsstruktur (≤ 2 Zustände) und überdurchschnittlich großer Sequenzlänge (28-32 Zustände) zugeordnet. In der Rangreihe entspricht dies dem mittleren Feld zwischen den Sequenzen aus Cluster 12 und Cluster 10.
- Im Cluster 10, dem als Hauptgruppe neun der 15 Versuchspersonen zugeordnet werden können (VP8, VP3, VP4, VV4, VP6, VV3, VP1, VV2, VPS), sind die Sequenzen maximal 28 Zustände lang. Hier würde eine Untergruppenbildung VP5 (überdurchschnittliche Sequenzlänge) von den acht Versuchspersonen mit unterdurchschnittlicher Sequenzlänge differenzieren, die als Cluster 9 verbleiben. Als Untergruppe von Cluster 9 ist auch die in der Rangreihe vorn liegende Dreiergruppe mit einer $\sum LD^2 < 6200$ wieder zu finden (Cluster 4).

5.4 Schlussfolgerung

In Kapitel 3.4 wurde die Hypothese aufgestellt, dass das Wissen des Konstrukteurs über die sich aus dem Konstruktionsprozess ergebenden Beziehungen von Informationen zueinander, kombiniert mit der Möglichkeit deren adäquaten Visualisierung, eine zielorientierte Suche in den Produktdaten ermöglicht. Diese Hypothese wurde im Rahmen der Evaluierung durch Konstrukteure aus der Industrie bestätigt (Seite 65). Die Kernaussage, dass Abstraktionshierarchie und Partialmodelle eine geeignete, mental kompatible Abbildungsstruktur für die komplexe Vernetzung von Wissen, Informationen und Daten im Produktentwicklungsprozess bilden, wurde bestätigt. Ebenso wurde bestätigt, dass ein unterschiedliches Maß zwischen Konkretheit und Abstraktion bei der Navigation in bestehenden Daten hilfreich ist und durch die Gestaltung der Benutzungsoberfläche ermöglicht wird. Die visualisierte Umsetzung des Konzepts erscheint den Befragten schlüssig.

Trotz der relativ eingeschränkten Funktionen der prototypischen Benutzungsoberfläche und der kurzen Kennenlernphase des Systems im Versuch bestätigt die Auswertung der Videoaufzeichnung die intuitive und erwartungskonforme Benutzbarkeit. Eine einheitliche, gleiche Vorgehensweise lässt sich nicht identifizieren. Vielmehr lassen sich drei Gruppen identifizieren, bei denen allerdings keine Vorgehensweise einer strikten methodischen ähnelt.

Die Auswertung der freien Diskussion ergibt, dass acht Probanden sich eine zeitliche Orientierung wünschen. Geprägt von ihrem jeweiligen Arbeitsumfeld erscheint es ihnen notwendig, dass den Modellen ein Zeitmerkmal zugeordnet werden sollte. Bei Varianten oder Änderungskonstruktionen ist das Datum ein entscheidendes Merkmal für die Einordnung des jeweiligen Modells in den Kontext der Entstehung.

6 Erweiterung des Konzepts

6.1 Übersicht

In diesem Kapitel werden konzeptrelevante Fragestellungen, die im Rahmen der Evaluierung identifiziert worden sind, beantwortet. Die daraus resultierende Erweiterung des Konzepts sowie die Neugestaltung der Benutzungsoberfläche werden in Form eines Demonstrators mit prototypischem Charakter aufgezeigt. In den folgenden Unterkapiteln (Abbildung 41) werden nachstehende Fragestellungen beantwortet:

- Welche Fragen konnten im Rahmen der industriellen Evaluierung identifiziert werden?
- Ist eine Erweiterung des Konzepts erforderlich?
- Wie wird die neue Benutzungsoberfläche gestaltet?
- Sind das erweiterte Konzept und die neu gestaltete Benutzungsoberfläche geeignet, praxisrelevante Daten abzubilden?

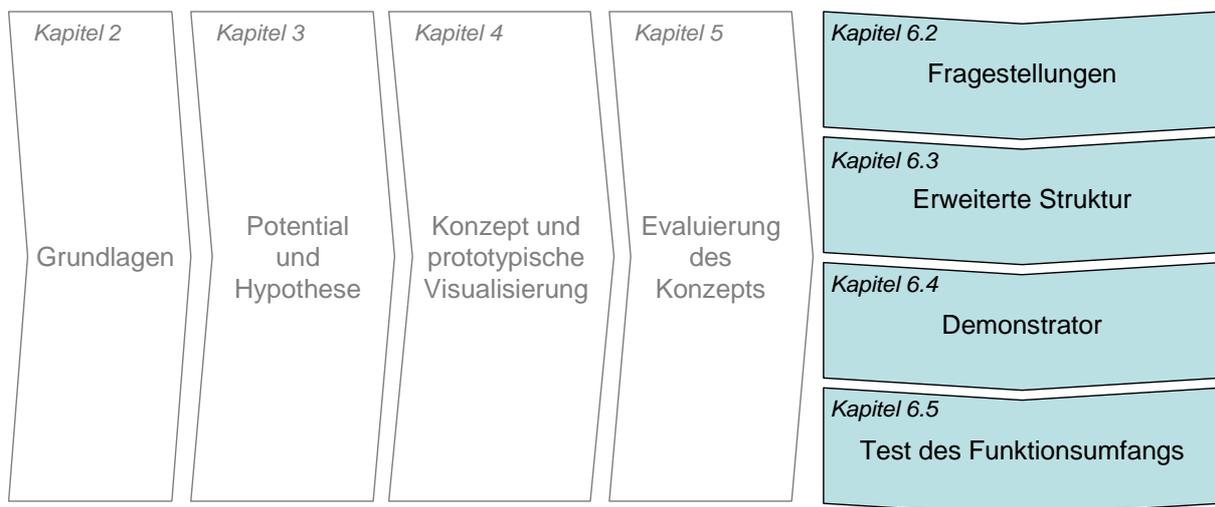


Abbildung 41 Gliederung Kapitel Erweiterung des Konzepts

6.2 Fragestellungen

Im Rahmen der industriellen Evaluierung wurden folgende Fragestellungen erkannt:

- Wie können zeitliche Veränderungen an Dokumenten gehandhabt werden?
- Wie gelange ich zum Einstiegspunkt der Navigation?
- Wie erfolgt die Navigation zwischen den Daten, wenn deren Handhabung und Visualisierung spezielle Software benötigt?
- Wie können funktionale Einschränkungen aufgehoben werden?

Nachfolgend werden die oben genannten Fragestellungen genauer erläutert.

Zeitliche Veränderung von Dokumenten

Versionen von Dokumenten können im Rahmen des vorgestellten Konzepts nicht abgebildet werden. Hierbei bleiben die Detaillierungs- und Abstraktionsstufe gleich, aber der Inhalt eines Dokuments ändert sich mit der Zeit. In der industriellen Praxis sind Änderungen von Dokumenten Bestandteil des täglichen Umgangs mit ihnen. Gründe hierfür sind beispielsweise ein iterativer Prozess, eine nicht erteilte Genehmigung durch einen Kunden, die Veränderung von Ausgangsdaten oder Fehlerkorrekturen.

Einstiegspunkt in die Navigation

Im Rahmen der industriellen Evaluierung wurde das zugrunde liegende Szenario so aufgebaut, dass der Anwender mit der Bearbeitung einer konstruktiven Aufgabe konfrontiert wurde. Zu deren Lösung nutzt er die Möglichkeiten der prototypisch visualisierten Benutzungsoberfläche. Einstiegspunkt ist jedoch immer die funktionale Darstellung des Gesamtsystems. Von diesem Ausgangspunkt beginnt der Anwender seine lösungsorientierte Navigation in den Produktdaten. Bezogen auf unterschiedliche Fragestellungen, sollte der Ausgangspunkt der Suche vom Anwender bestimmt werden können.

Verwendung beliebiger Programme

Unterschiedliche IT-technische Hilfsmittel unterstützten den Konstrukteur während seiner Arbeit. Deren Handhabung und die Gestalt ihrer Benutzungsoberfläche orientieren sich an den Belangen der zu unterstützenden Tätigkeit und den Möglichkeiten Information zu visualisieren. Im Rahmen der prototypischen Visualisierung wurden die Möglichkeiten der Navigation zwischen der funktionalen, prinzipiellen und geometrischen Darstellung genutzt. Für eine allgemeine Nutzung muss die Fragestellung geklärt werden, wie die Navigation aus der Vielzahl existierender Anwendung heraus erfolgen kann.

Funktionsumfang erweitern

Die prototypische Benutzungsoberfläche ermöglicht die Ausführung von Funktionen und die Nutzung von Hilfsmitteln, die vorab im Rahmen des dokumentierten Konstruktionsprozesses zur Dimensionierung einer Radlagerung erkannt wurden. Für eine allgemeine Nutzung müssen bestehende Einschränkungen, die auf der zur Visualisierung verwendeten Software basieren, aufgehoben werden. Hier sind vor allem die Handhabung unterschiedlicher Dokumente und deren Hinzufügen zum System zu nennen.

6.3 Erweiterte Struktur

Die Effektivität der Suche nach Daten wird wesentlich durch die Art und Weise ihrer Ablage beeinflusst. Durch die industrielle Evaluierung des Konzepts (Kapitel 5) konnte gezeigt

werden, dass die zugrunde liegende Abstraktionshierarchie einen Ansatz zur Unterstützung der Suche nach Daten während der Konstruktionsarbeit darstellt. Allerdings können mit dem in Kapitel 4.2 formulierten Konzept keine dynamischen (Kapitel 2.3.5), also sich mit der Zeit verändernden, Informationen abgebildet werden. Dies bemängelten auch 8 der Probanden im Rahmen des freien Interviews. Eine Möglichkeit, die Abhängigkeit hinsichtlich der zeitlichen Veränderung, bei gleich bleibendem Abstraktions- und Detaillierungsgrad abzubilden, fehlt im bisherigen Konzept. Gerade bei Konstruktionsprozessen, deren Vorgehen von vielen Änderungen geprägt ist, ist der zeitliche Aspekt der Informationsgenerierung ein unverzichtbares Merkmal zur eindeutigen Identifizierung der Information selbst. Aus diesem Grund wird das bestehende Konzept um die Möglichkeit, die zeitlichen Abhängigkeiten von Information zu berücksichtigen erweitert. Die bisher zweidimensionale Struktur wird um die Dimension Zeit auf eine dreidimensionale Struktur, den so genannten Datenraum, erweitert. Abbildung 42 zeigt eine schematische Darstellung des dreidimensionalen Datenraums zur Ablage von Produktinformation.

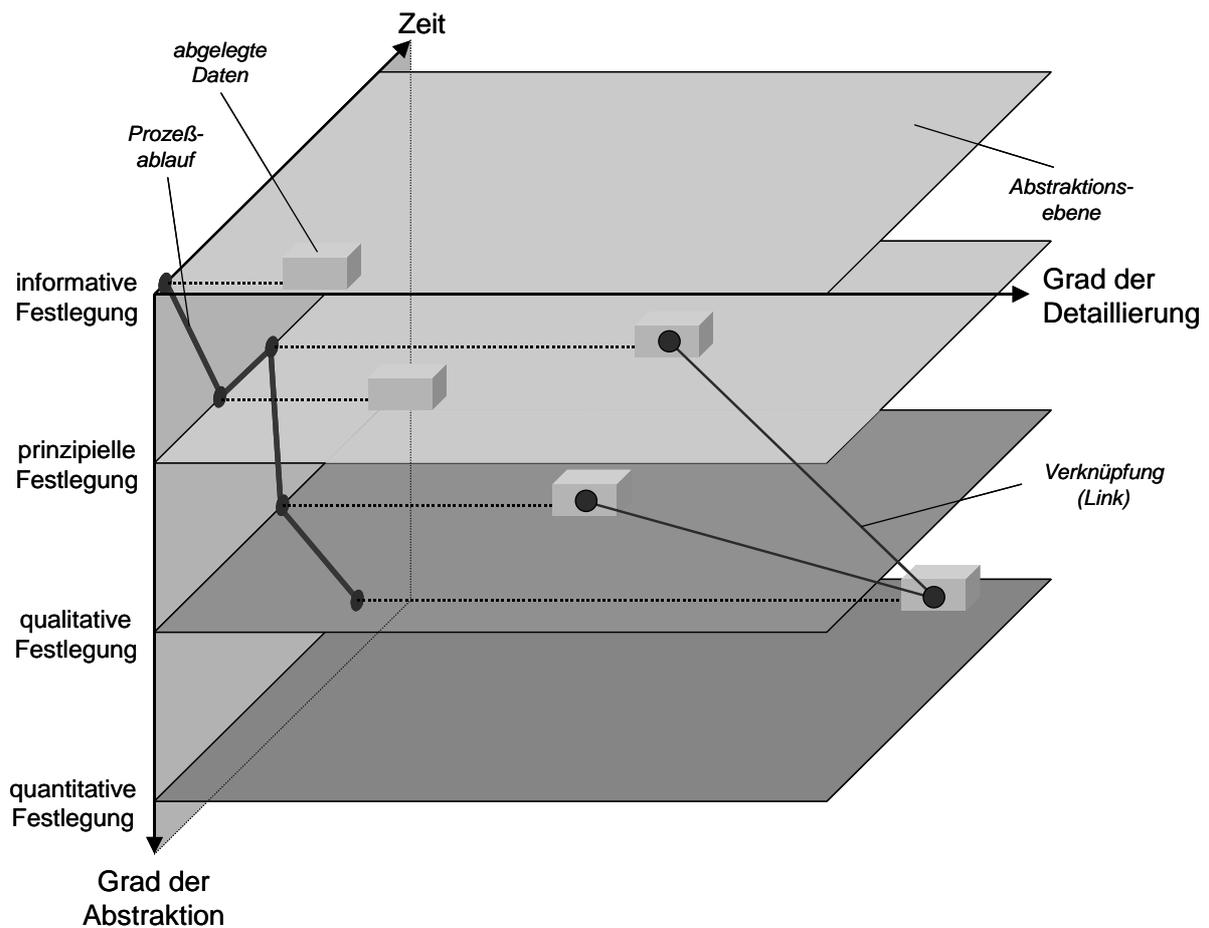


Abbildung 42 Dreidimensionaler Datenraum

Die Daten werden in der schematischen Darstellung des dreidimensionalen Datenraums als Quader symbolisiert. Wie schon bei dem auf einer zweidimensionalen Struktur basierenden Konzept zur Visualisierung der Beziehungen, lassen sich auch bei dem dreidimensionalen Datenraum die Beziehungen zueinander erkennen. Stimmen ein oder zwei "Koordinatenwerte", Grad der Detaillierung, Grad der Abstraktion oder der Zeit überein, so stehen die Daten in einem Zusammenhang, der sich aus dem Konstruktionsprozess ergibt. Stimmen beispielsweise die Werte für den Grad der Detaillierung und Zeit überein, sind die Daten also bildhaft untereinander angeordnet, so beschreiben diese denselben Konstruktionsgegenstand auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus. In Abhängigkeit der Abstraktionsebene, auf der sich diese Daten befinden, kann es sich beispielsweise um die Spezifikation und um eine technische Zeichnung desselben Objekts handeln. Durch die Erweiterung um die Zeitachse ist es möglich, zu identifizieren, ob die technische Zeichnung später als die Spezifikation erstellt wurde. Nach wie vor bleibt aber der Grad der Detaillierung konstant.

Je nach gewünschter Zielsetzung lassen sich durch Projektion der Daten auf verschiedene Ebenen unterschiedliche Sichten auf die Daten erzeugen und bisher verwendete Sichten auf Produktdaten integrieren. So entspricht beispielsweise die Projektion der Daten auf die Ebene Zeit/Abstraktion der Sicht eines Prozessplaners (siehe Abbildung 42).

6.4 Demonstrator

6.4.1 Randbedingungen

Die Erweiterung der Struktur (Kapitel 6.3) erfordert eine adäquate Visualisierung, die im Rahmen der Beschreibung der Benutzungsoberfläche vorgestellt wird (Kapitel 6.4.2 und 6.4.3). Ebenfalls liefern die Antworten auf die noch unbeantworteten Fragen aus der Evaluierung des Konzepts weitere Randbedingungen, die bei der Definition des Demonstrators berücksichtigt werden müssen.

- Wie gelange ich zum Einstiegspunkt der Navigation?
- Wie erfolgt die Navigation zwischen den Daten, wenn deren Handhabung und Visualisierung spezielle Software benötigt?
- Wie können funktionale Einschränkungen, die mit der zur Visualisierung genutzten Software zusammenhängen, aufgehoben werden?

Einstiegspunkt der Navigation

Damit der Anwender das Startdokument seiner Suche wählen kann, muss es aus den zu Verfügung stehenden Dokumenten identifiziert werden können. Hierzu bieten sich drei

Suchstrategien an, Suche mit Hilfe von Merkmalen, über einen Vergleich oder unter Verwendung von Verknüpfungen (Kapitel 3.1). Die Suche mit Hilfe von Verknüpfungen ist allerdings nur indirekt anwendbar, da diese ein Startobjekt voraussetzt. Dieses könnte beispielsweise in einem Favoriten-Ordner vom Anwender abgelegt sein und von dort gezielt genutzt werden. Da diese Ablage im Regelfall zentral für eine Vielzahl von Anwendungen geschieht, wird dies bei der Festlegung des Funktionsumfangs des Demonstrators nicht berücksichtigt. Die Suche über einen Vergleich wird im Rahmen der Gestaltung der Benutzungsoberfläche als Volltextsuche ausgeprägt. Hiermit lassen sich Dokumente identifizieren, die gleiche oder ähnliche Begriffe beinhalten. Auch die Suche mit Hilfe von Merkmalen zur Einschränkung der Datenmenge wird berücksichtigt. Ebenfalls ist eine Kombination, Einschränken durch Merkmale und Volltextsuche, möglich.

Nutzung individueller Anwendungssoftware

Die prototypische Visualisierung des Konzepts ermöglicht die Navigation zwischen den einzelnen Dokumenten. Dazu kann durch Selektion eines Objekts der Grad der Detaillierung verändert werden. Beispielsweise werden in der Prinzipdarstellung durch Selektion des Radlagers andere Objekte ausgeblendet. Dies entspricht einer Erhöhung des Grades der Detaillierung. Umgekehrt ermöglicht die Verwendung der Pfeiltasten im Bereich der Navigation zum einen eine Verringerung des Detaillierungsgrades und zum anderen einen Wechsel des Abstraktionsgrades. Somit ist die Möglichkeit zur Visualisierung mit der Möglichkeit zur Navigation gekoppelt. Eine solche Kopplung setzt voraus, dass Anwendungen, die zur Handhabung und Visualisierung der Daten genutzt werden sollen, diese Funktion der Navigation zur Verfügung stellen. Im Rahmen der Gestaltung der Benutzungsoberfläche des Demonstrators wird eine weitere Möglichkeit genutzt. Die Objekte (Daten) werden nicht in ihrer originären Form zur Darstellung gebracht, sondern in Form eines Kreises symbolisiert. Somit wird weiterhin die Beziehungen zwischen den Objekten erkennbar. Um ein Objekt zur Ansicht zu bringen, genügt die Auswahl mit Hilfe der Maus. Dadurch wird der eigentliche Inhalt mit Hilfe der entsprechenden Anwendung zur Anzeige gebracht und kann bei Bedarf auch verändert werden.

Funktionsumfang erweitern

Die Ablage von Dokumenten ist mit der bisherigen Form der prototypischen Visualisierung nicht möglich. Ebenfalls ist die Handhabung bestehender Daten unmöglich. Diese Einschränkungen resultieren aus den Randbedingungen, die bei der Erstellung der prototypischen Benutzungsoberfläche definiert wurden (Kapitel 4.3.4). Um diesen Einschränkungen nicht mehr zu unterliegen und auch die vorher genannten Anforderungen

umsetzen zu können, wird zur Gestaltung der Benutzungsoberfläche eine andere Software verwendet. Zum Einsatz kommt das Multimedia-Autorensystem *Toolbook* der Firma *click2learn* (ehemals *Asymetrix*). Diese Software ermöglicht die Erstellung so genannter CBT-Anwendungen (Computer-Based-Training) und ermöglicht die Integration sehr vieler verschiedener Programme, die auf einem rechnertechnischen System installiert sind. So können von einer Anwendung die Daten in ihren originären Anwendungen zur Anzeige gebracht und bei Bedarf auch verändert werden. Eine durchgängige, rechnerinterne Nutzung der Daten im Sinne eines gemeinsamen Produktmodells ist jedoch nur eingeschränkt möglich.

Zur Speicherung der Daten wird das von *Microsoft* in *Windows 2000* bereitgestellte Dateisystem genutzt. Mit Hilfe der Tabellenkalkulation *Microsoft EXCEL* werden anfallende Metainformationen, wie z.B. Dateinamen oder Merkmale und deren Ausprägung verwaltet. Weiterhin stehen die Gestaltung der prototypischen Benutzungsoberfläche und die Handhabung von nicht vorab definierten Daten im Vordergrund. Aspekte der Sicherheit oder der Performance spielen im Rahmen der Prototypentwicklung eine untergeordnete Rolle. Hier bieten existierende Lösungen auf dem Gebiet des PDM (*Product Data Management*) bereits ein breites Lösungsspektrum an.

6.4.2 Benutzungsoberfläche

Das Layout der Benutzungsoberfläche orientiert sich am *Windows-Standard*. Abbildung 43 zeigt die Oberfläche, in der die Menüleiste sowie der in fünf Teile gegliederte Arbeitsbereich zu erkennen sind (siehe Abbildung 43, Nr. 1).

Alle Funktionen sind von dieser Ansicht aus zu erreichen. Ebenso erfolgen von hier die Ablage wie auch die Suche und Anzeige von Dateien. Die angegebenen Nummern sind nicht Bestandteil der Oberfläche. Sie sollen lediglich die Zuordnung der im folgenden Text beschriebenen Funktionen zu Positionen in der Oberfläche erleichtern.

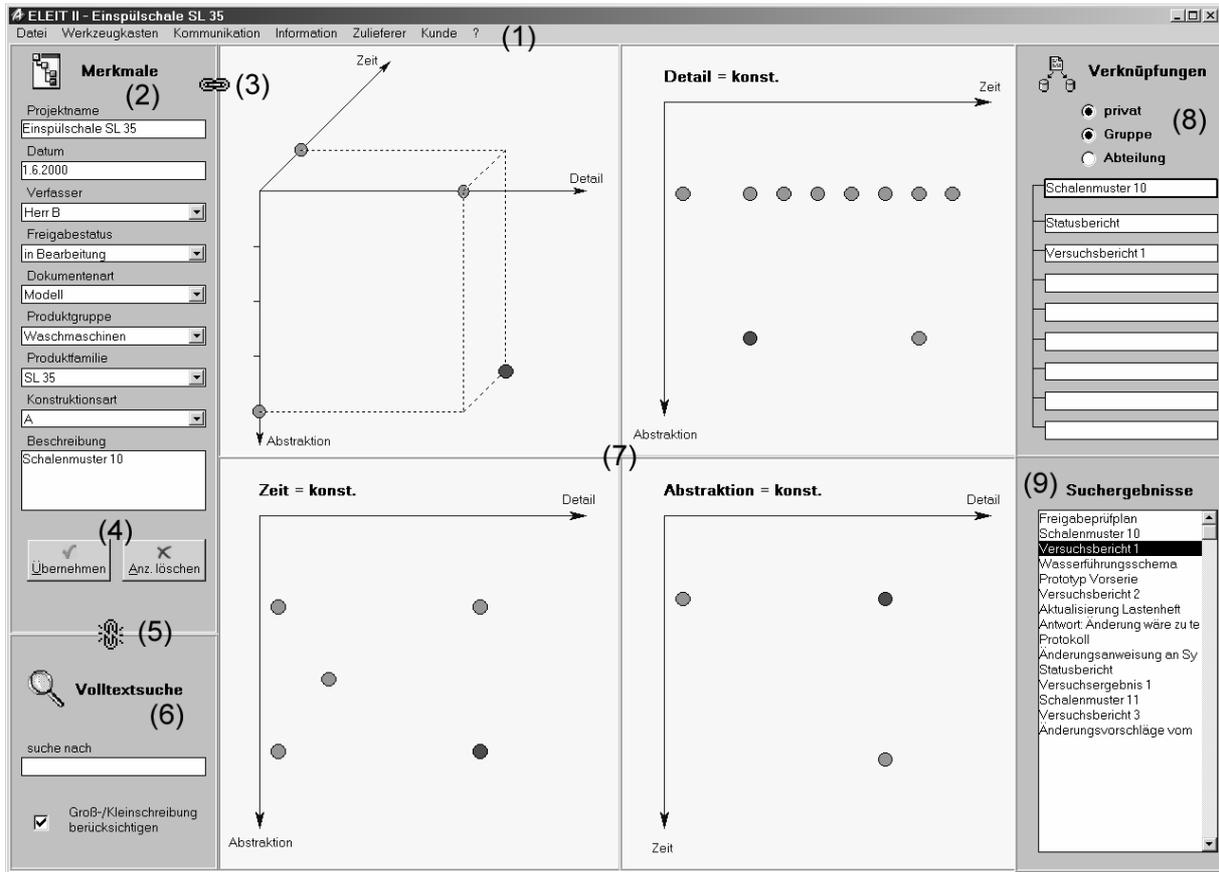


Abbildung 43 Benutzungsoberfläche des erweiterten Demonstrators

Aus der Menüleiste können Hilfsmittel aufgerufen werden, deren Verwendung im Rahmen der Lösung der prototypischen Konstruktionsaufgabe erkannt und deren Vorhandensein im Rahmen der Evaluierung des Konzepts als sinnvoll bewertet wurde. Entsprechend des Windows Standards können die einzelnen Hilfsmittel nach Wahl des gewünschten Menüpunkts aus dem erscheinenden Auswahlnenü gewählt werden (Abbildung 44).

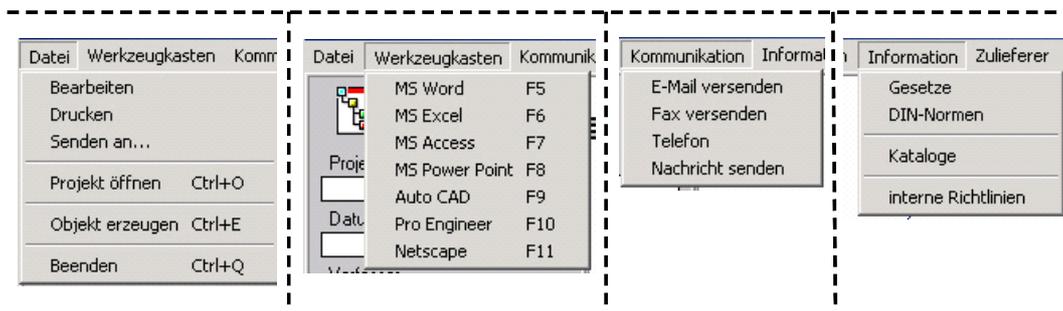


Abbildung 44 Menüleiste

6.4.3 Visualisierung des Datenraums

Hauptmerkmal der Benutzungsoberfläche ist die zentral angeordnete Darstellung des dreidimensionalen Datenraums (siehe Abbildung 43, Nr. 7). Mit Hilfe einer kartesischen

Darstellung und drei zweidimensionalen Schnitten kann jede Information, die in Form von Daten abgelegt ist, dargestellt werden. Bedingt durch die qualitativen Unterschiede der abgelegten Daten, z.B. Zeichnungen, Berechnungen und Daten in Textform, werden die Daten in der Benutzungsoberfläche nicht in ihrer originären Form, sondern durch symbolisierende Punkte abgebildet. Zur Darstellung des Dokumentinhalts wird die Anwendung genutzt, in der das jeweilige Dokument generiert wird. Durch einen Doppelklick auf einen Punkt, der das gesuchte Dokument symbolisiert, wird die entsprechende Anwendung gestartet und das Dokument in der entsprechenden Originalanwendung angezeigt.

Anhand der Position der Punkte zueinander lassen sich die Beziehungen Zeit, Grad der Abstraktion und Grad der Detaillierung (Kapitel 6.4.2) erkennen. Da die Anzahl der während eines Konstruktionsprozesses abgelegten Daten beträchtlich sein kann, fokussiert die kartesische Darstellung nur das jeweils aktive Objekt. Die gleichzeitige Anzeige aller Datensymbole, würde, bedingt durch die graphischen Möglichkeiten und Beschränkung der Dimensionen von entsprechenden Anzeigegeräten, zu einer Darstellung einer nicht mehr zu differenzierenden Punktwolke führen. Die drei zweidimensionalen Schnittdarstellungen zeigen hingegen diejenigen Datensymbole an, bei denen zumindest ein Ordinatenwert übereinstimmt. Bildhaft interpretiert entspricht diese Darstellung drei Schnittebenen an den jeweiligen Koordinaten

Durch die beträchtliche Länge eines abgebildeten Entwicklungszeitraums und der damit verbundenen großen Anzahl an Zeit- bzw. Datumswerten ist eine genaue Bestimmung dieser Werte anhand der Position auf der Zeitachse nicht möglich. Vielmehr geht es um eine ungefähre Einordnung des Erzeugungsdatums in Bezug auf den Entwicklungsprozess sowie das Erkennen von zeitlichen Abhängigkeiten. Erfolgt eine Unterteilung dieses Prozesses streng nach einem Meilensteinkonzept, so ist eine Unterteilung der Zeitachse analog der definierten Haltepunkte möglich. Die exakte Datumsangabe der Ablage kann dem Feld *Datum* im Bereich Merkmale der Benutzungsoberfläche entnommen werden (siehe Abbildung 43, Nr. 2).

Durch Verschieben der Reiter auf den Achsen können Grad der Detaillierung, Abstraktion oder Zeit verändert oder vorgegeben werden. Entsprechend verändert sich die Anzeige der Objekte im Datenraum. Diese Funktionalität entspricht den Pfeiltasten bei der softwaretechnischen Visualisierung des Systemkonzepts in Kapitel 4.3.4.

6.4.4 Metamerkmale

Links neben der Präsentation des dreidimensionalen Datenraums werden die zur Suche bzw. zur Beschreibung der Daten verwendeten Metamerkmale, wie z.B. Autor, Datum der Erstellung oder Produktgruppe, angezeigt (siehe Abbildung 43, Nr. 2). In Abhängigkeit des Entwicklungsprozesses oder firmenspezifischer Nomenklatur werden die angezeigten Metamerkmale und ihre möglichen Werte vordefiniert. Die Auswahl erfolgt dann über Auswahlmenüs und verhindert somit einen Schreibfehler bei der Eingabe bzw. die Eingabe unterschiedlicher Merkmale für denselben Sachverhalt.

Bei der Suche nach einem Startobjekt, von dem der Anwender seine zielorientierte Navigation starten möchte, können diese Merkmale zur Sichteinschränkung genutzt werden (Kapitel 3.1). Zusätzlich kann durch Wahl des *Ring-Symbols* eine Verbindung zwischen der Anzeige der Daten im dreidimensionalen Datenraum und der Auswahl der Merkmale vorgenommen werden (siehe Abbildung 43, Nr. 3). Bei geschlossenem Symbol werden dann nur die Daten im Datenraum angezeigt, die den gewählten Metamerkmale entsprechen. Ein offenes *Ring-Symbol* zeigt an, dass die aufgeführten Ausprägungen nicht zur Einschränkung der im Datenraum angezeigten Daten berücksichtigt werden. Durch Betätigen der Schaltfläche *Übernehmen* unterhalb der aufgeführten Merkmale (siehe Abbildung 43, Nr. 4) werden die ausgewählten Merkmale als Vorauswahl übernommen. Neben der Reduktion der angezeigten Dateien im Datenraum werden gleichzeitig die entsprechenden Dokumentbenennungen im Bereich *Suchergebnisse* angezeigt.

Neben der Einschränkung der Anzahl der zu durchsuchenden und darzustellenden Dateien wird der Bereich *Merkmale* auch als Anzeige für die Ausprägung von Merkmalen bei der Suche genutzt. Bei der Auswahl von Daten durch Selektion im dreidimensionalen Datenraum, den Verknüpfungen (Kapitel 6.4.6) oder durch Selektion in der Liste der Suchergebnisse werden die zugehörigen Ausprägungen der Metamerkmale angezeigt. Oftmals lässt sich schon anhand dieser Ausprägungen entscheiden, ob die gewählte Datei die gesuchte Information enthalten kann oder nicht.

6.4.5 Bewertung von Suchergebnissen

Die Benutzungsoberfläche bietet dem Nutzer verschiedene Möglichkeiten, gefundene Dokumente anhand individueller Kriterien auf Relevanz in Bezug auf Suchanforderungen zu bewerten (Kapitel 3.3.2). Durch den Verzicht auf eine direkte Anzeige der Inhalte von Dateien kommt dieser Möglichkeit eine zentrale Bedeutung zu.

Wesentlich ist die Bewertung der Beziehungen zwischen den Daten hinsichtlich der zeitlichen Beziehung, Grad der Abstraktion und Grad der Detaillierung. Hierzu kann in den drei Schnittbildern des dreidimensionalen Datenraums, bei denen jeweils einer der drei Werte konstant ist, die Bewertung erfolgen.

Eine weitere Möglichkeit bietet die Bewertung der Ausprägung der jeweiligen Metamerkmale eines Dokuments. Hierzu werden interaktiv bei Überfahren eines Punktes mit der Maus die Ausprägungen der Metamerkmale angezeigt.

Der Bereich *Suchergebnisse* dient der Anzeige der gesamten Ergebnisse einer Suche, die das Resultat einer Volltextsuche oder einer Einschränkung der Daten durch die Wahl von Merkmalen sein kann (siehe Abbildung 43, Nr. 9). Diese Suchergebnisse werden in Form einer kurzen Beschreibung in Textform angezeigt. Diese Kurzbeschreibung wird bei der Ablage eines Dokuments eingegeben und bietet somit eine individuelle Möglichkeit, den Sachinhalt von Dateien zu beschreiben. Nachteil einer individuellen Beschreibung ist die mögliche Vergabe unterschiedlicher Beschreibungen für denselben Sachverhalt. Auch unterschiedliche Schreibweisen bzw. Schreibfehler können die Wiedererkennung bzw. Suche erschweren. In Bezug auf das Systemkonzept spielt die Möglichkeit der Suche und Bewertung von Information anhand einer Benennung zwar eine untergeordnete Rolle, bleibt aber aus Gründen der Konformität erhalten. Der Inhalt der Liste *Suchergebnisse* bleibt solange erhalten, bis eine erneute Suche durchgeführt wird. Ein Überfahren mit der Maus einzelner Beschreibungen im Suchergebnis bringt die Ausprägung der entsprechenden Metamerkmale, die Position im Datenraum wie die abhängigen Dokumente zur Anzeige. Durch Auswahl eines angezeigten Kurztitels mit einem Doppelklick wird dieses Dokument zum aktiven, d.h. es ändern sich dementsprechend die Anzeigen des Datenraums und der Merkmalliste.

Vollständige Klarheit, ob das gefundene Dokument die gesuchten Daten enthält, kann aber erst die Anzeige des Dokumentinhalts schaffen.

6.4.6 Verknüpfungen

Die sich aus der Konstruktionsmethodik ergebenden Zusammenhänge zwischen abgelegten Daten spiegeln sich in ihrer speziellen Anordnung zueinander im Datenraum wider. Befinden sich die Daten hinter, neben oder übereinander, ist also einer der drei Merkmalswerte konstant, so liegt ein Zusammenhang zwischen diesen Daten vor. Diese Zusammenhänge lassen sich einfach in den drei Schnittdarstellungen des Datenraums anhand einer horizontalen oder vertikalen Anordnung der Daten durch die repräsentierenden Punkte erkennen (Kapitel 4.3.4).

Für Zusammenhänge von Daten, die nicht aus der Konstruktionsmethodik hervorgehen, besteht die Möglichkeit der manuellen Eingabe von Verknüpfungen. Mit Hilfe eines über die rechte Maustaste verfügbaren Menüs kann ein beliebiger Zusammenhang zwischen abgelegten Daten angelegt werden. Es erscheint ein Eingabedialog, in dem beide Objekte anhand Ihres beschreibenden Kurztextes aufgeführt sind und die Art der Gültigkeit der Verknüpfung, privat, für die Gruppe oder die Abteilung, vorgegeben werden kann (Abbildung 45).

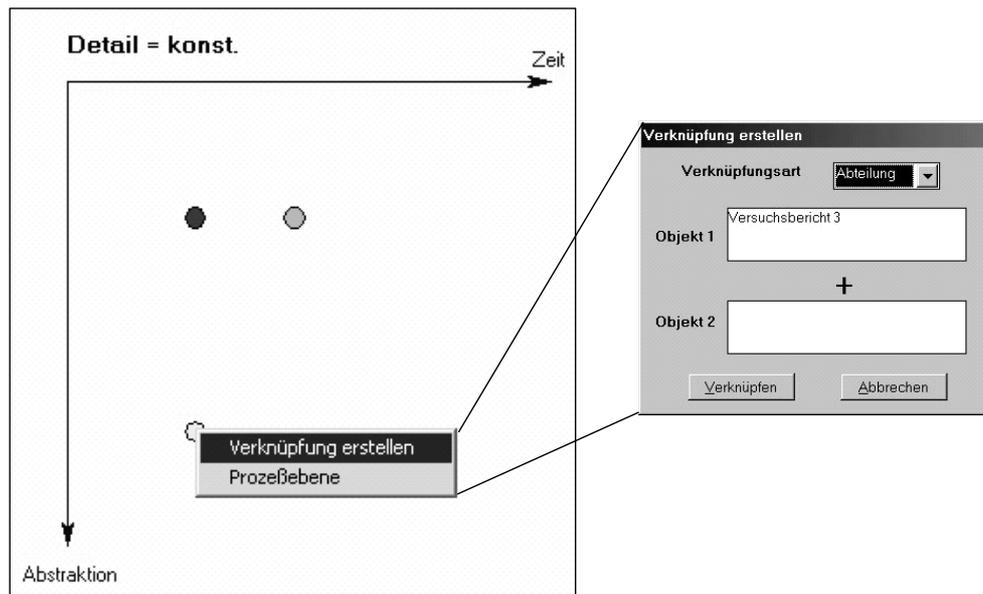


Abbildung 45 individuelle Verknüpfung

Diese beliebigen Zusammenhänge werden im Bereich *Verknüpfungen* als Kurzbeschreibung in Textform angezeigt (siehe Abbildung 43, Nr. 8). Analog der Funktionsweise bei der Anzeige der *Suchergebnisse* werden beim Überfahren der Kurzbeschreibungen mit dem Mauszeiger die jeweiligen Metamerkmale in den weiteren Bereichen angezeigt. Eine Auswahl mit einem Doppelklick selektiert das entsprechende Dokument und aktualisiert dem entsprechend die Anzeige des Datenraums, der Merkmale und Suchergebnisse.

Es ist zu berücksichtigen, dass solche manuell erstellten Verknüpfungen Ausdruck der subjektiven Meinung eines Einzelnen, einer Gruppe oder gar einer gesamten Abteilung sind. Aus diesem Grund kennzeichnen die drei entsprechenden *Radiobuttons* im Bereich *Verknüpfungen* die Verknüpfung als *privat*, *Gruppe* oder *Abteilung*.

Für Zusammenhänge von Daten, die nicht aus der Konstruktionsmethodik hervorgehen oder deren Zeitpunkte der Ablage in verschiedenen Intervallen liegen, lassen sich mit Hilfe von manuell zu erzeugenden Verknüpfungen diese Zusammenhänge ebenfalls abbilden. Es ist

zu berücksichtigen, dass diese Art der Verknüpfung von Datenobjekten die Meinung eines Einzelnen, der Gruppe oder des Unternehmens repräsentiert.

6.5 Test des Funktionsumfangs

6.5.1 Vorgehen

Die Erweiterung der Struktur (Kapitel 6.3) und die Erstellung eines Demonstrators (Kapitel 6.4) mit neuer graphischer Benutzungsoberfläche, erfordert einen Test hinsichtlich des definierten Funktionsumfangs. Zu diesem Zweck werden in der Industrie ein Konstruktionsprozess erhoben und die dazugehörigen Daten ermittelt. In einem zweiten Schritt wird geprüft, ob diese Daten mit Hilfe des Demonstrators handhabbar sind und eine Suche nach dem Konzept auf Basis der erweiterten Struktur möglich ist.

6.5.2 Erhebung industrieller Daten

Gegenstand der Erhebung ist der Konstruktionsprozess der Einspülschale einer Waschmaschine bei einem weltweit agierenden Hersteller. Das Ziel des Herstellers, neue Märkte zu erschließen, führt unter anderem bei der Konzepterstellung zu einer Verkürzung der Tiefe einer zu entwickelnden Waschmaschine. Aufgrund dieser Vorgabe muss auch die Einspülschale um ca. 30% verkürzt werden. Der Entwicklungszeitraum beträgt ungefähr zwei Jahre. Beteiligt an der Entwicklung sind ein Team von Konstrukteuren unterschiedlicher Fachabteilungen, Versuchingenieuren, Prototypherstellern und Werkzeuglieferanten. Insgesamt finden unterschiedliche Kommunikations-, Koordinations- und Kooperationsprozesse sowohl in und zwischen unternehmensinternen Organisationseinheiten wie auch mit externen Unternehmen statt.

Die Erhebung basiert auf strukturierten Interviews mit dem Projektleiter sowie den Mitgliedern des Projektteams, um ein Verständnis über die Projektorganisation sowie das Vorgehen zu erhalten. Durch Beobachtungen der Projekttreffen zur Lösung einzelner Teilprobleme werden weitere Tätigkeiten zur Lösung identifiziert. Im Rahmen der unterschiedlichen Tätigkeiten werden von den Projektmitgliedern ca. 500 Dokumente erzeugt, die bei der Dokumentation des Prozesses berücksichtigt werden.

Die Dokumentation des Prozesses erfolgt mit Hilfe eines erweiterten UML-Aktivitätendiagramms (Unified Modelling Language). Hierbei werden in vertikaler Richtung die Aktivitäten und in horizontaler Richtung die zugehörigen Objekte abgebildet (siehe Abbildung 46). Eine detaillierte Beschreibung von UML-Aktivitätendiagrammen zur Prozessdokumentation sowie zu dessen Erhebungsmethoden finden sich in /LuKrTe-00/.

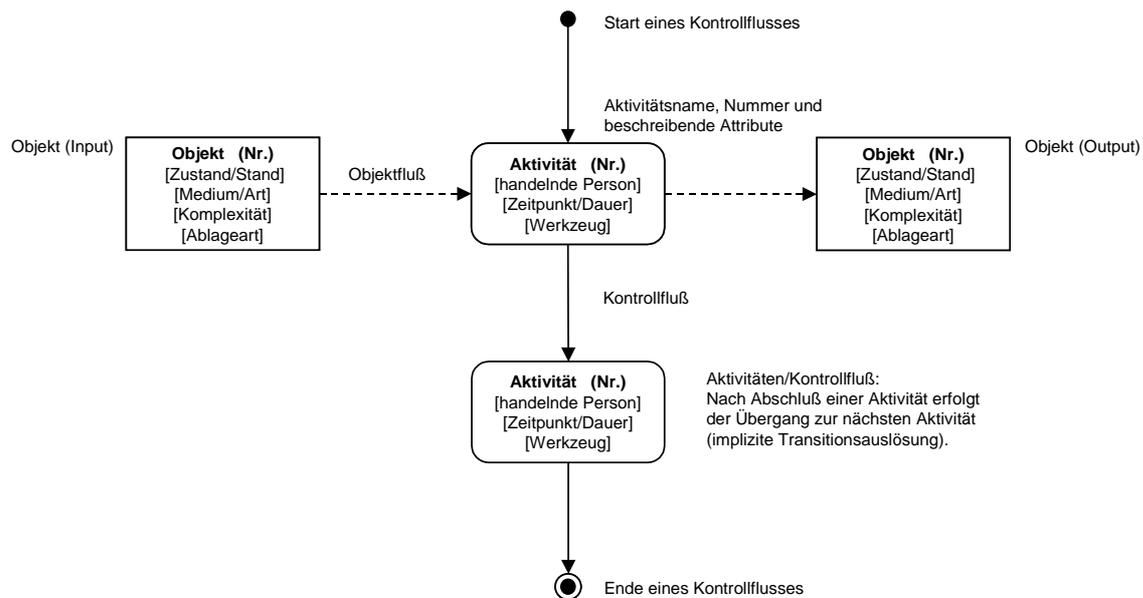


Abbildung 46 Darstellung von Prozessen mit Hilfe des UML-Aktivitätsdiagramms

Durch diese Art der Prozessdarstellung konnten folgende Information dokumentiert werden:

- die Wege der Informationsbeschaffung,
- die Vorgehensweisen beim Lösen von Aufgaben bei diesem Entwicklungsprozess,
- die verwendeten Werkzeuge und Hilfsmittel, die zum Lösen der Aufgaben genutzt werden,
- die Schnittstellen zwischen Entwicklungsabteilungen und anderen Organisationseinheiten und
- die Verläufe von Entscheidungsprozessen.

Aus diesem sehr umfangreichen und komplexen Prozess der Entwicklung einer Einspülschale wird ein repräsentativer Ausschnitt gewählt, aus dem die mit dem Prototyp handhabbaren Daten stammen. Dieser kennzeichnet sich vor allem dadurch, dass viele der Tätigkeiten auch außerhalb des gewählten Ausschnitts vorkommen. Zur Verdeutlichung der Form der Prozessdarstellung ist in Abbildung 47 ein Ausschnitt wiedergegeben.

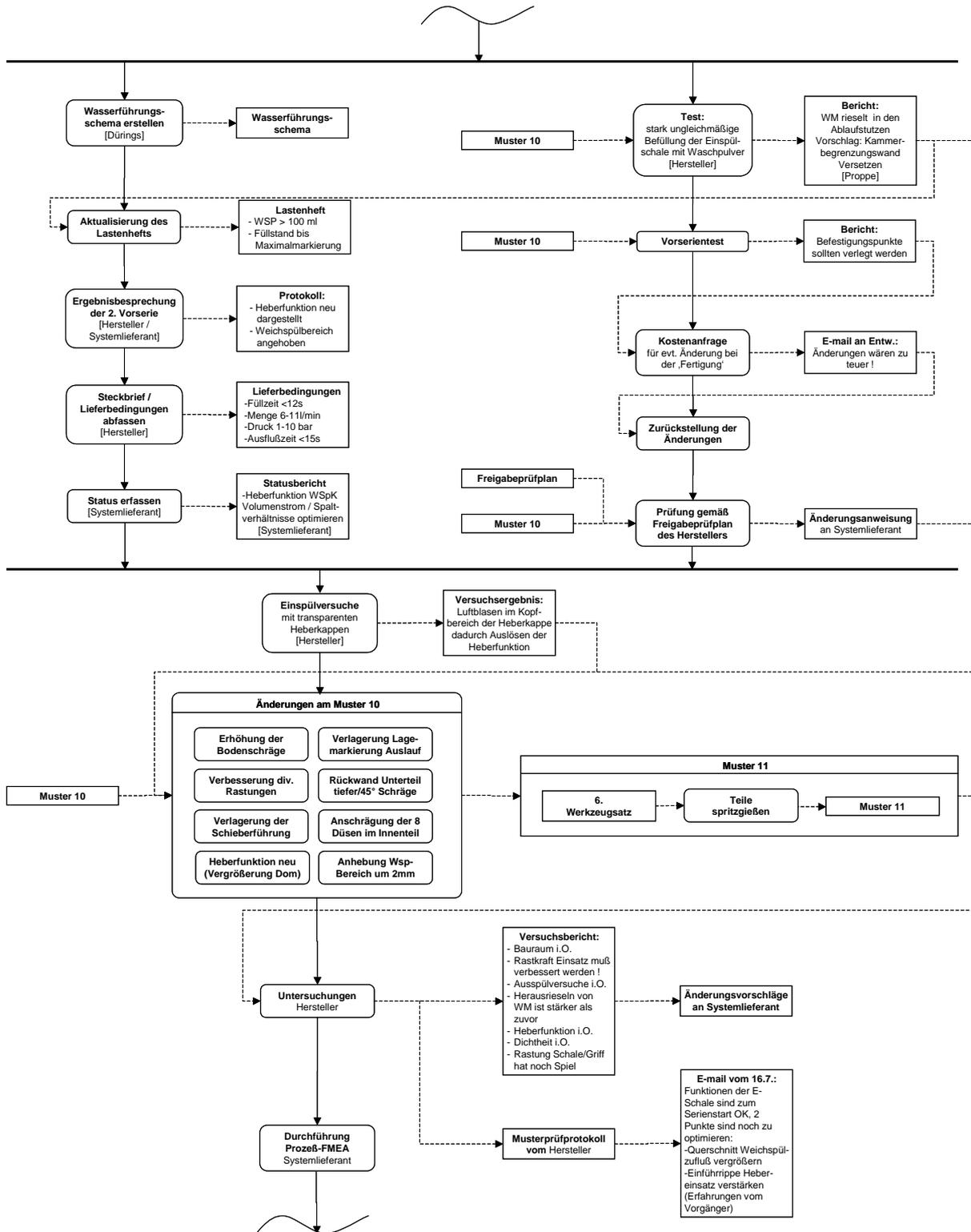


Abbildung 47 Teilprozess: Entwicklung einer Einspülschale

Von besonderem Interesse bei der Erhebung waren abgelegte Daten, die Begründungen für bestimmte Tätigkeiten lieferten, aber nur wenigen Mitarbeitern bekannt waren. Hierzu zählten vor allem Aktennotizen, Emails oder persönliche Memos. Die Tabelle 10 verdeutlicht anhand eines Ausschnitts der Dokumentenliste die Vielzahl unterschiedlicher Dokumente, die

Begründungen für die Art und Weise des Voranschreitens im Konstruktionsprozess beinhalten.

Tabelle 10 Ausschnitt der Dokumentenübersicht

Datum	Art	Inhalt	Absender Verfasser	Empfänger
1.6	Dokument	Wasserführungsschema SlimLine	MA A	
	Handnotiz	Waschmittelrieseln bei extremer Befüllung	MA A	
14.6	Dokument	geändertes Lastenheft	MA A, B, C	
14.6	Schreiben	Lieferschein: 10 Einspülchalen	WB	Hersteller
14.6	Schreiben	Prüfung und Ergänzung des Maßnahmenkataloges	MA D	WB
17.6	E-Mail	Kosten: Änderung der hinteren Befestigungspunkte der ESS	MA A	MA D, div. andere
18.6	Versuchsbericht	Dichtheit Einspülchale im Dauertest	MA D	
21.6	Schreiben	weitere Vorgehensweise	WB	MA E
23.6	Dokument	technische Spezifikationen SlimLine	MA G, D	
29.6	Dokument	Ergebniszusammenfassung des 1. COOL-Workshops, Thema: "Einspülchale des Eurowashers"	MA F	MA D, div. andere
30.6	E-Mail	Einspülversuche in Schiefstellung	MA D	MA A, div. andere
30.6	Schreiben	Änderungen am Schaleneinschub	MA D	WB
	Dokument	Statusbericht	WB (extern)	
1.7	Schreiben	Angebot für Werkzeugänderungen	WB (extern)	Hersteller
1.7	Schreiben	FMEA- Termine	MA E	WB
6.7	Schreiben	Untersuchung Heberfunktion	MA D	WB
14.7	E-Mail	Kennzeichnungsfolien	MA E	MA A, div. andere
15.7	E-Mail	Zwischenbericht Geräuschesituation	MA E	MA A, D, div. andere
15.7	Schreiben	Änderungen mit Zeichnungen		WB
15.7	Schreiben	aktualisierter Maßnahmenkatalog	MA D	WB
16.7	E-Mail	Probleme mit div. Schläuchen	MA E	MA A, D
16.7	E-Mail	Stand der Dinge SlimLine	MA M	MA A, div.
16.7	Versuchsbericht	Wasserzulauf Weichspülkammer	MA D, L	MA A, D
16.7	Versuchsbericht	Musterprüfprotokoll	Hersteller	WB
19.7	E-Mail	Liste zulässiger Benennungen in der Metaphase	MA A	MA K
20.7	Dokument	Projektplanungsblatt FMEA	WB	Hersteller
22.7	Dokument	Projektplanungsblatt FMEA	WB	Hersteller
20.7	Dokument	FMEA Optimierungsstufe 1	WB	
21.7	E-Mail	kritische Punkte für QB3	MA H	div.
21.7	Versuchsbericht	Wasserzulauf Weichspülkammer		
22.7	Dokument	Projektplanungsblatt FMEA	WB	Hersteller
23.7	Handnotiz	Wasserzulauferhöhung WSpK	MA A	
23.7	E-Mail	Montage von Wasserführungsbauteilen	MA A	div.
23.7	Dokument	Bauteilverfolgungsliste		
26.7	E-Mail	Werkstoffe für SlimLine-ESS	MA A	MA J
28.7	Versuchsbericht	Auszugsrastung der ESS im Neuzustand	MA I	
29.7	Dokument	Magnetventile	MA D	Hersteller

MA: Mitarbeiter (intern)

WB: extern

6.5.3 Bewertung des Funktionsumfangs des Demonstrators

Visualisierung der Produktdaten

Der Prototyp unterstützt die Ausführung der zur Handhabung der Dokumente notwendigen und auf dem Rechner installierten Softwareanwendungen (Kapitel 6.4.1). Eine Erstellung und Veränderung der Dokumente mit Hilfe der entsprechenden originären Anwendung ist möglich. Die im Rahmen der Erhebung des Entwicklungsprozesses ermittelten Dokumente ließen sich hinsichtlich ihrer Formate und zugehörigen Anwendungen, wie folgt gliedern:

- Microsoft Office Dokumente: PowerPoint, Excel Word, Project,
- Emails: Microsoft Outlook,
- CAD: Autocad und
- Grafiken, Bilder: JPEG, TIF.

Entsprechende Anwendungen zur Handhabung wurden installiert und in den Prototypen integriert. Somit war eine Handhabung der im Rahmen der Erhebung erkannten Dokumente möglich. Allerdings zeigt sich, dass die Definition von Schnittstellen erforderlich ist, sobald Dokumente durch deren erzeugende oder verwaltende Anwendungen selbst in eine Datenbank eingebunden sind. Beispielweise erwies sich die Verwaltung von einzelnen Emails als MSG-Datei (message-Format) als problemlos. Waren diese hingegen, in einer PST-Datei (personal storage format) eingebunden, was bei jedem Ordner in Outlook automatisch erfolgt, wären für deren Handhabung eigene Schnittstellen notwendig.

Die dem Prototyp zugrunde liegende Software ermöglicht die Integration einer Vielzahl an Anwendungen. Insofern lassen sich auch weitere Daten, erzeugt mit Programmen die im Rahmen der industriellen Erhebung nicht ermittelt wurden, prinzipbedingt mit dem Prototypen handhaben.

Aus performance- und lizenzrechtlichen Gründen können Daten auch mit so genannten Viewern zur Ansicht gebracht werden. Diese Anwendungen sind auf die Anzeige von Dateien einzelner Datenformate spezialisiert. Vor allem bei der Visualisierung von Daten aus dem CAD-Bereich wird der Nutzen von Viewern deutlich. Zur Erstellung und Veränderung von CAD-Daten ist bei diesen Anwendungen eine Vielzahl von Möglichkeiten realisiert, die den Gelegenheitsanwender überfordern. Die Möglichkeiten eines Viewers reduzieren sich auf die Anzeige. Somit betragen im Regelfall auch die Kosten zur Anschaffung ein Bruchteil des eines CAD-Systems. Ebenfalls geht die Fokussierung auf eine Funktion einher mit einer sehr guten Performance dieser Anwendungen.

Abstraktions- und Detaillierungsstufen

Der erhobene Prozess 'Entwicklung einer Einspülschale' ist durch überwiegend experimentelles Vorgehen charakterisiert. Das Ergebnis wird durch iteratives Vorgehen, Veränderung bestehender Daten, deren baulicher Umsetzung und anschließender Tests, erzielt (siehe Abbildung 48).

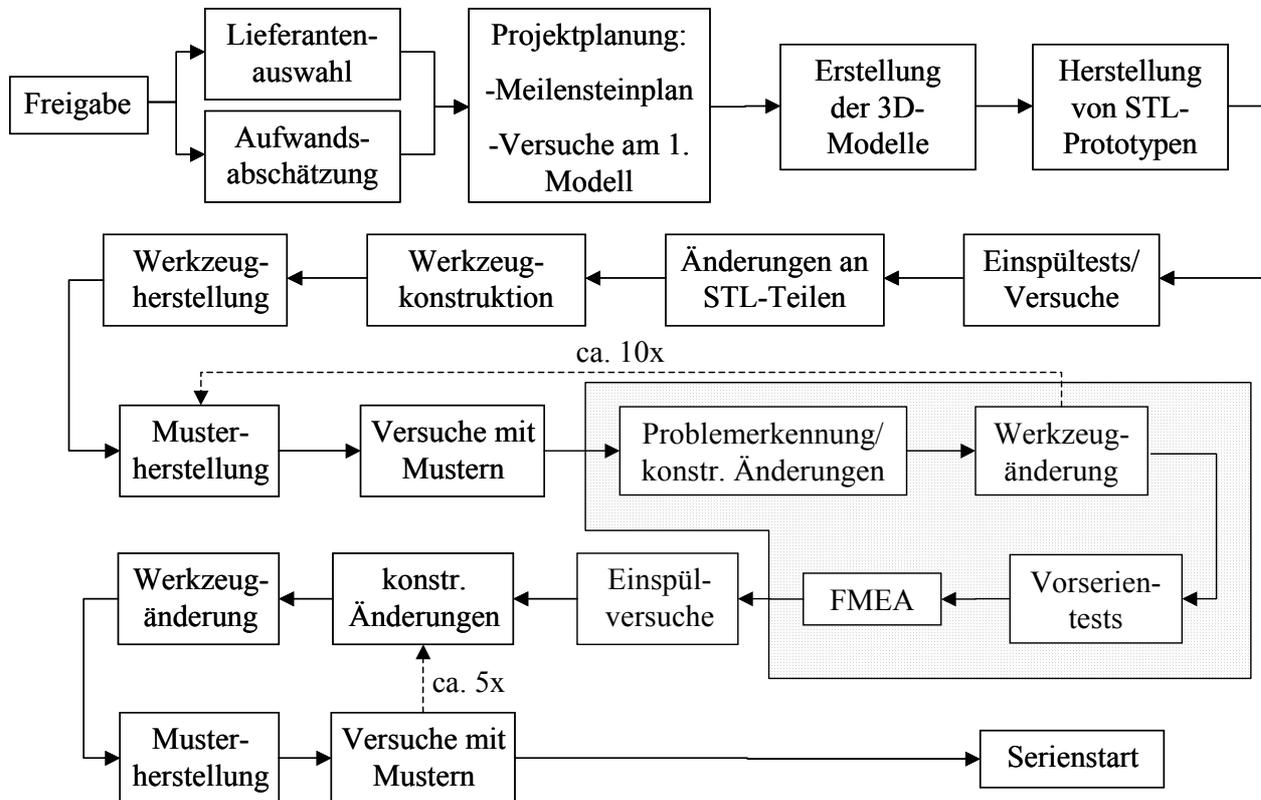


Abbildung 48 Entwicklungsprozess 'Einspülschale'

Die Benennung und Anzahl der Abstraktions- und Detaillierungsstufen orientieren sich an den phasenorientierten Modellen der Konstruktionsmethodiken (Kapitel 2.5.6). Um eine hohe Akzeptanz der Anwender zu erzielen, ist eine Anpassung der Terminologie oder ggf. deren Anzahl auf firmenspezifische Prozesse empfehlenswert.

Im Rahmen der Prozesserhebung konnten keine Dokumente identifiziert werden, die den Konstruktionsgegenstand auf funktionaler Ebene beschrieben. Insofern wurde diese Art Modell auch nicht im Prototypen berücksichtigt. Hingegen ließen sich sehr viele Dokumente identifizieren, die auf sehr abstrakter, prinzipieller oder geometrischer Ebene die Einspülschale beschreiben. Im Rahmen der geführten Interviews ließen Aussagen wie "Das stand im Fax von...", "...das habe ich in der Mail von ..." oder auch "dies finden Sie in dem Protokoll vom ..." den Schluss zu, dass folgende Begriffe für die Charakterisierung von Dokumenten genutzt werden:

- Fax/Email,

- Versuchsbericht,
- Sitzungsprotokoll,
- Prüfplan,
- Spezifikation und
- Zeichnung.

Hinsichtlich der Zuordnung zu den Abstraktionsebenen ließen sich drei Gruppen unterscheiden.

- Die ersten drei genannten Dokumententypen, Fax/Email, Versuchsbericht und Sitzungsprotokoll, beschrieben überwiegend mit Hilfe alphanumerischer Darstellungen einen Sachverhalt. Der Abstraktionsgrad ist hoch, und somit können diese Dokumente dem Abstraktionsgrad 'informative Festlegung' zugeordnet werden. Um einen effizienten Zugriff zu gewährleisten, wurde die Ausprägung der Dokumente, Fax/Email, Versuchsbericht oder Sitzungsprotokoll, als charakterisierendes Merkmal beibehalten. Wurden Fax oder Email als 'Transportmedium' für Modelle anderer Abstraktionsebenen verwendet, beispielsweise schickte der Zulieferer mehrmals Zeichnungen per Mail, so wurden diese Dokumente den entsprechenden Abstraktionshierarchien zugeordnet.
- Der Prüfplan und die Spezifikation stellten in einer Mischung aus schematischer Darstellung und alphanumerischen Beschreibung entweder die Prüftätigkeit oder den Konstruktionsgegenstand dar. Hinsichtlich der Beschreibung ließen die Prüfpläne allerdings offen, mit welchen Mitteln die Prüfungen durchzuführen sind. Auch die Spezifikationen beschrieben den Konstruktionsgegenstand nicht hinsichtlich geometrischer Merkmale. Insofern konnten die Prüfpläne und Spezifikationen der Gruppe der prinzipiellen Lösungen zugeordnet werden.
- Die Zeichnungen wurden der Gruppe der Abstraktionshierarchie 'Geometrie' zugeordnet.

Hinsichtlich der Detaillierungsstufen ließen sich aus dem Prozess und der verwendeten Begriffswelt der Mitarbeiter drei Stufen identifizieren

- Gesamtsystem
- Wasserführungssystem und
- Laugenbehälter, Pumpe, Leitungen und Einspülschale.

Die Zuordnung der Dokumente zu den jeweiligen Abstraktions- und Detaillierungsstufen erfolgt bei der Eingabe ins System mit Hilfe eines Eingabedialogs der in Abbildung 49 dargestellt ist. Hier werden neben dem Grad der Detaillierung und Abstraktion auch

Metamerkmale festgelegt. Damit Schreibfehler bzw. individuelle Begriffe vermieden und eine spätere Suche erschweren würden, werden die Ausprägungen aus Menüs ausgewählt.

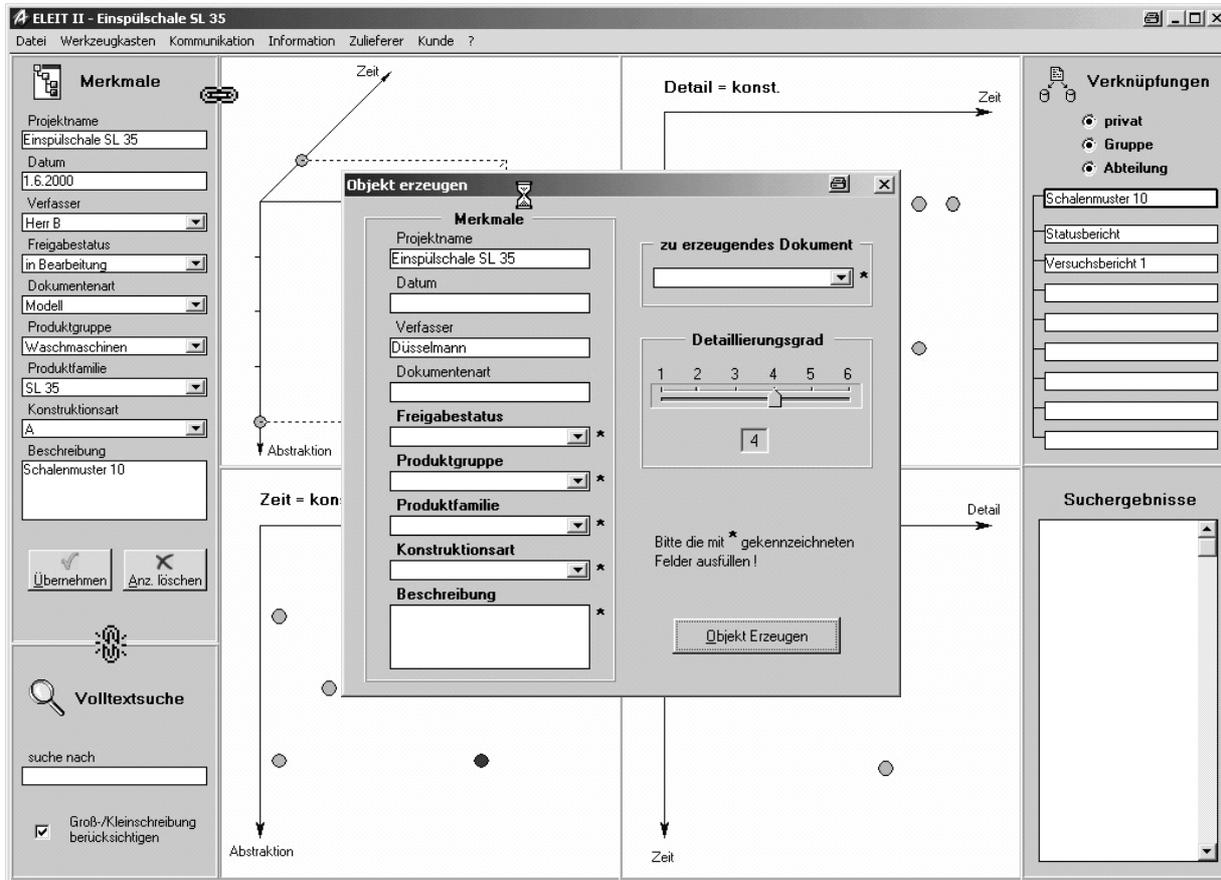


Abbildung 49 Klassifizierung von Dokumenten

Eine automatisierte Zuordnung der Dokumente zu den Stufen ist für einen Teil der Dokumente vorstellbar. So ist beispielsweise durch die Zeichnungsnummer, die die jeweilige Baugruppe und das CAD-Format (dxf) enthält, eine automatische Zuordnung zur Abstraktions- wie auch zur Detaillierungsstufe möglich. Um einen hohen Automatisierungsgrad bei der Zuordnung von Dokument zur entsprechenden Detaillierungs- bzw. Abstraktionsstufe zu erreichen, ist eine Analyse der im Prozess entstandenen Dokumente vorab durchzuführen. Das Ergebnis wäre eine Dokumentenmatrix, die auf der einen Seite die Dokumente und auf der anderen Seite die Merkmale zu deren Beschreibung auflistet.

Durch die Möglichkeit der Auswahl von Software aus dem Werkzeugkasten wird die Erstellung von neuen Dokumenten unterstützt. Nach deren Erstellung und Speicherung erscheint der oben beschriebene Eingabedialog. Dadurch können neu erstellte Dokumente in die bestehende Struktur eingeordnet werden.

Suche als Navigation

Die Möglichkeit, Zusammenhänge zwischen Daten für eine Navigation zu nutzen (Kapitel 4), kann aus Sicht des Autors funktional umgesetzt werden. Ausgehend von dokumentierten Prozessschritten (Kapitel 6.5.2) konnten abhängige Dokumente angezeigt und aufgerufen werden. Hierbei spielen Merkmale, wie Speicherort, Dateiname oder Ersteller, eine untergeordnete Rolle.

Performance

Die Handhabung der mit dem System abgebildeten Dokumente erwies sich als performant. Allerdings steht zu erwarten, dass *Microsoft EXCEL* zur Verwaltung der Merkmale, bedingt durch die Beschränkung der Zeilenanzahl, bei der Verwaltung umfassender Dokumentsammlungen an softwaretechnische Grenzen stößt. Hier beweisen kommerziell am Markt etablierte Systeme, dass eine programmtechnische Umsetzung auf Basis eines entsprechenden Datenbankkonzepts eine performante Handhabung der Daten sicherstellt.

Werkzeuge

Die Visualisierung von Dokumenten wie auch deren Handhabung erfolgte mit Hilfe der darauf spezialisierten Anwendungen. Diese Anwendungen werden zur Anzeige, Veränderung oder Erstellung des Dokuments genutzt und werden über den Menüpunkt Werkzeugkasten aufgerufen (Abbildung 50).



Abbildung 50 Auswahl von Werkzeugen

Die Definition der zur Verfügung stehenden Werkzeuge erfolgt in diesen Anwendungen durch die Definition spezifischer Menüleisten. Insofern war eine zusätzliche Bereitstellung von Werkzeugen nicht erforderlich.

Industrielle Nutzung

Der dargestellte Prototyp dient zur Verdeutlichung des Konzepts mit erweiterter Struktur und zur Evaluierung der implementierten Funktionen anhand der erhobenen Industriearbeit. Aspekte der Datensicherheit, Zugriffsrechte, Algorithmen zur effizienten Verwaltung großer Datenmengen wie auch der plattformunabhängigen Anwendung sind für eine industrielle

Nutzung separat zu untersuchen. Aus Sicht des Autors erscheint es ratsam, hier auf am Markt etablierte Lösungen zurückzugreifen. Es müsste separat untersucht werden, inwieweit die Kopplung zur graphischen Schnittstelle möglich ist.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, die Suche nach Information zu unterstützen. Die Abhängigkeiten zwischen Informationen aus dem Konstruktionsprozess werden hierbei für eine zielorientierte Suche genutzt. Der Nutzen des erarbeiteten Konzepts wird im Rahmen einer industriellen Untersuchung abgesichert.

In der vorliegenden Arbeit werden zunächst Aspekte des Konstruktionsprozesses dargestellt. Ergebnis des Konstruktionsprozesses ist die Beschreibung des Produkts. Dieser Prozess ist durch eine zunehmende Konkretisierung der Produktbeschreibung gekennzeichnet und geht einher mit einer gleichzeitigen Reduzierung von konstruktiven Freiheitsgraden. Dazu nutzen die am Prozess Beteiligten unterschiedlich abstrakte Modelle. Diese bilden unter Verringerung des Informationsgehalts Eigenschaften realer Objekte ab (Kapitel 2.6). Um diese auszuprägen zu können, benötigen die Beteiligten, im Rahmen eines arbeitsteiligen Prozesses, Information anderer. Durch die räumliche Verteilung bzw. die Vielzahl der am Prozess Beteiligten ist eine Informationsbeschaffung durch Kommunikation oftmals nicht praktikabel anwendbar. Deshalb erfolgt ein Großteil des Informationsaustauschs auf Basis von Daten, die aufgrund bekannter oder unterstellter Abmachungen zwischen den Nutzern entsprechende Information repräsentieren (Kapitel 2.3). Ist ein direkter Zugriff auf diese Daten unmöglich, bieten unterschiedliche Formen der Suche die Möglichkeit der Informationsbeschaffung. Der Anteil der Arbeitszeit zur Suche nach Information beträgt je nach Branche und Konstruktionsprozess zwischen 50% und 70% - in einer, im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten, industriellen Erhebung wurden 59 % ermittelt (Kapitel 5.3).

Dieser relative hohe Anteil an der Arbeitszeit zur Suche nach Information ist im Rahmen dieser Arbeit Motivation, einen Ansatz vorzustellen, der eine neue Möglichkeit zur Suche nach Information beschreibt. In diesem Zusammenhang wird folgende Hypothese formuliert: Das Wissen des Konstrukteurs über die sich aus dem Konstruktionsprozess ergebenden Beziehungen von Informationen zueinander, kombiniert mit der Möglichkeit deren adäquaten Visualisierung, ermöglicht eine zielorientierte Suche in den Produktdaten (Kapitel 3.4). Die erste Beziehung resultiert aus dem während des Konstruktionsprozesses stattfindenden Informationsumsatz. Die erzeugte Information liefert in Bezug auf die gesuchte eine Antwort auf die Frage des WIE. Umgekehrt liefert die gesuchte Information in Bezug auf die erzeugte die Beantwortung der Frage WARUM. Die zweite Beziehung wird aus der Produktstruktur abgeleitet. Die Produktstruktur stellt die Beziehungen vom Einzelteil über Baugruppen bis hin zum Gesamten dar. Die produktbeschreibenden Informationen sind somit entweder ‚Teil von etwas‘ oder ‚sie bestehen aus etwas‘.

Das Konzept beschreibt eine kognitiv-ergonomische Abbildung dieser, aus den beiden Beziehungen, abgeleiteten Struktur (Kapitel 4.2.2), unter Berücksichtigung des arbeitswissenschaftlichen Ansatzes von Rasmussen. Damit das Konzept evaluiert werden kann, wird eine prototypische Benutzungsoberfläche entwickelt (Kapitel 4.3). Deren Gestalt und der Funktionsumfang der Interaktionskomponenten basieren zum einen auf Anforderungen zur Abbildung des kognitiv-ergonomischen Ansatzes und zum anderen auf abgeleiteten Anforderungen einer vorab durchgeführten und dokumentierten Vorgehensweise zur Lösung einer Konstruktionsaufgabe. Diese ist Bestandteil des Entwicklungsszenarios ‚Entwicklung einer Radlagerung‘, mit deren Hilfe den Konstrukteuren das Konzept und der Umgang mit der Benutzungsoberfläche verdeutlicht werden.

Im Rahmen der Evaluierung wird Konstrukteuren aus der Industrie zunächst das Konzept vorgestellt und der Umgang mit der prototypischen Benutzungsoberfläche erläutert. Im Anschluss lösen die Konstrukteure die Teilaufgabe ‚Dimensionierung eines Radlagers‘ mit Hilfe der prototypischen Benutzungsoberfläche. Ihr Vorgehen wird per Videoaufzeichnung dokumentiert und Ihre Meinung mit Hilfe von Fragebögen und einem freien Interview erhoben (Kapitel 5.2). Die Auswertung ergibt, dass der Hypothese im Rahmen der Evaluierung durch Konstrukteure aus der Industrie zugestimmt wird. Die Kernaussage, dass Abstraktionshierarchie und Partialmodelle eine geeignete, mental kompatible Abbildungsstruktur für die komplexe Vernetzung von Wissen, Informationen und Daten im Produktentwicklungsprozess bilden, wird bestätigt. Ebenso erscheint ein unterschiedliches Maß zwischen Konkretheit und Abstraktion bei der Navigation in bestehenden Daten hilfreich, welches durch die Gestaltung der Benutzungsoberfläche ermöglicht wird. Die visualisierte Umsetzung des Konzepts erscheint den Befragten schlüssig (Kapitel 5.4).

Die Umsetzung der durch die empirische Evaluierung gewonnenen Erkenntnisse erfolgt im Rahmen einer Erweiterung des Konzepts. Hieraus resultiert vor allem die Möglichkeit, zeitlich veränderbare Information abzubilden (Kapitel 6.3). Die Erweiterung des Konzepts sowie die Notwendigkeit den Funktionsumfang zu erweitern, führen zur Gestaltung einer neuen Benutzungsoberfläche, die im Rahmen eines Demonstrators umgesetzt wird (Kapitel 6.4).

Der Funktionsumfang dieses Demonstrators, sowie die Möglichkeit zur Handhabung von Daten und der Unterstützung einer zielorientierten Suche werden untersucht. Dazu werden anhand einer industriellen Erhebung zum einen der Entwicklungsprozess einer Einspülschale einer Waschmaschine und zum anderen die dabei genutzten bzw. erzeugten Daten erhoben (Kapitel 6.5). Der Test zeigt, dass die industriell ermittelten Daten mit Hilfe des

Demonstrators gehandhabt und deren Zusammenhänge abgebildet werden können. Anhand der erhobenen Prozessdokumentation werden Abhängigkeiten zwischen den Daten identifiziert. Im Rahmen der prototypischen Umsetzung werden diese Abhängigkeiten für eine zielorientierte Suche genutzt.

Die grundsätzliche Bestätigung der Eignung der erarbeiteten Konzepte zur Unterstützung des Konstrukteurs bei der Suche nach Produktdaten konnte im Rahmen dieser Arbeit in Form der durchgeführten industriellen Evaluierungen erbracht werden. Für einen möglichen professionellen Einsatz der erarbeiteten Lösungen wären noch weitere Schritte erforderlich. Es scheint ratsam, zunächst das Konzept in weiteren Konstruktionsprozesse und deren Aufgabenstellungen durch eine breitere Nutzerzahl bewerten zu lassen und die Erkenntnisse in eine weitere Optimierung des Demonstrators einfließen zu lassen. Danach wäre eine softwaretechnische Überprüfung der Realisierung anzustreben und die Eignung des Konzepts auf Integration in bestehende Lösungen zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses wie beispielsweise EDM-/ PDM-Systeme zu verifizieren. Zukünftig könnte die dargestellte Vorgehensweise damit zu einem standardmäßigen Bestandteil den Konstruktionsprozess unterstützender Software werden und somit der vorgestellte Nutzen in die Breite getragen werden.

8 Literaturverzeichnis

- /AhDüSchTe-99/ Ahrens, G.; Düselmann, S.; Scheithauer, I.; Tegel, O.: *Ein Ansatz zur effizienten Handhabung von Informationen im Produktentwicklungsprozess*. In: VDI-Berichte, Nr. 1497: Informationsverarbeitung in der Konstruktion '99 - Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1999, S. 471-489
- /Bac-03/ Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R.: *Multivariate Analysemethoden: eine Anwendungsorientierte Einführung*. 10. Auflage; Berlin: Springer, 2003
- /BeLuKr-98/ Beitz, W.; Luczak, H.; Krause, F.-L.: *Arbeitsorientierte Analyse und Gestaltung rechnerunterstützter, produktmodellierender Konstruktionssysteme*. Zwischenbericht des DFG-Forschungsvorhaben Be 479/61, Kr 785/10, Lu 373/17, TU Berlin, 1998.
- /Ble-94/ Blessing, L.: *A Process-Based Approach to Computer-Supported Engineering Design*. Dissertation. University of Twente, Enschede, 1994.
- /Bor-93/ Bortz, J.: *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer, 1993
- /DaHu-94/ Daenzer, W.F.; Huber, F.: *Systems engineering - Methodik und Praxis*. Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 1994.
- /Dan-79/ Daenzer, W.F.: *Systems Engineering*. Köln: P. Haunstein-Verlag, 1978
- /DIN 25448/ DIN 25448: *Ausfalleffektanalyse (Fehler-Möglichkeits- und -Einfluß-Analyse)*. Ausgabe 1990, Beuth-Verlag.
- /DIN 32990/ DIN 32990: *Kosteninformationen; Begriffe zu Kosteninformationen in der Maschinenindustrie*. Ausgabe 1989, Berlin: Beuth-Verlag.
- /DIN 44300/ DIN 44300: *Informationsverarbeitung*. Ausgabe 1988. Berlin: Beuth-Verlag.
- /DIN EN 1325-1/ DIN EN 1325-1: *Value Management, Wertanalyse, Funktionsanalyse, Wörterbuch - Teil 1: Wertanalyse und Funktionenanalyse*. Ausgabe 1996, Berlin: Beuth-Verlag.
- /DaPu-98/ Davenport, T.; Prusak, L.: *Working Knowledge - How organizations manage what they know*. Boston: Harvard Business School Press, 1998.
- /Dör-87/ Dörner, D.: *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. 3. Auflage, Stuttgart: Kohlhammer, 1987.
- /Ehr-92/ Ehrlenspiel, K.: *Konstruktionslehre I*. Umdruck zur Vorlesung. Technische Universität München, Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau, 1992.
- /Ehr-95/ Ehrlenspiel, K.: *Integrierte Produktentwicklung*. München: Carl Hanser Verlag, 1995.
- /Fel-89/ Feldhusen, J.: *Systemkonzept für die durchgängige und flexible Rechnerunterstützung des Konstruktionsprozesses*. Schriftenreihe Konstruktionstechnik (Hrsg. W. Beitz), H16. - zugl. Dissertation TU Berlin, 1989.

- /FrRoGa-92/ Frey, P. R. ; Rouse, W. B. ; Garris, R. D.: *Big Graphics and little Screens : Designing Graphical Displays for Maintenance Tasks*. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 22 (1992), Nr. 1, S. 10-20
- /Glog-98/ Gloger, U.: *Aktenberge adieu. Modernes Dokumentenmanagement verbessert die betriebsinterne Kommunikation und beschleunigt die Arbeitsprozesse*. In: Maschinemarkt, Band 104, Sonderausgabe Deutschland innovativ, 1998, S. 164-166.
- /GrGe-97/ Grabowski, H; Geiger, K.: *Neue Wege zur Produktentwicklung*. Stuttgart: Raabe, 1997.
- /Hack-95/ Hacker, W.: *Bild und Begriff III - Zur Einführung*. In: Hacker, W; Sachse, P.: *Bild und Begriff III. Zur Rolle von Anschauung und Abstraktion im konstruktiven Entwicklungsprozess*. Dresden: TU, Inst. für Allgemeine Psychologie und Methoden der Psychologie, 1995, S. 1-5.
- /Hack-96/ Hacker, W.: *Entwickeln und Konstruieren - zu einer Arbeitswissenschaft geistiger Erwerbstätigkeit*. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Band 50 (1996) Heft 2, S 111-116.
- /Hahn-98/ Hahn, H.-W.: *Die industrielle Revolution in Deutschland*. München: Oldenbourg, 1998.
- /Hela-94/ Helander, M.: *Models of Design for Concurrent Engineering*. In: Kidd, P. T. (Ed.) ; Karwowski, W. (Ed.): *Advances in Agile Manufacturing*. Amsterdam: IOS Press, 1994, S. 21-26
- /HuEd-92/ Hubka, V.; Eder, W. E.: *Einführung in die Konstruktionswissenschaft*. Berlin: Springer-Verlag, 1992.
- /Irl-99/ Irlinger, R.: *Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung*. In: Konstruktionstechnik München, Band 31. Aachen: Shaker Verlag, 1999. - zugl. Dissertation. TU München, 1998.
- /Klix-92/ Klix, F.: *Die Natur des Verstandes. Werden und Wirken menschlicher Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe, 1992.
- /Kol-94/ Koller, R.: *Grundlagen für den Maschinenbau: Grundlage zur Neu- und Weitergestaltung technischer Produkte mit Beispielen*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1994.
- /Kol-98/ Koller, R.: *Konstruktionslehre für den Maschinenbau - 4. neubearbeitete und erweiterte Auflage*. Berlin: Springer-Verlag, 1998.
- /Lev-66/ Levenshtein, V. I.: *Binary Codes Capable of Correcting Deletions, Insertions and Reversals*. In: Soviet Physics-Doklady 10 (1966), Nr. 8, S. 707-710
- /Lind-91/ Lind, M.: *Representations and Abstractions for Interface Design Using Multilevel Flow Modelling*. In: Weir, G. R. S. (Ed.) ; Atly, J. L. (Ed.): *Human-Computer Interaction and Complex Systems*. London: Academic Press, 1991, S. 223-243
- /LuKrTe-00/ Luczak, H.; Krause, F.-L., Tegel, O.: *Arbeitsorientierte Analyse und Gestaltung rechnerunterstützter, produktmodellierender Konstruktionssysteme*. Abschlußbericht des DFG-Forschungsvorhaben Lu 373/17-2, Kr 785/10-2, TE 222/4-1, TU Berlin, 2000

- /Müll-90/ Müller, J.: *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften. Systematik, Heuristik, Kreativität*. Berlin: Springer, 1990.
- /Müll-91/ Müller, J.: *Akzeptanzbarrieren als berichtigte und ernst zunehmende Notwehr Kreativer Konstrukteure*. In: Hubka, V. (Hrsg.): *Proceedings of the 1991 International Conference on Engineering Design*. Schriftenreihe WDK 20. Zürich: Heurista 1991, S. 769-776.
- /Müll-95/ Müller, K.: *Management für Ingenieure - Grundlagen, Techniken, Instrumnete*. Berlin: Springer, 1995.
- /PaBe-97/ Pahl, G.; Beitz, W.: *Konstruktionslehre - Methoden und ihre Anwendung*. 4. Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- /Pfli-91/ Pflicht, W.: *Wirtschaftlichkeit des variablen Informations- und Dokumentationssystems (VIDOS) auf der Basis von DIN-Normen*. DIN-Mitteilungen, 67, 1991, S. 257-264.
- /Ras-85/ Rasmussen, J.: *The Role of Hierarchical Knowledge Representation in Decisionmaking and System Management*. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-15 (1985), Nr. 2, S. 234-243
- /RaPeGo-94/ Rasmussen, J. ; Pejtersen, A. M. ; Goodstein, L. P.: *Cognitive Systems Engineering*. New York: John Wiley, 1994.
- /Rod-91/ Rodenacker, W.G.: *Methodisches Konstruieren*. 4. Aufl. Berlin: Springer, 1991.
- /Rot-95/ Rothe, H.J.: *Wissensorientierte Unterstützungssysteme*. IN: Hacker, W.; Rothe, H.-J.; Wandke, H.; Ziegler, J.: *Entwicklung und Einsatz wissensorientierter Unterstützungssysteme*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 1995.
- /Roth-88/ Roth, K.: *Übertragung von Konstruktionsintelligenz an den Rechner*. In: *VDI-Bericht*, Nr. 700.1: *Datenverarbeitung in der Konstruktion - 88*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1988, S. 49-70.
- /Roth-94/ Roth, K.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. Band 2, erweiterte und neu gestaltete Auflage, Berlin: Springer-Verlag, 1994.
- /Roth-00/ Roth, K.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Bd. 1. Konstruktionslehre - 3. erw. u. neu gest. Auflage*. Berlin: Springer-Verlag, 2000.
- /Sch-04/ Schmidt, L.: *Ein Cognitive-Engineering-Ansatz zur Unterstützung der Produktentwicklung*. Aachen: Shaker Verlag, 2004 - zugl. Diss. Technische Hochschule Aachen, 2004
- /ScHa-98/ Schroda, F.; Hacker, W.: „Über das Ende wird am Anfang entschieden“ : *Die Analyse der Anforderungsstruktur schöpferischer konstruktiver Arbeitsaufgaben*. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* (1998)
- /ScLu-00/ Schmidt, L.; Luczak, H.: *Knowledge Representation for Engineering Design Based on a Cognitive Model*. In: *Proceedings of the 14 th Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society (San Diego (CA) 2000)*. Vol. 1 Santa Monica (CA): Human Factors and Ergonomic Society, S. 623-626.

- /SDSTL-00/ Schmidt, L.; Düselmann, S.; Schlick, C.; Tegel, O.; Luczak, H.: A new Approach to Computer-Supported Systematic Design - an Empirical Study. In: Proceedings of the 6th International Design Conference (Dubrovnik 2000). Zagreb: CTT, Fakultet strojarstva brodogradnje Sveucilista, 2000, S. 44-48
- /Siv-90/ Sieverding, H.: *Methoden und Hilfsmittel zum Modellübergang beim rechnerunterstützten methodischen Konstruieren*. Dissertation, TU Braunschweig, 1990
- /VDI 2218/ VDI 2218 (Entwurf): *Feature-Technologie*. Berlin: Beuth-Verlag, 1999.
- /VDI 2219/ VDI 2219 (Entwurf). *Datenverarbeitung in der Konstruktion - Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen*. Berlin: Beuth Verlag, 1999.
- /VDI 2221/ VDI-Richtlinie 2221: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Berlin: Beuth Verlag, 1993.
- /VDI 2223/ VDI-Richtlinie - Entwurf: *Methodisches Entwerfen technischer Systeme*. Berlin: Beuth Verlag, 1999.
- /VDI 2225/ VDI-Richtlinie 2225-3: *Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Vereinfachte Kostenermittlung*. Blatt 3, Ausgabe 1998, Beuth-Verlag.
- /VDI 2243/ VDI-Richtlinie 2243: *Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte - Grundlagen und Regeln*. Ausgabe 1993, Berlin: Beuth Verlag.
- /WeBr-97/ Welp, E.G.; Braun, P.: *Semantische und systematische Kopplung kommerzieller CAD- und Berechnungssysteme durch einen objektorientierten Integrationsprozess*. In: VDI-Berichte, Nr. 1357: Neue Generation von CAD/CAM-Systemen - erfüllte und enttäuschte Erwartungen. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997, S. 125-142.
- /Wel-95/ Wellniak, R.: *Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz*. München, Wien: Hanser Verlag, 1995 - zugl. Dissertation TU-München, 1994
- /Wög-43/ Wögerbauer, H.: *Die Technik des Konstruierens*. 2. Aufl. München: Oldenbourg, 1943.
- /WoHo-87/ Woods, D. D. ; Hollnagel, E.: *Mapping cognitive demands in complex problem-solving worlds*. In: International Journal of Man-Machine Studies 26 (1987), S. 257-275

Liste der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Diplomarbeiten

- Dömer, T.: *Überarbeitung und exemplarische Implementierung eines Konzepts zur rechnerunterstützten Erfassung und Handhabung von Anforderungen.* Unveröffentlichte Diplomarbeit am IMK/KT der TU Berlin (industrielle Kooperation) 2000.
- Kiesler, M.: *Einsatz von Multi-Media-Techniken für Teamarbeit in der Produktentwicklung.* Unveröffentlichte Diplomarbeit am IMK/KT der TU Berlin 1999.
- Pishwa, L.: *Ermitteln von Anforderungen an Konstruktionssysteme und Erarbeiten von Lösungsstrategien zu deren Realisierung.* Unveröffentlichte Diplomarbeit am IMK/KT der TU Berlin 1997.
- Scheithauer, I.: *Methodische Entwicklung eines Konzeptes für den effizienten Zugriff auf Versuchsergebnisse.* Unveröffentlichte Diplomarbeit am IMK/KT der TU Berlin (industrielle Kooperation) 1998.
- Weigt, M.: *Analyse wissenschaftlicher Ansätze zur Unterstützung der Arbeit des Konstrukteurs in Bezug auf die Möglichkeit ihrer rechnerischen Umsetzung.* Unveröffentlichte Diplomarbeit im Fachgebiet Konstruktionstechnik und Entwicklungsmethodik, Institut für Maschinenkonstruktion der TU Berlin 2001.

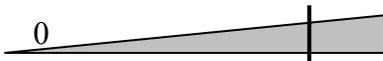
9 Inhaltsverzeichnis des Anhangs

I	FRAGEBOGEN	1
II	ERGEBNISSE DER ERHEBUNG.....	10

I Fragebogen

Alle Daten werden vertraulich behandelt und anonym ausgewertet, so daß weder ein Zusammenhang zu Ihrer Person noch zu Ihrem Unternehmen herstellbar ist.

Bitte markieren Sie Ihre Antwort durch einen senkrechten Strich, wenn eine Skala vorgegeben ist.

z. B.  0 1

A Zu Person und Unternehmen

1. Alter: ____ Jahre
2. In welcher Abteilung sind Sie tätig? _____
3. Was ist Ihr zentrales Aufgabengebiet? Nennen Sie die drei zeitintensivsten Teilbereiche dieses Gebietes.

Aufgabengebiet: _____

Teilbereich 1: _____

Teilbereich 2: _____

Teilbereich 3 : _____

4. Wie lange sind Sie in diesem Bereich schon tätig? ____ Jahr(e)
5. Welche Ausbildung haben Sie für diese Tätigkeit?

Studium TH / TU __ Fachrichtung: _____

Studium FH / BA __ Fachrichtung: _____

Berufsausbildung __ Fachrichtung: _____

andere _____

6. Haben Sie an speziellen Schulungen zum Rechnereinsatz teilgenommen?

Nein Ja, und zwar: _____

7. Wie umfangreich ist Ihre Erfahrung im Konstruktionsbereich?



8. Wie umfangreich ist Ihre Erfahrung im Umgang mit Rechnern?



9. Haben Sie Erfahrungen in der Entwicklung von Software?



10. Inwieweit ist die Entwicklungsabteilung räumlich verteilt?

alles an einem Standort

an ____ Standorten in Europa

an ____ Standorten in Deutschland

an ____ Standorten weltweit

11. Wie viele Mitarbeiter umfaßt die Entwicklungsabteilung? ____ Mitarbeiter

12. Wie viele Mitarbeiter sind ungefähr an Ihrem Standort beschäftigt? ____ Mitarbeiter

B Zum derzeitigen Arbeitsumfeld

13. Welchen Anteil Ihrer Arbeitszeit benötigen Sie insgesamt zur Beschaffung von Informationen?



davon entfällt auf persönliche Kommunikation



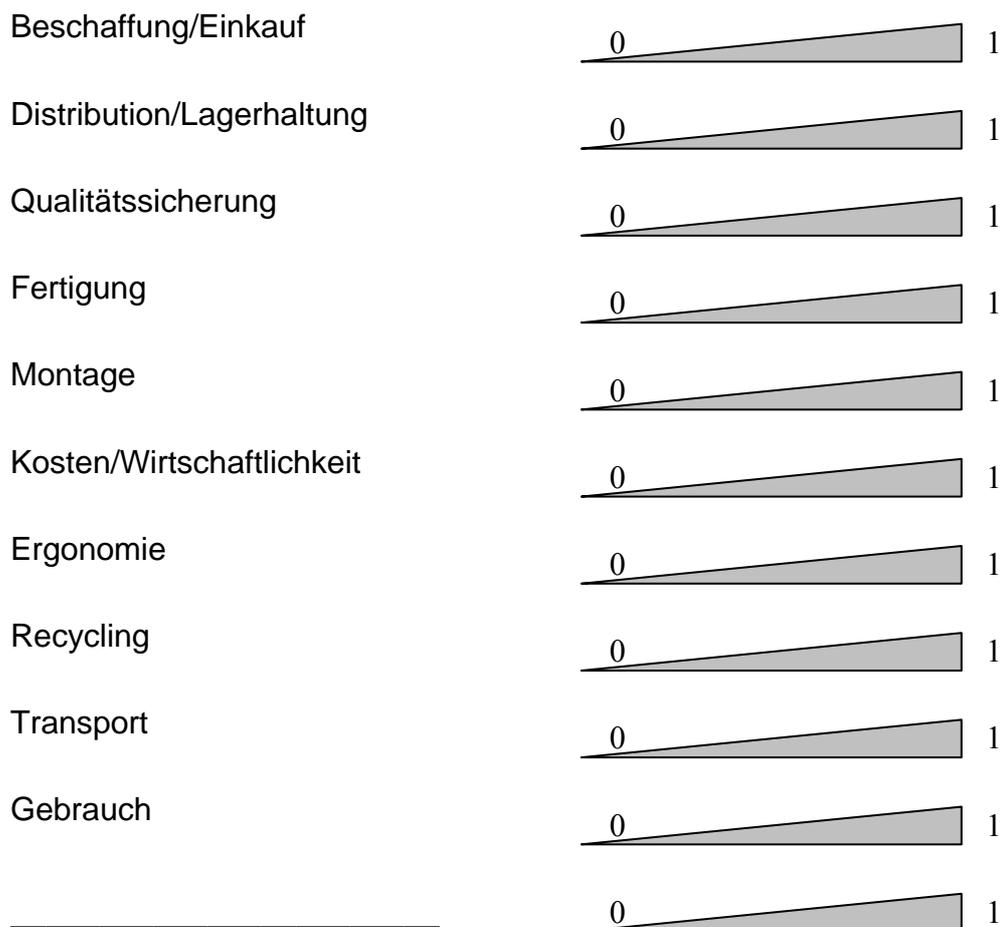
14. Mit wie vielen Personen haben Sie zwecks Informationsaustausch täglich Kontakt?

__ Person(en)

15. Mit wie vielen Partnern arbeiten Sie an gemeinsamen Projekten? ____ Partner(n)

16. Welcher Art sind die von Ihnen benötigten Informationen? Nennen Sie drei typische Beispiele:

17. Wie stark ist der Einfluß von Informationen aus folgenden Bereichen auf die Konstruktionstätigkeit?



18. Wie häufig erfolgt der Zugriff auf Informationen



19. Erhalten Sie Ihre Informationen auf Anfrage / unaufgefordert

aus lokalen Datenbanken		1	
aus Online- Datenbanken		1	
von CD-ROMs		1	
aus dem Internet		1	
aus gedruckten Dokumenten		1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
telefonisch		1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
aus persönlichen Gesprächen		1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
_____		1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

20. Wie bewerten Sie die derzeitige Unterstützung bei der Informationsbeschaffung?  1

21. Stellt es ein Problem dar, aus der Menge der vorhandenen Informationen die benötigte auszuwählen?  1

22. Ist die Ihnen zur Verfügung stehende Breite der Informationen ausreichend (alle Gebiete abgedeckt)?  1

23. Sind die zur Verfügung stehenden Informationen detailliert genug?  1

24. Wie häufig sind die für Sie relevanten Informationen pünktlich verfügbar?  1

25. Sind Sie oder andere Konstrukteure an der Planung der Arbeitsschritte beteiligt?  1

26. Ist der Ablauf der Arbeitsschritte für Sie transparent?  1

27. Wie häufig sind Änderungen des Ablauf der Arbeitsschritte während der Bearbeitung?  1

28. Werden Sie bei der Auswahl spezieller Anwendungsfunktionen ausreichend unterstützt?



29. Kommt es beim Rechnereinsatz häufig zu Schnittstellenproblemen (z. B. inkompatible Datenformate, Medienbrüche)?



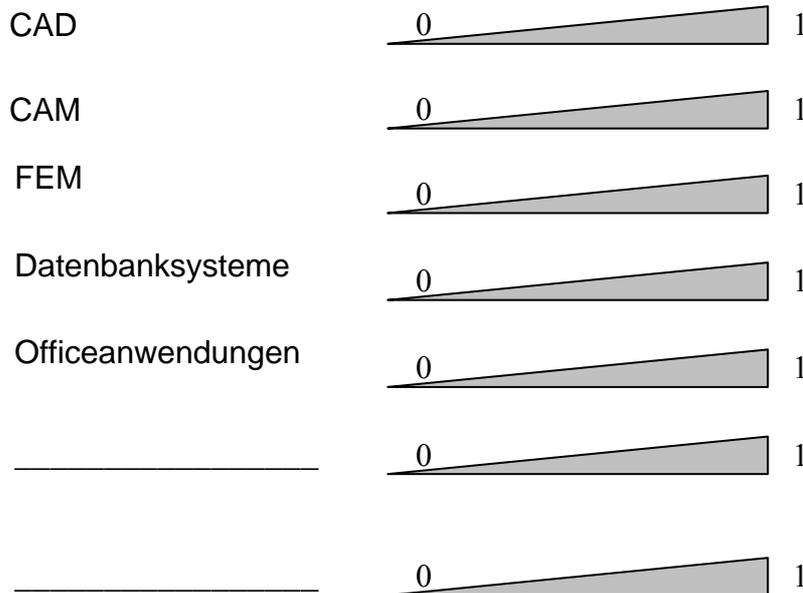
30. Zu welchen Zeitanteilen Ihrer Arbeit am Rechner setzen Sie folgende Software ein? Haben Sie diese Software selbst für Ihren Anwendungsbereich konfiguriert, wurde sie für Sie konfiguriert oder ist sie nicht speziell konfiguriert?

	Zeitanteil		selbst wurde nicht konfiguriert konfiguriert konf.
CAD	0  1		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CAM	0  1		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
FEM	0  1		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Datenbanksysteme	0  1		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Officeanwendungen	0  1		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
_____	0  1		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
_____	0  1		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

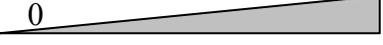
31. Bitte schätzen Sie die Komplexität dieser Programme ein und benennen Sie den Anteil von Funktionen, die Sie davon regelmäßig nutzen.

	Komplexität_ davon regelmäßig genutzte Fkt.	
CAD	0  1	0  1
CAM	0  1	0  1
FEM	0  1	0  1
Datenbank- systeme	0  1	0  1
Office- anwendungen	0  1	0  1
_____	0  1	0  1
_____	0  1	0  1

32. Wie beurteilen Sie die Ergonomie der eingesetzten Software?



C Zu Idee und Konzept

33. Greift das Konzept ein Problemfeld auf, in dem in der Praxis Verbesserungspotential besteht? 
34. Für wie sinnvoll halten Sie eine durchgängige Struktur der gesamten rechnerbasierten Entwicklungsumgebung? 
35. Was halten Sie von der im Prototypen vorgestellte Struktur hinsichtlich der Unterscheidung
- verschiedener Abstraktionsstufen 
- verschiedener Zerlegungsstufen des Gesamtsystems 
36. Können Sie sich vorstellen, mit einer kontextsensitiven Anwendungsumgebung zu arbeiten? 
- bei der Informationssuche 
- bei der Werkzeugauswahl

37. Ist Ihnen das grundlegende Konzept deutlich geworden? 
38. Empfinden Sie die kontextabhängige Bereitstellung von Zusatzinformationen als Entscheidungsunterstützung? 
39. Lenkt Sie die Bereitstellung von Zusatzinformationen von der eigentlichen Konstruktionsaufgabe ab? 
40. Verbessern die Zusatzinformationen die Bewertungsmöglichkeiten konkurrierender Prozeß-/Produktvarianten? 
41. Wie bewerten Sie insgesamt das vorgestellte Konzept? 

D Zur prototypischen Umsetzung

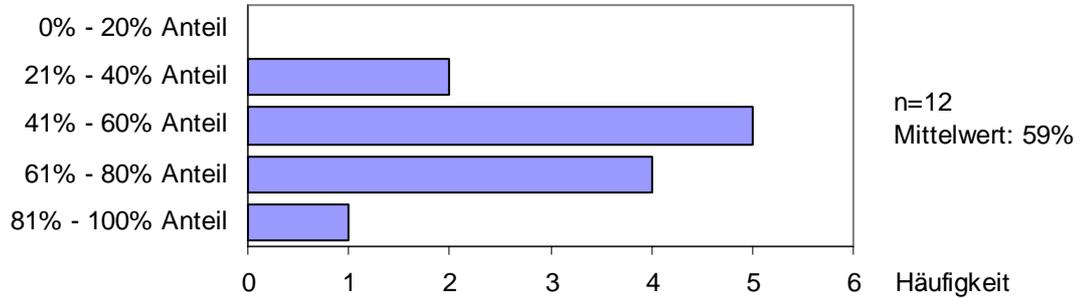
42. Wie bewerten Sie die Dreiteilung der im Prototypen dargestellten Oberfläche in Arbeitsbereich, Werkzeugkasten und Navigationsleiste? 
43. Wie beurteilen Sie die Verbindung zwischen den Objekten auf Arbeitsfläche und den zugeordneten Informationen? 
44. Wie bewerten Sie die vorgeführten Integrationsmöglichkeiten für ursprünglich nicht digital verfügbarer Daten? 
45. Halten Sie die aufgabenabhängige Vorauswahl der bereitgestellten Werkzeuge für hilfreich? 
46. Verbessert sich das Aufwand/Nutzenverhältnis im Vergleich zur gewohnten Vorgehensweise? 
47. Könnte dieser Lösungsansatz prinzipiell auch in Ihrer Arbeitsumgebung eingesetzt werden? 

E Interview

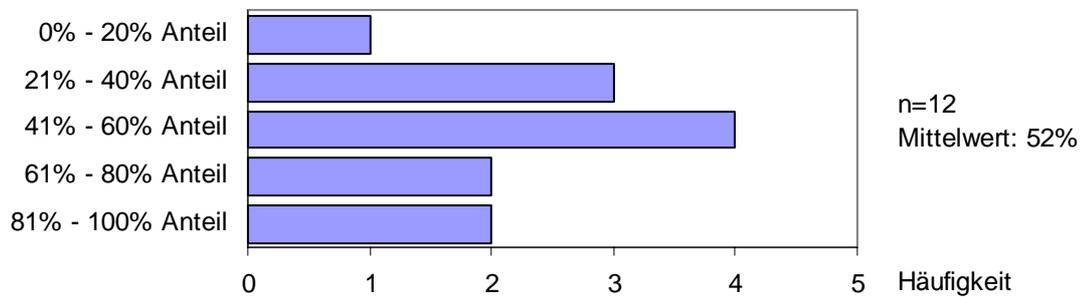
- Ist Ihnen das Konzept schlüssig dargestellt worden? Abstraktionshierarchie
- Welche für Sie relevanten Informationsbereiche müßten noch ergänzt werden?
- Welche Defizite herrschen bei der Rechnerunterstützung im Produktentwicklungsprozeß? Haben Sie dazu ggf. Verbesserungsvorschläge?
- Wo sehen Sie besonders weiteren Entwicklungsbedarf?
- Kennen Sie vergleichbare Ansätze

II Ergebnisse der Erhebung

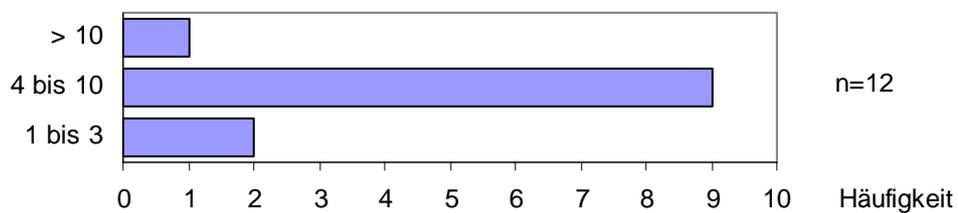
13. Welchen Anteil Ihrer Arbeitszeit benötigen Sie insgesamt zur Beschaffung von Informationen?



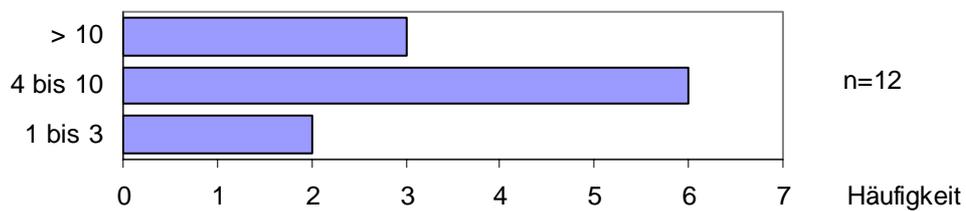
davon entfällt auf persönliche Kommunikation



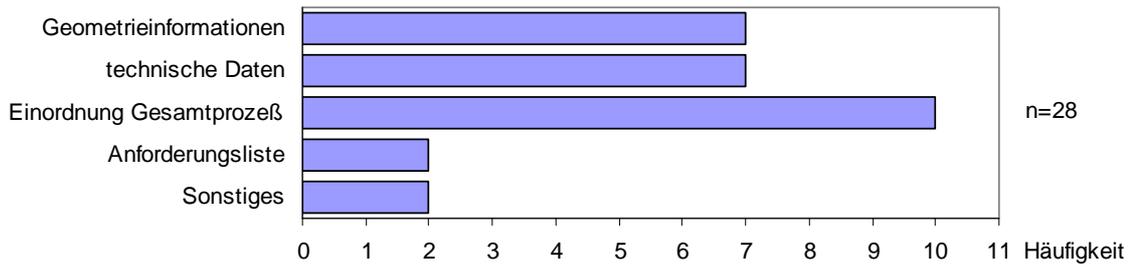
14. Mit wie vielen Personen haben Sie zwecks Informationsaustauschs täglich Kontakt?



15. Mit wie vielen Partnern arbeiten Sie an gemeinsamen Projekten?

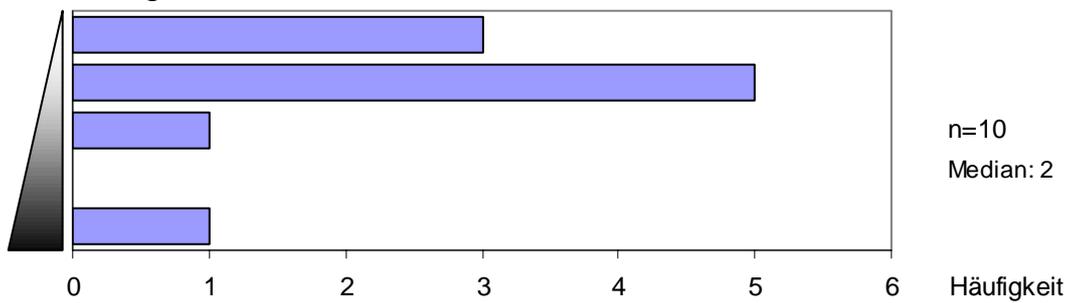


16. Welcher Art sind die von Ihnen benötigten Informationen?
Nennen Sie drei typische Beispiele!

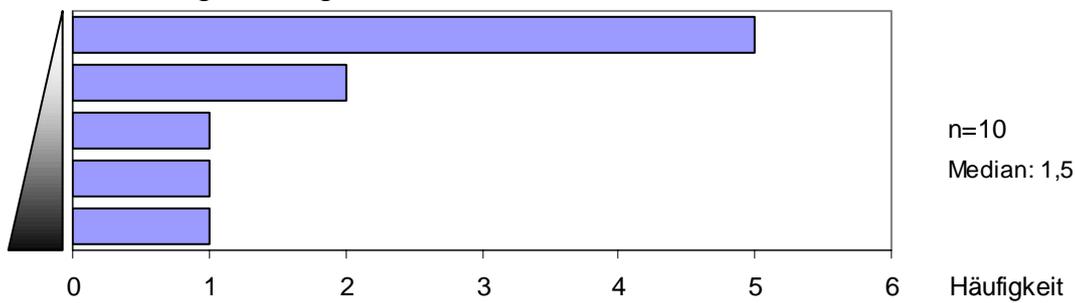


17. Wie stark ist der Einfluss von Informationen aus folgenden Bereichen auf die Konstruktionstätigkeit?

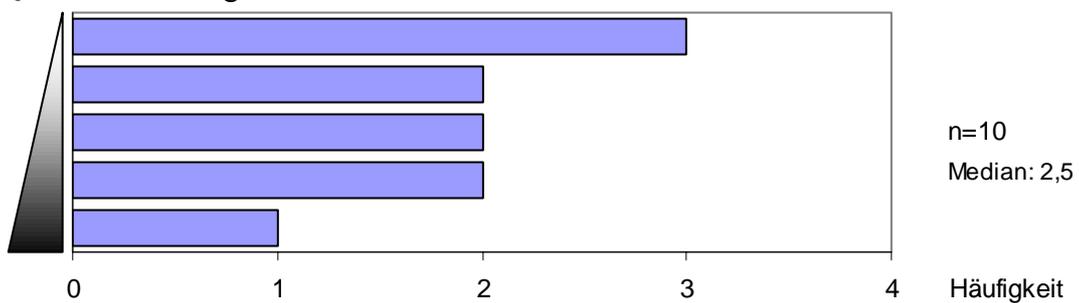
Beschaffung/Einkauf



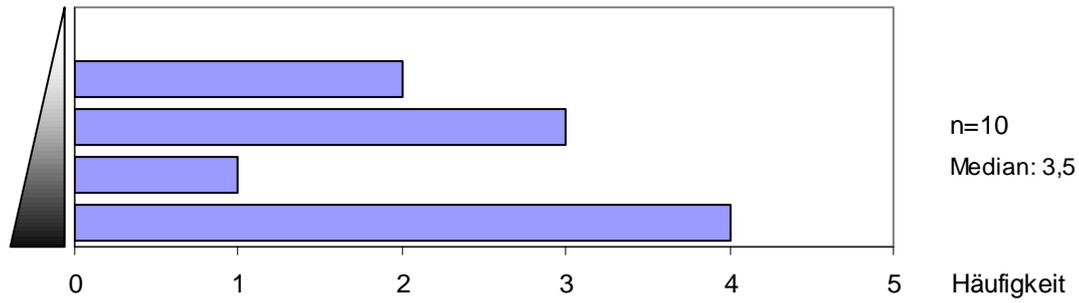
Distribution/Lagerhaltung



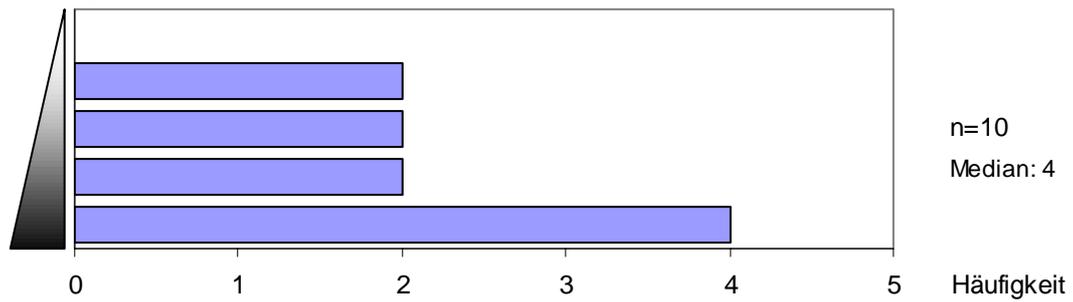
Qualitätssicherung



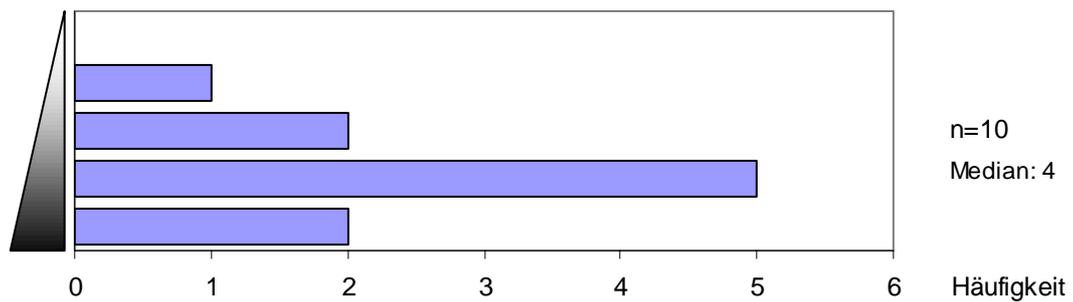
Fertigung



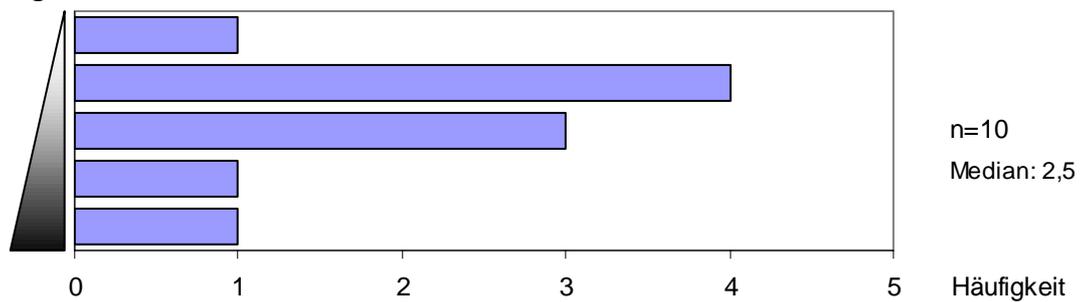
Montage



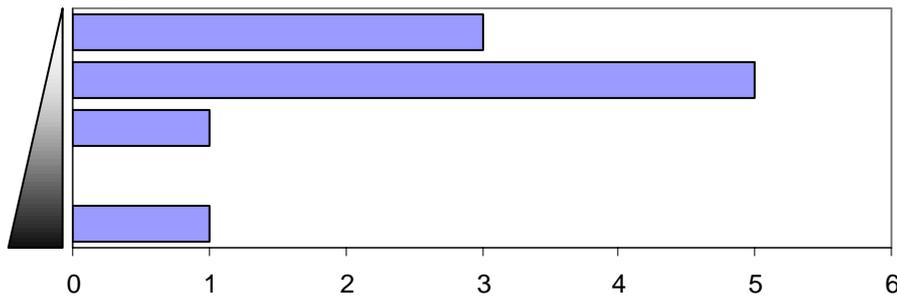
Kosten/Wirtschaftlichkeit



Ergonomie



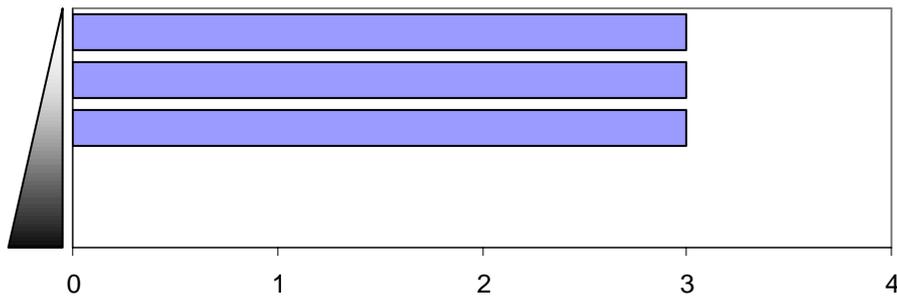
Recycling



n=10
Median: 2

Häufigkeit

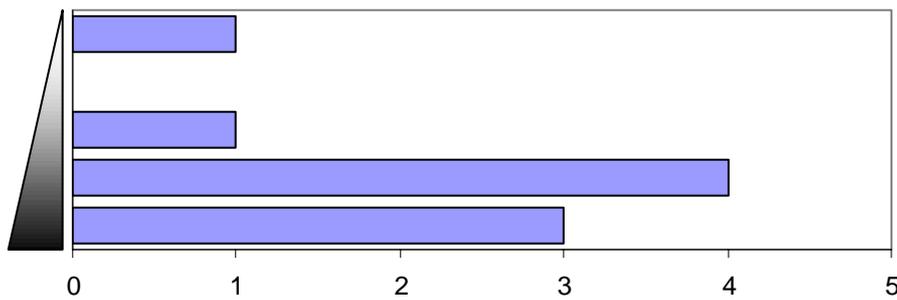
Transport



n=9
Median: 2

Häufigkeit

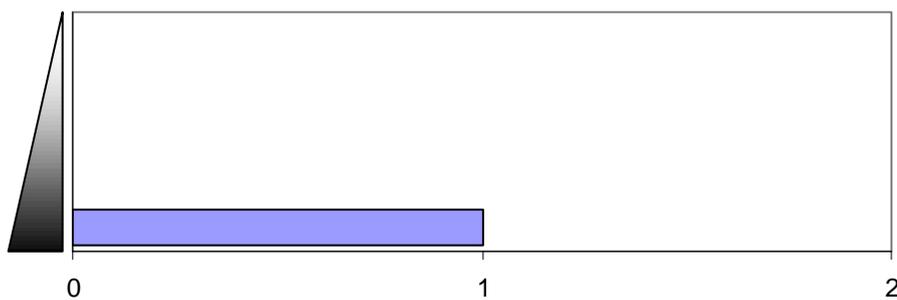
Gebrauch



n=9
Median: 4

Häufigkeit

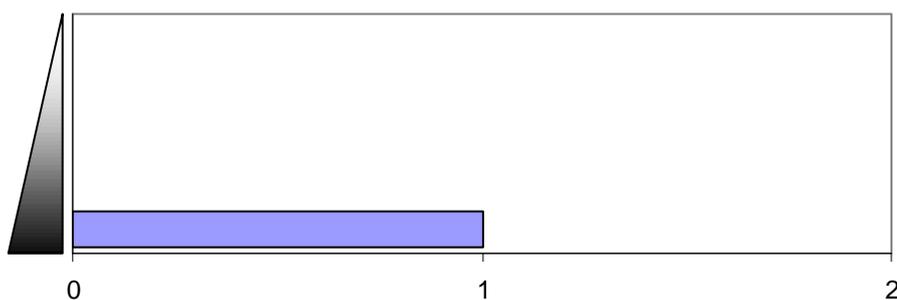
Sicherheit



n=1
Median: 5

Häufigkeit

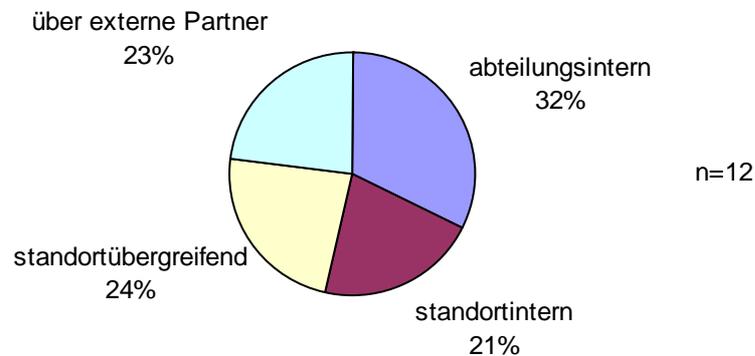
Normen/Vorschriften



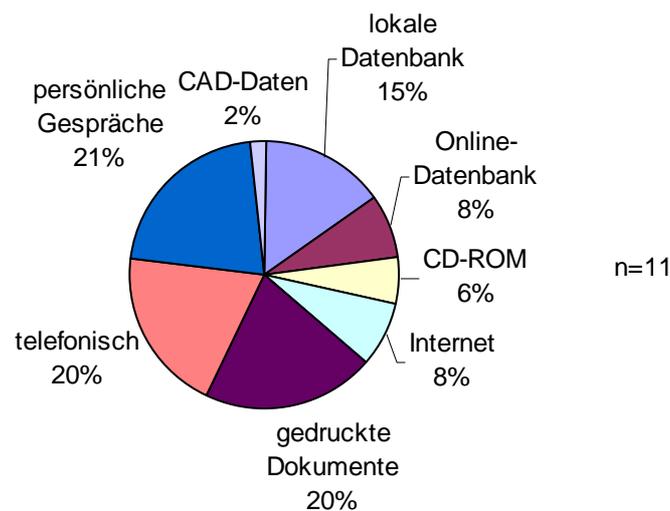
n=1
Median: 5

Häufigkeit

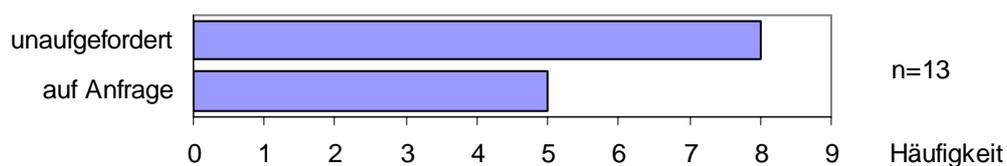
18. Wie häufig erfolgt der Zugriff auf Informationen abteilungsintern, standortintern, standortübergreifend, über externe Partner?



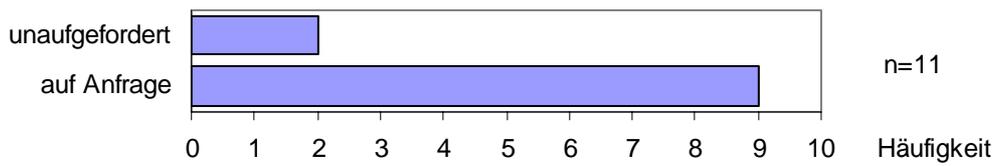
19. Erhalten Sie Ihre Informationen aus lokalen Datenbanken, aus Online-Datenbanken, von CD-ROMs, aus dem Internet, aus gedruckten Dokumenten, telefonisch, aus persönlichen Gesprächen, sonstige Quellen?



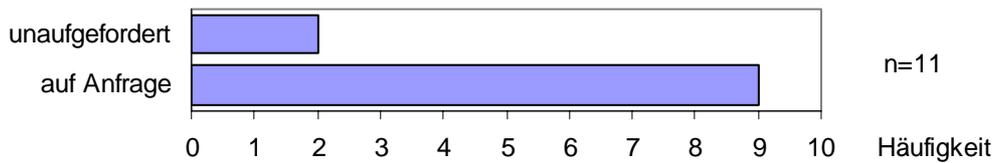
Erhalten Sie Ihre Information aus gedruckten Dokumenten unaufgefordert, auf Anfrage?



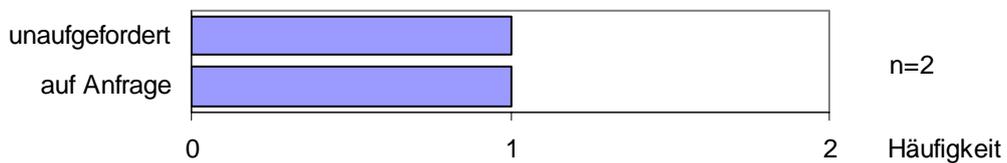
Erhalten Sie Ihre Information telefonisch unaufgefordert, auf Anfrage?



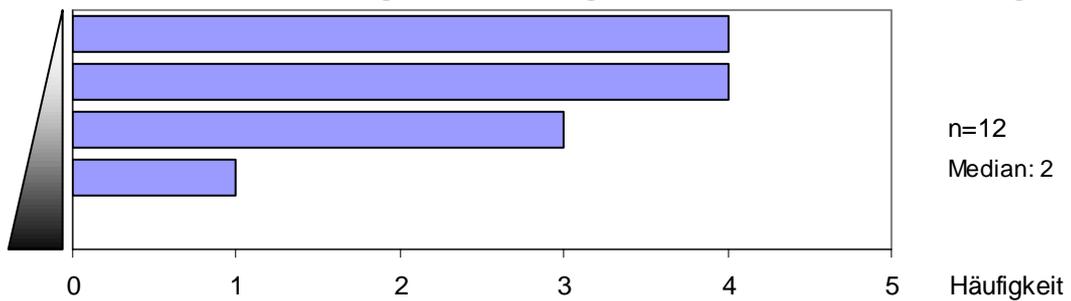
Erhalten Sie Ihre Information aus persönlichen Gesprächen unaufgefordert, auf Anfrage?



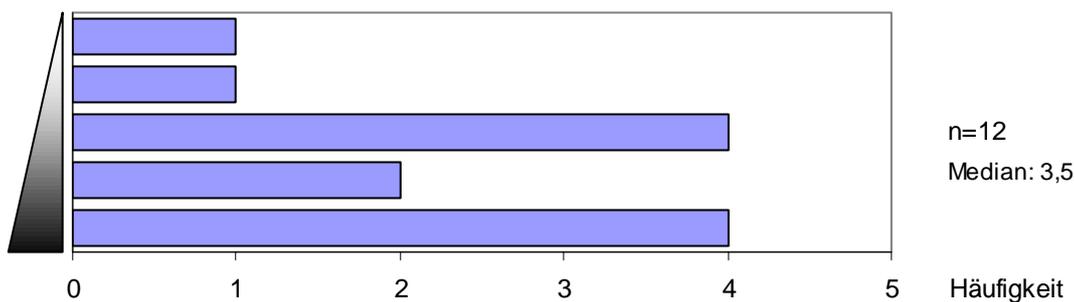
Erhalten Sie Ihre Information aus CAD-Daten unaufgefordert, auf Anfrage?



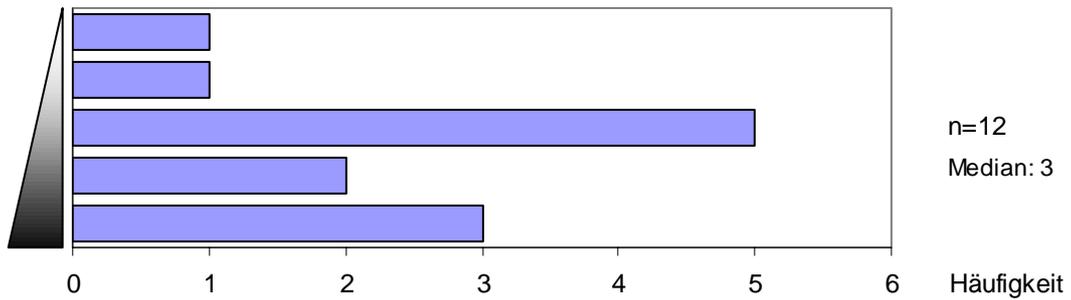
20. Wie bewerten Sie die derzeitige Unterstützung bei der Informationsbeschaffung?



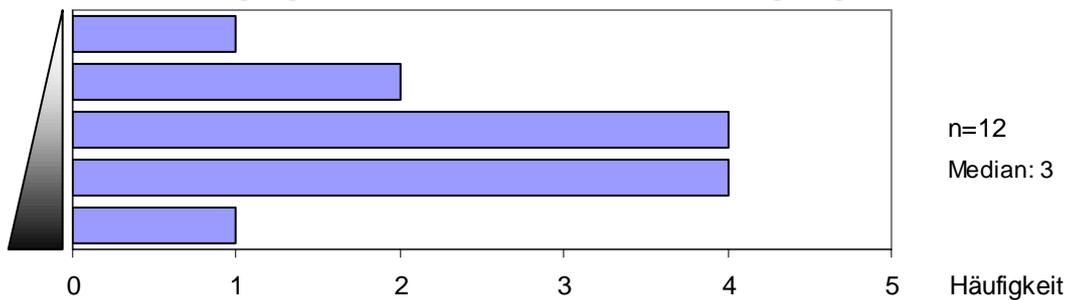
21. Stellt es ein Problem dar, aus der Menge der vorhandenen Informationen die benötigte auszuwählen?



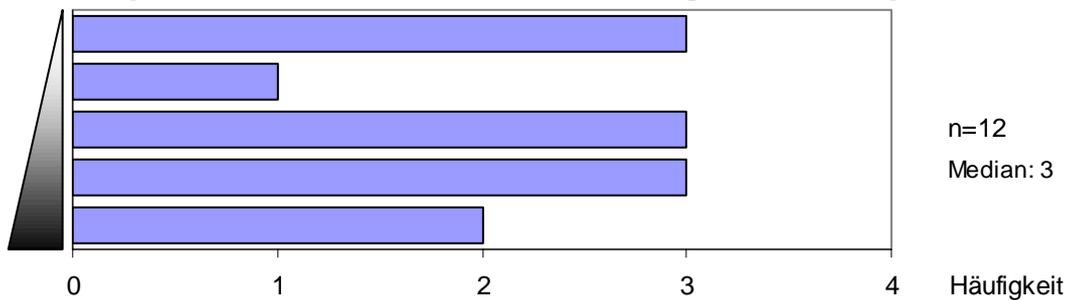
22. Ist die Ihnen zur Verfügung stehende Breite der Informationen ausreichend (alle Gebiete abgedeckt)?



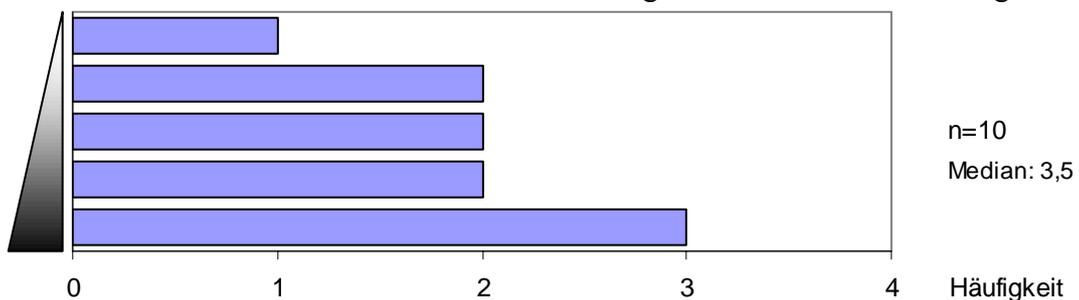
23. Sind die zur Verfügung stehenden Informationen detailliert genug?



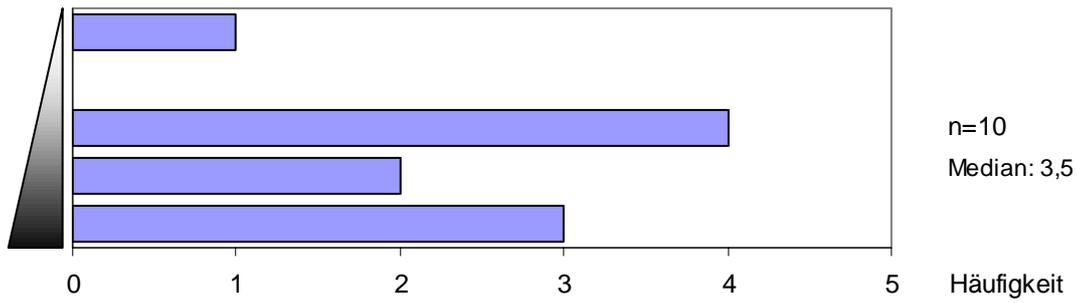
24. Wie häufig sind die für Sie relevanten Informationen pünktlich verfügbar?



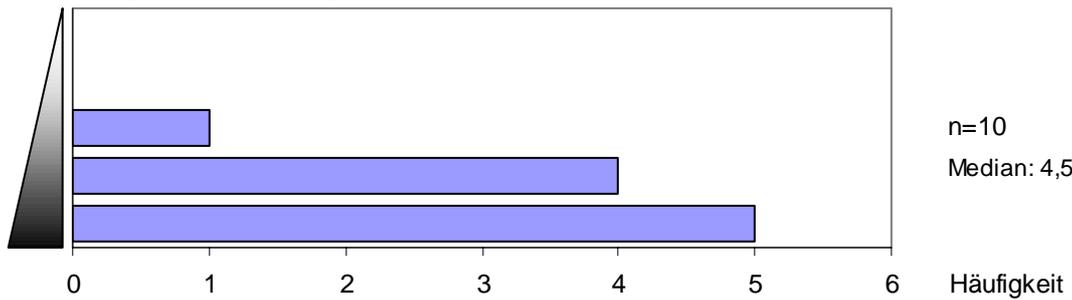
25. Sind Sie oder andere Konstrukteure an der Planung der Arbeitsschritte beteiligt?



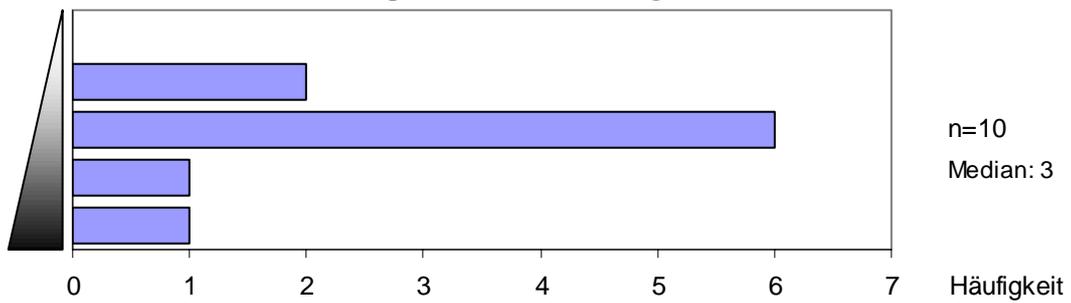
26. Ist der Ablauf der Arbeitsschritte für Sie transparent?



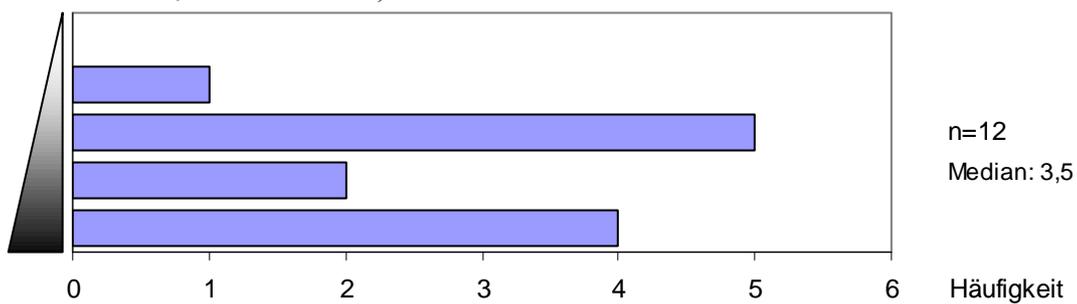
27. Wie häufig sind Änderungen des Ablauf der Arbeitsschritte während der Bearbeitung?



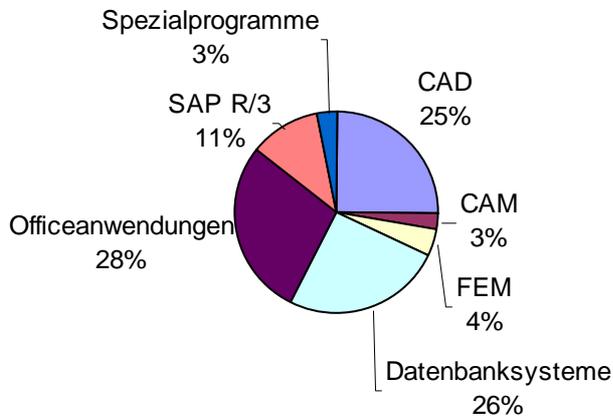
28. Werden Sie bei der Auswahl spezieller Anwendungsfunktionen ausreichend unterstützt?



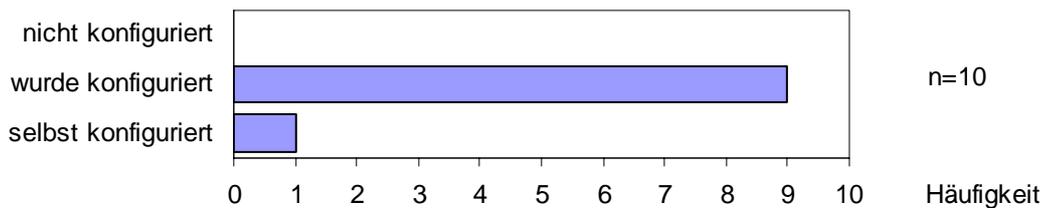
29. Kommt es beim Rechnereinsatz häufig zu Schnittstellenproblemen (z. B. inkompatible Datenformate, Medienbrüche)?



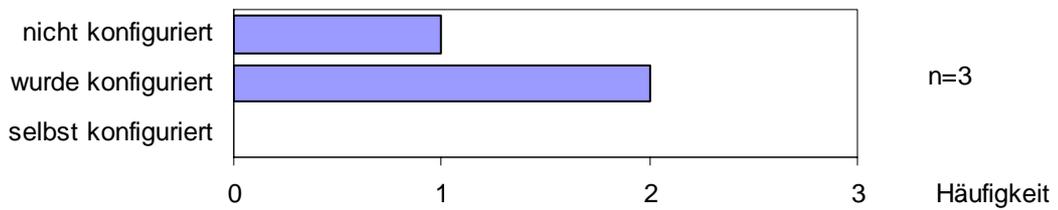
30. Zu welchen Zeitanteilen Ihrer Arbeit am Rechner setzen Sie folgende Software ein? Haben Sie diese Software selbst für Ihren Anwendungsbereich konfiguriert, wurde sie für Sie konfiguriert oder ist sie nicht speziell konfiguriert?



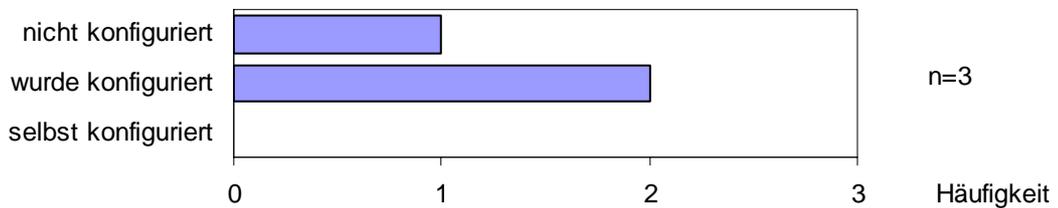
CAD



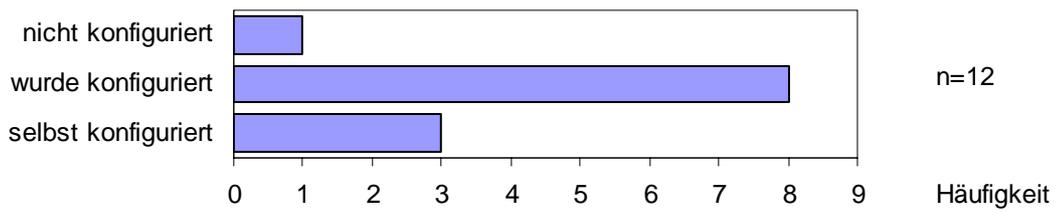
CAM



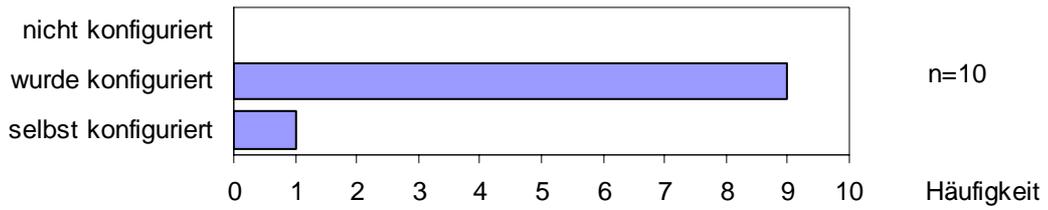
FEM



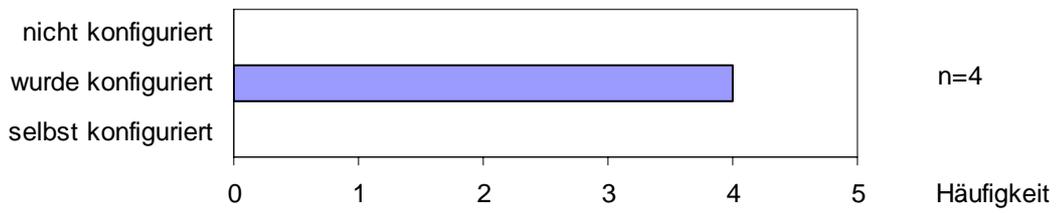
Datenbanksysteme



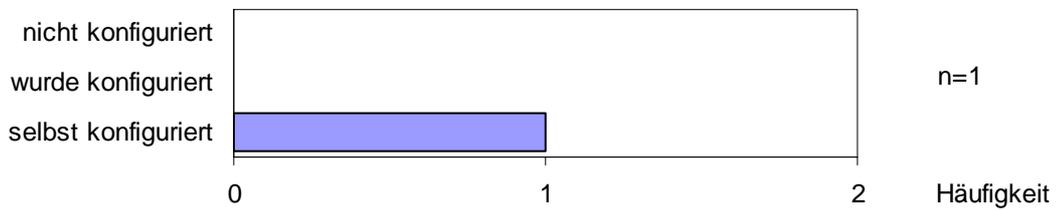
Officeanwendungen



SAP/R3

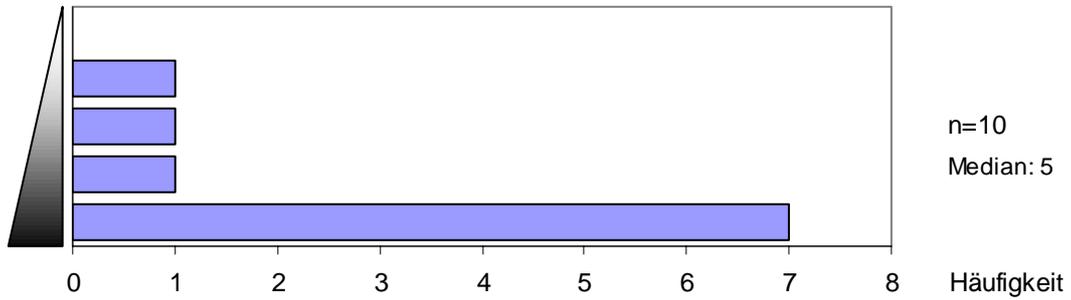


Spezialprogramme

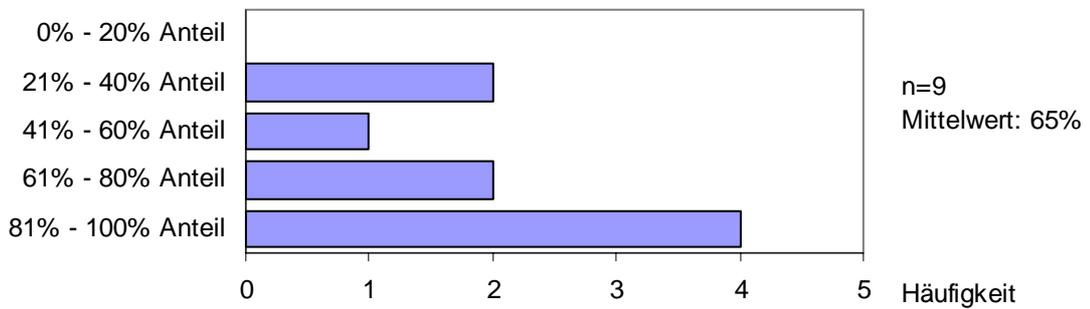


31. Bitte schätzen Sie die Komplexität dieser Programme ein und benennen Sie den Anteil von Funktionen, die Sie davon regelmäßig nutzen.

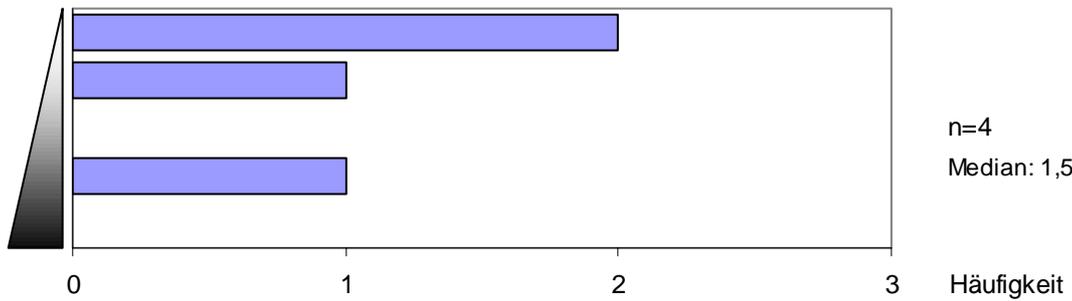
CAD Komplexität



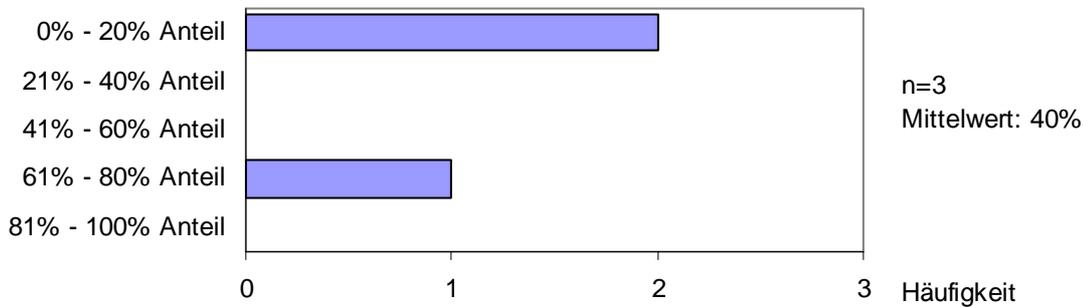
davon regelmäßig genutzte Funktionen



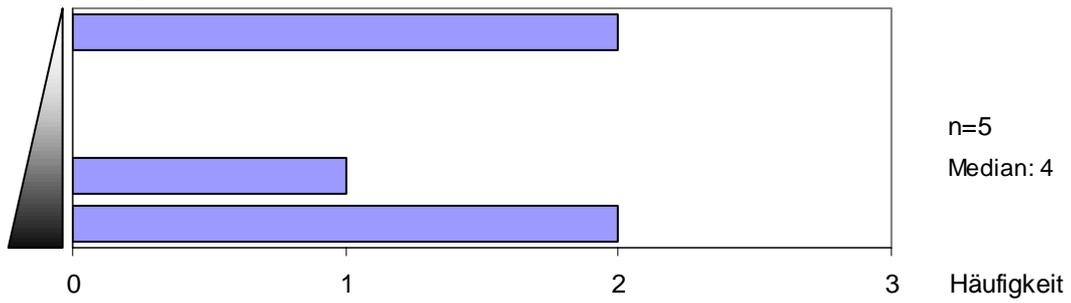
CAM Komplexität



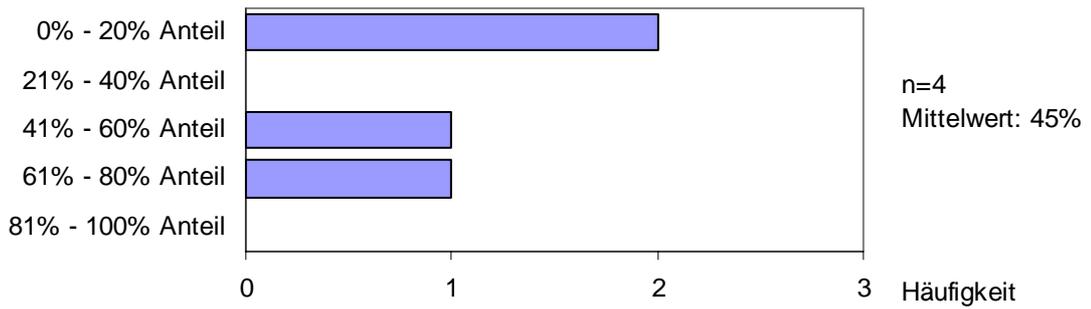
davon regelmäßig genutzte Funktionen



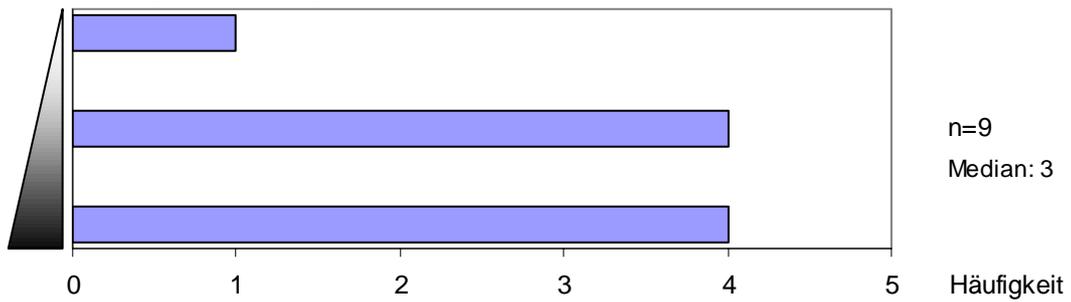
FEM Komplexität



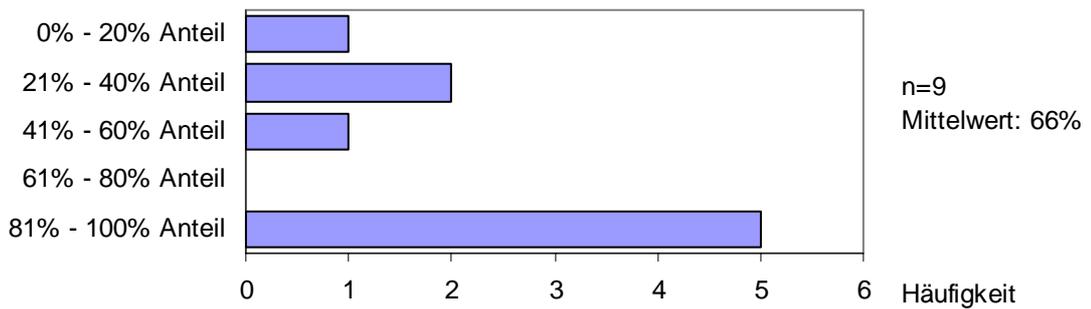
davon regelmäßig genutzte Funktionen



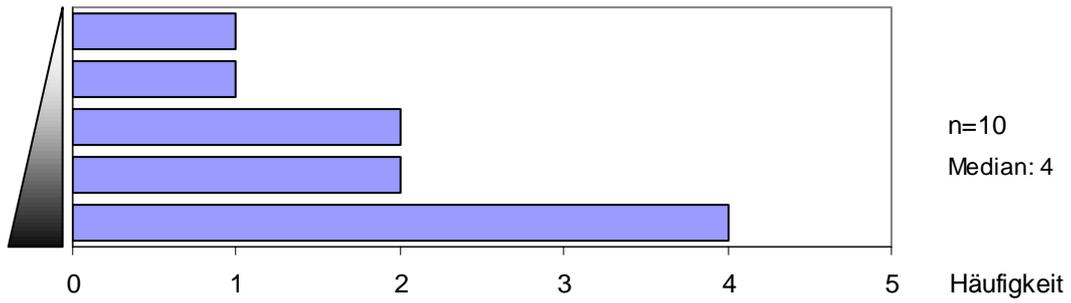
Datenbanksysteme Komplexität



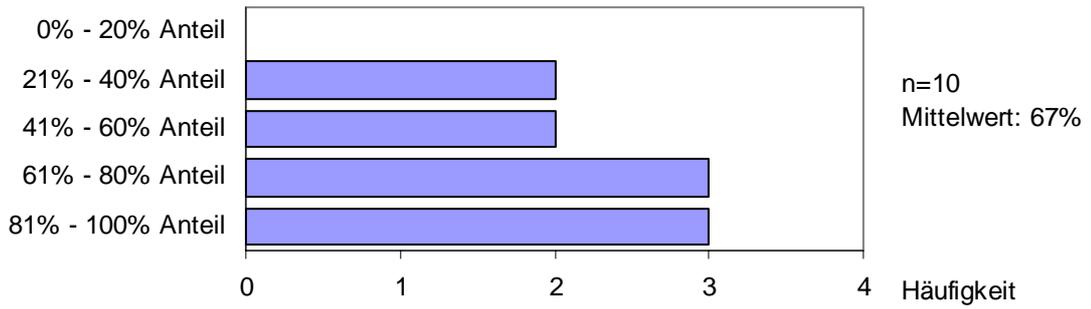
davon regelmäßig genutzte Funktionen



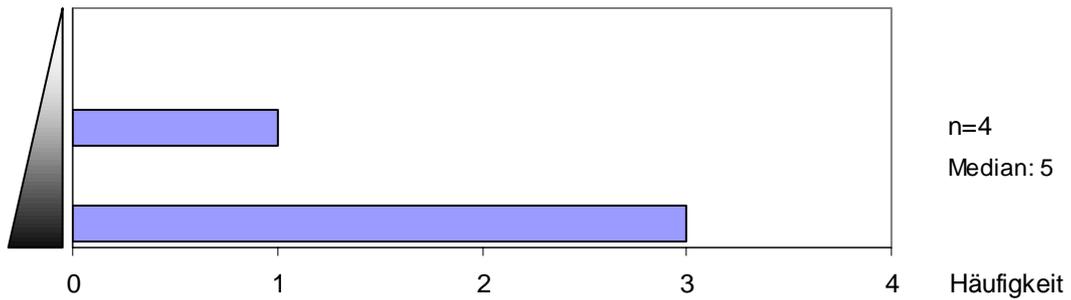
Officeanwendungen Komplexität



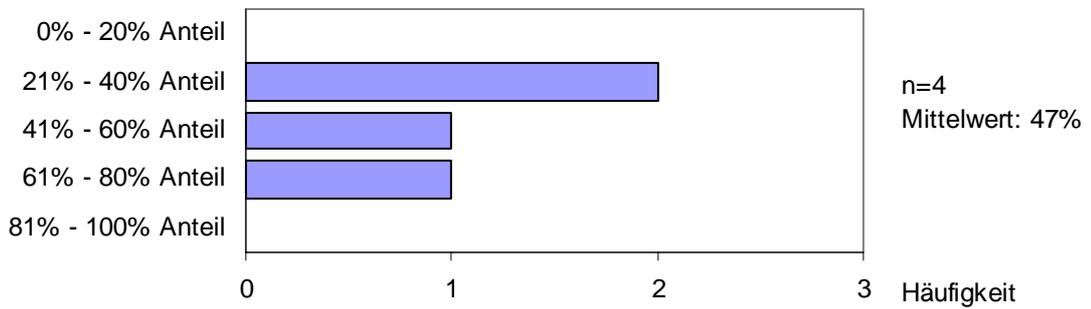
davon regelmäßig genutzte Funktionen



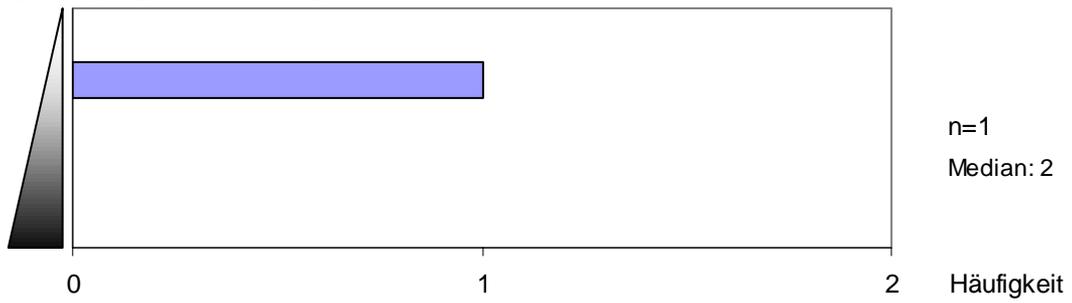
SAP/R3 Komplexität



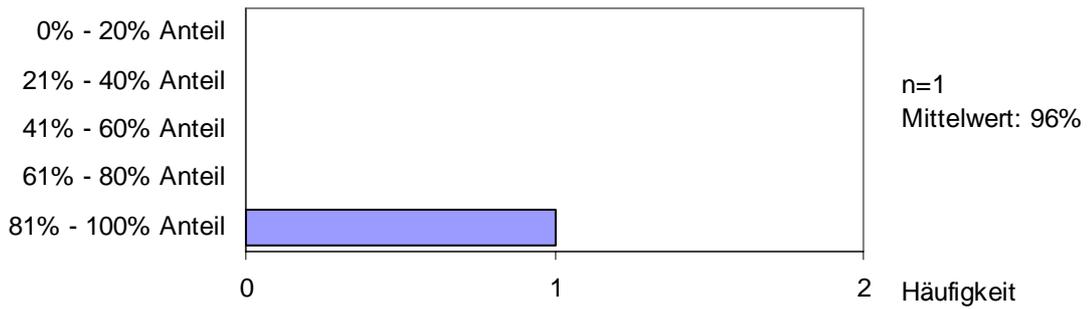
davon regelmäßig genutzte Funktionen



Spezialprogramme Komplexität

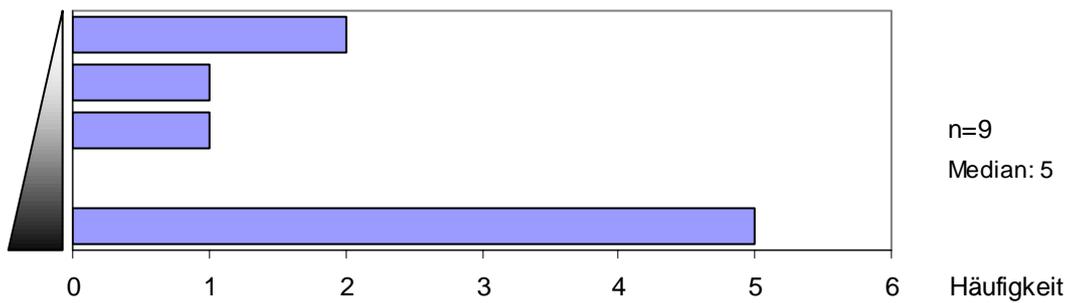


davon regelmäßig genutzte Funktionen

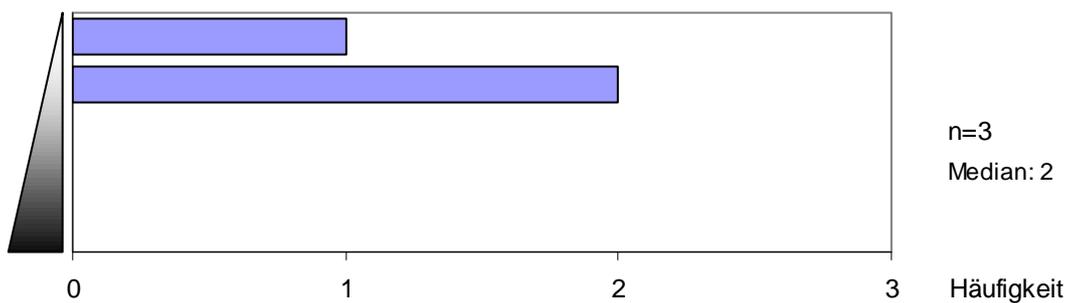


32. Wie beurteilen Sie die Ergonomie der eingesetzten Software?

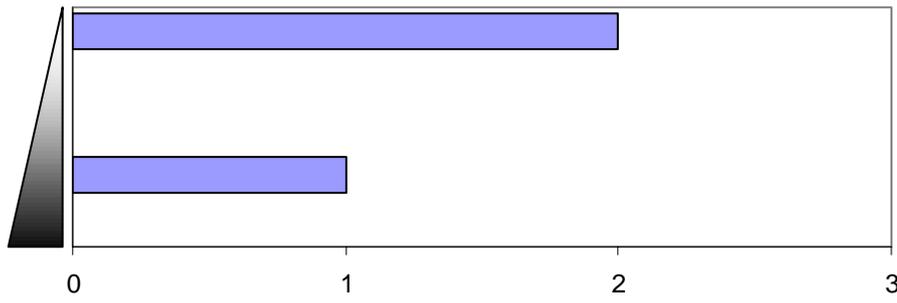
CAD



CAM



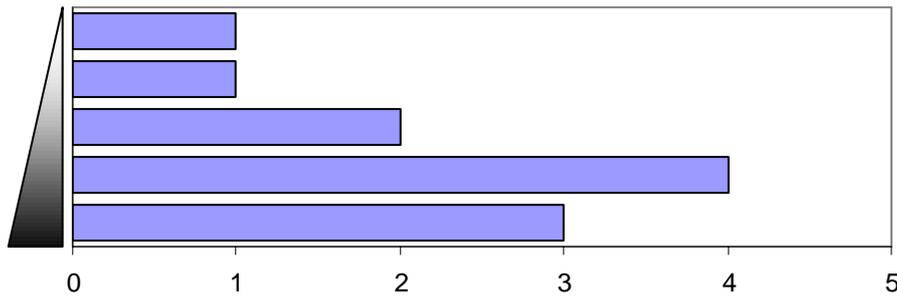
FEM



n=3
Median: 1

Häufigkeit

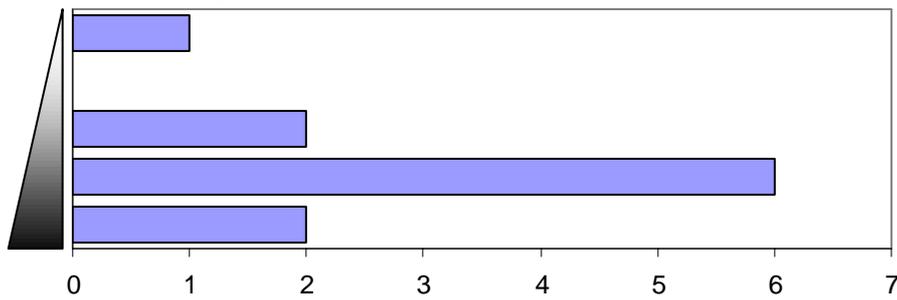
Datenbanksysteme



n=11
Median: 4

Häufigkeit

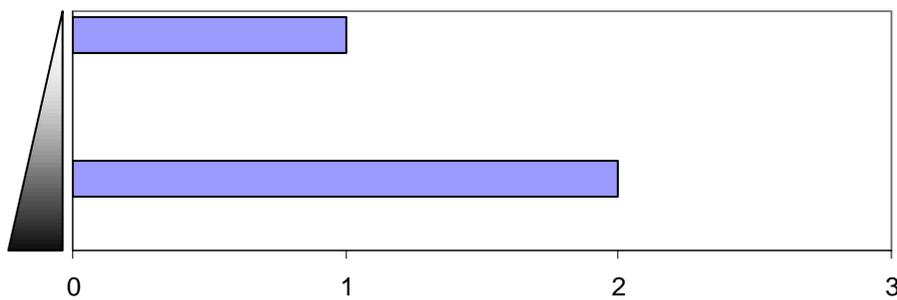
Officeanwendungen



n=11
Median: 4

Häufigkeit

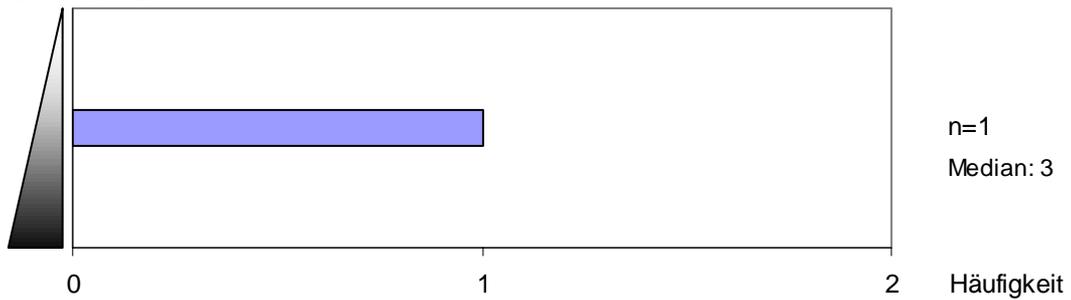
SAP/R3



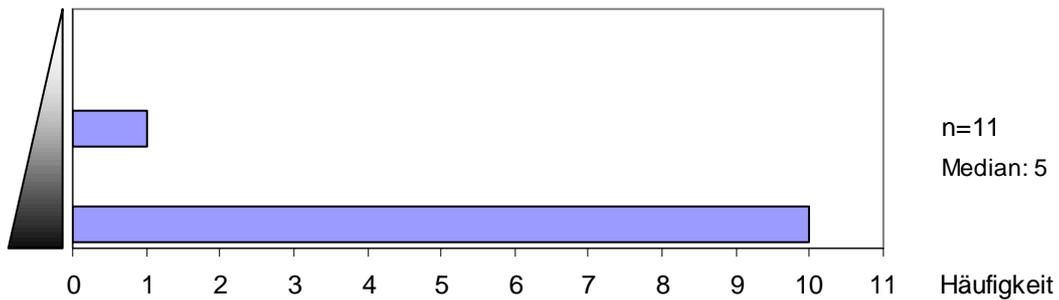
n=3
Median: 4

Häufigkeit

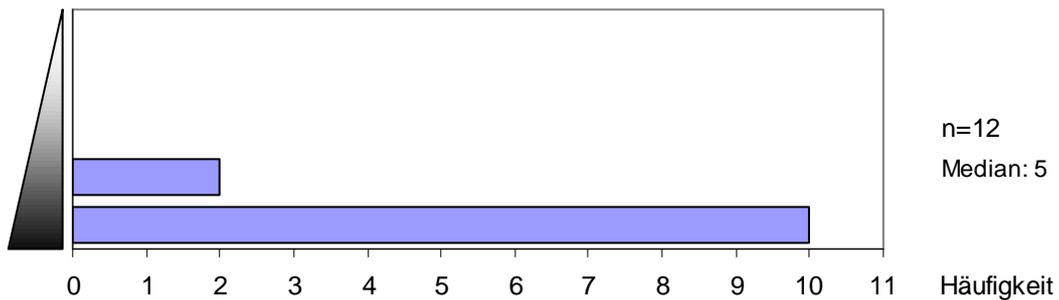
Spezialprogramme



33. Greift das Konzept ein Problemfeld auf, in dem in der Praxis Verbesserungspotential besteht?

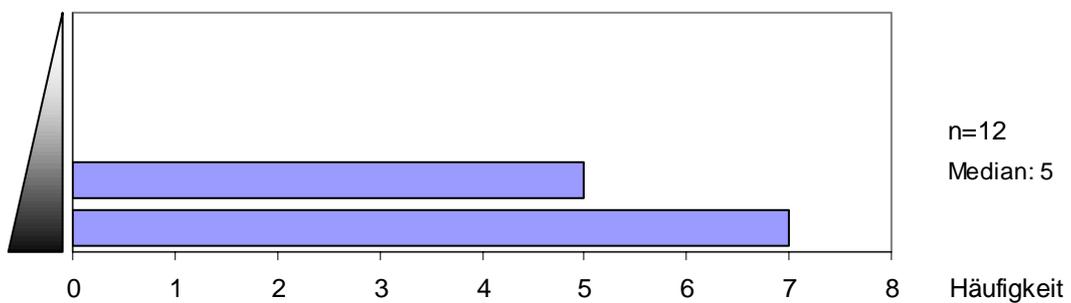


34. Für wie sinnvoll halten Sie eine durchgängige Struktur der gesamten rechnerbasierten Entwicklungsumgebung?

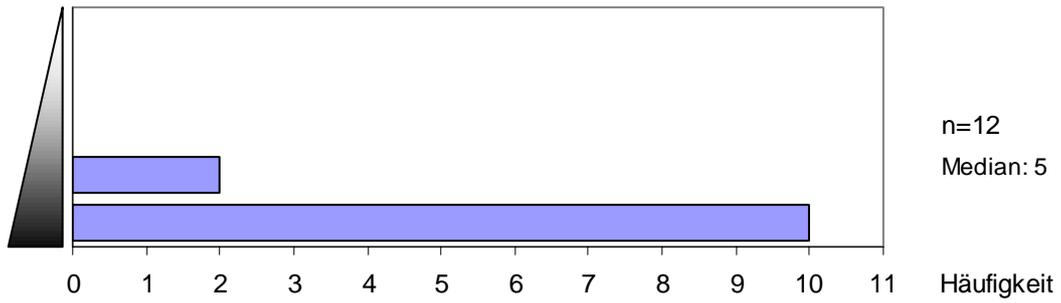


35. Was halten Sie von der im Prototyp vorgestellte Struktur hinsichtlich der Unterscheidung verschiedener Abstraktionsstufen, verschiedener Zerlegungsstufen des Gesamtsystems?

Abstraktionsstufen

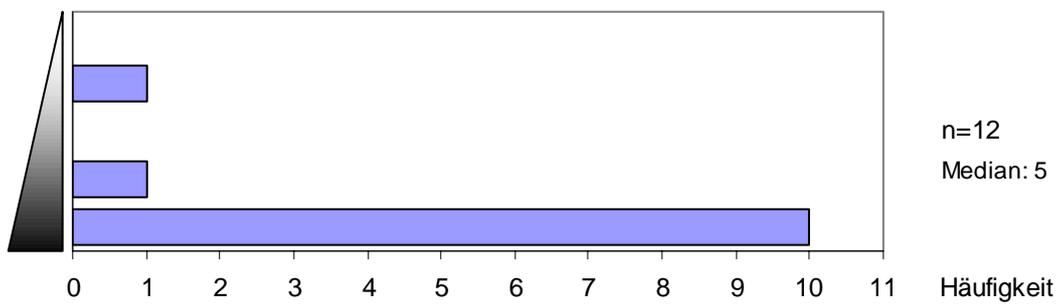


Zerlegungsstufen

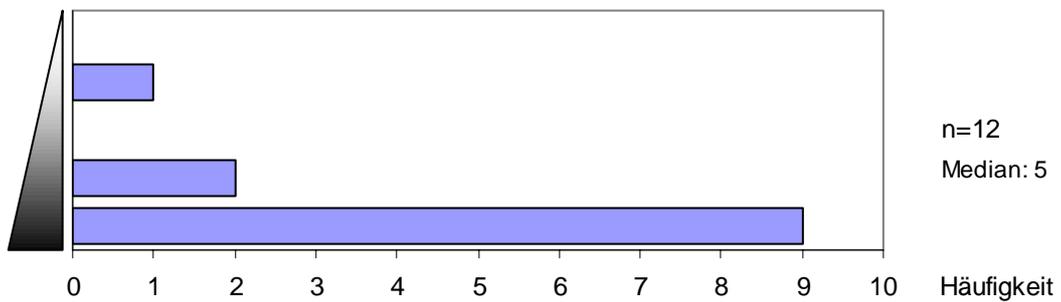


36. Können Sie sich vorstellen, mit einer kontextsensitiven Anwendungsumgebung zu arbeiten bei der Informationssuche, bei der Werkzeugauswahl?

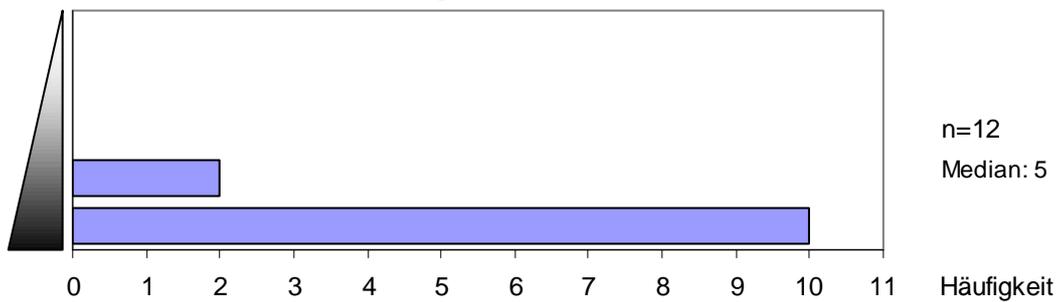
Informationssuche



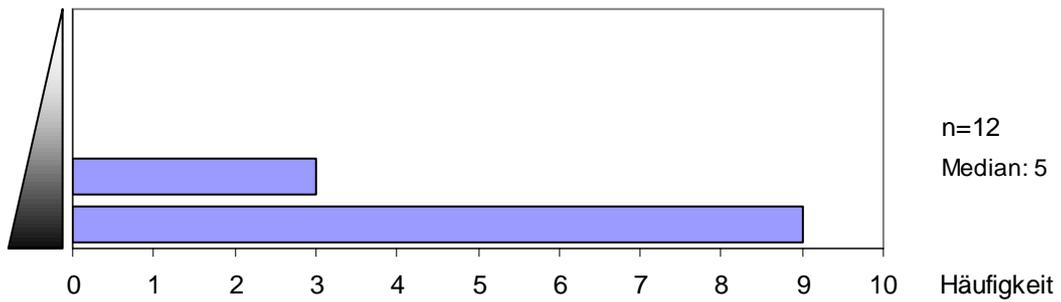
Werkzeugauswahl



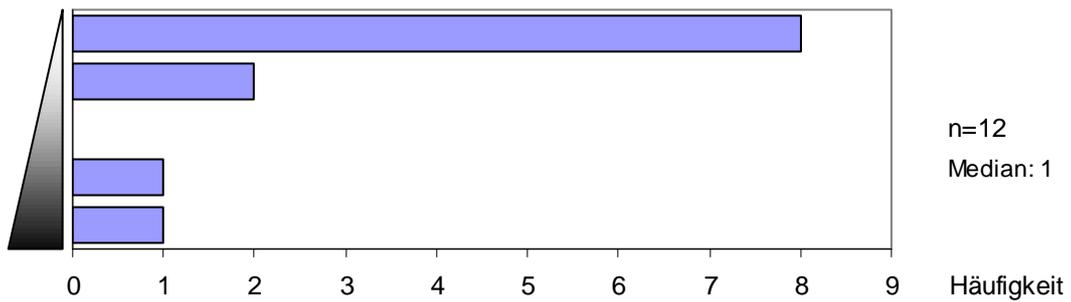
37. Ist Ihnen das grundlegende Konzept deutlich geworden?



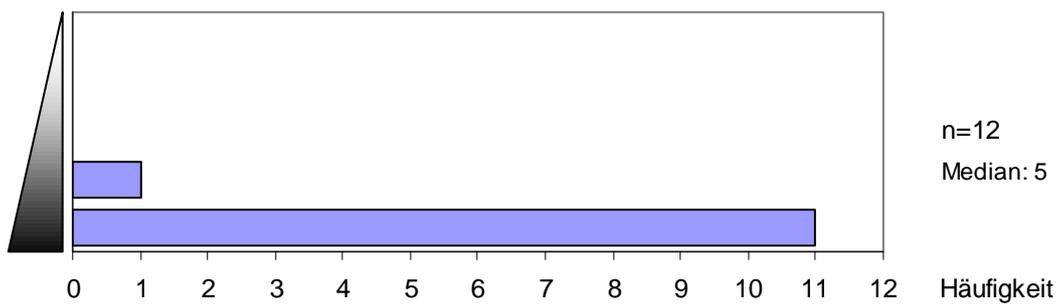
38. Empfinden Sie die kontextabhängige Bereitstellung von Zusatzinformationen als Entscheidungsunterstützung?



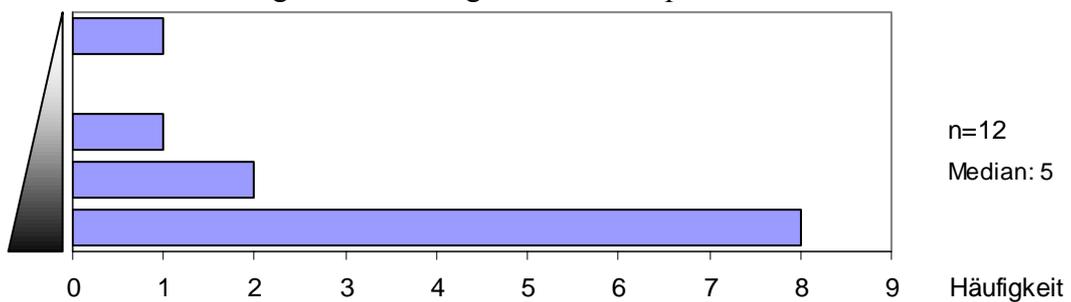
39. Lenkt Sie die Bereitstellung von Zusatzinformationen von der eigentlichen Konstruktionsaufgabe ab?



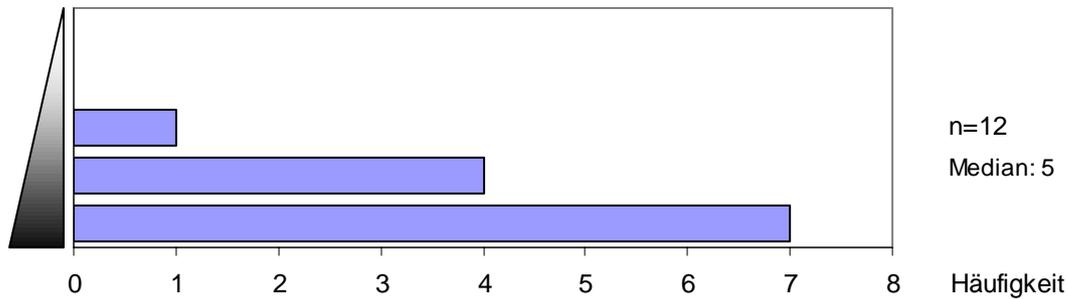
40. Verbessern die Zusatzinformationen die Bewertungsmöglichkeiten konkurrierender Prozess-/Produktvarianten?



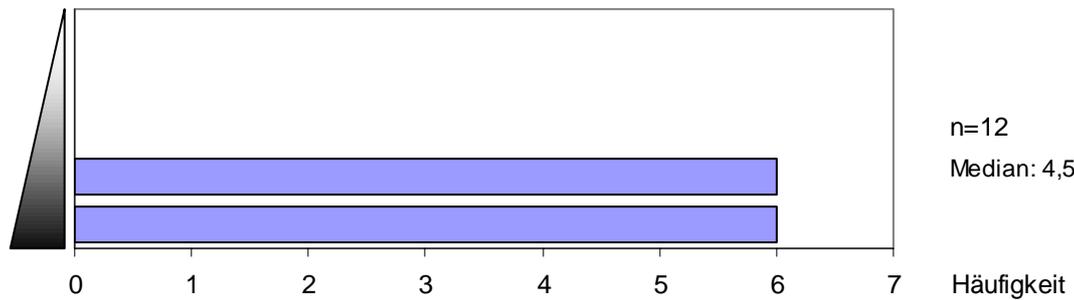
41. Wie bewerten Sie insgesamt das vorgestellte Konzept?



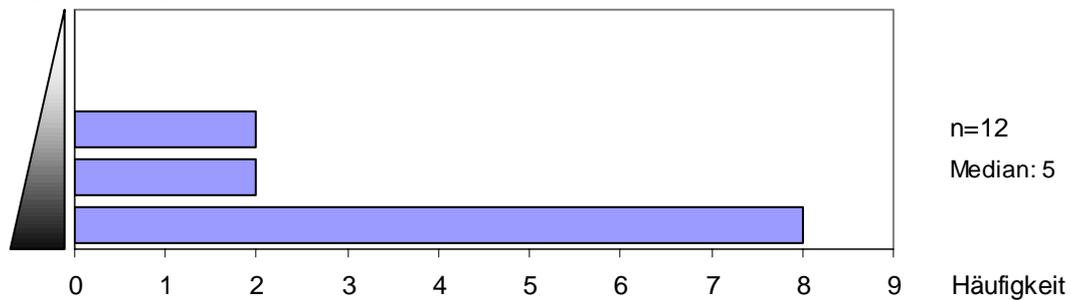
42. Wie bewerten Sie die Dreiteilung der im Prototyp dargestellten Oberfläche in Arbeitsbereich, Werkzeugkasten und Navigationsleiste?



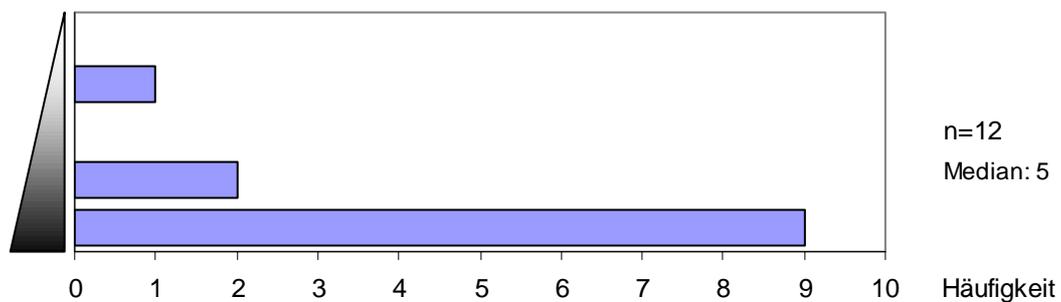
43. Wie beurteilen Sie die Verbindung zwischen den Objekten auf Arbeitsfläche und den zugeordneten Informationen?



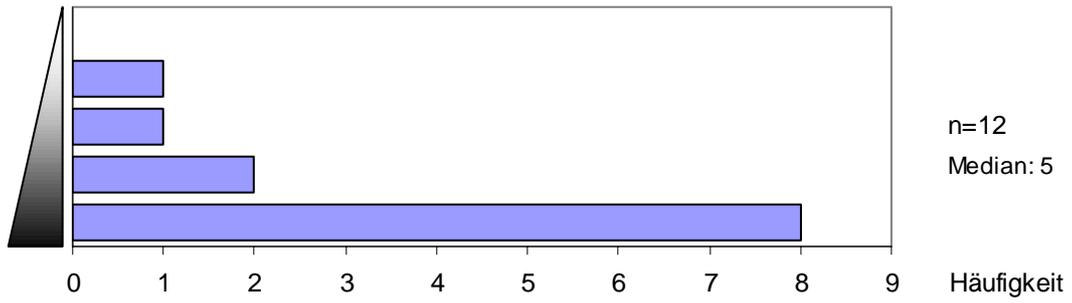
44. Wie bewerten Sie die vorgeführten Integrationsmöglichkeiten für ursprünglich nicht digital verfügbarer Daten?



45. Halten Sie die aufgabenabhängige Vorauswahl der bereitgestellten Werkzeuge für hilfreich?



46. Verbessert sich das Aufwand/Nutzenverhältnis im Vergleich zur gewohnten Vorgehensweise?



47. Könnte dieser Lösungsansatz prinzipiell auch in Ihrer Arbeitsumgebung eingesetzt werden?

