

ANBAHNUNG UND OPTIMIERUNG
KONSTRUKTIONSMETHODISCHER LERNMUSTER
MIT HYPERMEDIALEN LERNSYSTEMEN
IN DER TECHNISCHEN BILDUNG

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Erziehungswissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Vorgelegt von Stephan Raimer

Kiel, September 2002

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist aus dem Wunsch heraus entstanden, die aus verschiedensten Projekten und Beschäftigungen im IT-Bereich gewonnenen Kompetenzen für die Gestaltung und Entwicklung von computergestützten Lern- und Vermittlungsprozessen anzuwenden.

Mein Dank gilt zuerst Herrn Prof. Dr. M. Burgmer für die Betreuung dieser Arbeit und die kritischen und konstruktiven Diskussionen während ihrer verschiedenen Entstehungsphasen.

Dann möchte ich Herrn H. Weiss und Herrn K.-C. Toennsen für die gute Zusammenarbeit am Institut für Technik und ihre Didaktik danken, Sie haben für die Realisierung von HILWA wertvolle Anregungen gegeben. Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Härtel für die Übernahme eines Gutachtens.

Weiterhin bedanke ich mich bei der Firma FESTO Didactic GmbH & Co., Denkendorf, für die Bereitstellung eines MPS Versuchsstandes, hier insbesondere Herrn D. Koehne.

Nicht zuletzt gilt mein Dank auch den an der Untersuchung beteiligten Auszubildenden der Berufsschulen Kiel-Gaarden sowie der Walther-Lehmkuhl-Schule, Neumünster; außerdem den Fachlehrern Herrn H. Neuwerk und Herrn H.-J. Gaetjens sowie Herrn H. Ogrzala.

Inhalt

I	EINLEITUNG UND BEGRÜNDUNG DES THEMAS	1
2	ARBEITSANNAHMEN	3
2.1	Zielsetzungen der Arbeit.....	3
2.2	Zur Vermittlung eines wissenschaftsorientierten Technikverständnisses als Basis von Vermittlungsprozessen in der technischen Bildung	5
2.2.1	Zugrunde liegendes Verständnis von Technik sowie von Vermittlungsprozessen im Rahmen technischer Bildung.....	6
3	KONSTRUKTIONSMETHODISCHES VORGEHEN AUS DER SICHT DER KONSTRUKTIONSWISSENSCHAFT	13
3.1	Historische Entwicklung der Konstruktionswissenschaft und des methodischen Konstruierens.....	14
3.2	Zum Begriff der Konstruktionswissenschaft - Modell und Struktur.....	21
3.2.1	Grundlagen technischer Systeme.....	24
3.2.2	Grundlagen und Struktur von Konstruktionsprozessen	30
4	PSYCHOLOGISCHE GRUNDLAGEN DES METHODISCHEN KONSTRUIERENS - GRUNDLAGEN METHODISCHEN VORGEHENS UND DENKPSYCHOLOGISCHE ZUSAMMENHÄNGE BEIM PROBLEMLÖSEN.....	43
4.1	Konstruieren aus der Sicht der Psychologie	44
4.1.1	Informationstheoretische Einordnung des Konstruierens - Denken und Problemlösen im Rahmen von MEKIV.....	52
4.1.2	Maßnahmen zum Problemlösen	61
4.1.3	Lernpsychologische Aspekte des Konstruierens.....	65
5	METHODENGERECHTER EINSATZ VON MEDIEN IN DER TECHNISCHEN BILDUNG	72
6	GRUNDLAGEN DER BENUTZERORIENTIERTEN ENTWICKLUNG EINES HYPERMEDIALEN LERNSYSTEMS FÜR TECHNISCHE VERMITTLUNGSPROZESSE	82
6.1	Hypermedia und Lernen.....	83
6.2	Technischer Hintergrund und Merkmale des Frameworks für hypermediale Informations- und Lernmanagementsysteme (HILS)	88
6.3	Benutzerorientierte Softwareentwicklung und Usability.....	95

7	REALISIERUNG UND OPTIMIERUNGSANSATZ EINES HYPERMEDIALEN INFORMATIONSD- UND LERNMANAGEMENTSYSTEMS WEBBASIERTER AUTOMATISIERUNGSLANDSCHAFTEN (HILWA) AUF BASIS DES HILWA FRAMEWORKS.....	103
7.1	Automatisierungstechnik und Webtechnologien.....	105
7.2	Vorgehen und Durchführung der Untersuchung.....	107
7.2.1	Entwicklungsverlauf des HILWA Prototypen.....	112
7.2.2	Versuchsstand und Raumplan	115
7.2.3	Zielgruppe und Zeitumfang der Untersuchung	119
7.3	Ergebnisse der Untersuchung.....	121
7.3.1	Ergebnisse des informellen Vorfragebogens.....	121
7.3.2	Ergebnisse des ISONORM Fragebogens	122
7.3.3	Problemlösungen der Untersuchungsgruppen.....	124
7.3.4	Ergebnisse des Abschluss-Fragebogens	125
7.3.5	Lernweganalyse.....	126
7.3.6	Ergebnisse der Abschlussbesprechungen.....	126
8	ZUSAMMENFASSUNG	128
9	ANHANG	130
9.1	Technische Daten zu Hardware und verwendeter Software	130
9.2	HILWA GUI-Prototyp	132
9.3	Informeller Vorfragebogen.....	133
9.4	Ergebnisse des Fragebogens zur Ermittlung des Vorwissens.....	138
9.5	HILWA Quellen	151
9.6	Problemstellungen	152
9.7	Beispielhafte Darstellung der Module „Lernweg“ und „Lernscript“.....	155
9.8	ISONORM Fragebogen.....	157
9.9	Ergebnisse des ISONORM Fragebogens	167
9.10	Informeller Abschluss-Fragebogen.....	172
9.11	Ergebnisse des informellen Abschluss-Fragebogens.....	175
9.12	Lernweganalyse des Moduls „Reporting“	179
10	LITERATUR.....	180

1 Einleitung und Begründung des Themas

„Schule 2001: Technik: gut – Konzepte: mangelhaft

Eigentlich besteht Grund zur Freude: nach Jahren der Abstinenz haben Vertreter aus Politik und Wirtschaft den Bildungsbereich als Profilierungsfeld wieder entdeckt. Zahlreiche 'Initi@tiven' wetteifern darum, endlich alles und jeden online zu bringen. Doch die Schulen haben Schwierigkeiten, die Innovationswelle zu verarbeiten.“

(HANSEN 2001, 168)

Der Beginn dieses mittlerweile gut ein Jahr alten Reports zum Thema „Schule und neue Medien“ lässt nichts an Aktualität vermissen, zeigt er doch exemplarisch die grundlegenden Probleme des Bildungssystems auf, wenn nach Konzepten für die effiziente und begründete Nutzung von digitalem Lernen gefragt wird. Im Gegenteil, soll doch angesichts des „Pisa-Schocks“ die Förderung von computergestütztem Lernen an Schulen und Universitäten zur zentralen Maßnahme eines gemeinsamen Bildungskonzepts von Bund und Ländern werden (laut Aussage des Staatssekretärs des Bildungsministeriums U. THOMAS in der Ansprache zur Eröffnung der Learn-tec 2002).

Während der Einsatz der so genannten „Neuen Medien“ und des „E-Learning“ also längst nicht mehr zur Diskussion gestellt werden – er ist politisch gewollt und dokumentiert sich auch in entsprechenden BMBF Projekten – können die damit verbundenen Erwartungen und Hoffnungen bisher nur selten erfüllt werden. Genauso wenig existieren bisher übergreifende Konzepte - ein didaktischer Mehrwert wird so oft schon dem Mediengerät Computer allein zugeschrieben. Dies zeigt sich auch in einem völlig heterogenen Bild, wenn man den Markt der verschiedensten Anbieter von Angeboten zum computergestütztem Lernen und deren Produkte betrachtet. Die Begründung, warum einzelne Produkte mal „offline“ oder „online“ zu benutzen sind, warum kollaborative Lernformen oder die Einzelkonfrontation bevorzugt werden etc. entspringen oftmals mehr technischen als didaktischen Überlegungen.

Die vorliegende Arbeit hat daher zum Ziel, einen Beitrag zur konzeptgestützten und theoriegeleiteten Nutzung computergestützten Lernens im Rahmen technischer Bildung zu leisten. Dies kann nur unter der allgemeinen Betrachtung von technischen Vermittlungsprozessen sowie deren Randbedingungen geleistet werden - schließlich sind auch „neue Medien“ (wie jedes andere Medium auch) vor allem unter Darstellung ihrer Funktion im Lehr- bzw. Lernkontext einzuord-

nen. Damit wird auch zugleich die Bedeutung von computergestütztem Lernen für technische Vermittlungsprozesse relativiert - obschon im Rahmen dieser Arbeit zentral betrachtet, geschieht dies im Bewusstsein um dessen relative Bedeutung.

Wenn nun computergestütztes Lernen in technischen Vermittlungsprozessen langfristig und zukünftig eine Rolle spielen soll, müssen auch immer wieder aktuelle Entwicklungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien auf ihre Eignung und Bedeutung für technische Vermittlungsprozesse hin überprüft und gegebenenfalls nutzbar gemacht werden. Dies gilt nicht nur für Entwicklungen in Form von bestimmten Hardware- und Software-Produkten, sondern es gilt dabei übergreifende und grundlegende Konzepte und Techniken aufzudecken. Exemplarisch sei hier nur auf Techniken und Werkzeuge des computergestützten Wissensmanagements (mit den Ausprägungen Knowledge Management, Content Management oder Document Management – je nach Akzentuierung im Rahmen der Aufgabenstellung) verwiesen, die im Rahmen entsprechender didaktischer Konzepte offensichtlich positiven Einsatz finden können. Sicherlich sind hierfür auch noch weitere Beispiele zu finden, die bisher für Vermittlungsprozesse nicht berücksichtigt bzw. nicht nutzbar gemacht wurden.

2 Arbeitsannahmen

2.1 Zielsetzungen der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit soll die Anbahnung konstruktionsmethodischer Lernmuster im Rahmen von Vermittlungsprozessen technischer Bildung mit Hilfe eines neuentwickelten, hypermedialen Lernsystems optimiert werden. Diese angestrebte Optimierung zielt einerseits ab auf eine verstärkte Individualisierung beim Problemlöseprozess mit ständigen funktionsbedingten Rückkoppelungsmöglichkeiten durch das hypermediale Lernsystem. Andererseits soll durch eine realitätsnahe, komplexe Problemstellung durch die gemeinsam zu nutzende Informationsbasis hypermediales Lernsystem fach- bzw. berufsübergreifende, soziale Kompetenz beim Problemlösen optimiert werden.

Mit technischer Bildung seien hierbei umfassend Vermittlungsprozesse an allgemeinbildenden Schulen sowie in der beruflichen Aus- und Weiterbildung gemeint. Diese vereinheitlichte Betrachtung ist zulässig, wenn - wie hier - der Vermittlungsprozess in den Vordergrund gestellt wird. Wenngleich die Zielsetzungen und Randbedingungen von allgemeiner und beruflicher Aus- und Weiterbildung differieren, so sind die Strukturen von Vermittlungsprozessen doch analog. Man kann davon ausgehen, dass fachlich kompetente und gut gestaltete hypermediale Lernsysteme, also solche, die vom Lerner gut akzeptiert werden, auch effizient sind. Dies belegen sowohl einschlägige Studien (s. z. B. VATH / HASSELHORN / LÜER 2001) als auch die Erfahrung in der Vermittlungspraxis.

Für die Anbahnung und Optimierung konstruktionsmethodischer Lernmuster soll im Rahmen dieser Arbeit ein neuartiges Hypermediales Lernsystem theoriegeleitet und konzeptgestützt entwickelt und mit Hilfe der hierfür vorgesehenen Adressaten auf seine Akzeptanz erprobt werden. Dabei beinhaltet Hypermedia neben Organisations- auch Präsentationsaspekte - als wesentlicher Punkt der konzeptgestützten Entwicklung ist im Rahmen dieser Arbeit also eine bisher nicht vorhandene Lernerarchitektur zu definieren, welche in der Lage ist, diese Organisations- und Präsentationsaspekte zu realisieren und dies zugleich losgelöst von konkreten Vermittlungsinhalten tut.

Gemäß dieser Zielsetzungen wird für die vorliegende Arbeit das folgende Vorgehen gewählt: Ausgangspunkt der weiteren Betrachtungen ist die Darlegung und Erläuterung des zugrunde gelegten wissenschaftsorientierten Technikverständnisses als Basis von Vermittlungsprozessen in der technischen Bildung. Genauso sind Vermittlungsprozesse in der technische Bildung selbst mit ihren Merkmalen und Randbedingungen zu definieren und darzustellen.

Da konstruktionsmethodisches Denken und Handeln Ziel und Inhalt von Vermittlungsprozessen ist, wird sodann der fachwissenschaftliche Stand der Konstruktionsmethodik, wie er sich in den Technikwissenschaften darstellt, referiert.

Adressatengerechte Vermittlungsprozesse können nur unter Beachtung der psychologischen Randbedingungen der Lernenden geplant werden. Daher dient das anschließende Kapitel der Darstellung und Auswertung von Erkenntnissen und Befunden speziell denkpsychologischer Zusammenhänge beim Problemlösen, welche eng mit Konstruktionstätigkeiten verknüpft sind.

Die zu Beginn der Arbeit allgemein und übergreifend definierten Vermittlungsprozesse im Rahmen technischer Bildung werden dann nochmals aufgegriffen und unter besonderer Beachtung der Bestimmungsfaktoren „Methode“ und „Medien“ weiter ausgeführt. Dies ist notwendig, um computergestütztes Lernen in den Rahmen ganzheitlicher Betrachtung von Vermittlungsprozessen einzuordnen.

Unter Beachtung und Nutzung der bis dahin dargestellten Erkenntnisse und Befunde kann dann mit dem HILS Framework eine neuartige Lernerarchitektur vorgestellt werden, die im abschließenden Kapitel für die konkrete Realisierung und Optimierung eines Hypermedialen Informations- und Lernsystems genutzt wird. Mit der Darstellung der Untersuchung sowie des Optimierungsprozesses und einer Zusammenfassung schließt die vorliegende Arbeit.

Im Anhang der Arbeit sind verschiedene Detailergebnisse zur Untersuchung und Beispiele zum realisierten Lernsystem sowie Literaturangaben zu finden.

2.2 Zur Vermittlung eines wissenschaftsorientierten Technikverständnisses als Basis von Vermittlungsprozessen in der technischen Bildung

Die Auffassungen darüber, welcher Stellenwert der technischen Bildung im allgemeinbildenden Schulwesen sowie auch in der beruflichen Aus- und Weiterbildung in Deutschland zukommt, gehen in den einzelnen Bundesländern auseinander (vgl. etwa HENSELER / HÖPKEN / REICH (Hrsg.) 1998). Dies dokumentiert sich in den entsprechenden Richtlinien und Lehrplänen. Vor allem Art und Grad der Einbindung des Technikunterrichts in so genannte Lernbereiche, wie z.B. die Arbeitslehre, ist seit den Veröffentlichungen des deutschen Ausschusses sowie der Umorganisation der Volksschule 1969 mit dem „didaktischen Zentrum“ einer Hinführung zur Wirtschafts- und Arbeitswelt in der damals neuen Schulform Hauptschule kontrovers diskutiert worden (vgl. BURGNER 1999, 60f).

Je nach ideologischer Ausrichtung der einzelnen Landesregierungen sind die Zielsetzungen des TU, seine Anforderungen, seine Einbindung in Lernbereiche, die zu behandelnden Inhalte sowie – ggf. – die zu verwendenden Methoden in den jeweiligen Richtlinien und Lehrplänen dokumentiert.

Im Rahmen dieser Arbeit ist es daher erforderlich, die als zentral angesehenen Grundlagen und Annahmen darzustellen und zu erläutern. Es werden also im Folgenden das zugrunde gelegte Technikverständnis sowie das Verständnis von technischen Vermittlungsprozessen weiter ausgeführt.

2.2.1 Grundlagen des Verständnisses von Technik sowie von Vermittlungsprozessen im Rahmen technischer Bildung

Technischer Unterricht und damit auch Vermittlungsprozesse im Rahmen technischer Bildung können nach BURGNER (1985) wie folgt definiert werden:

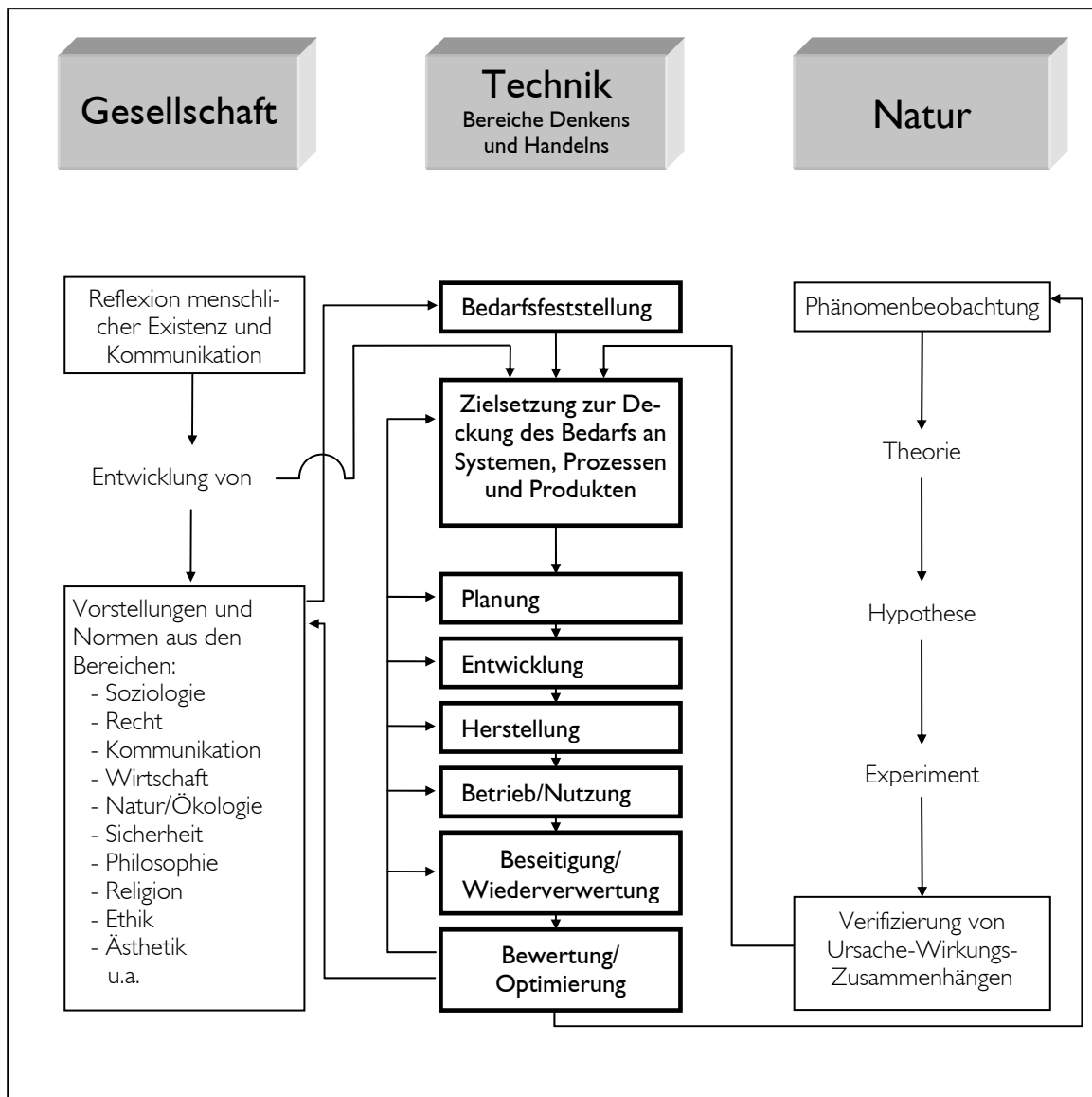
„Technischer Unterricht umfasst die organisierte Anordnung in Planung, Durchführung und Kontrolle schulischer wie außerschulischer, auch inhaltlich bestimmter Lernvorgänge, ausgerichtet auf bestimmte Lernziele. Diese können als Verhalten oder als Art und Grad bestimmter Fertigkeiten, Fähigkeiten, Kenntnisse, Einstellungen definiert sein. Bestimmender Faktor für die so aufgefaßten Lernvorgänge sind Curricula, bzw. Richtlinien und Lehrpläne, welche die Bildungsziele und die Wege zu ihnen vorgeben. Findet technischer Unterricht in schulisch organisierten Lernvorgängen statt, so müssen die Fachcurricula, bzw. die Fachrichtlinien und Fachlehrpläne auf das Curriculum, bzw. auf die Richtlinien und Lehrpläne abgestimmt sein.“

(BURGNER 1985, 7)

Technische Vermittlungsprozesse –wie sie im Rahmen dieser Arbeit betrachtet werden- haben technische Handlungskompetenz als Ziel und ein wissenschaftsorientiertes Technikverständnis als Basis, dies wird im Folgenden weiter ausgeführt und erläutert.

Schlüsselqualifikationen und Leitthemen bzw. fachspezifische Themen der Lehrpläne für Technik (beispielsweise Lehrplan Technik für die Sek.I der weiterführenden allgemeinbildenden Schulen Hauptschule, Realschule, Gesamtschule oder Lehrplan Grundschule, MINISTERIUM F. BILD., WISS. UND KULT. 1997) bilden auch immer die durch Technik bestimmte und sich durch Technik verändernde Lebens- und Berufswelt ab und reflektieren sie (vgl. ebd. 162ff).

Technik kann also nicht losgelöst und kontextfrei betrachtet werden, sondern weist einen untrennbaren Zusammenhang mit Arbeit auf (vgl. ARP 1984b, 64) und steht in vielfältiger Weise mit der menschlichen Gesellschaft und Natur in Wechselbeziehung. Die folgende Abbildung zeigt daher die Inhalte und Strukturen des Denkens und Handelns in den menschlichen Existenzräumen „Gesellschaft“, „Natur“ und „Technik“ (vgl. BURGNER 1999) - anschließend an die Abbildung werden diese Bereiche mit ihren Verknüpfungspunkten erläutert:



(Technik als Wirklichkeitsbereich zwischen Mensch, Gesellschaft und Natur – nach SCHÜLER 1994)

Die Reflexion der menschlichen Existenz führt im Bereich Gesellschaft zur Definition von Vorstellungen und Normen und damit schließlich zur Bewusstmachung und Feststellung eines materiellen und energetischen Bedarfs, welcher durch technisches Handeln gedeckt werden kann. Die gesellschaftlich definierten Prämissen bestimmen außerdem die Zielsetzungen des menschlichen Denkens beim Gebrauch von gewünschten Systemen, Prozessen, Produkten und Informationen. Die im Bereich Technik abschließende Bewertung von technischen Problemlösungen leitet wiederum durch Rückkopplungseffekte die Überprüfung und Weiterentwicklung der gesellschaftlichen Vorstellungen und Normen ein (vgl. BURGMER 1999, 6ff).

Im naturwissenschaftlichen Bereich führen das Beobachten und Analysieren von Phänomenen (in der Natur oder in Artefakten enthalten) zu Problemlöseprozessen, die das Ziel haben, „mit

Hilfe von deduktiven, induktiven und genetischen Methoden bei der Aufstellung von Theorien, Hypothesen und durch experimentelle Überprüfung die Zusammenhänge von Ursachen und Wirkungen, bezogen auf die beobachteten Phänomene zu verifizieren“ (vgl. ebd.). Die so im naturwissenschaftlichen Bereich gewonnenen Erkenntnisse über Ursache und Wirkungszusammenhänge können als Zielmarkierungen erreichbarer Effekte und Wirkungsgrade für den Technischen Bereich (im Umsatz von Stoffen, Energien und Informationen in technischen Systemen) gelten, keineswegs aber determinieren sie allein und selbsttätig Entscheidungen und Handlungsabläufe im technischen Bereich. Die Bewertung optimierter technischer Problemlösungen führt wiederum zu Rückkopplungen in Form von bisher unbekanntem oder unerklärten natürlichen Phänomenen, machen diese bewusst und leiten neue naturwissenschaftliche Denk- und Handlungsfolgen ein (vgl. ebd.).

Der Bereich Technik hat als Ausgangspunkt für problemlösendes Denken und Handeln die Feststellung eines individuellen oder gesellschaftlichen Bedarfs sowie nachgeordnete Zielvorstellungen als Vorgaben aus gesellschaftlichem, technischem und naturwissenschaftlichem Bereich. Dieser individuelle oder gesellschaftliche Bedarf kann durch Umsatzprozesse von Stoff, Energie oder Information in Systemen, Prozessen und Produkten befriedigt werden:

„Technologisches Handeln bezieht sich [...] stets auf die natürlichen Gegebenheiten Stoff, Energie und Information, und zwar ist es auf die Umsetzung dieser Gegebenheiten zur Befriedigung legitimer oder künstlich geschaffener Bedürfnisse gerichtet. Dies bedeutet, für technologisches Handeln werden Ziele gesetzt, es muß Arbeit aufgewendet werden, um die Ziele zu erreichen, und die Ergebnisse werden bewertet. Eine Allgemeine Technologie erscheint daher als zeitlich offenes System bewußter Arbeitsvollzüge zur Umsetzung von Stoff, Energie und Information.“

(ARP, H. 1984a, 14)

Für Technologisches Handeln (auf die mit der Definition von ARP neu eingeführten Begrifflichkeiten wird in der Folge noch eingegangen) mit den Teilbereichen Planung, Entwicklung, Herstellung, Betrieb bzw. Nutzung sowie Beseitigung und/oder Wiederverwertung von technischen Systemen kann als verbindende Methode –welche in allen Teilbereichen angewendet wird- die systemtechnische Optimierung von Problemlösungen identifiziert werden (vgl. BURGMER 1999):

„Darunter ist die gezielte und quantifizierte Verknüpfung von technischen Realisierungsmöglichkeiten mit gesellschaftlichen Vorgaben, d.h. z. B. wirtschaftlichen, ökologischen und sicherheitlichen Ansprüchen sowie mit naturwissenschaftlichen Funktionsbeschreibungen zu einer räumlich und zeitlich begrenzten optimalen Problemlösung zur Bedarfsdeckung zu verstehen. Durch die zeitliche Änderung von Zielsetzungen, Eingangsgrößen und Zuständen technischer Systeme ist das Ergebnis von Optimierung in der Technik während der gesamten Nutzungsdauer der Problemlösung stets neu zu bewerten.“

(BURGMER 1999, 7)

Die Nähe und Relevanz der angeführten Definition zu den in dieser Arbeit thematisierten konstruktionsmethodischen Lernmustern ist offensichtlich, konstruktionsmethodisches Handeln ist ein wesentlicher Teilbereich Technologischen Handelns.

Die begriffliche Unterscheidung von Technik und Technologie ist nun nach HÄRTEL (1984) wie folgt zu treffen: Der Begriff Technik kennzeichnet sich durch die Aspekte „technische Artefakte“ (als Erscheinungsform von Technik für „Nichtnutzer“ bzw. „Nichtproduzenten“) sowie durch den Aspekt „Auswirkungen von Technik“ (als Wirkungen auf Menschen, Gesellschaft und Natur). Aus der Innenperspektive (also aus der Sicht technisch produzierender bzw. arbeitenden Menschen) ergibt sich als zusätzlicher Aspekt der „Prozesscharakter von Technik“ (der in Schritte abgrenzbare zeitliche Verlauf von technischer Arbeit sowie der in technischen Artefakten ablaufenden Vorgänge) (vgl. 27).

Das der vorliegenden Arbeit zugrunde liegende Technikverständnis ist in der folgenden Tabelle mit seinen Merkmalen zusammengefasst:

Technik

- ist die zweck- und zielorientierte Veränderung der Umwelt mit materiellen Mitteln;
- stellt die Gesamtheit der Verfahren dar, die unter Ausnutzung von Naturgesetzmäßigkeiten und Erfahrungswissen zur Umwandlung von Stoff, Umformung von Energie und Verarbeitung von Informationen eingesetzt werden;
- muss stets in Zusammenhang mit aufzuwendender menschlicher Arbeit gesehen werden;
- ist nicht wertneutral, sie wird gesellschaftsbezogen bewertet;
- realisiert sich in der Herstellung technischer Produkte und in dem Betrieb technischer Einrichtungen;
- hat als grundlegenden Bedeutungsinhalt die Prozessorientierung;
- beinhaltet als zentrale Denk- und Handlungsweise des Menschen die Überwindung der Barrieren vom unerwünschten zum erwünschten Zustand – die systemtechnische Optimierung von Problemlösungen.

(Tabelle nach BURGMER 1985, 9f)

Technologie ist schließlich als Wissenschaft zu verstehen, welche Herstellungsprozesse für technische Produkte (und damit technologisches Handeln) als Gegenstand hat - dabei werden die bei den Herstellungsprozessen genutzten Arbeitsgegenstände (Mittel, Werkzeuge, Maschinen) und Methoden betrachtet.

Ein wissenschaftsorientiertes Technikverständnis, wie es dieser Arbeit zugrunde gelegt werden soll, kann nur über die Bestimmung und Einbeziehung des Technologie-Begriffs begründet werden,

Für den von J. BECKMANN 1806 (Professor für „Weltweisheit und Ökonomie“ an der Universität Göttingen, 1739-1811) - mit einer gleichlautend betitelten Arbeit geprägten - Begriff der „Allgemeinen Technologie“ wird die Diskussion der letzten Dreißig Jahre von BANSE / REHER (2002) in zwei idealtypische Richtungen zusammengefasst:

„Dabei wird deutlich, dass (idealtypisch!) stärker zu unterscheiden ist, ob man unter „Allgemeiner Technologie“ mehr beschreibende Systematisierungen und Verallgemeinerungen versteht, die -allein oder vor allem- methodischen Zwecken dienen sollen (die ihrerseits von der technischen Ausbildung bis zur „technologischen Aufklärung“ reichen), oder ob man darunter Aussagensysteme im Sinne einer technikwissenschaftlichen Metatheorie bzw. Grundlagentheorie bzw. -lehre der Technikwissenschaften verstanden wissen will, die gesetzmäßigen Zusammenhänge technologischer Prozesse theoretisch erklärt und begründet sowie dieses Wissen in einer

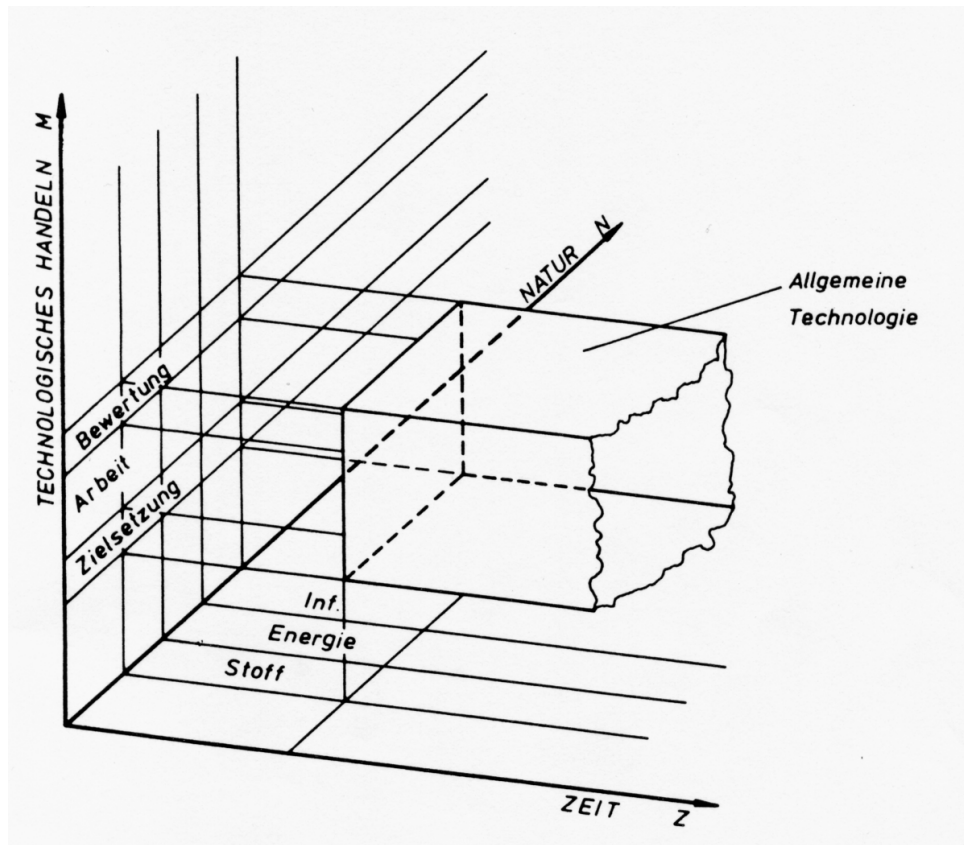
generalisierenden Perspektive (als Allgemeine Technikwissenschaft) zusammenführt – und damit im Gegensatz zu den zahlreichen ad-hoc-Theorien der (einzelnen) Ingenieur- bzw. Technikwissenschaften steht. Es ist einsichtig, dass beide Positionen gleich bedeutsam sind. Es ist auch einsichtig, dass beide Positionen nicht absolut zu trennen sind, sondern aufeinander Bezug nehmen.“

(BANSE / REHER 2002, 141)

Insgesamt ist die Allgemeine Technologie allerdings noch immer mehr ein „(Wissenschafts-) Programm denn ein aus- bzw. durchgearbeitetes Konzept“ – die Aktualität der Thematik ist allerdings unverändert (vgl. ebd.).

Neben aktualisierten Arbeiten von WOLFGRAMM (1994, 1995) und ROPOHL (1999) werden für die vorliegende Arbeit auch Beiträge von ARP, HÄRTEL und BURGNER als zentral betrachtet; die Auffassung der Allgemeinen Technologie als „zeitlich offenes System bewusster Arbeitsvollzüge zur Umsetzung von Stoff, Energie und Information“ (ARP, 1984a, 14) ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Ausgehend von der Koordinatenebene NZ als Basis allen Geschehens sind weiterhin die Ebene MN mit der Zeit als Parameter (sie beschreibt das klassisch naturwissenschaftliche Selbstverständnis) und die Ebene MZ (sie beschreibt etwa im Bereich Information das geisteswissenschaftliche Selbstverständnis) dargestellt (vgl. ebd.). Die mathematische Exaktheit des dargestellten gebrochenen Quaders „Allgemeine Technologie“ ist dabei zu vernachlässigen, die „bemerkenswerte Ergiebigkeit“ (vgl. ebd.) der Veranschaulichung liegt in der Integration der Wissenschaftsauffassungen (Naturwissenschaft / Geisteswissenschaft) – „dadurch wird die zeitliche Veränderung der Zielsetzungen, Bewertungen und technologischen Handlungen ebenso berücksichtigt, wie der Bezug auf die Naturkategorien Stoff, Energie, Information“ (vgl. ebd.). Gegenstand der Allgemeinen Technologie ist somit „die Beschreibung der gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den Erscheinungsformen von Stoff, Energie und Information und den auf deren Umsetzung gerichteten Arbeitsprozessen“ (vgl. ebd.).



(Allgemeine Technologie – s. ARP 1984a, 15)

Die Hauptfunktionen technologischen Handelns als Grundlage eines wissenschaftsorientierten Technikverständnisses lassen sich nach HÄRTEL (1984) in zwei Grundformen unterscheiden, „technologisches Gestalten“ (als mehr auf Kreativität und Reflexion ausgerichtete Form) bzw. „technologisches Umsetzen“ (als mehr auf Realisation und Praxis ausgerichtete Form).

Didaktische Konsequenzen der Betrachtung der Allgemeinen Technologie als Bezugswissenschaft für ein wissenschaftsorientiertes Technikverständnis, wie es der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt, sind:

- eine fachwissenschaftlich legitimierte und beschreibbare Zielkomponente für Technischen Unterricht mit der Leitidee Handlungskompetenz;
- das Bestreben, eine möglichst vollständige, systematische Beschreibung invarianter Arbeitsvollzüge (zur Umsetzung von Stoff, Energie, Information) zur Auswahl und Strukturierung von Lerninhalten für technische Vermittlungsprozesse zu nutzen (diese Beschreibung liegt bisher allerdings nicht vollständig vor - s. o., Zitat BANSE / REHER);
- eine Methodenkomponente für technische Vermittlungsprozesse als Ableitung invarianter Handlungsmuster konstruktionsmethodischer sowie fertigungstechnischer Art;
- als mediendidaktische Konsequenz ein Kontinuum von Informationsträgern und Beschreibungsformen für technische Systeme, welches für technische Vermittlungsprozesse zur Auswahl und fachwissenschaftlich begründeten Zuordnung genutzt werden kann.

(vgl. BURGMEYER 1985, 23f)

3 Konstruktionsmethodisches Vorgehen aus der Sicht der Konstruktionswissenschaft

Im vorliegenden Kapitel sollen Erkenntnisse zum konstruktions-methodischen Vorgehen zusammengetragen werden, wie sie in den Technikwissenschaften im Teilgebiet der Konstruktionswissenschaft vorliegen.

Dafür soll in einem ersten Schritt die historische Entwicklung der Konstruktionsmethodik bis zu einem normfähigen Gebilde „Konstruieren“ skizziert werden; hierbei wird vor allem auf die Entstehung der Maschinenbauindustrie Bezug genommen. Zwar fand und findet Konstruktionshandeln auch in anderen Bereichen statt, wesentliche Entwicklungen haben sich aber gerade in den Anfängen hier vollzogen. So ordnet CARDWELL (1997) auch den „effektiven Beginn der modernen Technologie“ in das 18. Jahrhundert ein:

„Der Beginn einer *technologischen* Entwicklung wird deutlich in den Bereichen der Kommunikation, der Energiequellen, der Mechanisierung und der frühen chemischen Industrie. Zu ihren Kennzeichen gehört die Bereitschaft, systematische Forschungsmethoden anzuwenden und die neuesten Erkenntnisse der Wissenschaft zu nutzen; darüber hinaus ist unverkennbar, dass die Technologie auch eigene Methoden entwickelt hat. Der rasche Aufstieg der Technologie begann etwa mit der Blütezeit der industriellen Revolution in England.“

(CARDWELL 1997, 6)

Die moderne Technologie ist gekennzeichnet u. a. durch die Nutzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse (vgl. Kapitel 2.2.1), die vorindustrielle Technik war dagegen geprägt von weitgehend intuitivem Vorgehen auf empirischer Basis (vgl. WENGENROTH).

In einem weiteren Schritt soll dann eine Struktur der Konstruktionswissenschaft aufgezeigt werden, um eine Orientierung zu ermöglichen. Damit können dann Inhalte bestimmt und weiter ausgeführt werden, die für die vorliegende Arbeit relevant sind – hier soll vor allem aufgearbeitet werden, wie sich Konstruktionsprozesse strukturieren lassen. Hiefür werden präskriptive (in Form von Konstruktionsmethodiken), deskriptive (Untersuchungen wie „Handlungsläufe beim Konstruieren“) und normative (etwa VDI-Richtlinie 2221) Beschreibungen analysiert. Ziel der Analyse ist es allgemeine, invariante Schrittfolgen zu bestimmen, die Konstruktionsprozesse determinieren und abbilden.

3.1 Historische Entwicklung der Konstruktionswissenschaft und des methodischen Konstruierens

Die folgende Darstellung skizziert die wesentlichen Entwicklungsschritte bis zu den heute vorhandenen Ansätzen der Konstruktionsmethodik. Ein Ursprung methodischen Konstruierens lässt sich dabei im historischen Rückblick nicht in Form eines bestimmten Zeitpunktes oder einer Einzelperson identifizieren. Systematisches Variieren von Lösungsmöglichkeiten etwa, wurde schon von Leonardo da Vinci (1452-1519) mit seinen Konstruktionen realisiert (vgl. PAHL / BEITZ 1997, 13). Als Ausgangspunkt der Betrachtungen wird der Beginn der Industrialisierung zu Anfang des 19. Jahrhunderts gewählt, da hier im Rahmen der arbeitsteiligen Fertigung Konstruieren erstmals als isolierte Tätigkeit im Produktionsprozess eingeführt wurde.

Für die Skizzierung der Entwicklung wird in der Folge auf die Bereiche Produktionsweise und deren Organisation, Entwicklung von Kraft- und Werkzeugmaschinen, Werkstoffe, sowie auf die Ausbildung von Konstrukteuren einzugehen sein. Die Veränderung im Verständnis technischen Schaffens hat hierbei besonders am Verschwinden des von „Können“ abgeleiteten „Kunstbegriffes“ seinen sprachlichen Niederschlag gefunden (etwa „Mühlenkunst“ oder „Heizenkunst“ im Maschinenbau des 16. – 18. Jahrhunderts – vgl. WENGENROTH).

Konstruktionstätigkeit war in der vorindustriellen technischen Produktion (also im 18. Jahrhundert und davor) vor allem mit dem Handwerk verbunden, die handwerkliche Produktionsweise stellte sich allerdings als kostenintensiv und produktionsbeschränkend dar. Mit der in der britischen industriellen Revolution ab 1780 beginnenden Automatisierung und Rationalisierung wurden dann als Konsequenz Arbeitsprozesse maschinisiert und in einfache Tätigkeiten zerlegt, Serien- und Massenproduktionen wurden begonnen (vgl. BENAD-WAGENHOFF 1993, 385ff).

„Der Maschinenbau entstand in der Industriellen Revolution, weil *massenhaft* Maschinen für eine Modernisierung von Produktionsprozessen nachgefragt wurden“.

(BENAD-WAGENHOFF 1993, 14)

Der Begriff der Massenhaftigkeit bezieht sich dabei vor allem auf die Menge vergleichbarer Fertigungsaufgaben (vgl. ebd.). Die vorindustrielle technische Produktion basierte dabei als handwerklicher Produktion auf einem System von Zünften. Diese Zünfte definierten für ihre Bereiche den Umfang der (örtlichen) Produktionsmengen, Werkzeugarten und Werkzeuggebrauch, Zahl der Beschäftigten (Gesellen, Lehrlinge), Herstellungsverfahren und Qualitätsstandards, Arbeitszeiten sowie Löhne und (Mindest-)Preise. Außerdem dienten sie der Sicherung des Be-

etriebes und der sozialen Bindung des einzelnen Handwerkers (im Sinne eines Sozialversicherungssystems). Gleichzeitig behinderten sie durch z.T. starre Reglementierungen innovative Prozesse und technischen Fortschritt.

Der Zwischenschritt in der Veränderung der Produktionsweise von der handwerklichen Produktion zu einer industriellen Produktion im Fabrikssystem (im heutigen Sinne) war das Manufaktursystem (im 17. und 18. Jahrhundert). Obschon unter zentraler Leitung z. T. arbeitsteilig sowie spezialisiert produziert wurde (vor allem Textilien, Glas- und Lederwaren), gab es noch keinen Einsatz von Maschinen (s. BENAD-WAGENHOFF 1993, 397: „Die Manufaktur [...] ist also ein zentralisierter Großbetrieb mit Arbeitsteilung auf Grundlage der Hand-Werkzeug-Technik“).

Parallel zu diesen Entwicklungen, bezogen auf die Veränderungen der Arbeitsprozesse im genannten Zeitraum, können der Rationalismus und die Aufklärung im 17. bzw. 18. Jahrhundert als Wegbereiter für eine wissenschaftliche Durchdringung der Handwerkskünste und der Technik gelten. Naturwissenschaften und Technik wurden damit in die allgemeine Bildung aufgenommen, es wurde ein „günstiger Boden für den weiteren Fortschritt der Technik“ bereitet (s. KLEMM 1999, 123).

Weiterhin wurden Produktionsprozesse durch die Maschinisierung vieler Bereiche grundlegend verändert; nach WOLFFGRAMM (1994) sind hier „Schlüsseltechnologien“ für technische Revolutionen der technologischen Produktionsweise charakterisierend. Für den benannten Zeitabschnitt (nach WOLFFGRAMM die „vierte technologische Revolution“) um die Wende des 18. zum 19. Jahrhundert sind „Maschinenbautechnologien, Technologien zur Erzeugung und Nutzung mechanischer Energie durch Dampfmaschinen, Technologien zur Eisen- und Stahlerzeugung, weiterentwickelte Bergbautechnologien und Technologien des Eisenbahntransports von zentraler Bedeutung“ (17f).

Es entstand mit der Einführung der WATTschen Dampfmaschine (WATT verstand es erfolgreich, zwei Entwicklungslinien zu vereinen: „die konstruktive, die von O. GUERICKE über D. PAPIN, TH. SAVERY und TH. NEWCOMEN lief“ sowie die „physikalische, die durch Arbeiten des 17. und 18. Jahrhunderts über die Wärmeerscheinungen gekennzeichnet wird“ s. KLEMM 1999, 134.) als Markierung des Beginns der industriellen Revolution eine eigenständige Maschinenbauindustrie. Zunächst für den Betrieb von Grundwasserpumpen in Bergwerken eingesetzt, ermöglichte sie eine „ungeahnte Steigerung Erz- und Kohlenförderung“ (s. KLEMM 1999, 125); dann

zum dann zum Antrieb von Spinn- und Webmaschinen (nach ARKWRIGHT und CROMPTON) in Baumwollspinnereien.

Insgesamt kann die Entwicklung immer leistungsfähigerer Kraftmaschinen und vielfältigster Arbeitsmaschinen als Kernbereich und treibende Kraft der industriellen Entwicklung gesehen werden; BENAD-WAGENHOF (1994) schreibt der „Entwicklung von Arbeitsmaschinen zur Formveränderung von Stoffen in ihren vielfältigen Erscheinungsformen“ (vgl. 181) die zentrale Rolle zu.

Die Gewinnung von Eisen sowie Eisen als Werkstoff bekamen eine große Bedeutung, die „Erzeugung von Roheisen vervierfachte sich in England in der kurzen Spanne von 1788 bis 1806“ (KLEMM 1999, 125f). Auch BENAD-WAGENHOF (1993) charakterisiert die überwiegende Verarbeitung von technischen Eisenlegierungen als kennzeichnend für den industriellen Maschinenbau (vgl.13). Das Hauptziel der Eisengewinnung aus Erzen, die Herstellung eines schmiedbaren Metalls, war dabei schon seit dem 14. Jahrhundert belegt. In der Folgezeit wurden dann verschiedene Verfahrenstechniken entwickelt und verbessert, darunter das Frischen, das Puddel-Verfahren (von H. CORT) als Verfahren zur Umwandlung von Roheisen in schweiß- bzw. schmiedbaren Stahl und ab 1860 die Fluss-Stahlproduktion mit dem Bessemer- bzw. Siemens-Martin-Verfahren, welches bessere Kapazitäten und Möglichkeiten des Maschineneinsatzes bot (vgl. PAULINYI, A. 1987).

Daneben wurden Verbesserungen im Bereich der Werkzeugmaschinen entwickelt; etwa die präziser arbeitende Zylinderbohrmaschine (J. WILKINSON 1775), die mit Leitspindel ausgestattete Kreuzsupport-Drehmaschine (H. MAUDSLAY etwa 1794; BENAD-WAGENHOF (1993) bezeichnet diese Universaldrehmaschine als Basisinnovation des industriellen Maschinenbaus) und schließlich die Erfindung von genauen Messinstrumenten (Genauigkeit bis auf einen Millionstel Zoll; J. WHITWORTH 1830) erlaubte die maßgenaue Fertigung von Maschinenelementen wie Wellen, Schrauben, Bolzen und Zylindern.

Die Bedeutung der verbesserten Werkzeugmaschinen und Messinstrumente lag vor allem in der für die beginnende Massenproduktion erforderlichen Austauschbarkeit von Teilen, die messtechnischen Voraussetzungen für austauschbare Teile im Maschinenbau wurden allerdings erst um die Jahrhundertwende geschaffen (vgl. BENAD-WAGENHOF 1993, 358).

Schließlich ist neben den technologischen Entwicklungen der Bereiche Arbeitsprozesse, Werkstoffe, Maschinen auch nach der damit verbundenen Ausbildung von Konstrukteuren zu fragen. Die Gründung von entsprechenden Schulen wurde in Deutschland ab etwa 1825 (Gründung der

ersten technischen Schule in Karlsruhe) etabliert (der verzögerte Beginn der Industrialisierung in Deutschland zeigt sich auch hier, Gründung der École Polytechnique in Frankreich schon 1794). Hier entstanden auch die ersten Standardwerke des Maschinenbaus von F. REDTENBACHER (ab 1841 Professor für Maschinenwesen; ab 1857 als Direktor der polytechnischen Schule):

„Er begründete in Karlsruhe [...] den wissenschaftlichen Maschinenbau, der in der Form, die er ihm gab, vorbildlich für die anderen polytechnischen Schulen wurde. Während die Pariser École Polytechnique die Technik mehr als mathematische und physikalische Disziplin theoretisch betrieb, trat Redtenbacher für eine selbständige Maschinenlehre ein, bei der die wissenschaftliche Beherrschung der Maschinenwelt aus dieser selbst heraus entwickelt wurde im Sinne eines rein technischen Denkens. [...] Neben der wissenschaftlichen Theorie des Maschinenbaus sollte besonders das praktische Konstruieren nicht vernachlässigt werden [...].“

(KLEMM 1999, 160)

In Redtenbachers „Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus“ (1852), die auch heute noch geltende Merkmale und Grundsätze enthalten (vgl. PAHL / BEITZ 1997, 13), wird unter anderem schon die „Notwendigkeit der technischen Zeichnung für den Maschinenbau mit Nachdruck“ hervorgehoben (KLEMM 1999, 162). Die Infinitesimalrechnung (FERMAT, BERNOULLI) sowie die darstellende Geometrie wurden zu bedeutsamen formalen Mitteln für das wissenschaftliche technische Schaffen (vgl. ebd.).

Die in der Folge gegründeten Gewerbeschulen und polytechnischen Schulen (wie 1827 München, 1828 Dresden, 1829 Stuttgart, 1831 Hannover) erhielten seit dem Ende der 1860er Jahre Hochschulrang (vgl. KÖNIG 1989, 199). In zunehmendem Maße wurden dann auch Ingenieure an technischen Hochschulen ausgebildet, „Konstrukteur wurde der typische Anfangsberuf für den Hochschulabsolventen“ (s. KÖNIG 1989, 188).

Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurden dann mit Arbeiten von BEUTH (der sich seit 1817 in Preußen um das gewerbliche Schulwesen in Preußen bemühte) sowie REULEAUX (etwa „Konstruktionslehre für den Maschinenbau“, 1854) weitere Grundlagen geschaffen, die technische Bildung zu einer umfassenden Ingenieurwissenschaft ausgebaut.

KÖNIG (1989) analysiert in einer historischen Untersuchung der Konstruktionspraxis im deutschen Maschinenbau die Veränderungen im Zeitraum von 1820 bis 1930; also von den Anfängen der industriellen Revolution bis hin zur Rationalisierungsbewegung und Massenproduktion.

Seit Beginn der Industrialisierung bestanden Konstruieren und Fertigen als Einheit, wurden technische Produkte vollständig in der Werkstatt gestaltet (vgl. König 1989, 186). Diese Phase

(seit 1820) wird von KÖNIG (1989) als Zeitraum der „Meisterkonstruktionen“ gekennzeichnet, die Gestaltung technischer Produkte baute zum großen Teil auf die über Jahre kumulierte technische Erfahrung der Werkstattmeister auf. Es wurde vor allem Vorhandenes aus eigener oder fremder Produktion verbessert (vgl. 186).

Mit der in der Folge aufkommenden weiteren Industrialisierung wurde die Produktrealisierung in zunehmenden Maße in die Bereiche Konstruieren und Fertigen aufgeteilt (vgl. HUBKA/ EDER 1992, 3 / RÜCKERT 1997, 2 / KÖNIG 1989).

Während der Konstruktionsbereich zu Beginn allmählich aus der Fertigung herausgelöst wurde (ab 1850, Phase der „Erfinderkonstruktionen“; s. KÖNIG 1989, 185f), gab es in der Zeit des Kaiserreichs in großen Maschinenbauunternehmen eine klare organisatorische Trennung (ab 1870, Phase der „Konstruktorskonstruktionen“; s. KÖNIG 1989 185f), verbunden mit zahlreichen Abstimmungsproblemen. Die „konzeptionelle Leitung“ bei der Gestaltung technischer Produkte wurde damit durch eine Konstruktionsabteilung übernommen und fand erstmalig weitgehend auf Papier statt (vgl. 187f). Als Konsequenz traten die im Umgang mit dem Produkt erworbenen „empirischen Kenntnisse“ in den Hintergrund und bedurften einer theoretischen Ergänzung, die von „mathematisierten Beschreibungsmodellen technischer Sachverhalte bis zu formalen zeichnerischen Darstellungsweisen reichten“ (s. ebd.).

Im Rahmen der „Rationalisierungsbewegung“ nach 1890 wurde dann versucht, eine bessere Kooperation zwischen Fertigung und Konstruktion zu etablieren. Trotz organisatorischer Trennung, wurden die Bereiche stärker „inhaltlich aufeinander bezogen“ (Phase der „Firmenkonstruktionen“; s. KÖNIG 1989, 186). Verbesserungsmaßnahmen waren „Bemühungen um ein fertigungsfreundliches Konstruieren“, „Maßnahmen der Typisierung und der Normierung“ sowie eine „Intensivierung der Spezialisierung und Differenzierung der Konstruktion“ (vgl. KÖNIG 1989, 183).

Verbunden mit den Normierungs- und Typisierungsmaßnahmen veränderte sich die Konstruktionsarbeit, der zeichnerische Aufwand reduzierte sich durch die Verwendung normierter Symbole, zugleich wurden Gestaltungsmöglichkeiten eingeschränkt. (Da außerdem im Zuge der allgemeinen Entwicklung des Maschinenbaus die Anforderungen an Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit zunahmen, wurde so die Lösung von konstruktiven Aufgaben erschwert – für erhöhte Anforderungen wurde der Lösungsraum eingeschränkt - vgl. KÖNIG 1989, 196).

Besonders soll hier nochmals auch auf die Entwicklung der „Mittel der Kommunikation zwischen Konstruktion und Fertigung“ hingewiesen werden, da sie sehr gut die Veränderung der

Konstruktionspraxis illustriert. Im als „Meisterkonstruktion“ benannten Zeitraum zu Beginn der Industrialisierung waren die Kommunikationsmittel vielfältig, sie „reichten von mündlichen Anweisungen, Modellen aus Holz und Skizzen bis zu [unbemaßten] Werkstattzeichnungen auf Papier oder auch auf Holzbrettern“ (s. KÖNIG 1989, 186). Es wird deutlich, dass so nur „grobe Hinweise auf den Aufbau der Produkte gegeben werden konnten“ (ebd.). Im Rahmen der „Firmenkonstruktionen“ wurden dann „bemaßte Schwarz-Weiß-Werkstattzeichnungen“ mit Stücklisten verwendet (ebd.). Die erfolgte organisatorische Trennung der Bereiche Entwicklung und Konstruktion erforderte diese höhere Maß an Präzision und Eindeutigkeit.

Den eigentlichen Ausgangspunkt methodischen Konstruierens in Bezug auf eine umfassende Darstellung mit methodischen Gesichtspunkten im heutigen Sinne stellt nach PAHL / BEITZ (1997, 14) WÖGERBAUERS Darstellung der „Technik des Konstruierens“ von 1943 dar (so wird auf WÖGERBAUER auch noch in der VDI Richtlinie 2223 von 1999 verwiesen).

Insgesamt aber dominierte in der früheren Konstruktionsausbildung (vor 1960) ein schöpferischer und künstlerischer Aspekt, Konstrukteuren wurden vor allem Eigenschaften wie „sachbezogene Intuition“ zugeschrieben. Im Rahmen dieser Auffassung von Konstruieren als „Kunst“ wurde „nur anhand von Beispielen gelehrt und erlernt“. (s. PAHL 1995, 27; vgl. RÜCKERT 1997, 1) Erst in der Folge wurde „die Tätigkeit des Konstrukteurs für wissenschaftlich-technisch erklärt“ (s. HUBKA / EDER 1992, 21) und somit die Basis für die Ansicht geschaffen, dass diese Tätigkeit auch plan- und optimierbar ist.

Mit der Einrichtung von ersten Lehrstühle für Konstruktionsmethodik wurde in Deutschland Mitte der 60er Jahre begonnen. In der Folge wurde eine systematische Entwicklung des methodischen Konstruierens vorgenommen, die Ergebnisse aus anderen, nichttechnischen Wissenschaftsbereichen integrierte. So konnten durch die Schaffung geeigneter Darstellungsmöglichkeiten für abstrakte, informative Zusammenhänge, „Technologien“ der Informationsverarbeitung bereitgestellt werden.

Ansätze für auch noch „heute genutzte Vorschläge für Einzelphasen und Arbeitsschritte des methodischen Konstruierens“ lieferten in der Folge zahlreiche Arbeiten (s. PAHL / BEITZ 1997, 15), die gleichzeitig auch immer den Stand der Forschung allgemein widerspiegeln. Die Konstruktionsforschung wurde vor allem mit Erkenntnissen aus der Systemtechnik und Informationsverarbeitung (in möglichst allgemeingültigen Regeln) systematisiert, wobei die durch generelle Logik und Zweckmäßigkeit geprägten Modelle zum Teil eher dem gewünschten als dem realen Vorgehen entsprachen (vgl. DYLLA 1991, 17). So kennzeichnet beispielsweise JÜPTNER 1970

Konstruieren als „informationsverarbeitenden Prozess“ und begründet somit die „Zuständigkeit“ kybernetischer sowie systemtheoretischer Überlegungen (vgl. 5).

In den letzten Jahren sind Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse in Industrieunternehmen, welche eine herausragende Bedeutung für den Produkterfolg sowie die wettbewerbsfähige Produktherstellung haben, von gravierenden Veränderungen der Rahmenbedingungen betroffen. Eine teilweise drastische Verkürzung der Produktlebenszeiten, Lean- und Outsourcing Strategien sowie Kosten-, Qualitäts- und Umweltmanagement stellen große Aufgaben und Anforderungen (vgl. VDI Richtlinie 2223 (Entwurf), 2; VDI Richtlinie 2221, 2).

In der konstruktionswissenschaftlichen Forschung wurden zunehmend pädagogische und psychologische Fragestellungen beim methodischen Konstruieren beachtet. Daneben wurden verschiedene Schwerpunkte verfolgt, etwa zur Schadensanalyse, Qualitätssicherung, zum kostenbewussten Konstruieren oder auch der integrierten Produktentwicklung (s. GERHARD 1998, 11). Dem allgemeinen Entwicklungstrend folgend, werden immer mehr Tätigkeiten auch rechnergestützt durchgeführt, „um den Konstrukteur von Routinearbeiten zu entlasten und eine vielseitig weiterverarbeitbare Dokumentation zu erhalten“ (s. VDI Richtlinie 2222 Blatt 1, 2ff).

In aktuellen Ansätzen mit pädagogischem bzw. psychologischem Schwerpunkt – die seit 1985 in Zusammenarbeit mit Denkpsychologen erarbeitet wurden – wird Konstruktionstätigkeit als Spezialfall menschlichen Problemlösens angesehen (DÖRNER / EHRENSPIEL 1996, 6 ; VDI-GESELLSCHAFT 1995). Es wurde u.a. versucht, das erfolgreiche Handeln von Konstrukteuren während ihrer Arbeit zu beobachten, zu analysieren und relevante Einflussfaktoren zu identifizieren.

Als wesentliches Ergebnis der Entwicklung im beschriebenen Zeitraum seit ca. 1800 kann die Entwicklung einer Konstruktionswissenschaft nach HUBKA / EDER (1992) als der „entscheidende Schritt in Richtung Fortschritt“ gewertet werden. Erst damit wurde „eine langfristige Verbesserung der Konstruktionsarbeit [... erzielt], sowohl im Vorgehen der Konstrukteure als auch in bezug auf die Qualität der hergestellten Erzeugnisse“ (3).

Als weiteres Ergebnis der in der Folge (seit 1960) etablierten Konstruktionsausbildung und Forschung folgert RÜCKERT 1997 (1):

„Die verschiedenen Konstruktionsmethodiken, die heute in Deutschland in der Konstruktionsausbildung dominieren, bieten [...] dem Konstruieren eine wissenschaftliche Basis, die Konstruktionsprozesse erklärbar, lehrbar und planbar macht.“

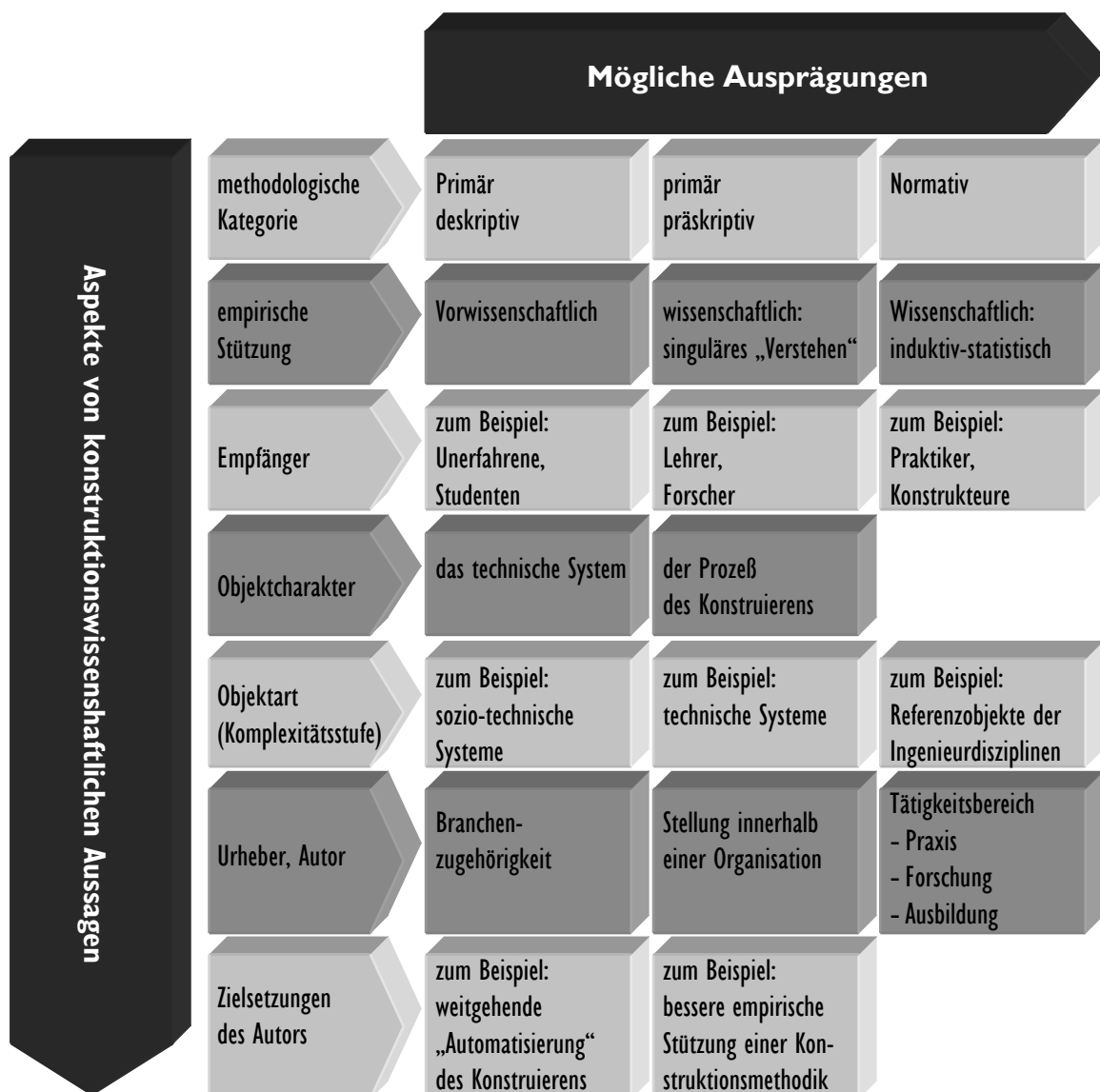
PAHL (1995) betont hierbei allerdings, dass bisher eine ungenügende Umsetzung der Erkenntnisse in die praktische Tätigkeit stattgefunden hat (27).

3.2 Zum Begriff der Konstruktionswissenschaft - Modell und Struktur

HUBKA / EDER (1992) liefern – gemäß ihrem Anliegen die Konstruktionswissenschaft zu konstituieren - eine grundlegende systematische Beschreibung der Konstruktionswissenschaft und ordnen diese in die Technikwissenschaften ein (vgl. 4ff). Die in den letzten Jahrzehnten entwickelte Konstruktionswissenschaft ist demzufolge ein „System von logisch miteinander verknüpften Kenntnissen“, welches „das komplette Wissen über und für Konstruieren beinhaltet und ordnet“ (vgl. 61).

Der Begriff der Konstruktionswissenschaft steht dabei neben anderen Begriffen, etwa „Design“ bzw. „Engineering Design“ im englischsprachigen Raum. Diese sind allerdings als Oberbegriff nicht geeignet, da sie sich nur auf Teilbereiche beziehen (vgl. HUBKA / EDER 1992, 62f). Gegenstand und Zielsetzung der Konstruktionswissenschaft ist es, die kausalen Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten des Konstruierens von technischen Systemen in der ganzen Breite zu erklären. Die Konstruktionswissenschaft als „Wissenssystem“ liegt in Form von „Begriffen, Kategorien (Taxonomie), Maßbestimmungen, Gesetzen, Theorien und Hypothesen“ vor und bildet die Grundlage für eine „bewusste“ Konstruktionstätigkeit (vgl. ebd.).

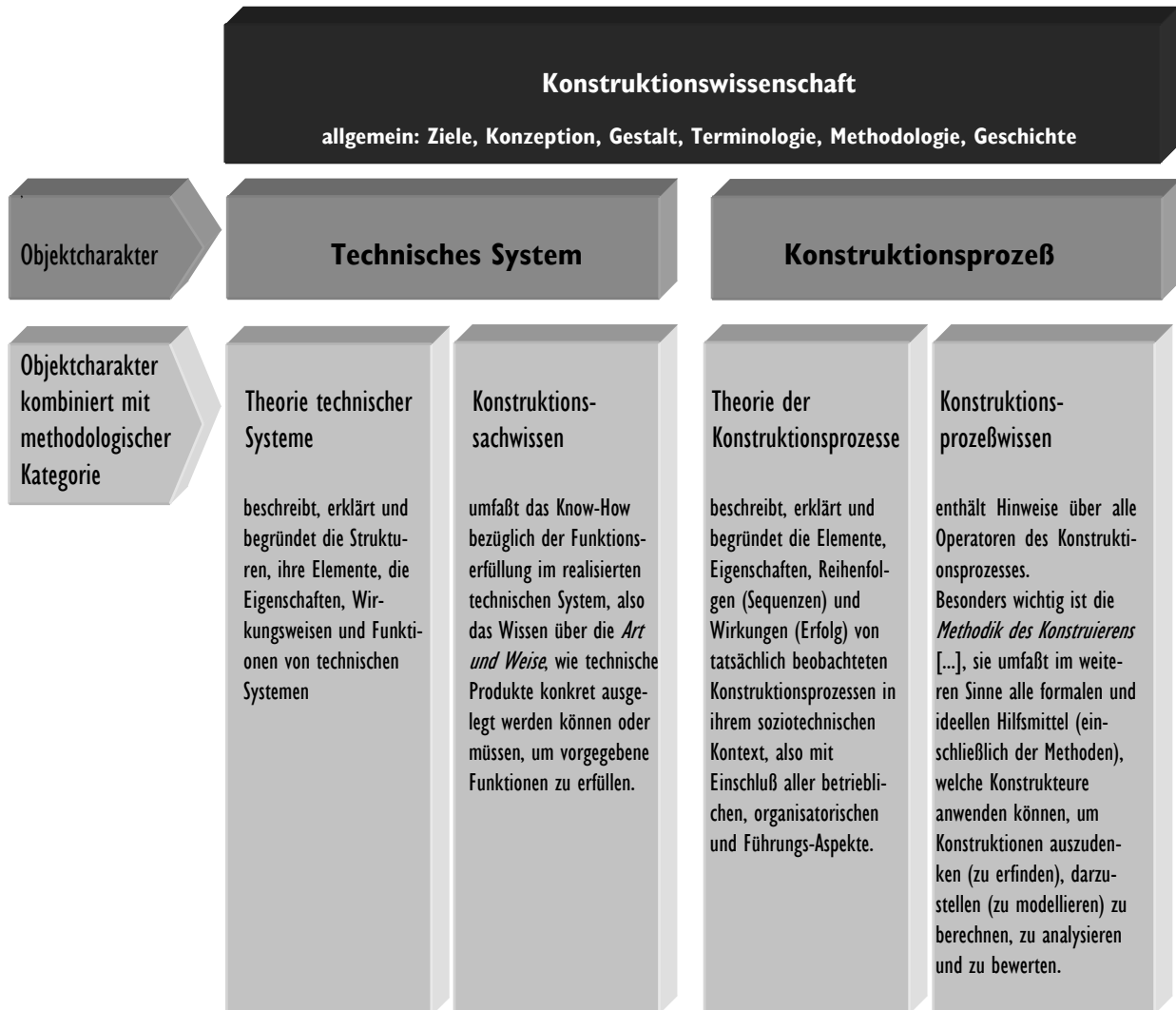
Um dieses Wissenssystem zu strukturieren, legen HUBKA / EDER (1992, 66f) eine „morphologische Matrix“ konstruktionswissenschaftlicher Aussagen vor:



Die Vielzahl der vorhandenen, z.T. speziellen Teilgebiete oder Schwerpunkte beinhaltenden Ansätze zur Konstruktionsmethodik lassen sich unter Zuhilfenahme der Matrix kategorisieren und ordnen. Verschiedene Aspekte konstruktionswissenschaftlicher Aussagen weisen entsprechende Ausprägungen auf, wobei die verschiedenen Aspekte wie die möglichen Ausprägungen naturgemäß nicht vollständig aufgezählt werden können. Hierbei definieren die Elemente der Struktur zugleich den Inhalt des Systems (vgl. 71).

Unter Nutzung der „zwei wichtigsten Merkmale“ der obigen Abbildung, nämlich der Aspekte „Objektcharakter“ sowie „methodologische Kategorie“ lässt sich nach HUBKA / EDER (1992) die Konstruktionswissenschaft in eine hierarchische Struktur überführen (71). Die Aufteilung erfolgt in das Wissen über konstruierte Objekte in Form von Prozessen und Sachsystemen und in

das Wissen über den Konstruktionsprozess und seine Operatoren. Mit der methodologischen Kategorie werden diese zwei Bereiche jeweils weiter nach deskriptivem (Theorie-) Wissen und präskriptivem Wissen gegliedert (vgl. ebd).



Es sind somit vier grundlegende Klassen von Aussagen, die die Basis der hierarchischen Struktur der Konstruktionswissenschaft bilden.

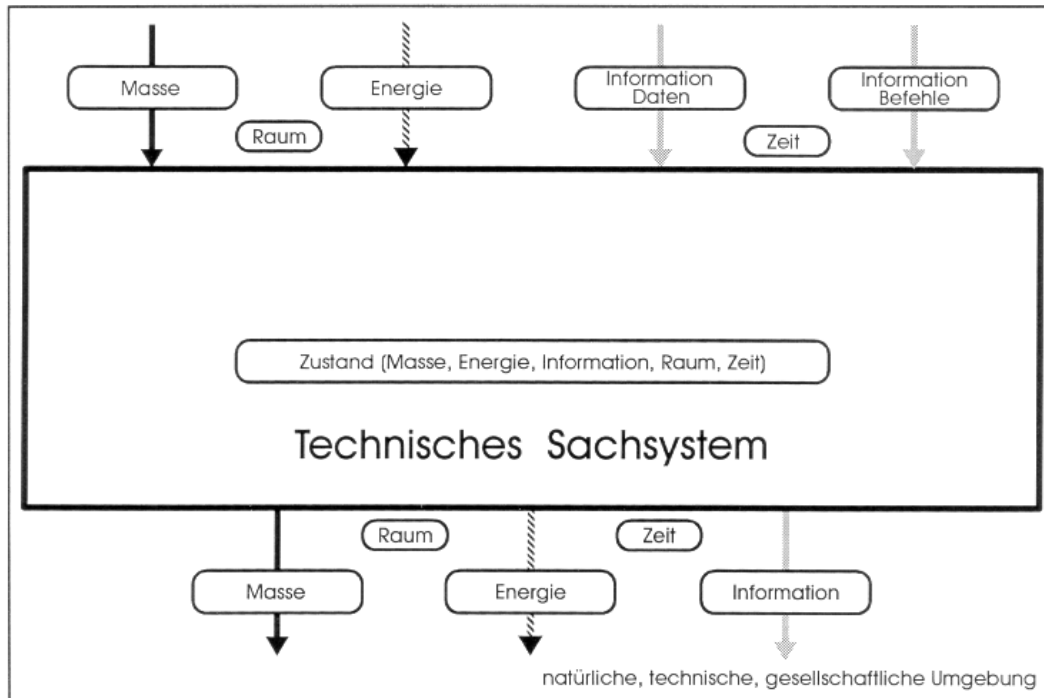
Die beiden Abbildungen definieren die für das weitere Vorgehen grundlegenden Begriffe; die beiden Kategorien „technisches System“ sowie „Konstruktionsprozeß“ werden in den folgenden Kapiteln weiter ausgeführt.

3.2.1 Grundlagen technischer Systeme

Die Theorie technischer Systeme wird im folgenden weiter ausgeführt (vgl. in der vorhergehenden Abbildung „Objektcharakter - technisches System“) Der Objektcharakter Konstruktions-sachwissen wird nicht weiter betrachtet, da er immer an ein bestimmtes technisches System geknüpft ist und somit spezielles Konstruktions-sachwissen abbildet.

Technische Systeme oder „Sachsysteme“ (um nach ROPOHL (1999) zum einen explizit auf Produkte menschlicher Absicht und Arbeit zu verweisen und weiterhin um einen bisher nicht vorhandenen Oberbegriff für die Menge der technischen Hervorbringungen zu definieren (vgl. I 18f)) lassen sich verschiedentlich nach Merkmalen gliedern und klassifizieren, etwa nach ihrer Struktur, den realisierten Funktionen, Umsatzprozessen etc.

Als Einstieg und zugleich Überblick wird das von ROPOHL (1999) in Ableitung von soziologischen Systemtheorien (v.a. dem Begriff des Handlungssystems) gewonnene „Blockschema des technischen Sachsystems“ (I 20) herangezogen:



Sachsysteme können allgemein als nutzorientierte, künstliche, gegenständliche Gebilde gekennzeichnet werden, deren Funktionen physikalischen, chemischen oder biologischen Naturgesetzen unterliegen (vgl. I 18ff). Die dargestellten Input- und Output-Größen des Sachsystems lassen sich mit eben diesen Gesetzen qualifizieren und quantifizieren.

Weiterhin ist die Umgebung des Sachsystems unter natürlichem, technischem oder gesellschaftlichem Aspekt zu betrachten. Die Aspekte natürliche und gesellschaftliche Umgebung werden nicht weiter verfolgt, deutlich wird allerdings dabei das zugrundeliegende Technikverständnis nach ROPOHL (das Sachsystem greift auch immer in Natur und Gesellschaft ein).

Unter technischem Aspekt lässt sich die Umgebung eines Sachsystems als hierarchisch strukturiert darstellen (I 21).



Hierarchie der Sachsysteme (Abb. n. ROPOHL 1999, I 22)

Es ergeben sich neun Ebenen, auf denen ein zu beschreibendes Sachsystem angesiedelt werden kann. Abhängig von dessen Niveau können dann Ebenen weiter ausdifferenziert werden, üblicherweise ist das die Ebene „Maschine, Gerät“. Zu beachten ist, dass in der technischen Praxis die Begrifflichkeiten nicht so eindeutig benutzt werden, wie dies in der Abbildung nahegelegt wird (vgl. I 21).

Um ein bestimmtes Sachsystem zu beschreiben, können auch die technischen Funktionen, die es realisiert, herangezogen werden, nach ROPOHL die „Sachsystemfunktionen“ (124). Sie realisieren den eindeutigen, gewollten und reproduzierbaren Zusammenhang zwischen Input und Output (PAHL / BEITZ 1997, 40).

Die Formulierung der Sachsystemfunktionen ist dabei zunächst unabhängig von ihrer konstruktiven Umsetzung, sie ist eine Beschreibung auf einer „abstrakten und lösungsneutralen Ebene“ (PAHL / BEITZ 1997, 41).

Über diese Funktionen können dann relevante Bereiche spezieller Technologien herangezogen werden, WOLFFGRAMM (1994) entwickelt dafür ein „System der technologischen Vorgänge“ (70; nach ROPOHL (1999, 124) stellt WOLFFGRAMM mit dieser Systematik die Verschränkung zwischen Allgemeiner Technologie und speziellen Technologien her):

Art des Arbeitsgegenstandes	Art der Veränderung		
	Formänderung	Strukturänderung	Ortsänderung
Stoff	Stoffformung	Stoffwandlung	Stofftransport
Energie	Energieumformung	Energiewandlung	Energietransport
Information	Informationsumformung	Informationswandlung	Informationstransport
	Verfahren	Prozesse	Operationen

Hierarchie der Sachsysteme (Abb. n. Wolffgramm 1994, 70)

Die wesentlichen „Sachsystemfunktionen“ eines Technischen Systems können so den Kategorien technologische Vorgänge zugeordnet werden. Oft werden alle drei der angeführten Arbeitsgegenstände, also Stoff, Energie und Information umgesetzt.

EHRENSPIEL (1995) unterscheidet zur Klassifikation technischer Systeme zwischen Haupt- und Nebenumsatz (25f; gemäß DIN-Fachbericht 12). Illustriert wird dieses am Beispiel einer NC-Drehmaschine (an der eine Welle gefertigt wird), die neben dem Hauptumsatz Stoff (der Bearbeitung des Werkstücks) als Nebenumsatz Information (in Form von Steuersignalen) sowie Energie (Wandlung von elektrischer in mechanische Energie) realisiert (vgl. ebd.).

Zu unterscheiden ist hierbei weiterhin zwischen stationären und dynamischen Vorgängen, bei letzteren muss zusätzlich eine zeitliche Definition der Größen zu Beginn und Ende vorgenommen werden (PAHL / BEITZ 1997, 41).

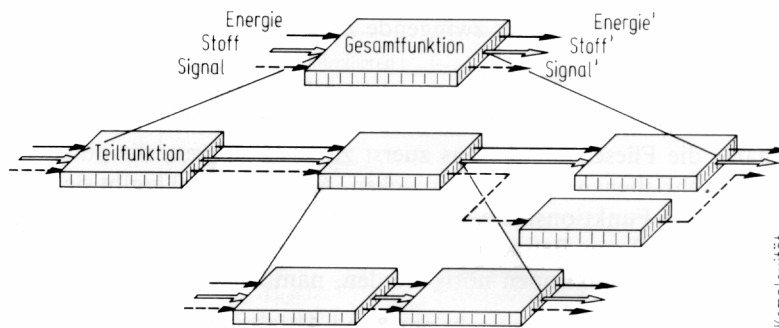
Die Hauptumsatzarten mit ihren Umsatzprodukten sind in der folgenden Tabelle mit Beispielen für Maschinenelemente bzw. Maschinentypen aufgeführt:

Umsatzart des Hauptumsatzes	Umsatzprodukt	Maschinenelement	Produkttyp bzw. Maschinentyp
Energieumsatz	mechanische Energie	Zahnrad, Welle, Lager, Kupplung	Getriebe
	pneumatische Energie	Kolben, Zahnrad	Verbrennungsmotor Zahnradpumpe /-motor
	hydraulische Energie	umströmte Schaufel	Turbine, Verdichter
	thermische Energie	Rohrleitung	Wärmetauscher
	elektrische Energie	Elektromagnet	Elektromotor
Stoffumsatz	fester Stoff	Sieb, Filter Mischschaufel Drehmeißel	Sieb-, Filtriermaschinen Mischer Drehmaschine
	flüssiger Stoff	Zahnrad Kolben umströmte Schaufel Rohrleitung	Zahnradpumpe Kolbenpumpe Kreiselpumpe Trinkwasserversorgung
	gasförmiger Stoff	umströmte Schaufel Behälter	Ventilator Gasflasche
Informationsumsatz	energetische Information	Zahnrad Kolben umströmte Schaufel Rohrleitung elektrische Schalter Software	indukt. Drehzahlmessgerät Mehrwegeventil Geschwindigkeitsmeßgerät pneumatische Steuerung Telegraf Rechner
	stoffliche Information	Zahnrad Kolben Letter	Ovalrad-Meßgerät Mengenregler Schreibmaschine

Klassifikation technischer Systeme nach der Hauptumsatzart (Zweck) und nach dem Umsatzprodukt (s. EHRENSPIEL 1995, 28)

Für die Konstruktionspraxis ist nach PAHL / BEITZ (1997, 40) für eine konkret gewünschte Funktionserfüllung eine Quantifizierung sowie eine Qualifizierung des Umsatzes unabdingbar, diese werden gegebenenfalls durch Kostenangaben weiter präzisiert. Somit sind eindeutige Kriterien für eine Aufgabe geschaffen die diese präzisieren und so die Auswahl der Lösungen wie eine Bewertung determinieren.

Die dargestellten Funktionen und Attribute von Sachsystemen gehören zu den äußeren Eigenschaften, der innere Aufbau eines Sachsystems (vgl. die oben angeführte Hierarchie) lässt sich unter der strukturalen Betrachtungsweise in Subsysteme gliedern (vgl. ROPOHL 1999, 126f). Die Teile oder Subsysteme lassen sich wieder als Sachsysteme auffassen; soweit diese einzelne Teilfunktionen realisieren, führt deren sinnvolle und verträgliche Verknüpfung zu einer Funktionsstruktur. Diese kann zur Erfüllung der Gesamtfunktion des Sachsystems variabel sein, jede Teilfunktion ist in der unten angeführten Abbildung als „Black-Box“ dargestellt, deren Vorgänge und Subsysteme zunächst nicht weiter betrachtet werden (PAHL / BEITZ 1997, 41):



Bilden einer Funktionsstruktur durch Aufgliedern einer Gesamtfunktion in Teilfunktionen

(s. Pahl / Beitz 1997, 41)

Das Erstellen einer Funktionsstruktur unterstützt insofern die Lösungssuche, als die gegebenenfalls komplexe Gesamtfunktion des Sachsystems in Teilfunktionen strukturiert wird. Lösungen für die Teilfunktionen können damit gesondert erarbeitet werden (vgl. PAHL / BEITZ 1997, 49).

Wie bei den Umsatzprozessen ist es z. T. sinnvoll zwischen Haupt- und Nebenfunktionen zu unterscheiden, wobei Nebenfunktionen nur mittelbar zur Gesamtfunktion des Sachsystems einen Beitrag leisten.

Des weiteren lassen sich Funktionszusammenhänge auch unter logischer Betrachtung analysieren. Zum einen geht es hier darum, die Verknüpfung von Teilfunktionen in einer Hierarchie bzw. zeitlichen Abfolge zu realisieren. Außerdem kann so auch mit logischen Grundverknüpfungen der Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrößen einer Teilfunktion abgebildet werden, es wird hierfür die Boolesche Algebra genutzt (vgl. PAHL / BEITZ 1997, 46f).

Da die zuvor als „Black Box“ dargestellten Teilfunktionen wieder als Sachsystem aufgefasst werden können (s.o.), gilt auch für sie, dass sich ihre Input- und Output-Größen mit physikali-

schen, chemischen oder biologischen Gesetzen qualifizieren und quantifizieren lassen. Gerade im Bereich Maschinenbau überwiegen Lösungen unter Nutzung physikalischer Gesetzmäßigkeiten. Chemische und biologische Lösungen werden vor allem im Bereich der Verfahrenstechnik genutzt (vgl. PAHL / BEITZ 1997, 50f).

Eine gewünschte Teilfunktion kann durch verschiedene physikalische Effekte erzielt werden (Beispiel: „Kraft vergrößern“ durch Hebel-, Keil-, elektromagnetischen oder hydraulischen Effekt, s. PAHL / BEITZ 1997, 50), muss allerdings mit den Effekten verknüpfter Teilfunktionen verträglich sein. Der Ort an, dem der gewünschte physikalische Effekt auftritt, wird als Wirkort bezeichnet, dieser wird durch Wirkgeometrie und die Wahl von Wirkbewegungen erzwungen. Insgesamt spricht man vom Wirkzusammenhang (ebd.)

Zusammenfassend und exemplarisch sollen die in diesem Kapitel wesentlichen Zusammenhänge für die Grundlagen von technischen Systemen in der folgenden Tabelle dargestellt werden:

Zusammenhänge	Elemente	Struktur	Beispiel
Funktions-zusammenhang	Funktionen	Funktions- struktur	<p>zu entwickelndes techn. Gebilde</p>
Wirk-zusammenhang	Physikalische Effekte sowie geometrische und stoffliche Merkmale ↓ Wirkprinzipien	Wirk- struktur	<p>Hebeleffekt: $F_a \cdot a = F_b \cdot b$, $F_a = F_N$, $F_b = F_S$</p> <p>Reibungseffekt: $R = F_U$, $R = \mu \cdot F_N$</p>
Bau-zusammenhang	Bauteile Verbindungen Baugruppen	Bau- struktur	
System-zusammenhang	Techn. Gebilde Mensch Umgebung	System- struktur	

Zusammenhänge in Technischen Systemen (s. Pahl / Beitz 1997, 54)

3.2.2 Grundlagen und Struktur von Konstruktionsprozessen

Der zum Ende von Kapitel 3.2 angeführten Abbildung folgend, wird nun der Objektcharakter des Konstruktionsprozesses weiter betrachtet, darunter vor allem der Bereich präskriptiver und normativer Aussagen, wie sie etwa in Konstruktionsmethodiken und Normungen vorliegen. Deskriptive Aussagen in Form von Forschungsbefunden werden erst später Gegenstand der Betrachtung, gemäß der Themenstellung der vorliegenden Arbeit wird der soziotechnische Kontext in der Theorie der Konstruktionsprozesse nicht weiter ausgeführt .

Definitionen des Begriffs Konstruieren liegen in einer Vielzahl vor und spiegeln jeweils verschiedene Akzentuierungen und Schwerpunktsetzungen wieder (vgl. HUBKA / EDER 1992, 16f). Vielen Aussagen ist aber gemein, dass sie eine prozessuale oder operationale Sichtweise decken; eine sehr allgemein gefasste Definition - die den Gegenstand des Konstruierens nicht näher benennt – liefern HUBKA / EDER, hier als erste Näherung aufgeführt:

„Konstruieren wird definiert als die Transformation (Umwandlung) einer Information vom Zustand der Anforderungen (einschließlich der geforderten Funktionen) in die Beschreibung einer Struktur, welche diese Anforderungen erfüllt.“

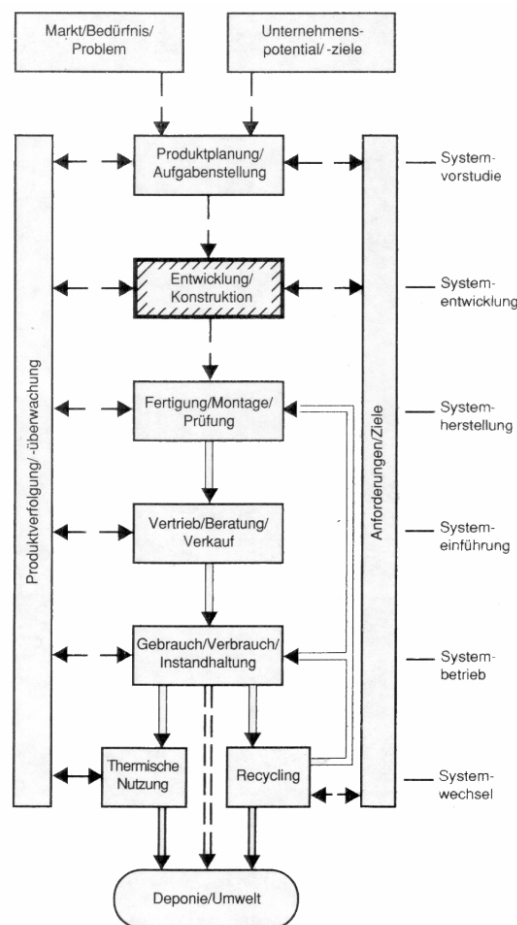
(HUBKA / EDER 1992, 14)

Schwerpunktsetzungen für die Definition des Konstruktionsbegriffs ergeben sich etwa aus den Verhältnissen und Anforderungen der einzelnen Produktgruppen, die durch die einzelnen Wissenschaftler bzw. „Methodik-Schulen“ repräsentiert werden. So stehen beispielsweise für Produkte der Feinwerktechnik besonders Elektronik- und Software-Komponenten sowie eine Funktionsorientierung im Vordergrund; Produkte des Großmaschinenbaus werden dagegen stärker durch Festigkeits- und Fertigungsfragen, die der Fahrzeugtechnik durch systemtechnische Abstimmung von Einzelkomponenten, durch Anforderungen der Massenfertigung, des Leichtbaus und der äußeren Formgebung geprägt (s. PAHL / BEITZ 1997, 29).

Während die oben angeführte Definition Konstruieren unter methodischem Aspekt als Optimierungsprozess unter gegebenen Zielsetzungen betrachtet, beinhalten die jeweiligen Schwerpunktsetzungen oft eine organisatorische Sichtweise des Konstruierens, als Teil des Produktlebenslaufs. Dementsprechend stellt EHRENSPIEL (1995) in seiner „Integrierten Produktentwicklung“ Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion als gleichrangig dar. („Die rein sachbezogene Methodik allein reicht nicht aus, Denk- und Handlungseinheiten

von Konstrukteuren, von Gruppen und von ganzen Unternehmen müssen einbezogen werden“ (EHRENSPIEL 1995, Vorwort).

Somit ist etwa nach DYLLA zur Begriffsbestimmung des Konstruierens auch mit den Konzepten „Produktmerkmale“ (etwa nach DIN 2330) und „Lebensphasen“ (s. DIN 2221) zu arbeiten (vgl. DYLLA 1991, 17f). Produktmerkmale beinhalten hierbei Beschaffenheits-, Funktions- sowie Relationsmerkmale (vgl. hierzu auch das vorhergehende Kapitel); die Lebensphasen eines Produktes beinhalten alle Abschnitte von der ersten Idee bis zu Entsorgung.



Produktkreislauf mit Produktentstehungs- und -lebensphasen einschließlich erforderlicher Informationswege (VDI 2221, 8)

Der Fokus liegt damit auf dem Gegenstand des Konstruierens, dem Produkt; zugleich wird der Prozess des Entwickelns und Konstruierens als Teil des Produktkreislaufs eingeordnet.

Diese Herangehensweise liefert eine eingeschränkte Definition - fokussiert zugleich aber auch den Gegenstand des Konstruierens (was dem realen Vorgehen eher entsprechen soll):

„Konstruieren ist die Gesamtheit aller Tätigkeiten, die darauf abzielen, Beschaffenheitsmerkmale eines Produktes derart festzulegen, daß Forderungen nach Ausprägungen von Produktmerkmalen erfüllt werden. Diese beziehen sich i.A. auf Funktions- und Relationsmerkmale für alle nachfolgenden Lebensphasen.“

(DYLLA, 1991, 18)

Im Rahmen des Konstruktionsprozesses werden nach dieser Definition also Beschaffenheitsmerkmale (in Form von Werkstoff, Gestalt, Lage etc.) unmittelbar festgelegt und in entsprechender Form dokumentiert. Die weiteren Produktmerkmale (Herstellbarkeit, Funktion usw.) werden als „Folgegrößen“ mittelbar festgelegt (s. DYLLA 1991, 18).

EHRENSPIEL (1995) unterscheidet im Konstruktionsprozess für das Konstruieren unverzichtbare Grundtätigkeiten von begleitenden Tätigkeiten, die als Unterstützung dienen „und allgemein bei der Informationsverarbeitung nötig sind“ (204f).

Tätigkeiten		Zugehörige bzw. verwandte Begriffe	Hilfen		
Grundtätigkeiten	1	Anforderungen klären	Aufgabe klären, Ziele erkennen, Anforderungen, Restriktionen erkennen	Checklisten, Bewertungsverfahren, Markt-, Fremderzeugnis-, Schwachstellenanalyse	
	2	Prinzipielle Lösungen suchen	Konzept, Funktionsprinzip suchen	Checklisten, Kreativmethoden, Kataloge, Literatur, Patentliteratur, Diskussionen, Erfahrung	
	3	Lösungen suchen	Gestaltprinzipien suchen	Bauweisen, Anordnungsprinzipie, Halbzeuge	Checklisten, Kreativmethoden, Kataloge, Literatur, Patentliteratur, Diskussionen, Erfahrung
	4		Gestalterische Lösung suchen	Lösungen gestalten, Lösungen, Oberfläche, Toleranzen suchen, übernehmen, variieren	Gestaltungsregeln, -vorbilder, -richtlinien, ähnliche Konstruktionen, Literatur, Diskussionen, Beratung, CAD
	5		(Werk-) Stoff suchen	Betriebs-, Hilfsstoffe, Halbzeuge, Werkstoffbehandlung festlegen	Werkstoffnormen, Kataloge, Handbücher
	6	Lösungen auswählen	Fertigungsgerecht gestaltete Lösung suchen	Fertigungs-, montage- und normgerecht gestalten	Normen, Gestaltungsrichtlinien, Beratung, Diskussionen, ähnliche Vorbilder, CAD
	7		Berechnen	Voraus-, Nachrechnen, Auslegen, Dimensionieren, Simulieren, Kalkulieren, Abschätzen	Berechnungsformeln und -modelle, Berechnungssoftware
	8		Experimentieren	Probieren, Testen, Simulieren, Versuchen	Versuchs- und Messtechnik, Modelltechnik, Modellwerkstatt, Rapid Prototyping
	9		Beurteilen	Bewerten, Auswählen, Vergleichen, Entscheiden, Festlegen	Erfahrung, Auswahl-, Bewertungstechniken, FMEA, Teamdiskussion
	10	Darstellen	Grafisch darstellen	Skizzieren, Zeichnen, Dokumentieren, Darstellen	Darstellungstechniken, Zeichnungsregeln und -normen, CAD, Graphiksysteme
	11		Textlich darstellen	Schreiben, Stücklisten erstellen, Beschriften, Dokumentieren	Schreibautomaten, CAD, Textsysteme, ähnliche Stücklisten, PPS
Begleitende Tätigkeiten	12	Sich informieren	Informationen suchen, auswerten	Info-Datenbanken, Kataloge, Normen, Richtlinien, Berichte, Zeichnungen, Zeitschriften, Bücher	
	13	Strukturieren	Ordnen, Analysieren, Systematisieren, Identifizieren, Gliedern, Reihen, Klassifizieren, Sortieren	Ordnungssysteme, Klassifikationstechniken, Nummernsysteme, Sachmerkmalsleisten	
	14	Prüfen	Messen, Testen, Vergleichen	Checkliste, Fragebögen, Softwareprogramme, Qualitätssicherungssysteme, Schwachstellenanalyse, Verfahren von Taguchi, Shainin	
	15	Ändern	Ausbessern, Verbessern, Iterieren, Korrigieren, Variieren	Erfahrung, Optimierungsprogramme, Regeln	
	16	Organisieren	Planen, Überwachen, Steuern	Projektmanagement, Organisationslehre, -psychologie	
	17	Kommunizieren	Diskutieren, Nachfragen, Schreiben, Erkunden, Erklären, Formulieren, Beraten, Verstehen, Korrespondieren	Briefwechsel, Fax, Telefon, Sprachkenntnisse, Vortragstechnik, Netzwerke, Besprechungen, Rhetorik, Moderationstechnik	

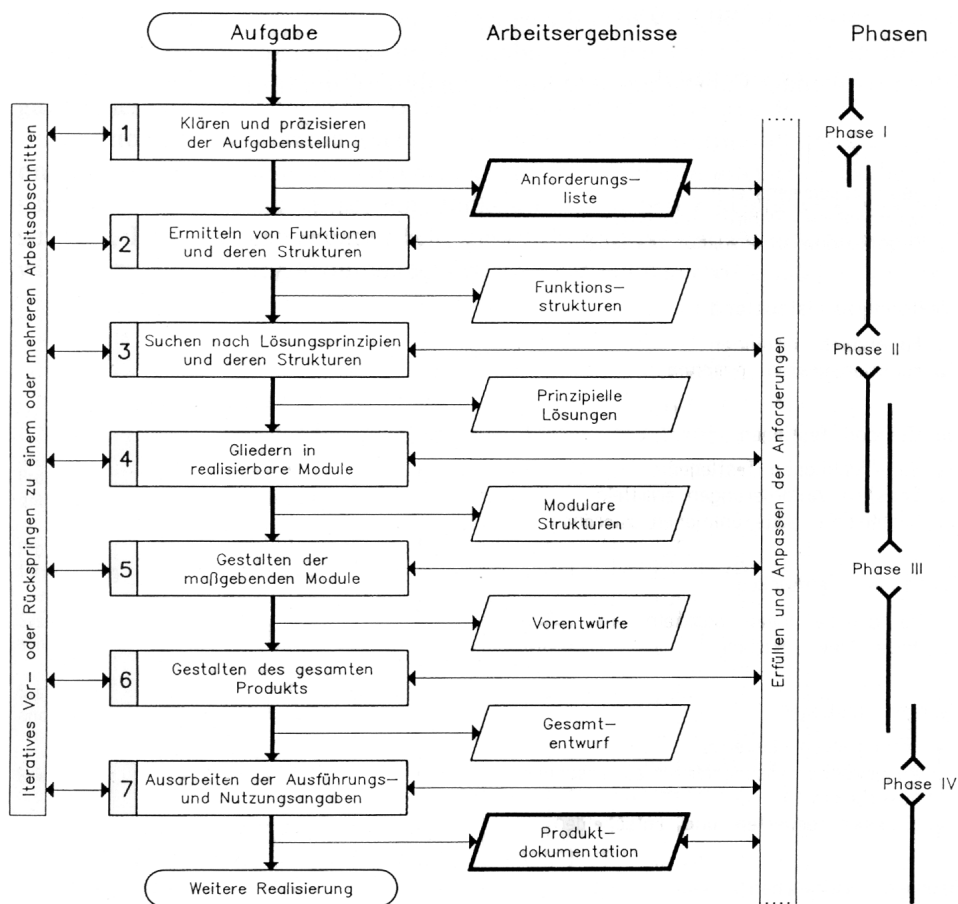
Grundtätigkeiten und begleitende Tätigkeiten beim Konstruieren (Ehrlenspiel 1995, 205)

Diese Übersicht der Tätigkeiten liefert allerdings noch keine Strukturierung in Form einer Abfolge, auch wenn eine Nummerierung der Einzeltätigkeiten eine Hierarchisierung andeutet. Nach EHRENSPIEL (1995) konzentrieren sich die Tätigkeiten in den als „Konstruktionsphasen“ (vgl. VDI 2222) benannten Schwerpunkten (204) auf:

- Aufgabe klären
- Konzipieren
- Entwerfen
- Ausarbeiten

Diese Schwerpunkte finden sich auch als Phasen I bis IV in der VDI Richtlinie 2221 (1993) wieder (bezogen auf den Maschinenbau); sie stellen eine Zusammenfassung dar, an der sich etwa terminliche und / oder organisatorische Abläufe orientieren (9).

Die Richtlinie definiert einen generellen Vorgehensplan für das Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte (Anwendungsgebiete sind Maschinenbau, Feinwerktechnik, Schaltungs- und Softwareentwicklung sowie Verfahrenstechnik; vgl. ebd.):



Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren (VDI-Richtlinie 2221 1993, 9)

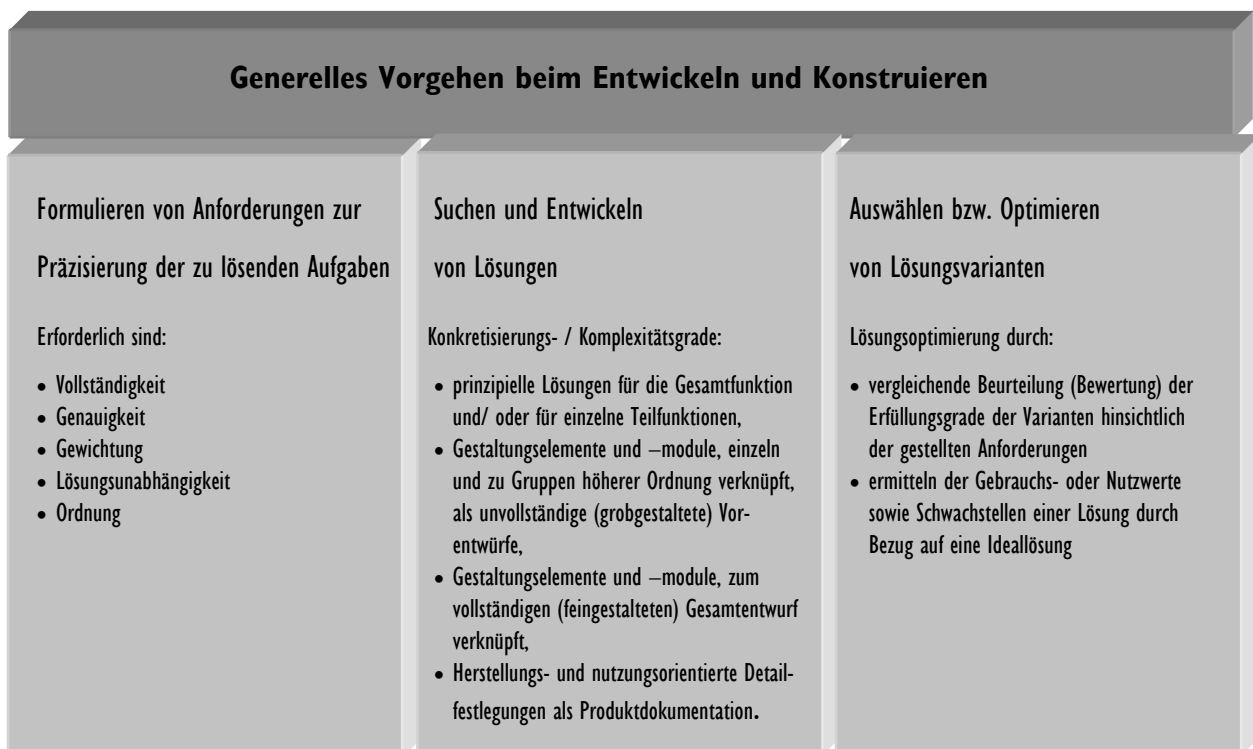
Die Richtlinie wurde 1985 vom VDI – Ausschuss „Methodisches Konstruieren“ unter Beteiligung von Konstruktionswissenschaftlern sowie leitenden Industriekonstrukteuren erarbeitet und erschien 1993 in der wenig veränderten 2. Ausgabe. Zielsetzung war die Erarbeitung einer allgemein anwendbaren „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren“ (VDI Richtlinie 2221, 2). Für die avisierte allgemeine, branchenunabhängige Anwendbarkeit wurde der Vorgehensplan, bezogen auf den Konstruktionsprozess, nur grob strukturiert. Es werden diejenigen Arbeitsabschnitte und Arbeitsergebnisse definiert, die „wegen ihrer generellen Logik und Zweckmäßigkeit“

keit“ als Leitlinie für die Praxis dienen können. Methodische Grundlage für den Vorgehensplan ist die Systemtechnik -als allgemeine Problemlösungsmethodik- ergänzt um spezielle Methodenvorschläge zum Maschinenbau sowie der Feinwerktechnik (VDI 2221 1993, 2).

Aufbauend auf der Konstruktionserfahrung ist im Vorgehensplan ein iteratives Vor- und Zurückspringen zu einem oder mehreren Arbeitsschritten vorgesehen. Die einzelnen Arbeitsabschnitte oder -schritte führen zu entsprechenden dokumentierbaren Arbeitsergebnissen, dabei können mehrere Arbeitsschritte zu Entwicklungs- bzw. Konstruktionsphasen konzentriert werden. (s. PAHL / BEITZ 1997, 29; EHRENSPIEL 1995, 208f).

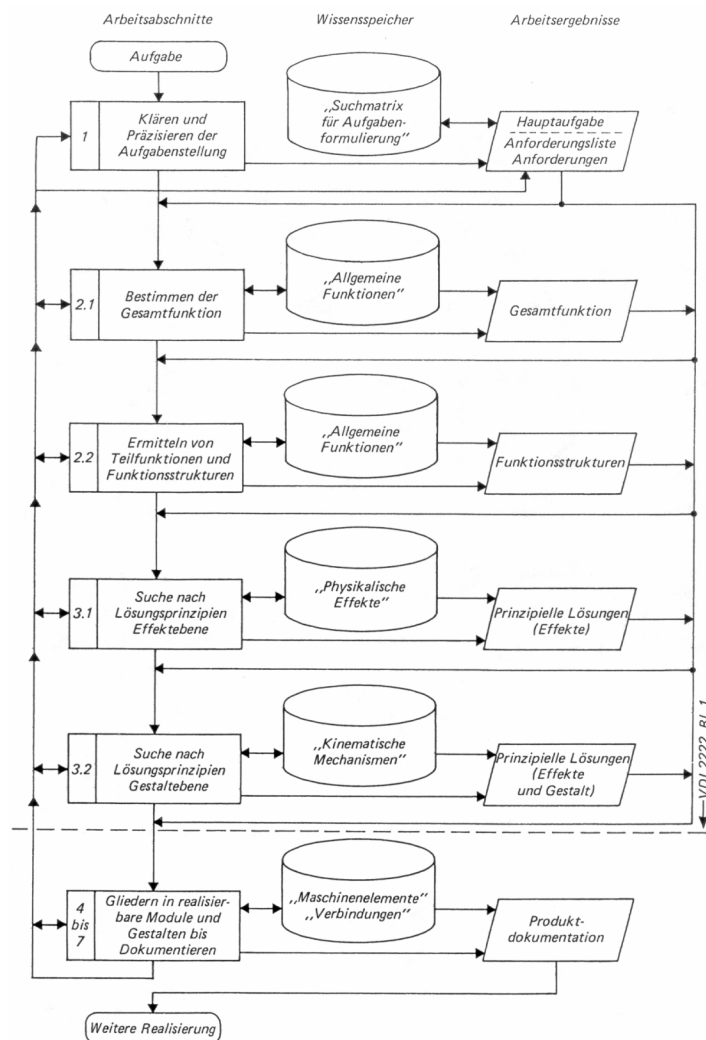
Im generellen Vorgehensplan wurde nicht gesondert aufgeführt, dass „allen genannten Arbeitsschritten gemeinsam ist, „dass bei ihnen jeweils mehrere Lösungsvarianten untersucht, gegebenenfalls in Mustern bzw. Prototypen erprobt und anschließend beurteilt werden müssen. Solche Auswahl-, Optimierungs- und Entscheidungsschritte müssen in allen Arbeitsabschnitten durchgeführt werden“ (VDI 2221, 11).

Zusammenfassend und auf die Kernbereiche vereinfacht zeigt die folgende Abbildung das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren (erstellt nach VDI 2221, 13):



Diese Kernbereiche sollen nun in ihrer Abfolge anhand der Richtlinien, „Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien“ (Richtlinie VDI 2222, 1997) sowie „Methodisches Entwerfen“ (Entwurf VDI Richtlinie 2223, 1999) kurz weiter ausgeführt werden, da sie grundlegende Bedeutung besitzen. Für beide gilt die VDI 2221 als „Dachrichtlinie“.

Die erstgenannte Richtlinie liefert „Anleitungen, wie der Prozess für das Finden der „Prinzipiellen Lösung“ eines technischen Produkts methodisch vollzogen und dokumentiert werden kann“ (VDI 2222 Blatt I, 2). Damit erläutert sie die Arbeitsabschnitte 1 bis 3 des generellen Vorgehens (s.o.) näher, Schwerpunkt ist die „Bereitstellung ausführlicher Unterlagen für das Präzisieren der Aufgabenstellung, das Erkennen der Funktionen und ihrer Verknüpfung sowie [...] das Finden „Prinzipieller Lösungen“ und deren Gestaltung (4).



Vorgehensplan für das methodische Konstruieren nach VDI 2221 mit Zugriff auf Wissensspeicher (z.B. Konstruktionskataloge), erweitert für das Entwickeln von Lösungsprinzipien mit Zugriff auf beispielhafte Wissensspeicher (VDI-Richtlinie 2222 Blatt I 1997, 5)

Die systematische Anwendung von Wissensspeichern (etwa in Form von Konstruktionskatalogen wie in VDI 2222 Blatt 2, „Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen“ 1982, ausgeführt) wird als ein Instrument in der vorangehenden Abbildung dargestellt.

Der Übergang von Gesamtfunktion (s.o. 2.1) und Funktionsstrukturen (s.o. 2.2) zu prinzipiellen Lösungen technischer Produkte ist als entscheidender Schritt der Realisierung technischer Produkte zu sehen. Ein methodischer Schwerpunkt stellt hier das systematische Auswählen und Variieren unterschiedlicher physikalischer Prinzipien (Effekte) zur gewünschten Funktionserfüllung dar (sofern es sich um Hardware handelt), die einen Ansatz zur gestaltlichen Ausprägung liefern sollen (vgl. ebd.):

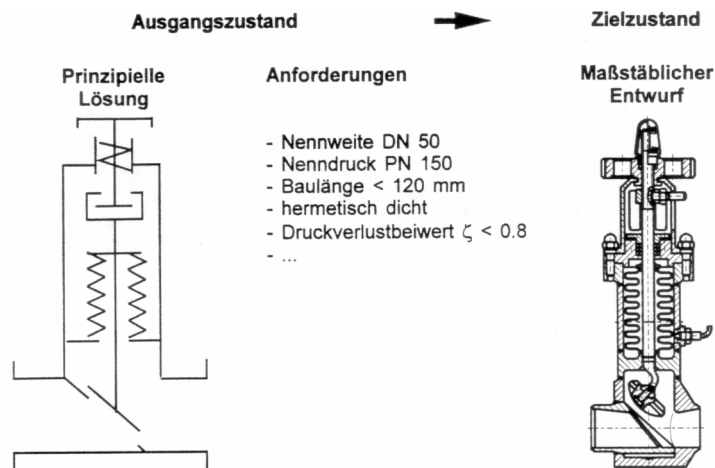
„In diesem Schritt werden einerseits erste Festlegungen zur Anordnung und zum Zusammenhang von festen Körpern, Fluiden und /oder Algorithmen und Datenstrukturen getroffen, die die gewünschte Aufgabenstellung realisieren, andererseits aber werden noch sehr stark vereinfachte Objekte und Strukturen, im Fall von Hardware also Geometrien fester Körper und ihrer Topologien, zum Teil in fast symbolhafter Form, betrachtet.

Vorzug dieser Abstraktion ist, daß die gewünschten Lösungen noch sehr einfach zu übersehen und zu manipulieren sind und auch noch keine detaillierte Gestaltung vorwegnehmen, die aber doch eine Art erstes beschreibendes Koordinatensystem für das Produkt oder Teile eines Produktes erzeugen, das erst eine Reihe von Folgeschritten ermöglicht.“

(VDI 2222 Blatt I, 5)

Die „Prinzipielle Lösung“ ist als Zwischenschritt von der geforderten Funktionserfüllung zu maßstäblichen Modellen (etwa im Maschinenbau) zu sehen, sie ermöglicht die Analyse und Beurteilung der Lösungsidee, die Generierung von Lösungsvarianten sowie erste Dimensionierungsüberlegungen (vgl. 6f). Die Darstellungsformen einer „Prinzipiellen Lösung“ bewegen sich dabei auf Skizzen-Niveau, abhängig von der Aufgabe als unterschiedlich standardisierte symbolhafte Skizzen, freie Strichskizzen, Freihandskizzen etc.

Ein Beispiel einer prinzipiellen Lösung und zugleich Ausgangspunkt des sich direkt anschließenden methodischen Entwerfens technischer Produkte (nach VDI 2223) zeigt die folgende Abbildung:



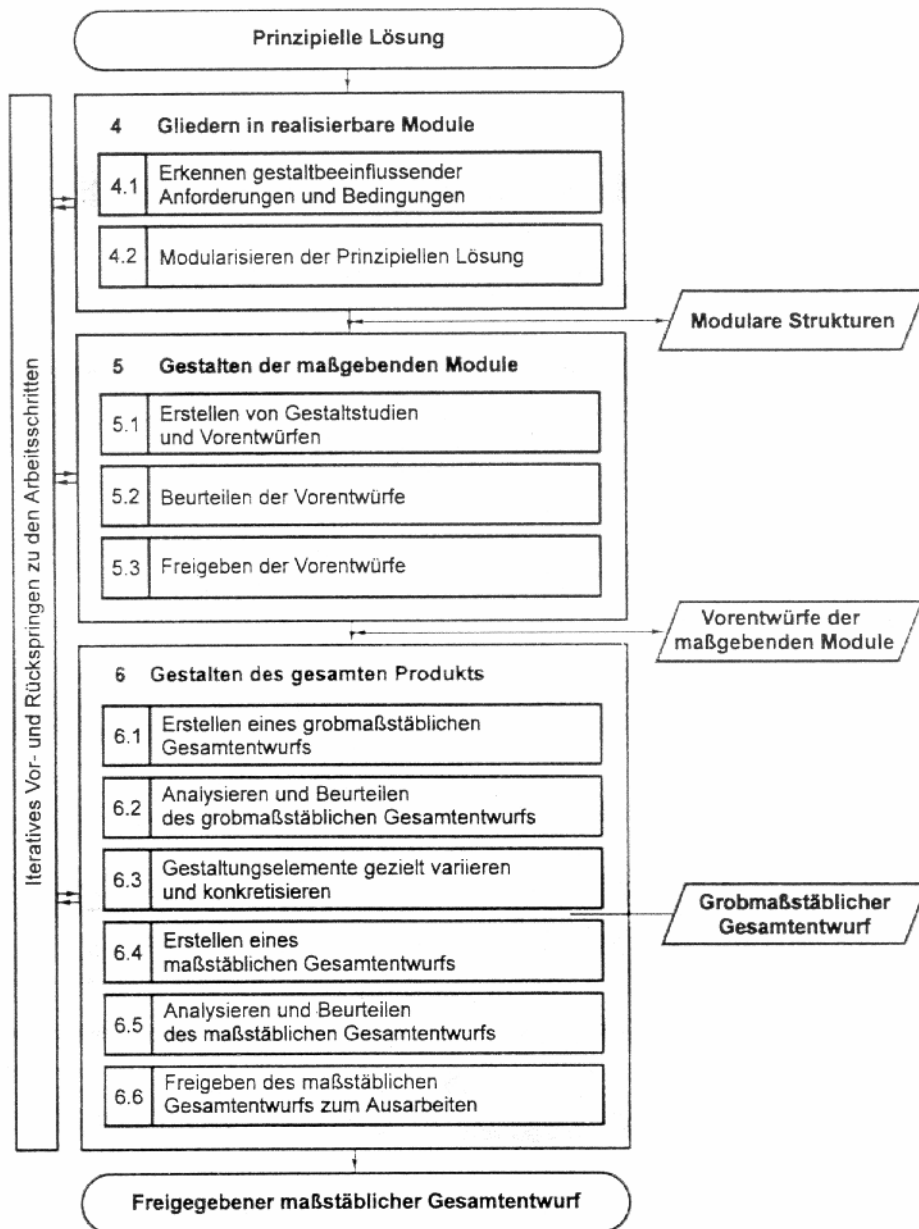
Ausgangs- und Zielzustand beim Gestalten
(am Beispiel eines hermetisch dichten Chemieabsperrentils)
(VDI-Richtlinie 2223 –Entwurf-, 1999, 9)

Mit der „Prinzipiellen Lösung“ als Ausgangspunkt (s.o.) soll so die eigentliche Gestalt unter Festlegung des Werkstoffes festgelegt werden(6); der Vorgang des Gestaltens wird definiert:

„Gestalten kann [...] als Optimieren in einem vieldimensionalen Gleichungssystem aufgefasst werden, in dem die Gestalt- und Werkstoffeigenschaften die direkt festgelegten unabhängigen Variablen und die zu erreichenden Anforderungen und zu erfüllenden Bedingungen die abhängigen Variablen sind.“

(s. ebd. 8)

Das methodische Entwerfen und die Einordnung des Gestaltungsprozesses (welcher die Abschnitte 4 bis 6 des generellen Vorgehens umfasst) in den Entwurfsprozess wird in der folgenden Abbildung unter Aufschlüsselung der Teilschritte dargestellt:



Generelles Vorgehen beim Gestalten (VDI-Richtlinie 2223 –Entwurf-, 1999, 10)

Das Ergebnis oder der Zielzustand als freigegebener maßstäblicher Entwurf beschreibt dann „die Gestalt- und Werkstoffeigenschaften aller Gestaltungselemente und enthält erste technologische Festlegungen beispielsweise zur Fertigung und Montage“ (s. ebd., 9).

Für den Gestaltungsprozess - der allgemeingültig als übergeordnete Strategie mit einer zweckmäßigen Abfolge von Arbeitsschritten aufgefasst werden soll - werden weiterhin verschiedene Einflussfaktoren identifiziert, so etwa

- die Konstruktionsart (es wird an dieser Stelle unterschieden, ob es sich um Neu-, Varianten- oder Anpassungskonstruktion handelt),
- die Produktart (Komplexität des Produkts, Gesamtfunktion, Stückzahl),
- der Industriezweig und Branche (Maschinenbau, Feinwerk- oder Mikrotechnik bzw. Spielwaren-, Konsum-, Investitionsgüter, Fahrzeug- oder Anlagenindustrie),
- die Gestaltungsziele (z.B. Leistungserhöhung, Kosten- oder Gewichtsreduzierung, Erhöhen der Sicherheit) und schließlich
- Arbeitstechnische Einflüsse (Kostendruck, Qualitäts- und Umweltaanforderungen, Verkürzung von Entwicklungszeiten etc.) oder
- Arbeitsmittel und Instrumente (Nutzung von 3D-CAD-Systemen, Simulationen usw.). (s. ebd., 8f).

Im Rahmen von industriellen Großprojekten ist davon auszugehen, dass Gestaltungsschritte für ein Produkt weitgehend parallel verlaufen, d.h. es sind Komponenten zu identifizieren, die unter entsprechend definierten Schnittstellenbedingungen aufeinander abgestimmt werden (für die Konstruktion eines KFZs beispielweise die Aufteilung in Komponenten wie Fahrwerk, Karosserie, Innenausstattung und Aggregate) (vgl. ebd. 14).

Damit soll die Betrachtung des Bereichs normativer und präskriptiver Aussagen, wie sie in Konstruktionsmethodiken und Normungen vorliegen, abgeschlossen werden; eine noch aufzuführende wertvolle Ergänzung liefert der Beitrag von GIAPOULIS (1998)

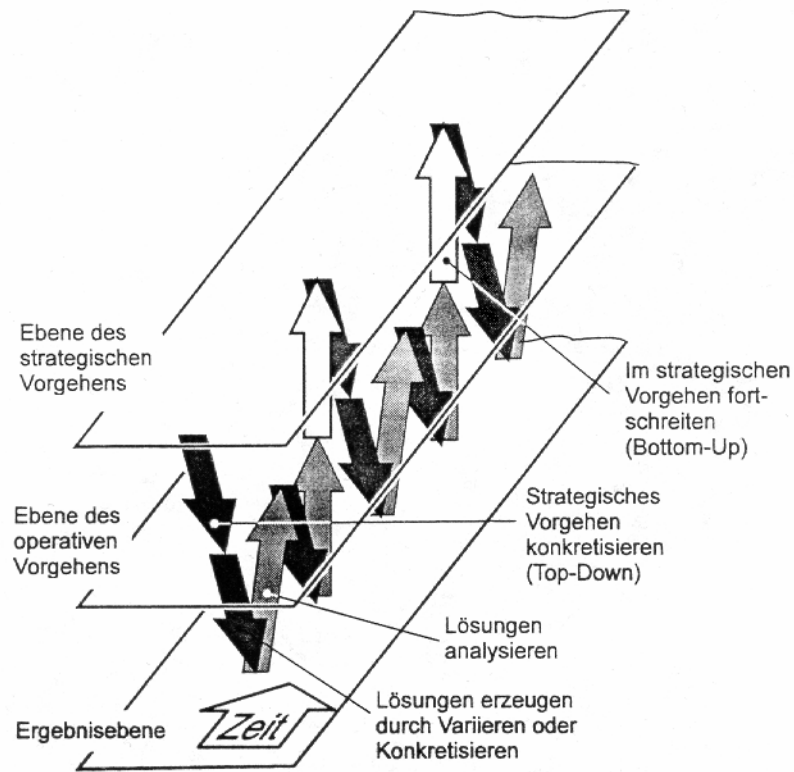
GIAPOULIS wirft für die Konstruktionsmethodik die Frage nach der Umfänglichkeit und Detailliertheit versus der Abstraktheit einer konstruktionsmethodischen Handlungsanweisung auf (vgl. 26). Er wertet die dargestellten konstruktionsmethodischen Ablaufpläne als „eine Hilfe zur Steuerung des gesamten Prozesses und zur Verbesserung des konstruktiven Ergebnisses“, es handele sich aber nicht um einen „Algorithmus“ (s. 26).

Insgesamt gilt es, den richtigen Auflösungsgrad bei der Aufstellung eines Ablaufplans festzulegen und die Randbedingungen, unter denen Konstruieren stattfindet, zu berücksichtigen:

„Die aufgaben- und randbedingungsspezifische (Randbedingungen sind z.B. die zur Verfügung stehende Zeit und Mittel) Interpretation und Durchführung der allgemein formulierten Arbeitsschritte ist stark abhängig von der Erfahrung, Kreativität und der individuellen Fähigkeit zur Problemlösung [...] des Bearbeiters.“

(GIAPOULIS 1998, 25)

GIPOULIS (1998) entwickelt aus dieser Forderung heraus ein 3-Ebenen-Modell, um ergebnisabhängige Schritte im Konstruktionsprozess zu integrieren und Ablaufpläne zu ergänzen (vgl. 113) bzw. die Konstruktionsmethodik „über übliche Ablaufpläne hinaus zu erweitern“ (vgl. 165).



3-Ebenen-Modell mit Wechselschritten zwischen strategischem und operativem Vorgehen (DIN 2223, 22 bzw. GIPOULIS 1998, 103)

Die konstruktionsmethodische Planung (im Sinne der Konstruktionsmethodik) ist hier auf der obersten Ebene zu finden (als Ebene der strategischen Planung mit abstrakt geplanten Schritten), die dann in konkrete Arbeitsschritte auf die nächste Ebene „heruntergebrochen“ wird. Konkrete Arbeitsschritte werden dann auf der mittleren Ebene realisiert (hier werden detaillierte Arbeitsschritte festgelegt, etwa Entwerfen am Rechner, Skizzieren, Expertenbefragung etc.). Die Ergebnisse der durchgeführten Arbeitsschritte sind wiederum auf der untersten, der Ergebnisebene dokumentiert, etwa in Form von Skizzen, Entwurfszeichnungen, CAD-Modellen etc. (ebd. vgl. 102).

Als Unterschied beziehungsweise Vorteil gegenüber herkömmlichen Ablaufplänen sieht GIPOULIS (1998) die Integration ergebnisabhängiger Arbeitsschritte, was er an folgendem hypothetischen Beispiel erläutert:

„Die Planung sowie die Durchführung eines Konstruktionsprozesses findet mit Hilfe eines Ablaufplans statt, z.B. mit Hilfe des Vorgehens nach VDI 2221. Während eines Tests innerhalb der Entwurfsphase versagt unerwartet ein Bauteil des Prototypen, es tritt mit anderen Worten ein nicht geplantes Ergebnis auf. Dies ist nach Meinung des Projektleiters ein Fehler, der bei weiteren Prozessen zukünftig zu vermeiden ist.“

(GIAPOULIS 1998, 113)

Durch diese Anforderung entsteht also die Notwendigkeit, Kontrollschritte explizit in den Ablaufplan einzubauen. Da alle möglichen Schwachstellen aber nicht im voraus abzusehen sind, sondern sich lösungsabhängig erst mit der Konkretisierung der Lösung zeigen, ist dies nicht ohne weiteres möglich bzw. führt es gegebenenfalls zu ineffektiven Abläufen (vgl. 114)

An dieser Stelle soll das 3-Ebenen-Modell abhängig vom Bekanntheitsgrad der Aufgabe „Freiräume für solche ergebnisabhängige Schritte, aber auch fest geplante Meilensteine aus der strategischen Ebene (Ablaufplan) vor“ (s. ebd.):

„Diese Unterscheidung hilft dem Mitarbeiter die Bereiche abzustecken, in denen ergebnisabhängige Schwachstellen erwartet werden, so daß gerade dort solche Schritte bewußt durchgeführt und nicht als Fehler bezeichnet werden. Diese Schritte sind mit Innovationen verbunden und müssen folglich unterstützt und nicht vermieden werden.

Darüber hinaus wird durch die Unterscheidung ergebnisabhängiger Schritte von Iterationsschritten [...] dem Bearbeiter klar gemacht, daß er seinen Ablauf dynamisch, nach dem jeweiligen Stand der Zwischenergebnisse, auch wenn diese von den vorgesehenen abweichen, gestalten kann.“

(GIAPOULIS 1998, 114)

GIAPOULIS definiert ergebnisabhängige Schritte hierbei als Oberbegriff für Iteration, Rekursion und Rückkopplung; da diese nicht unbedingt Wiederholungen des zuletzt stattgefundenen Schrittes sind und auch nicht unbedingt auf der gleichen Abstraktionsebene stattfinden müssen (vgl. 98).

Als Faktoren für Planungseinhaltung bzw. ungeplante Arbeitsschritte (welche unabhängig vom Wissen und Können des Planenden eine Einhaltung des Geplanten stark beeinflussen) gelten:

- „Umfang und Vernetztheit des Planungsproblems
- Intransparenz und Dynamik
- Reversibilität (Rückkopplung) und Wahrscheinlichkeit.“ (s. ebd. 95)

Diese Punkte werden auch und im Besonderen im Kontext des Problemlösens im nächsten Kapitel aufzugreifen und zu analysieren sein.

4 Psychologische Grundlagen des methodischen Konstruierens - Grundlagen methodischen Vorgehens und denpsychologische Zusammenhänge beim Problemlösen

Eine wesentliche theoretische Grundlage für konstruktionsmethodisches Denken und Handeln ist die Konstruktionswissenschaft; dies wurde im vorangegangenen Kapitel aufgezeigt. Wie in den Zielsetzungen eingangs beschrieben, muss allerdings für Vermittlungsprozesse neben der technologischen Sichtweise auch die psychologische Sichtweise berücksichtigt werden.

Konstruktionsmethodisches Denken und Handeln basiert zudem auf dem intuitiven Vorgehen einzelner Konstrukteure; es muss somit nach dem Einfluss individueller Voraussetzungen auf den Konstruktionsprozess gefragt werden. Daher muss die Untersuchung von Denk- und Handlungsabläufen bei realen Konstruktionsprozessen, die empirischer Konstruktionsforschung zugänglich ist, dargestellt werden. Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Nutzbarmachung von Erkenntnissen und Befunden für die Konzeption und Planung von Vermittlungsprozessen. Dabei ist auch nach der Wirksamkeit und Erlernbarkeit der Konstruktionsmethodik als zentralem Bestandteil zu fragen; in diesem Zusammenhang werden zudem Befunde und Erkenntnisse zum Lerntransfer zusammengefasst.

Schließlich wurden in den letzten Jahren in interdisziplinärer Zusammenarbeit von Ingenieuren, Psychologen und Arbeitswissenschaftlern Erkenntnisse aus den verschiedensten Bereichen der Psychologie sowie der Pädagogik für die Konstruktionswissenschaft nutzbar gemacht. Diese Erkenntnisse sind ebenfalls zu referieren.

Zum Teil sind diese Erkenntnisse auch schon in die normativen Aussagen der zuvor dargestellten Richtlinien eingeflossen. Entsprechend der Relevanz psychologischer Erkenntnisse und Befunde werden diese aber im folgenden Kapitel nochmals aufgegriffen und weiter ausgeführt.

4.1 Konstruieren aus der Sicht der Psychologie

Jegliche Formen des Erkennens und Wissens werden der kognitiven Psychologie (bzw. der Kognitionswissenschaft, wobei diese noch weitere Forschungsbereiche neben der Psychologie integriert) zugeordnet, darunter etwa Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Denken, Sprache und Sprachverstehen, Problemlösen etc. Kognition beinhaltet dabei den Inhalts- (also Begriffe, Regeln, Erinnerungen, Aussagen usw.) sowie den Prozessaspekt (geistige Operationen) des Erkennens und Wissens.

Konstruktions- und Entwicklungsprobleme lassen sich als Spezialfall menschlichen Problemlösens betrachten (vgl. DÖRNER / EHRENSPIEL 1996, 6) und damit der Denkpsychologie zuordnen.

Der allgemeine Wert der Konstruktionsmethodik wird dabei auch von PAHL betont:

„Die Konstruktionsmethodik ist eine Lehre zum Entwickeln von Lösungen auf technischem Gebiet. In ihrer allgemeinen Form kann sie auch jede andere Problemlöse-tätigkeit unterstützen“.

(Pahl 1994, 3)

Für die weitere Betrachtung ist es daher sinnvoll, sich zunächst ein Bild von Denk- und Problemlöseprozessen zu machen sowie auf die Struktur des „kognitiven Apparates“ einzugehen.

Der Gegenstandsbereich des Denken und Problemlösens umfasst alle geistigen Vorgänge, die

- „a) zielgerichtet sind,
- b) nicht *alleine* auf das Entdecken und Erkennen von Reizen beschränkt sind,
- c) nicht *alleine* auf das Speichern oder Abrufen von Fakten im bzw. aus dem Gedächtnis beschränkt sind, und
- d) - teilweise als Folge davon - das Verarbeiten von Fakten erforderlich machen.“

(HUSSY 1998, 16)

Das „entscheidende Kriterium“, um kognitive Prozesse der Denk- und Problemlösepsychologie zuzuordnen, ist „das Verarbeiten von Informationen im Sinne ihrer zielbezogenen (Neu-) Verknüpfung“ (s. HUSSY 1998, 18).

Des Weiteren ist eine Unterscheidung zwischen Problem- und Aufgabenstellungen individuell auf Grundlage des vorhandenen Kenntnisstands zu treffen. Beiden gemeinsam sind ein definierter Ausgangs- sowie ein (gewünschter) Zielzustand. Kann der Ausgangszustand allerdings allein

durch Abrufen einer Lösung aus dem Gedächtnis in den Zielzustand überführt werden, handelt es sich um eine Aufgabe. Ist ein Individuum dagegen nicht in der Lage, eine Lösung durch Abrufen von Gedächtnisinhalten zu produzieren, muss also ein „zielbezogenes Neuverknüpfen der Informationen“ erfolgen, handelt es sich für dieses Individuum um eine Problemstellung. Zwischen dem Ausgangs- und dem Zielzustand befindet sich für dieses Individuum eine Barriere oder ein Hindernis (vgl. HUSSY 1998, 20). Dies definierte schon DUNCKER (1935) analog: „Ein „Problem“ entsteht z.B. dann, wenn ein Lebewesen ein Ziel hat und nicht „weiß“, wie es dieses Ziel erreichen soll“ (1).

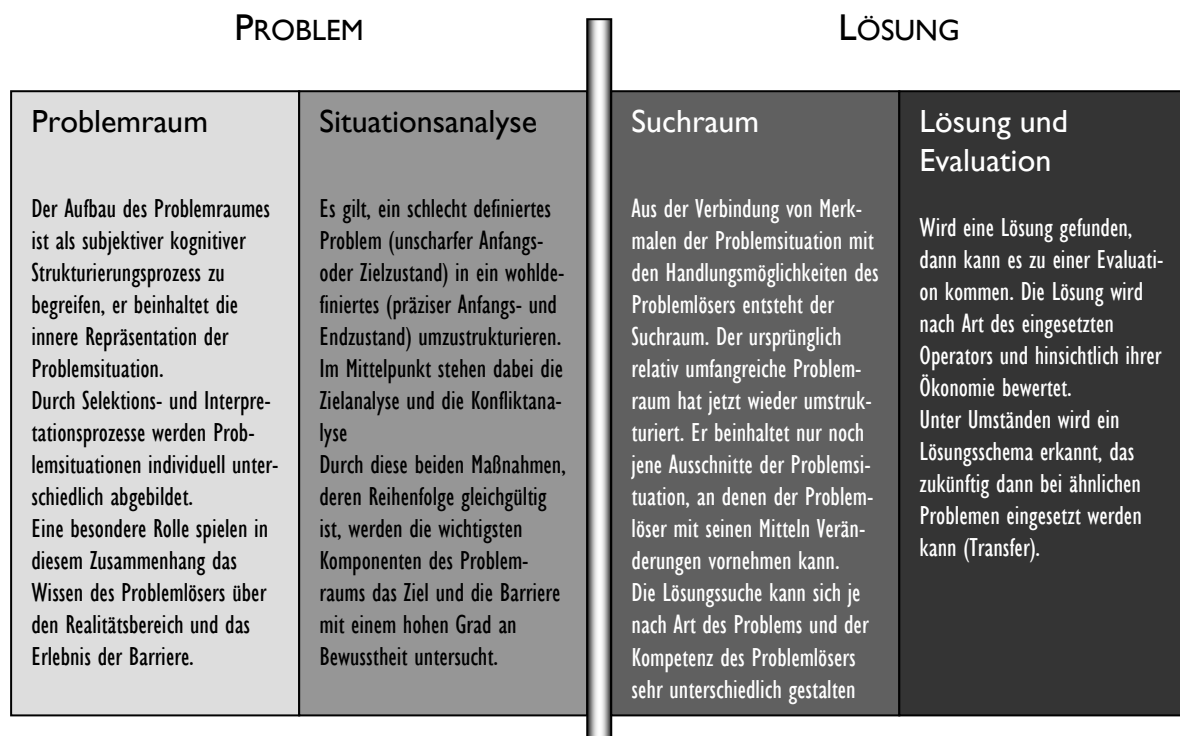
Eine umfassendere Definition des Problemlösungsprozesses –im folgenden als Basisdefinition für die weiteren Betrachtungen angeführt- liefert KLIX:

„Bei der Bestimmung des Begriffs Problem muß man eine spezifische Beziehung zwischen objektiv gegebenen Situationseigenschaften und ihrer Abbildung in einer internen kognitiven Struktur als Ausgang [an]nehmen. Der eigentliche Lösungsprozeß vollzieht sich [...] als interner kognitiver Strukturbildungsprozeß.[...]

- (1.) Am Anfang einer Problemstellung ist demnach eine bestimmte Situation (oder Situationsbeschreibung) gegeben. Die darin enthaltenen anschaulichen oder physikalischen (mechanischen z.B.) oder abstrakten Eigenschaften werden als Merkmale mit bestimmten Veränderbarkeitseigenschaften [...] aufgenommen. Diese Verbindung von Merkmalen (oder Merkmalsstrukturen) mit ihren Relationen nennen wir einen Zustand [...].
- (2.) Es muß ein zweiter Zustand gegeben oder beschrieben sein, der aus dem ersten heraus zu erzeugen oder abzuleiten ist. Dieser zweite Zustand heißt Zielzustand. Seine Erreichung ist identisch mit der Lösung des Problems.
- (3.) Das dritte (komplexe) Merkmal eines Problems besteht darin, daß die Überführung des Anfangszustandes in den Lösungszustand nicht oder nicht unmittelbar gelingt. Dies bedeutet, dass keine mit der Merkmalsbildung schon gegebene Relation hinreicht, um den Lösungszustand zu erzeugen. Vielmehr müssen die vom Zielzustand geforderten Relationen erst gesucht bzw. der gesuchte Zustand so verändert werden, daß über die Bildung neuer Relationen und ihrer Verknüpfung der Lösungszustand erreichbar wird. Es geht also um die Auswahl bzw. um die Ausbildung der einer geeigneten Transformationsklasse. [...] Ein Suchprozeß zur geeigneten Wahl oder Verkettung geeigneter Transformationen scheint danach wesentliches Element eines Problemlösungsprozesses zu sein. [...] “

(KLIX 1971, 640)

In Übereinstimmung und Erweiterung dieser Basisdefinition ist das allgemeine Ablaufmodell des Problemlöseprozesses nach EDELMANN (2000, 223) zu sehen.



Problemlöseprozess als stufenweise Umstrukturierung (Abbildung mit Zitierung nach Edelman 2000, 223)

Um Denk- und Problemlöseprozesse analysieren zu können, werden von KOTKAMP (1999) „zwei prinzipielle experimentelle Möglichkeiten der Erfassung interner Repräsentationen und Prozesse beim Problemlösen beschrieben: der Handlungsansatz und der kognitive Strukturansatz“ (vgl. 15).

„Während im Handlungsansatz interne Denkprozesse anhand extern ableitbarer Handlungsfolgen erschlossen werden, wendet man sich im Rahmen des kognitiven Strukturansatzes der prozeßnahen Erfassung der Ausbildung, Transformation und Nutzung interner Repräsentationen (kognitiver Strukturen) im Denken zu. Dabei werden sowohl Zustände und Zustandstransformationen als auch kognitive Strukturen und Strukturtransformationen bewertet. Im Rahmen des kognitiven Strukturansatzes konnte gezeigt werden, daß die Ordnungsbildung als aufwandsreduzierende Strukturierung und Umstrukturierung ein Wirkprinzip im Denken darstellt, auf dessen Grundlage interne Lösungsprozesse bewertbar sind.“

(KOTKAMP 1999, 25)

Im Rahmen des Handlungsansatzes ergeben sich allerdings dann methodische Einschränkungen, wenn die Komplexität der Anforderung und damit der objektive Problemraum (d.h. die vollständige Beschreibung der objektiven Struktur der Problemstellung) nicht vollständig darstellbar

ist. Dies gilt gerade für die Analyse von Denkprozessen in komplexen Problemsituationen, hier müssen „erhebliche interpretatorische Unsicherheiten“ in Kauf genommen werden (vgl. ebd., 19f)

Kriterien für die Kategorisierung von Problemen lassen sich nach KRAUSE (1982) zwei Kategorien zuordnen – es werden die angegebenen Probleminformationen als Klassifizierungskriterium oder die Art des Lösungsverfahrens genutzt (20). EDELMANN (2001, 210) dagegen unterscheidet nur Problemmerkmale von Personenmerkmalen, da es keine „wirklich überzeugende Klassifikation von Problemen“ gibt (s. 223) - trotzdem unterscheidet EDELMANN fünf (prototypische) Formen des problemlösenden Denkens (Problemlösetheorien) (vgl. 211ff):

- Problemlösen durch Versuch und Irrtum
- Problemlösen durch Umstrukturieren
- Problemlösen durch Anwenden von Strategien
- Problemlösen durch Kreativität
- Problemlösen durch Systemdenken

DÖRNER (1987, 14) etwa differenziert unter der Betrachtung von „Barrieretypen“ (die die erfolgreiche Transformation in den Zielzustand verhindern) und unterscheidet so „Interpolations-“, „Synthesebarrieren“ und „Dialektische Barrieren“, die in Abhängigkeit der Dimensionen aus „Klarheit der Zielkriterien“ sowie „Bekanntheitsgrad der Mittel“ bestehen. Demnach handelt es sich um Interpolations-Barrieren, wenn zur Lösung der Problemstellung die richtige Kombination oder Folge aus einer Reihe bekannter Operatoren gebildet werden muss bzw. Synthese-Barrieren, wenn das Operatorinventar ergänzt werden muss und die Kombination der Operatoren nicht bekannt ist. (vgl. ebd. 11 f).

Nach KOTKAMP (1999) zeichnen sich Dialektische Barrieren dadurch aus, dass der angestrebte Zielzustand nur unscharf oder überhaupt nicht definiert ist (vgl. 16). Weiterhin ist bei der Kategorisierung nach DÖRNER zu beachten, dass die Barrieretypen Interpolation und Synthese bei realen Problemstellungen häufig als Kombination auftreten (vgl. ebd.).

Als Integration bzw. Weiterentwicklung der Ansätze nach DÖRNER und KLIX mit dem Konzept des Problemraumes (dieser wird durch die Zustände, Operatoren sowie deren Bewertung bestimmt) ist die Klassifikation von Problemtypen nach KRAUSE (1982, 20f) zu sehen:

Operatormenge	Zustandsmenge	
	Abgeschlossen	nicht abgeschlossen
Abgeschlossen	Steuerungsprobleme Problemraumeinschränkung operatives Gedächtnis	Konstruktionsprobleme Problemraumerweiterung und -einschränkung operatives / Wissensgedächtnis
Nicht abgeschlossen	technologische Probleme Problemraumeinschränkung und -erweiterung operatives / Wissensgedächtnis	Allgemeine Entwurfsprobleme Problemraumerweiterung und -einschränkung operatives / Wissensgedächtnis

(gekürzte Darstellung aus KOTKAMP 1999, 17)

Ansatz dieser Klassifikation ist der Grad der Abgeschlossenheit von Operator- und Zustandsmenge als Problemraum. Damit gelingt es, die „Probleme so zu ordnen, dass die Beanspruchung unterschiedlicher Gedächtniskomponenten (des operativen und des semantischen oder des Wissensgedächtnisses) und die Entwicklung der damit verbundenen unterschiedlichen Strategietypen beim Lösen verschiedener Klassen von Problemen deutlich wird“ (s. ebd.)

Hierbei ist eine „nicht abgeschlossene Zustandsmenge“ bei Problemen vorhanden, bei denen nicht alle Zustände im Arbeitsgedächtnis gegeben und auch nicht durch Regeln ableitbar sind. Wenn mit der Problemstellung dagegen, z.B. durch Instruktion, alle Zustände zur Lösung gegeben bzw. ableitbar sind, ist eine „abgeschlossene Zustandsmenge“ vorhanden (vgl. ebd.).

Auch KOTKAMP (1999) beschreibt, dass bei der Bewältigung eines Problems unterschiedliche Beanspruchungen von Arbeits- bzw. operativem Gedächtnis sowie dem Wissens- bzw. Langzeitgedächtnis auftreten können (16 – im Rahmen des Problemraumkonzeptes, s.o.). Als Beispiel für einen abgeschlossenen Problemraum, bei dem lediglich die optimale Aneinanderreihung von Operatoren gesucht ist, gelten Zerlegungs-, Interpolations- und Transportprobleme (etwa „Turm von Hanoi“). Bei offenen Problemräumen dagegen gilt es, zunächst lösungsrelevante Zustände oder Operatoren im Gedächtnis zu suchen, bevor eine Annäherung an den Zielzustand geleistet werden kann (vgl. ebd.)

Bezogen auf Konstruieren bzw. konstruktionsmethodisches Vorgehen können alle hier im Problemraumkonzept klassifizierten Problemtypen existieren, da hinsichtlich Operator- und Zustandsmenge die Ausführungen analog anzuwenden sind (auch wenn in der oben aufgeführten Klassifikation die Begrifflichkeiten in einem anderen Kontext genutzt werden).

Eine weitere Unterscheidung wird zwischen elementaren und komplexen Problemen getroffen, wobei diese als „zwei gegensätzliche Pole hinsichtlich eines mehrdimensionalen Kontinuums bzgl. der Situationscharakteristik“ betrachtet werden können (s. KOTKAMP 1999, 26). Auch ist eine einheitliche und umfassende Definition elementarer Probleme nicht vorhanden (vgl. ebd.). Um Problemanforderungen zu systematisieren, geht KOTKAMP von Unterschieden in den Konstellationen und möglichen Operatoren der objektiven Problemräume (Handlungsräume, Realitätsbereiche) aus (mit Bezug auf DÖRNER 1979, 1995):

Konstellationen	<i>Komplexität</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Bezieht sich auf die Reichhaltigkeit der Problemsituation; Menge der Informationen • Anzahl von Komponenten (Variablen) und die Vielzahl ihrer Verknüpfungen (in Art und Kompliziertheit)
	<i>Vernetztheit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Variablen bzw. Komponenten des Handlungsraums sind miteinander verflochten u. beeinflussen sich gegenseitig • Ausmaß der Veränderung von Elementen aufgrund der Variation anderer Elemente
	<i>Dynamik</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Variablen entwickeln sich in Abhängigkeit von der Zeit, damit verändert sich der objektive Problemraum auch ohne Eingriffe von außen • Beeinflussungen können eigendynamisch oder wechselseitig bedingt sein; zeitabhängige dynamische führen zumeist zu Zeitdruck bei der Handlungsplanung und -ausführung
	<i>Transparenz</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Grad der unmittelbaren Zugänglichkeit bzw. Beobachtbarkeit der beteiligten Variablen, -zustände und -verknüpfungen • Intransparenz kann durch die Komplexität der Anforderungen oder durch nicht ständig vorhandene wichtige Informationen gegeben sein

Konstellationen eines Problemraums (Tabelle erstellt nach KOTKAMP 1999, 26f)

Operatoren	<i>Bedingtheit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Bezieht sich auf die Bedingtheit und Anwendungsbreite der Operatoren; bedingte Operatoren sind nur bei bestimmten Variablenkonstellationen bzw. –zuständen anwendbar, unbedingte dagegen immer
	<i>Wirkungssicherheit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Bezieht sich auf die Wahrscheinlichkeit mit der die Anwendung eines Operator zu einer bestimmten Wirkung führt • Bei wirkungsunsicheren Operatoren müssen Planungsprozesse breiter angelegt sein, da Systementwicklungen in unterschiedliche Richtungen in Betracht zu ziehen sind (Erhöhung der kognitiven Belastung)
	<i>Wirkungsbreite</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Operatoren können unterschiedlich viele Variablen beeinflussen (s. Vernetztheit der Konstellation) • Gerade in Realsituationen besteht im allgemeinen durch den Systemcharakter eine hohe Wirkungsbreite
	<i>Reversibilität</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Reversibilität eines Operators ist hoch, wenn die Effekte seiner Anwendung rückgängig gemacht werden können • Geringe Reversibilität in dynamischen Situationen zwingt zu umfangreicherer Vorausplanung von Handlungsschritten

Operatoren eines Problemraums (Tabelle erstellt nach KOTKAMP 1999, 28f)

Eine Differenzierung zwischen elementaren und komplexen Problemanforderungen gelingt nun anhand der Konstellationen bzw. Operatoren und ihren Merkmalen.

Gerade für komplexe Probleme werden in der Literatur auch noch weitere Merkmale genannt bzw. unterschieden, so etwa Realitätsnähe bzw. –ferne als Kompatibilität mit dem Vorwissen des Problemlösers; zum größten Teil sind diese allerdings auf die oben beschriebenen Merkmale zurückzuführen (s. KOTKAMP 1999, 28).

Schließlich ist auch der kognitive Apparat unter dem Aspekt des „individuellen Lösungsinventars“ zu analysieren. Somit sollen die (interindividuell) invarianten Randbedingungen und Prozessabläufe menschlicher Denkprozesse bzw. menschlichen Problemlösens skizziert werden. KOTKAMP (1999) untersucht in diesem Zusammenhang die den Lösungsprozess determinierenden internen Variablen bei elementaren sowie komplexen Problemstellungen, „d.h. zeitlich und/oder situativ unveränderliche Eigenschaften des menschlichen Denkens“ (s. 9). Von den untersuchten Größen erwies sich die Lösungsgüte als nicht einsetzbarer Indikator; dagegen wurden Hinweise für eine Anforderungsinvarianz für die Prozessgrößen Aufwandsreduktion, Informationsverhalten und Flexibilität gefunden.

Das im folgenden Kapitel zu beschreibende Modell „MEKIV“ integriert hier in geeigneter Weise Vorstellungen und Ansätze der Systemtechnik und Informationstechnik und wird daher für die weiteren Betrachtungen skizziert.

Mit ihm können naturgemäß allerdings nur die beobachtbaren Verhaltenweisen erklärt werden. Die Verarbeitung von Informationen sowie die Abläufe auf neuronaler Ebene bei Denk- und Problemlöseprozessen, ein Abbilden der anatomischen oder physiologischen Strukturen im Gehirn kann nach dem Stand der relevanten Wissenschaftsgebiete (noch) nicht umfassend dargestellt werden. Obschon sich Erkenntnisse der Hirnforschung, Neuroinformatik bzw. Neurowissenschaft in den letzten Jahren etwa durch die Erforschung der Musterverarbeitung in neuronalen Netzwerken sowie Computersimulationen erweitert haben, befinden wir uns erst „in der Mitte der Dekade des Gehirns“ (vgl. SPITZER 2000, V; FREY / SCHACH 1996). Gerade komplexere Verhaltensweisen und Leistungen des Gehirns wie etwa Denken und Problemlösen können nur teilweise erklärt werden (vgl. ebd. und ZIMMERMANN / DÖRNER 2001).

4.1.1 Informationstheoretische Einordnung des Konstruierens - Denken und Problemlösen im Rahmen von MEKIV

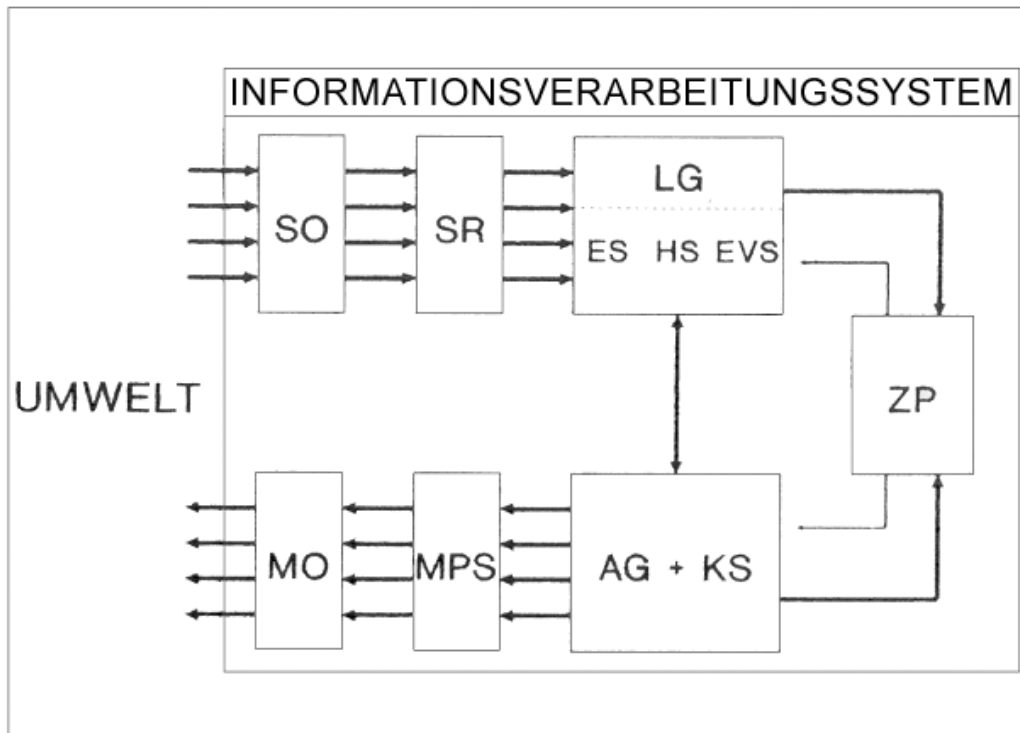
Für die weitere Betrachtung wird hier das „Rahmenmodell zur elementaren und komplexen menschlichen Informationsverarbeitung“, „MEKIV“ (Hussy 1998, 46ff) herangezogen. Auf der Basis von MEKIV sollen „Wahrnehmungs-, Lern-, Gedächtnis- Denk- und Problemlöseprozesse [...] in ihrem Zusammenspiel“ erkennbar werden. Gleichsam sind die Kriterien für den Gegenstandsbereich Denken und Problemlösen – siehe vorhergehendes Kapitel 1.3.1 - anwendbar (vgl. auch 56).

Da es sich um einen informationstheoretisch geprägten Ansatz handelt, werden naturgemäß keine Annahmen über Einflüsse etwa aus dem Verhältnis zwischen Sprache und Denken getroffen. Auch lernpsychologische Aspekte werden nur oberflächlich angedeutet, der Schwerpunkt liegt auf dem Konzept des „inneren Problemhandelns“ (vgl. REITHER 1996, 210).

Im Rahmen dieses Kapitels werden aus Hussy (1998) zur Themenstellung kompatible Inhalte ausgewählt und im Folgenden zusammengefasst dargestellt. So werden in einem ersten Schritt Modellstrukturen u.a. in Form einer Blockschaltdarstellung abgebildet und erläutert; in einem zweiten Schritt dann Modellprozesse, die zwischen den Systemelementen ablaufen, dargestellt. Schließlich sollen Einflussgrößen wie Aufmerksamkeit, Fixations- und Kontexteffekte oder Intelligenz beleuchtet werden.

Insgesamt integriert die Modellvorstellung in sehr geeigneter Weise den derzeitigen Kenntnisstand in Bezug auf die Darstellung zugrundeliegender kognitionspsychologischer Ansätze allgemein und speziell der Informationsverarbeitungstheorie. Dabei ist zu beachten, dass MEKIV nicht als ein „empirisch überprüftes und belegtes Gesamtmodell“ verstanden werden kann (vgl. Hussy 1998, 46f).

Den weiteren Betrachtungen vorangestellt, wird in der Folge die Blockschaltdarstellung des Rahmenmodells – eine differenzierte Form der menschlichen Informationsverarbeitung. Sehr leicht sind allerdings auch hier die drei Phasen bzw. Abschnitte mit den Funktionalitäten Aneignung, Speicherung, Abruf des „Grundmodells der menschlichen Informationsverarbeitung“ zu identifizieren (s. etwa EDELMANN 1996, 3 und EDELMANN 2000, 165).



- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| SO = Sinnesorgane | ZP = Zentraler Prozessor |
| SR = Sensorische Register | AG = Arbeitsgedächtnis |
| LG = Langzeitgedächtnis | KS = Kurzzeitspeicher |
| ES = Epistemische Struktur | MPS = Motorisches Programmsystem |
| HS = Heuristische Struktur | MO = Motorik |
| EVS = Evaluative Struktur | |

(s. Hussy 1998, 47)

Die Elemente des Systems („primär also jenen Gedächtnisstrukturen, die an kognitiven Abläufen beteiligt sind“; 46.) in der angeführten Blockschaltdarstellung beinhalten Verarbeitungselemente als Kästchen sowie (fett gezeichnete) Pfeile die den Informationsfluss zwischen den Elementen darstellen. Die (normal gezeichneten) Pfeile, ausgehend vom ZP, stellen Steuer- und Kontrollbefehle dar (vgl. ebd.).

Als Schnittstellen mit Umwandlungsfunktion zur Kommunikation mit der Umwelt dienen die Randelemente SO bzw. MO des Verarbeitungssystems. In den Sinnesorganen werden physikalische Informationen der Umwelt in Form von Reizen in neuronale Signale („in eine organismusadäquate neuronale Erregungsform“, s. 51) für die weitere Verarbeitung umgewandelt, von der Motorik werden die Ergebnisse der internen Verarbeitung dargestellt sind somit anderen Individuen kommunizierbar (vgl. 48.).

Die den Schnittstellen SO und MO nach- bzw. vorgeordneten Elemente besitzen als kennzeichnendes Merkmal unterschiedliche Speicherfunktion. So realisiert das Sensorische Register in der

Dauer sowie im Umfang variable Speicherfunktion, abhängig vom jeweiligen Sinneskanal, z.B. akustisch bis 3 Sekunden, visuell 0,25 Sekunden. Die Qualität der Input-Informationen ist hierbei noch ohne Bedeutungsgehalt, stellt aber die Basis für die Zuordnung von Bedeutungen dar und definiert damit die jeweilige Verarbeitungsebene.

Die Informationseinheiten werden auf diesem Verarbeitungsniveau als „icon“ bezeichnet und unterliegen einem rapiden Zerfallsprozess. Damit sie für eine längere Speicherung im Langzeitgedächtnis nutzbar werden, müssen icons erst mit Bedeutung angereichert werden. Informationseinheiten werden dann als „Perzepte“ bezeichnet; die Bedeutungsanreicherung erfolgt über Wiedererkennungsprozesse - hierfür werden die Informationen mit den Inhalten des LG verglichen. Der Ablauf bis zur Perzeptbildung findet automatisiert statt, d.h. ohne bewusste Kontrolle (vgl. 51).

Das Systemelement LG mit seinen Teilstrukturen ES, HS und EVS zeichnet sich durch seinen „prinzipiell unbegrenzten Speicherumfang“ aus, außerdem stehen hier befindliche Informationen „prinzipiell unbefristet lange zum Wiederabruf zur Verfügung“ (vgl. 49). Der Informationsabruf ist allerdings an entsprechende kontextbezogene oder situative Hinweise geknüpft, so dass ein „Vergessen“ nicht einem Informationsverlust durch Löschen entspricht, sondern vielmehr einer „Abruf- oder Erinnerungsblockade“ (vgl. ebd.).

Der aktuell bewusste Informationsausschnitt ist in den Elementen AG und KS enthalten, hier kann im Umfang von ca. sechs bis neun Einheiten (Worte, Zahlen, Symbole etc.) für eine Behaltensdauer von 15 bis 30 Sekunden gespeichert werden (vgl. 50).

Der ZP ist ebenfalls als Speichersystem analog zum LG aufzufassen, die „Inhalte beziehen sich auf Strategien zur Bewältigung unterschiedlichster Probleme“ – allerdings bestehen zu Struktur- und Funktionsmerkmalen noch „erhebliche Wissensdefizite“ (vgl. ebd.).

MO und MPS realisieren den Output des Systems, im MPS sind angeborene sowie erworbene Bewegungsmuster (für Sprache, Mimik, Gestik etc.) für Fein- sowie Grobmotorik enthalten. Diese Bewegungsprogramme können durch Übung automatisiert werden.

Zu beschreibende Modellprozesse setzen nun die bisher skizzierten Modellstrukturen mit ihren Eigenschaften miteinander in Beziehung. Der allgemein benutzte Begriff der Wahrnehmung umfasst dabei die Verarbeitungsschritte bis hin zur Perzeptbildung. Als wesentliches Merkmal ist davon auszugehen, dass jeweils eine Vielzahl von Informationen wie skizziert verarbeitet wurden, das aktuelle Bewusstsein - durch die begrenzte Kapazität von AG und KS - aber nur einen Teilausschnitt umfassen kann (vgl. 51).

Als bedeutsamer Prozess der Weiterverarbeitung des aktuellen bewussten Teilausschnitts soll nun etwa die mittel- oder langfristige Speicherung von Informationen betrachtet werden. Wie beschrieben, könnten so beispielsweise sieben Zahlen für eine Spanne von ca. 15 bis 30 Sekunden „ohne weiteres Zutun“ verfügbar gehalten werden. Die nächste Stufe – eine Spanne von etwa 60 Sekunden – lässt sich durch „oberflächliches Memorieren“ erreichen; durch stilles Wiederholen werden die Informationen immer wieder neu in das KS eingebracht und so präsent gehalten (vgl. 52f).

Alternativ lässt sich durch Zurückgriff auf Inhalte des LG der Behaltensumfang sowie die Behaltensdauer vergrößern, sogenanntes „elaboriertes Memorieren“. Hierfür erfolgt eine Informationsreduktion, indem Inhalte des KS als Teilinformationen von Klassen identifiziert und damit zusammengefasst werden können. Gespeichert werden dann im KS diese Klassen als komprimierte Information (Beispiel hierfür wäre etwa die Klasse „Datum“, ein Datum wie etwa 07.08.1999 kodiert dann acht einzelne Zahlen) Die Behaltenssteigerung wird so durch ökonomischere Nutzung der vorhandenen Kapazitätsressourcen erzielt, erforderlich ist dafür die „intensivere Vorverarbeitung“ der Informationen. (vgl. ebd.). KOTKAMP spricht in diesem Zusammenhang von einer „Vereinfachung im Denken im Sinne einer Reduktion des kognitiven Aufwands“ (s. KOTKAMP 1999, 53f)

Langfristige Speicherung durch „oberflächliches Memorieren“ (umgangssprachlich als „Auswendiglernen“ bezeichnet) basiert auf der erhöhten Wahrscheinlichkeit des Transfers in die Strukturen des LG, wenn Informationen länger im KS präsent gehalten werden. Beim „elaborativen Memorieren“ dagegen wird die direkte Verknüpfung an (bzw. der Erweiterung) vorhandene Inhalte des LG genutzt. Die unterschiedliche Art des Memorierens bedingt auch direkt die verschiedenen Möglichkeiten des Informationszugriffs, im Fall des „Auswendiglernens“ müssen „sehr spezielle Hinweisreize (aus der Lernsituation)“ zum Abruf genutzt werden (s. HUSSY 1998, 54) (vgl. das folgende Kapitel oder u.a. EDELMANN 1996, 173ff, hier wird das umgangssprachliche „Auswendiglernen“ als „mechanisches Lernen“ bezeichnet, durch welches kein Wissen erworben werden kann).

Unter Aufmerksamkeit im Rahmen von MEKIV sind nun Kontroll- und Steuerungsvorgänge mit Selektionsfunktion zu verstehen, die vom ZP initiiert werden und „die Art und das Ausmaß der Nutzung der verfügbaren Verarbeitungskapazität der mittelfristigen Speichermedien regeln“ (s. HUSSY 1998, 81). Die verfügbare Verarbeitungskapazität wird dabei durch die eher passive Kapazität des KS und die eher aktive Kapazität des AG gebildet (vgl. ebd.). Die Relevanz der Auf-

merksamkeit für das Problemlösen ergibt sich aus der Tatsache, dass nur bewusst gehaltene Informationen unmittelbar für die „zielorientierte Neuverknüpfung“ nutzbar sind (s. 57, 93). Gesteuert werden dafür in ihrer Qualität verschiedenartige kognitive Abläufe, wie etwa das Abrufen von Informationen aus dem LG oder das Memorieren. Der Umfang der Nutzung der verfügbaren Verarbeitungskapazität (hohe vs. geringe Aufmerksamkeit) ist dabei gleichbedeutend mit der Intensität der kognitiven Prozesse (vgl. 82).

Aufmerksamkeit in Form von Steuerung und Kontrolle von Verarbeitungskapazität wird für sogenannte „kontrollierte Prozesse“ benötigt, durch intensives Training sind diese allerdings automatisierbar. Hier wechseln „Ablaufsteuerung und Ablaufkontrolle vom zentralen Prozessor zu einem reliablen externen (internen) Reiz (Reizmuster), die Verarbeitungskapazität bleibt unberührt“ (vgl. ebd.).

Die Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit in MEKIV ist wie folgt zusammenzufassen:

„Unser Wahrnehmungsapparat hält aufgrund automatisierter Verarbeitung der Umweltreize permanent das aktuellste Informationsangebot bereit: Durch intentionale Steuerungs- und Kontrollprozesse wird aus diesem Überangebot gezielt ausgewählt. Beispielsweise sind *schnelle Aufmerksamkeitswechsel* nur auf dem Hintergrund dieses interferenzfreien, parallelen Operierens beider Verarbeitungsmodi möglich.“

(s. HUSSY 1998, 83)

An die skizzierte Perzeptbildung – also den Vergleich der Inputinformationen mit den vorhandenen Inhalten des LG – als Analyse der Inputinformationen schließt sich der Selektions- oder Transfervorgang an. Hierfür wird die „Fokussierung der Aufmerksamkeit“ verantwortlich gemacht (vgl. ebd. 58). Sie kann als Aktivierung von Knoten interpretiert werden, diese geschieht etwa beim Zugriff auf das „mentale semantische Gedächtnis“ als eine „sich ausbreitende Aktivierung“ (s. SPITZER 2000, 245f). Naheliegende Bedeutungen – in Form von Nachbarknoten im Netzwerk - werden für einen kurzen Zeitraum (mehrere hundert Millisekunden) durch die Ausbreitung der Aktivierung mit aktiviert (vgl. ebd.). Dies wird bei den individuellen oder situativen Bedingungen des Problemlösens (s.u.) nochmals aufgegriffen.

Auf der Grundlage der bisher dargestellten Modellstrukturen und –prozesse ist nun für die Beschreibung des Problemlösens im Rahmen von MEKIV eine weitere Differenzierung der mittel- und langfristigen Speichermedien vorzunehmen.

Auf einer ersten Ebene wurden im Systemelement LG bisher die Teilstrukturen ES, HS und EVS unterschieden (die Unterscheidung ES / HS ist auf DÖRNER 1979 zurückzuführen).

Innerhalb des Faktenwissens (also der ES) unterscheidet man weiter zwischen einem episodischen Gedächtnis (hier werden Erfahrungen in ihrem raum-zeitlichen Kontext gespeichert) und einem semantischen Gedächtnis (hier werden Bedeutungszusammenhänge gespeichert).

Als Organisationsprinzip des semantischen Gedächtnisses wird seit geraumer Zeit eine netzwerkartige Struktur angenommen. Diese wird durch Knoten - zwischen denen vielfältige Relationen existieren - repräsentiert; ein einzelner Knoten ist dabei äquivalent mit der Bedeutung etwa eines Wortes.

In der HS (von EDELMANN 1996 als eigentliche „Problemlösestruktur“ bezeichnet) sind „Heuristiken“ oder Operatoren, das „Veränderungswissen“ (HUSSY 1998) gespeichert. Während durch die ES reproduktives Denken durch das Abrufen von Fakten erfolgt, findet in der HS produktives Denken im Sinne von zielbezogener Neuverknüpfung (als Nutzung der Operatoren) von Informationen statt.

Als dritte „problemlöserrelevante“ Teilstruktur ist die EVS zu nennen, welche „Evaluatoren“ speichert und somit das „Bewertungswissen“ enthält. Der Bewertungsvorgang schließt sich jeweils an den Operatoreinsatz an, es wird der (neue) Istzustand mit dem (alten) Zielzustand verglichen und damit die Ist-Soll-Diskrepanz ermittelt (vgl. HUSSY 1998, 85f). Das Prinzip der Rückkopplung (Feedback) als Handlungsregulativ im Sinne der TOTE-Einheit (nach MILLER, GALANTER & PRIBRAM 1960) wird hier deutlich; dieses gilt als „repräsentativ für die kybernetische Betrachtungsweise des menschlichen kognitiven Apparates“ und verleiht „dem menschlichen Denken die enorme Flexibilität und Adaptionfähigkeit“ (s. HUSSY 1998, 92).

Der eigentliche Prozess des Problemlösens vollzieht sich nun in vier Phasen, geregelt durch Steuerungs- und Kontrollmaßnahmen des ZP (s. HUSSY 1998, 90; HUSSY 1983):

- Phase I: Problemdefinition und Zielkriterienerstellung
- Phase II: Operatorsuche und -anwendung
- Phase III: Evaluatorsuche und -anwendung
- Phase IV: Output-Steuerung

In der ersten Phase werden die durch die Instruktion gegebenen Anforderungen analysiert. Eine Suche in der ES nach lösungsrelevanten Informationen wird initiiert, gefundene Ergebnisse bzw. relevante Informationen werden jeweils in das AG und den KS transferiert. Es schließt sich ein Bewertungsprozess an, hierfür werden adäquate Evaluatoren in der EVS gesucht und ebenfalls in das AG / den KS transferiert und angewendet. Wenn schon an dieser Stelle eine Lösung direkt

abrufbar ist und als lösungsadäquat bewertet werden kann, liegt kein Problem, sondern eine Aufgabenstellung vor (s.o.; HUSSY 1998, 89ff).

Für das negative Bewertungsergebnis - also für den Fall, dass keine Lösung direkt abrufbar ist - wird in den Phasen 2 und 3 die zielbezogene Neuverknüpfung von Informationen realisiert.

Dieser Vorgang besteht jeweils aus der geplanten, an den Inhalten des AG orientierten Suche problemangemessener Operatoren in der HS. Mit der Transferierung des Operators in das AG/ den KS und der Anwendung desselben wird die Neuverknüpfung bewirkt.

Im Anschluss erfolgt analog zur zweiten Phase die Evaluatorsuche für das (Zwischen-) Ergebnis in der EVS, Transferierung in das AG / KS sowie der Anwendung des Evaluators. Ergebnisabhängig werden dann gegebenenfalls vom ZP Rückschritte initiiert, etwa um eine erneute Suche in der ES für ein besseres Problemverständnis auf der Grundlage des Zwischenergebnisses vorzunehmen oder um erneut nach problemangemessenen Operatoren in der HS zu suchen. Die Rückkopplung als Handlungsregulativ im Sinne der „TOTE“- Einheit wird hier erneut deutlich (s.o.; vgl. HUSSY 1998, 92).

Ergibt der Bewertungsprozess in der dritten Phase die Zielerreichung und damit die Beseitigung der Ist-Soll-Diskrepanz, erfolgt in der Phase 4 der Output - die Reaktion auf die Ausgangsinstruktion durch Nutzung der in AG und KS ermittelten Ergebnisse.

Durch den Problemlösevorgang wurde damit auch neues Wissen generiert, welches vor allem im Erfolgsfall in den Dimensionen Fakten-, Veränderungs- und Bewertungswissen in die zugehörigen Gedächtnissysteme rückgespeichert wird (vgl. ebd.).

Damit sind die strukturellen Modellkomponenten in ihrem prozessualen Zusammenspiel im Hinblick auf die Beschreibung des Problemlösevorgangs hinreichend dargestellt. Die vier skizzierten Phasen des Problemlösevorgangs definieren die invariante, prinzipielle Systemstruktur und repräsentieren zugleich die unterschiedlichen Zustände des Systems (vgl. Kapitel 4.1).

In der Folge sind Einflussgrößen auf den Problemlösevorgang –aufbauend auf den vorhergehenden Aussagen über strukturelle und prozessuale Merkmale- in Form von situativen oder individuellen Bedingungen zu beschreiben, die das Lösungsverhalten sowie das Lösungsergebnis direkt beeinflussen können. Als Einflussgrößen auf den prinzipiell „als sehr flexibel beschriebenen Lösungsvorgang“ gelten Effekte, die durch Fixationen, Einstellungen und durch den Kontext gegeben sein können.

Fixationseffekte werden nach ihrer Zuordnung in die Teilstrukturen des LG (ES, HS) in Merkmals- bzw. Verknüpfungsfixierung unterschieden, ihnen gemeinsam ist die verminderte Verfügbar- sowie Verwendbarkeit des Fakten bzw. Veränderungswissens durch situative Faktoren und deren Konsequenzen (s. HUSSY 1998, 101).

„Fixationen sind Festlegungen [...], die sich auf das Faktenwissen und das Veränderungswissen – und damit auf die ES und HS beziehen. Genauer formuliert handelt es sich bei Fixierungen im Faktenwissen um die *verringerte Verfügbarkeit von einem* (einigen) *Merkmal(en) eines Begriffs aus der ES*: Das Merkmal ist zusammen mit dem Begriff abgespeichert, aber aufgrund der situativen Bedingungen nicht abrufbar.“

(s. HUSSY 1998, 96)

HUSSY verweist zur Illustration des Sachverhalts der Merkmalsfixierung auf Experimente zur „funktionalen Gebundenheit“, bei denen die Probanden durch entsprechende Experimente die Fixierung eines Objektes erlebten (die gezielte Aktivierung der funktionsrelevanten Merkmale eines Objektes bzw. seiner begrifflichen internen Repräsentationen in der ES in einer ersten Aufgabe erschwerten bzw. verhinderten die Lösung einer zweiten Aufgabenstellung die einen Transfer erforderlich machte – vgl. ebd. 96f).

Die Verknüpfungsfixierung dagegen betrifft das Veränderungswissen. Bedingt durch situative und/oder kontextuelle Gegebenheiten wird die Suche relevanter Operatoren in der HS durch häufig und erfolgreich benutzte Handlungsprogramme aus der ES verhindert oder eingeschränkt (vgl. ebd. 100).

„Von der [...] Merkmalsfixierung ist die *Verknüpfungsfixierung* strikt zu unterscheiden. Sie betrifft [...] das Veränderungswissen und somit die HS. In diesem Fall handelt es sich um *verringerte Verfügbarkeit von Veränderungswissen*, also von Operatoren und Operatorkombinationen der HS, aufgrund der situativen Bedingungen“

(s. HUSSY 1998, 98)

Weiterhin kann ohne das Vorhandensein situativer Einflüsse schon Wissen und seine interne, geordnete Repräsentation allein menschliches Denken und Problemlösen determinieren. In diesem Kontext diskutiert etwa SÜß (1996) Steuerungsleistungen bei einem komplexen, realitätsorientierten System (deren Verallgemeinerung in diesem Kontext zulässig ist). Es zeigte sich hier, dass die Steuerungsleistungen sich als abhängig vom Umfang des zutreffenden Vorwissens darstellten.

„Die Güte und der Umfang des Vorwissens sowie dessen Kompatibilität [zum System] sind die Garanten für gute Arbeitshypothesen, die während der Systemsteuerung durch Schlussfolgerungen aus dem Systemverhalten sukzessive weiterentwickelt werden müssen.“

(SÜß 1996, 180)

Nach SCHAUB / REIMANN (1999) ist dies auch darauf zurückzuführen, dass bei „ausgeprägtem, zutreffendem Vorwissen über den Realitätsbereich“ in der ersten Phase kritische Variablen leichter erkannt werden und damit das Entwickeln und Ausarbeiten von Zielen vereinfacht wird (171).

Für die Anwendung des Wissens betont SÜß die „zentrale Bedeutung“ der Verarbeitungskapazität (s. ebd.); SOUVIGNIER (1998) spricht von „substantiellen Korrelationen zwischen der Verarbeitungskapazität und der Lösungsgüte bei komplexen Problemlöseszenarien“ (s. 20). Der individuelle Einfluss der Verarbeitungskapazität als Verwaltung der mittelfristigen Speicher durch den ZP ist offensichtlich, hier sei nur auf das oben beschriebene verwiesen.

Die Einflussgröße Intelligenz ist zunächst durch eine heterogene Befundlage gekennzeichnet. Aussagen über den Zusammenhang zwischen komplexer Problemlöseleistung und Intelligenz etwa durch Ergebnisse in einem Intelligenztest (s. beispielsweise PUTZ-OSTERLOH / LUER 1981; PUTZ-OSTERLOH 1981) sind kaum in einer verallgemeinernden Betrachtung zu integrieren. Die heterogene Befundlage ist nach HUSSY (1998) auf die Verwendung „unterschiedlicher Operationalisierung der Problemlöseleistung, unterschiedliche Intelligenztests und unterschiedlicher komplexer Probleme oder Problemversionen“ zurückzuführen (154).

Die heterogene Befundlage eines Faktors Intelligenz wird auch durch aktuelle Hinweise illustriert. So wurden erst kürzlich Befunde¹ beschrieben, die neben sprachlichen Fähigkeiten auch räumlich-visuelle Fähigkeiten als Indikatoren mit gleicher Güte für allgemeine Intelligenz heranziehen - dieser Ansatz ist allerdings bisher wenig untersucht und bedarf weiterer Forschung.

¹ Internet, URL: <http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=111266> , Stand: 02.01.2002

4.1.2 Maßnahmen zum Problemlösen

Um die bisherigen Ausführungen zum Problemlösen zu konkretisieren und für Konstruktionsmethodisches Denken und Handeln beispielhaft darzustellen, wird im Folgenden auf DYLLA (1991) zurückgegriffen. DYLLA (1991) klassifiziert drei Bereiche, die beim Problemlösen (bzw. Konstruieren) bewältigt werden müssen, wenn die Konstruktionsaufgabe auf den Typ Neukonstruktion („von Maschinen bzw. Geräten, die in Einzelfertigung aus Halbzeugen und Norm- bzw. Kaufteilen hergestellt werden“) eingeschränkt wird (12f):

„Gegeben ist eine große Menge von Elementen (Halbzeuge, Norm- und Kaufteile) in Form von Abbildungen und Tabellen in Katalogen (Anfangszustand). Gesucht ist eine zeichnerische Abbildung eines Systems aus einer Teilmenge dieser Elemente, das eine Reihe vorgegebener Funktionen und Bedingungen erfüllen soll (Zielzustand, Zielsystem).“

(DYLLA 1991, 12)

Merkmale der Konstruktionsaufgabe:	Zu bewältigen:
Die Menge der vorgegebenen Elemente ist unüberschaubar groß und möglicherweise nicht vollständig bekannt.	Informationsüberschuss Die aktuell zu verarbeitenden Informationen müssen derart beschränkt werden, dass sie mit Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses kompatibel sind.
Die vorgegebenen Elemente können durch eine Vielzahl von Operationen verändert werden (Bearbeitung von Halbzeugen in der Werkstatt). Die Zahl der zur Verfügung stehenden Elemente wird dadurch unendlich groß.	
Die vorgegebenen und die veränderten Elemente können in unterschiedlicher relativer Lage zueinander angeordnet werden.	
Die vorgegebenen und die veränderten Elemente können auf verschiedene Arten miteinander verbunden werden (z.B. Schweißen, Kleben oder Verschrauben)	
Die geforderten Funktionen und Bedingungen sind zahlreich	
Sie lassen sich i.a. nur durch ein relativ komplexes System von Elementen erfüllen.	
Es gibt i.a. eine Vielzahl von Systemen als mögliche Lösung.	

(Tabelle nach DYLLA 1991, 12f)

Merkmale der Konstruktionsaufgabe:	Zu bewältigen:
Der Zielzustand ist nicht durch eine Konstellation von Lösungselementen (Gestalt, Lage), sondern durch abgeleitete Systemeigenschaften der kombinierten Elemente (Funktionen, Bedingungen) definiert. Die Zielerreichung ist daher nicht direkt erkennbar.	Informationsmangel Die vorgegebenen Informationen zur Bearbeitung der Aufgabe reichen allein nicht aus, sie müssen durch das Faktenwissen des Bearbeiters, durch mentale Operationen oder durch zu suchende, externe Informationen ergänzt werden
Da von dem System zunächst nur eine zeichnerische Abbildung erstellt wird, können die geforderten Systemeigenschaften zum großen Teil nicht unmittelbar überprüft, sondern nur angenommen, simuliert, errechnet oder erschlossen werden.	
Den vorgegebenen Elementen ist häufig keine Funktion zugeordnet. Viele Kataloge sind daher nicht nach funktionalen, sondern nach anderen Kriterien geordnet (Halbzeuge z.B. Form, Größe und Werkstoff). Die Informationen in den Katalogen sind daher für eine Auswahl der Elemente allein nicht ausreichend.	

(Tabelle nach DYLLA 1991, 12f)

Merkmale der Konstruktionsaufgabe:	Zu bewältigen:
Die geforderten Funktionen und Bedingungen sind bei Beginn der Aufgabenbearbeitung i.a. nicht vollständig bekannt	Unbestimmtheit Zu Beginn der Bearbeitung liegt kein vollständiger und widerspruchsfreier Katalog von Forderungen vor; einschränkende Bedingungen ergeben sich während der Bearbeitung
Sie widersprechen sich zum Teil (einfache Bedienbarkeit widerspricht z.B. meist der Forderung nach geringen Herstellungskosten). – Eine Optimierung ist notwendig.	
Konstruierte Teilsysteme haben meist einschränkende Bedingungen für andere Teilsysteme zur Folge (z.B. geometrische oder kinematische Randbedingungen).	

(Tabelle nach DYLLA 1991, 12f)

Wenngleich die (Neu-) Konstruktionsaufgabe durch spezifische Merkmale gekennzeichnet ist, so können die zu bewältigenden Teilbereiche Informationsüberschuss, Informationsmangel sowie Unbestimmtheit auch allgemein auf Konstruktionsprobleme übertragen werden - wenngleich sie bei konkreten Konstruktionsproblemen in unterschiedlichem Ausmaß auftreten können.

Die Benennung solcher grundlegender, allgemeiner Prozesse, welche für eine Vielzahl von Problemen als Strategie dienen, kann allerdings nur unter dem Hinweis auf deren Bereichsspezifität erfolgen (vgl. STEINER 2001, 190f - hierauf wird nochmal im folgenden Kapitel unter dem Stichwort Transfer eingegangen)

Beim Lernen von Problemlösen geht es nach STEINER (2001, 204) um „spezifische Arten der Behandlung und des Gebrauchs von Wissen bzw. Wissensrepräsentationen“. Den zu bewältigenden Teilbereichen stellt DYLLA nun „Maßnahmen (Operatoren, Heuristiken, Strategien)“ gegenüber.

Maßnahmen zur Informations- und Komplexitätsbewältigung

Speicherung im Langzeitgedächtnis

Informationen, welche die Kapazität des KS übersteigen, können ins LG ausgelagert werden und bei Bedarf sehr schnell wieder zurückgeholt werden. Ein Nachteil ist die relativ geringe Speichergeschwindigkeit des LG.

Externes Gedächtnis

Durch Notizen sowie durch gegenständliche oder symbolische Skizzen lassen sich große Informationsmengen festhalten. Die Darstellungsart muss dabei dem Problem angepasst sein. Die Speichergeschwindigkeit liegt deutlich höher als beim „Schreiben“ ins LG. Für das schnelle Wiederauffinden der extern gespeicherten Informationen muss im LG eine Art „Adressverzeichnis“ angelegt werden.

Komplexbildung (Superzeichenbildung)

Werden einzelne Elemente gedanklich zu einer Einheit zusammengefasst, und kann diese dann als Begriff durch ein Symbol belegt werden, so wird dadurch nur ein chunk im KG belegt. Dies trifft z.B. zu, wenn aus der Anordnung verschiedener Zahnräder, Wellen, Lager und Gehäuseteile gedanklich der Komplex „Getriebe“ gebildet wird, der dann als unzerlegte Einheit für die Integration in ein größeres System zur Verfügung steht.

Abstraktion

Durch die geeignete Abstraktion eines Sachverhaltes werden „Leerstellen“ oder „Unschärfstellen“ bei den Merkmalen geschaffen, die für die aktuelle Bearbeitung nicht genauer verfügbar sein müssen. So werden z.B. bei der abstrakten Bezeichnung „Schraube“ für eine Sechskantschraube DIN 931-M12x50 Merkmale wie Gewindeform, Kopfform oder Größe offen gelassen. Der Informationsgehalt wird dadurch herabgesetzt.

Reduktion

Bei der Reduktion werden die Auswirkungen einer Vielzahl von Einflussgrößen auf eine Haupteinflussgröße zurückgeführt. So wird beispielsweise für die Erstellung eines ersten Konzeptes angenommen, dass die Gestalt eines Bauteils nur durch die Funktion und nicht durch Fertigungs-, Kosten oder Ergonomieaspekte beeinflusst wird.

Zwischenzielbildung

Durch das Setzen geeigneter Zwischenziele kann die Menge der aktuell zu verarbeitenden Informationen so eingeschränkt werden, dass eine schrittweise Problemlösung möglich wird. So wird z.B. beim Konstruieren zuweilen erst nach der äußeren Gestalt von Baugruppen gesucht (Zwischenziel) und dann in einem weiteren Schritt die Aufteilung in einzelne Bauteile vorgenommen.

(Tabelle nach DYLLA 1991, 14f)

Die bisher exemplarisch dargestellten Merkmale von Konstruktionsproblemen mit den resultierenden, zu bewältigenden Teilbereichen sowie den Maßnahmen zur Komplexitätsbewältigung können -in dieser verallgemeinerten Form- als Anforderungen für technische Vermittlungsprozesse, die konstruktionsmethodisches Vorgehen beinhalten, direkt herangezogen werden.

4.1.3 Lernpsychologische Aspekte des Konstruierens

Neben den Erkenntnissen und Befunden zum Problemlösen müssen aus dem Bereich der Psychologie für Vermittlungsprozesse auch jeweils relevante Grundlagen zum Lernen nutzbar gemacht werden.

Für den Bereich der Lernpsychologie wird also im folgenden eine integrative Betrachtung - wie sie von EDELMANN (2000) vertreten wird - der Betonung einzelner Paradigmen (etwa Behaviorismus oder Kognitivismus – vgl. z.B.) vorgezogen. So soll in Anlehnung an die von EDELMANN (1996, 2000) beschriebene „dualistische Lerntheorie“ im folgenden eine Einordnung der Konstruktionsmethodik als Lerngegenstand unter Skizzierung wesentlicher und für die Themenstellung relevanter Aspekte der Lernpsychologie vorgenommen werden.

EDELMANN beschreibt einleitend, dass der Bereich der Lernpsychologie nicht mehr klar zu anderen Bereichen wie etwa Gedächtnis-, Kognitions- oder Motivationspsychologie abzugrenzen ist; die traditionellen Grenzen haben sich verwischt. Somit soll Lernpsychologie als „relativ umfassendes Gesamtkonzept von Veränderungsprozessen“ aufgefasst werden mit vielfältigen Bezugspunkten zu anderen Disziplinen (2000, XI).

Der psychologische Begriff des Lernens lässt sich in einem ersten Schritt wie folgt definieren:

„Gemeinsames Merkmal von Lernprozessen ist die Erfahrungsbildung. Diese Erfahrungen können unmittelbar gewonnen werden oder sozial vermittelt sein. Die Auseinandersetzung mit der Umwelt ist entweder mehr außen- oder mehr innen- gesteuert. Beim Lernen kommt es zur Ausbildung von Dispositionen, d.h. zur Fähigkeit, bestimmte Leistungen zu erbringen.“

(EDELMANN 2000, 278)

Der Erwerb von Dispositionen (Verhaltens- oder Handlungsmöglichkeiten) als Produkt des Lernprozesses ist durch relative zeitliche Stabilität gekennzeichnet. Davon zu unterscheiden ist die Leistung (Performanz), die direkt von situativen Bedingungen abhängig ist (ebd.).

STEINER (2001) identifiziert für den Bereich „Lernen und Wissenserwerb“ die globalen Gesichtspunkte „Verhaltensänderung“ sowie „Wissenserwerb“ (139); wobei für Verhaltensänderung die Punkte „Klassisches bzw. Operantes Konditionieren“ und „Lernen am Modell“ subsummiert, für Wissenserwerb das „Konstruieren, Rekonstruieren und Modifizieren von Wissensstrukturen verschiedener Art: von begrifflichem, prozeduralem [...] und metakognitivem Wissen“ als relevant eingeordnet wird (s. ebd.).

Zugleich wird aber auch hier betont, dass es sich um eine „Gliederungsmaßnahme zur möglichst klaren Darstellung“ handelt, da die Bereiche „Wissen und Verhalten in vielen Fällen untrennbar zusammengehören“ (vgl. ebd.).

Nach EDELMANN (2000, 279ff) werden vier Grundformen des Lernens benannt, die er wie folgt aufteilt:

Die vier Grundformen des Lernens			
Reiz-Reaktions-Lernen	Instrumentelles Lernen	Begriffsbildung und Wissenserwerb	Lernen von Handeln und Problemlösen
Aufbau von Verbindungen zwischen Reizen und Reaktionen	Aufbau von Verbindungen zwischen Verhalten und nachfolgenden Konsequenzen	Aufbau von Verbindungen zwischen den Elementen von kognitiven Strukturen	Aufbau von Verbindungen zwischen Wissen und Aktivität
Außensteuerung		Innensteuerung	

(Tabelle erstellt n. EDELMANN 2000, 279 bzw. EDELMANN 1996, 402f)

Die Aufteilung von STEINER ist zu EDELMANN weitgehend identisch (wobei die unterschiedliche Einordnung des Modellernens auffällt. Diese Unterscheidung ist auch bei GAGE / BERLINER (1996) so zu finden, hier in der Unterscheidung von „Operantem und sozialem Lernen“ (wo das Modellernen eingeordnet wird) versus „Kognitiver Informationsverarbeitung und Lerntransfer“ (229 ff.) Da gerade im Bereich der Problemlösungsstrategien allerdings auch von GAGE / BERLINER (1996) wieder auf den Handlungsbegriff rekurriert wird (s. 316), wird hier die oben dargestellte Aufteilung und Zuordnung von EDELMANN vorrangig betrachtet).

Die vier Grundformen werden dabei in zwei Hauptkategorien unterteilt, abhängig davon, ob eine Außensteuerung durch Reize oder eine Innensteuerung durch die Person stattfindet (ebd.). Unter Rückbezug auf das im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Modell menschlicher Informationsverarbeitung sind auf den ersten Blick direkte Schnittpunkte der Grundformen vor allem für die Hauptkategorie Innensteuerung deutlich; für eine umfassende Betrachtung menschlichen Lernens müssen allerdings beide Bereiche als relevant angesehen werden (ebd.). Desweiteren fällt auf, dass der beschriebenen EVS (Evaluativen Struktur) zunächst kein direktes Pendant zuzuweisen ist.

Zunächst sollen jetzt aufbauend auf diesen Grundformen weitere, allgemeingültige Gesichtspunkte zusammengefasst dargestellt werden, bevor auf den Bereich Problemlösen nochmals gezielt eingegangen wird. Zu diesen allgemeinen Aspekten gehören die Bereiche Übung und Transfer sowie Präsentation und Repräsentation von Wissen.

Allgemein ist für Problemlöselernen der Lern- und Wissenstransfer von elementarer Bedeutung; hierbei ist der Gebrauch bzw. Einsatz von Teilprozessen des Lernens respektive des Wissenserwerbs zu betrachten. Der Forschungsstand in diesem Bereich lässt wenig Verallgemeinerung, bezogen auf etwa schulische Lernprozesse zu, da die Forschung sich zum größten Teil in „spezifischen Mikrowelten“ bewegt (vgl. STEINER 2001, 204).

Sehr wohl lassen sich allerdings situative Bedingungen für primäre Lernprozesse charakterisieren, die Lern- und Wissenstransfer begünstigen. Hierzu gehören zum einen kognitive Bedingungen, die für den Aufbau und die Konsolidierung von Wissensstrukturen relevant sind. Hierzu gehören Prozesse, die das Abstrahieren und Dekontextualisieren von Wissenseinheiten fördern. Zum anderen sind motivationale Merkmale seitens des Lerners zu nennen; hierzu gehören Prozesse der Selbstregulation sowie metakognitive Prozesse im Umgang mit dem eigenen Lernen (vgl. ebd.).

Unter den Transfertheorien ist nach der „Theorie der formalen Bildung“ und der „Theorie der identischen Elemente“ die Auffassung der „Strukturalistischen Transfertheorie“ als aktuelle Vorstellung der Lernübertragung zu nennen. Hier wird davon ausgegangen, dass „Einsichten in strukturelle Zusammenhänge in neuen Lern- und Problemsituationen zur Anwendung gelangen“ – vom Lerner muss die „Ähnlichkeit der aktuellen Situation mit einer Struktur“ erkannt werden (s. EDELMANN 2000 282).

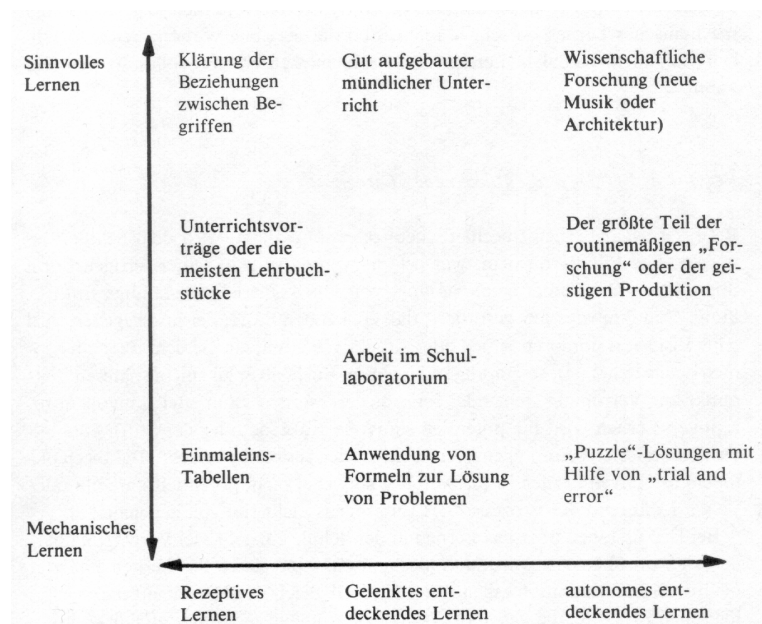
„Wenn früheres Lernen späteres Lernen beeinflusst, spricht man von Transfer (Lernübertragung). Ein positiver Transfer liegt vor, wenn das vorangehende Lernen das nachfolgende erleichtert oder verbessert. Bei negativem Transfer wird das spätere Lernen verzögert oder erschwert.“

(EDELMANN 2000, 226)

Die Bereiche Übung und Transfer sind in engem Zusammenhang zu sehen. Als wichtige Art des Transfers wird die „Prozeduralisierung“ - die Überführung von Sachwissen in Handlungswissen bezeichnet - (auf die Unterscheidung von Handlungs- und Sachwissen wird weiter unten noch eingegangen). Unter dem Gesichtspunkt des Anwendungsbezuges sollten daher transferför-

dernde Übungen als wesentlich für Lernprozesse berücksichtigt werden, damit durch die Übung der Anwendung später selbständig Transferleistungen erbracht werden können (vgl. EDELMANN 2000, 282).

Bei Lernvorgängen im motorischen und kognitiven Bereich sind Wiederholungen häufig unabdingbar, um das gewünschte (Lern-) Ergebnis zu erreichen. Dabei werden „mechanisches Lernen“ (EDELMANN 2000, 136f) als (relativ) unverändertes Wiederholen und das „Sinnvolle Lernen“ (ebd. 138f) als elaborierende, variantenreiche Übungsformen unterschieden.



Kontinuum des rezeptiven vs. autonomen Lernens bzw. sinnvolles vs. mechanisches Lernen nach AUSUBEL (u.a. 1980, 48)

Dabei ist davon auszugehen, dass differenziertes und gut strukturiertes Wissen in der Regel erst allmählich durch mehrere Konfrontationen mit dem Lerngegenstand aufgebaut wird. Mechanisches Üben kann dabei die Flexibilität des Denkens einschränken (s.o., Fixationseffekte), im Gegensatz dazu kann elaborierende Übung die Flexibilität erhöhen (Stichworte sind hier Vertiefung, Transfer, Problemlösen, Selbststeuerung) (vgl. ebd. 282 f).

Präsentation und Repräsentation von Wissen beziehen sich schließlich auf die Korrespondenz zwischen der Sachstruktur des Lernstoffes und der inneren kognitiven Struktur.

„Lernen im Sinne des Wissenserwerbs ist ein bereichsspezifischer, komplexer und mehrstufiger Prozess, der die Teilprozesse des *Verstehens*, *Speicherns* und *Abrufens* einschließt und der unter der Voraussetzung, dass diese drei genannten Prozesse günstig verlaufen, auch zum *Gebrauch* (dem sog. *Transfer*) des erworbenen Wissens führen kann.

[...] Wissenserwerb kann als der Aufbau und die fortlaufende Modifikation von Wissensrepräsentationen definiert werden.“

(STEINER 2001, 164)

Für erfolgreiches Lernen ist es unabdingbar, dass der Lerner die „äußerlich präsentierte Struktur der Information innerlich in eine adäquate Repräsentation“ überführen kann (vgl. EDELMANN 2000, 284). Kognitive Strukturen entstehen so über aktive, subjektive Strukturierungsprozesse – sie sind individuelle mentale Konstruktionen (ebd. 114).

Für diesen Bereich sind Handlungs- und Sachwissen zu unterscheiden, wobei die Grenzen hier fließend sind. Ersteres wird auch als prozedurales Wissen bezeichnet:

„Es ist ein Wissen, wie man etwas tut. Es ist häufig implizit. Prozedurales Wissen kann aus relativ allgemeinen Regeln bestehen, wie man Aufgaben bewältigt und Probleme löst, oder es kann sich um spezielle Fertigkeiten handeln. Letztere können den psychomotorischen Bereich betreffen [...] oder den kognitiven Bereich [...] und sind dadurch ausgezeichnet, dass mit zunehmendem Können das Wissen über die Ausführung immer weniger bewusst wird (sog. Automatisierung der Fertigkeit).“

(s. EDELMANN 2000, 115)

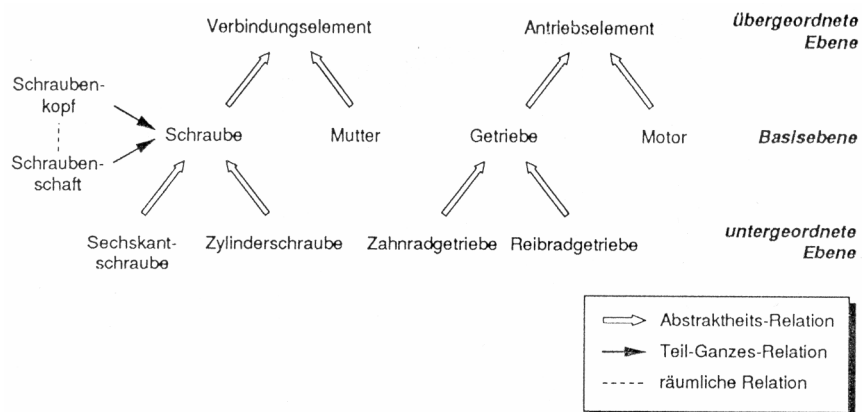
Der Bereich des Handlungswissens erfordert weiterhin eine Definition des zugrundeliegenden Handlungsbegriffs bzw. die Darstellung seiner Attribute. Hier im Zusammenhang der Lernpsychologischen Betrachtung wird also das Lernen von Handeln betrachtet.

Grundsätzlich wird bei einem „idealen Handelnden“ von einer Innensteuerung ausgegangen (der willentlichen Durchführung von Handlungen zur Erreichung von Zielen), die Auswahl einer bestimmten Handlungsalternative besitzt damit einen „subjektiven Sinn“. Desweiteren werden eine Intentionalität (Zielgerichtetheit), ein Bewusstsein, ein flexibles Handlungskonzept und Verantwortlichkeit vorausgesetzt (vgl. EDELMANN 2000, 188ff).

Während der Bereich des Handlungswissens auf dynamischen Prozessen basiert, sind für den Bereich des Sachwissens vorwiegend statische Strukturen Gegenstand der Betrachtung. Zur internen Repräsentation von Sachwissen wurden im Rahmen des Modell MEKIV im Zusammen-

hang mit der Epistemischen Struktur Aussagen getroffen, die hier nochmals expliziert werden sollen. Wie genannt, wird eine hierarchische, relationale, semantische Netzwerkstruktur als Organisationsprinzip angenommen - dabei ist ein einzelner Knotenpunkt äquivalent mit der Bedeutung (etwa eines Wortes). Beleg hierfür sind unter anderem Simulationen mit computerbasierten künstlichen neuronalen Netzen („vom der Typ selbstorganisierende Eigenschaftskarten“, s. SPITZER 2000) die dem Kortex nachempfunden sind. Die Befunde legen die Auffassung nahe, dass die Organisation der Informationen land- oder eigenschaftskartenförmig geschieht. Durch den strukturellen Aufbau begründet, sind diese Netzwerke in der Lage, Repräsentationen etwa von abstrakten grammatischen sowie semantischen Eigenschaften zu bilden. Das heißt, dass die im Lernvorgang angebotenen Inputinformationen ohne äußere Einflussnahme in eine sinnvolle räumliche Anordnung nach Ähnlichkeit und Häufigkeit überführt werden (ähnliche Elemente liegen dicht beieinander). Die Art der Relationen zwischen den (Bedeutungs-) Knoten lassen sich dabei als Abstraktheitsrelationen, Merkmals- bzw. Teil-Ganzes-Relationen sowie raumzeitliche Relationen klassifizieren (vgl. HUSSY 1998, 65f / SPITZER 2000, 243ff / EDELMANN 2000, 113ff / SZAGUN 1996, 65ff / DÖRNER 1987, 32).

DYLLA (1991) illustriert diese Relationsarten in der Epistemischen Struktur (Anlehnung an DÖRNER 1987- vgl. vorangestelltes Kapitel):



(s. DYLLA 1991, 8)

SPITZER (2000) diskutiert im Zusammenhang der Repräsentation von Information deren neuronale Codierung. „Vektorräume, die von grundlegenden Dimensionen aufgespannt werden“ haben sich demnach als „unglaublich effektiv“ dargestellt. Dieses von der „Evolution gelöste Optimierungsproblem“ ist einerseits als sparsame Kodierung (wenig Aufwand an Energie und Raum), andererseits als redundant (der Ausfall einzelner Nervenzellen bedeutet nicht den Ver-

lust der Informationen) realisiert (s. 69ff). Dies kann aber im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter betrachtet werden.

Informationsinhalte können nun unterschiedlich oder auch in multipler Form kodiert sein, neben der sprachlich-inhaltlichen gibt es die analoge (bildhafte) und die handlungsmäßige Repräsentation.

Die Konsequenz der dargestellten Sachverhalte für das Problemlöselernen bzw. konstruktionsmethodische Handeln ist schließlich nach EDELMANN (2000) und STEINER (2001) wie folgt zusammenzufassen:

„Nur durch das Üben von Problemlösen in Schulen werden die Denkfähigkeiten erlernt, die zum Lösen von Problemen nötig sind. Problemlösen muss ein eigener Unterrichtsgegenstand sein. Problemlösendes Denken entwickelt sich nicht als Zusatzeffekt beim Wissenserwerb. Der Übungseffekt zeigt sich äußerlich in einer Verkürzung der Lösungszeiten und Verringerung der Lösungswege. Allerdings darf man keine **allgemeine** Entwicklung solcher Denkfähigkeiten erwarten. Es findet im Regelfall nur ein Transfer auf eine bestimmte Klasse von Problemen statt. Daraus folgt, dass beispielsweise Einsichtgewinnung in relativ einfach strukturierte Probleme, strategisches Denken, kreative Einfälle und Systemdenken in spezifischer Weise geübt werden müssen.“

(EDELMANN 2000, 227f)

„Problemlöselernen ist im Wesentlichen ein Lernen des systematischen Gebrauchs verschiedenartigen Vorwissens in einer oft weitgehend neuen Situation. Damit stehen wir im weiten Felde des *Lern-* bzw. *Wissenstransfers*.“

(STEINER 2001, 204)

Es kann also weiter zusammenfassend von mindestens zwei wesentlichen Lernformen für Problemlösen und konstruktionsmethodisches Handeln ausgegangen werden - dem „epistemischen Lernen“, welches bei EDELMANN entsprechend den Grundformen (s. o.) „Begriffsbildung und Wissenserwerb“ zuzuordnen ist, sowie dem „heuristischen Lernen“ welches der Grundform „Handeln und Problemlösen“ zugezählt werden kann.

Die Verwertung der hier zusammengetragenen Erkenntnisse wird in den Kapiteln 6 und 7 vorgenommen (etwa bei der Entwicklung von HILWA wie natürlich auch bei der Konstruktion der Problemstellungen für die Untersuchung).

5 Methodengerechter Einsatz von Medien in der technischen Bildung

In diesem Kapitel werden gemäß den Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit zunächst grundlegende Definitionen und Bestimmungsfaktoren für Vermittlungsprozesse im Rahmen technischer Bildung aufgearbeitet. Auch wenn in der Folge dann der Fokus auf computerbasiertes Lernen gelegt wird, kann dies nur unter Beachtung der darzustellenden Grundlagen erfolgen.

„Nicht bereits dadurch, dass man in Schule, Hochschule oder Weiterbildung Multimedia einsetzt, wird die Ausbildung qualitativ besser. Didaktischer Mehrwert resultiert nicht bereits aus den Medien, sondern kann nur im Rahmen eines sorgfältigen didaktischen Designs entstehen, das neben den Merkmalen und Besonderheiten der verschiedenen Medienkomponenten auch die Merkmale und Besonderheiten der Lernenden sowie der verschiedenen Inhaltsbereiche und auch die angestrebten Lehrziele berücksichtigt.“

(DÖRR / STRITTMATTER 2002, 42 – vgl. hierzu auch bes. KERRES 2001, VATH / HASSELHORN / LÜER 2001, LEUTNER / BRÜNKEN 2000 sowie ISSING / KLIMSA 2002)

Auf dieser Basis können dann die im vorangestellten Kapitel getroffenen Aussagen zum konstruktionsmethodischen Denken und Handeln in ihrer Relevanz für Vermittlungsprozesse im Rahmen technischer Bildung eingeordnet werden.

Für jegliche Vermittlungsprozesse im Rahmen technischer Bildung sind Methoden- und Medienfragen nach BURGMEYER (1985) als zentral anzusehen. Ausgehend von der Annahme, dass „Unterrichtsplanung einem vereinfachten Konstruktionsprozess entspricht“ wird ein Planungsraster für Vermittlungsprozesse im technischen Unterricht vorgelegt, welches als Basis und Ausgangspunkt verschiedene „Pfade“ aufweist („Zielpfad“, „Inhaltspfad“, „Methodenpfad“ und „Medienpfad“ - vgl. 29ff). Für den Planungsprozess selbst wird davon ausgegangen, dass ein „Vermittlungsprozess gedanklich vorweggenommen“ werden muss, welcher bestimmte Vorgaben, Annahmen und Bedingungen berücksichtigt, „und dessen zunehmende gedankliche Konkretisierung führt schließlich zu gebrauchsfertigen Unterlagen für dessen Durchführung und Kontrolle“ (ebd., 32).

Auf der Basis eines wissenschaftsorientierten Technikverständnisses mit dem Gegenstand des technologischen Handelns im Sinne des Konzepts einer Allgemeinen Technologie (s. Kapitel 2.2) können die Bestimmungsfaktoren für Vermittlungsprozesse „Methode“ sowie „Medien“ wie folgt definiert werden:

„Wenn Methoden verstanden werden als gedachte Handlungsmuster, die die einzelnen Unterrichtsschritte determinieren, und Medien als Träger / Vermittler von Informationen über technische Systeme deren Inhalte in codierter Form darstellen, dann realisieren somit Medien die vorgegebene Methode unter Beachtung sachlich richtiger Darstellung der Inhalte. Daraus folgt für die Auswahl der Medien, daß diese erst nach Festlegung der Methode erfolgen kann.“

(BURGMER 1985, 153)

Der grundlegende Charakter und die Aktualität dieser Definition wird besonders deutlich, wenn man auf dieser Basis so genannte „Neue Medien“ analysiert. Ohne diesen populären Begriff weiter zu differenzieren, sollen damit jegliche Formen computerbasierten Lernens gemeint sein. Auch hier - egal ob „Blended Learning“, „Multimedia“, „Hypermedia“ oder „Web-based Learning“ usw. - gilt es zu beachten, dass es „primär die Struktur, die implizite didaktische Strategie von Lernangeboten ist, die den Lernprozess maßgeblich beeinflusst“ (WEIDENMANN 2002, 59):

„Die kognitiven Prozesse, die zum Lernen erforderlich sind, werden [...] durch die Methode, d.h. durch die Strukturierung des Inhalts im jeweiligen medialen Angebot, beeinflusst. Diese Erkenntnis ist folgenschwer [...], weil sie die Bedeutung von Multimedia, Multicodierung und Multimodalität für den Lernprozess relativiert. Für die Gestaltung multimedialer Angebote wäre demnach zuerst die Struktur-, Strategie-, Methoden-Entscheidung zu treffen und erst danach zu fragen, mit welchen Medien, Codierungen, Modalitäten usw. sie sich am besten realisieren lässt.“

(WEIDENMANN 2002, 59f)

Methoden sollen hier nach BURGMER (1985, 39ff) beschrieben werden, der durch die Analyse erziehungswissenschaftliche Aussagen, allgemein-technologischer Ansätze sowie lernpsychologische Befunde, Methoden in ihren Merkmalen und ihrer Funktion in technischen Vermittlungsprozessen beschreibt - Methoden werden so durch für sie typische Schrittfolgen unterscheidbar.

Die folgende Tabelle stellt Funktionen, Merkmale und Klassifikationen von Methoden in Vermittlungsprozessen im technischen Unterricht gegenüber:

Funktionen von Methoden	Merkmale von Methoden	Klassifikation von Methoden
<ul style="list-style-type: none"> • Determinierungsfunktion • Strukturierungsfunktion • Mittelfunktion • Deskriptive Funktion • Normative Funktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Zielgerichtetheit und Zweckbestimmtheit • Gegenstands- und Bedingungsadäquatheit • Allgemeiner und ideeller Charakter (Methoden sind Verallgemeinerungen konkreter Lehrtätigkeit und daher für ganze Klassen konkreter Handlungen gültig, also von Fall zu Fall übertragbar[...]. Methoden sind gedankliche Handlungsmuster [...], sie sind – als Erfahrungswissen wie auch als wissenschaftliches fundiertes Ergebnis- Bestandteile der Disziplin. Sie können somit gelehrt und gelernt werden.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nach Handlungsmustern technologischen Gestaltens und technologischen Umsetzens; Allgemeintechnologische Klasse • Nach Handlungsmustern, die auf lernpsychologischen Befunden basieren; Lernpsychologische Klasse • Nach Lernarten • Nach Artikulationsschemata • Nach Lernhilfen • Nach Sozialformen

(Tabelle zitiert nach BURGMER 1985, 76f)

Eine Übersicht und Ausformung der für Vermittlungsprozesse im technischen Unterricht typischen Methoden wird nun unter Nutzung der Lernpsychologischen bzw. der Allgemeintechnologischen Klasse vorgenommen; erstere wird als eher lernpsychologisch orientierte Beschreibung von Elementarmethoden bzw. –Prozessen zur Ebene methodischer Grundformen zusammengefasst, letztere als Ebene der typischen Verknüpfung methodischer Grundformen zu Handlungsmustern technologischen Handelns (vgl. ebd. 78f).

Die folgende Übersicht zeigt „Typische Kennzeichen und Schrittfolgen methodischer Grundformen“:

Methoden	Typische Kennzeichen	Schrittfolge
Analytische M.	<ul style="list-style-type: none"> - Identifizieren bekannter „Merkmale“ in einem vorgegebenen technischen System; - Zerlegen und Gliedern eines technischen Systems in Attribute, Subsysteme, Systemelemente und Relationen; - Beispiel: Gliedern eines Stoffflusses in eine Funktionsstruktur und deren Zerlegung in Wirkprinzip, Wirkfläche, Wirkbewegung und Werkstoff. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vorlegen eines technischen Systems 2. Feststellen der äußeren Merkmale sowie des Input-Output-Verhaltens 3. Abgrenzen der Zerlegungsebene der Subsysteme, z.B. Baugruppe, Element 4. Bereitstellen der zu 3. erforderlichen technischen, physikalischen und mathematischen Hilfsmittel und ggf. Sicherheitsmaßnahmen 5. Zerlegen in Subsysteme, z.B. durch Demontieren 6. Beschreiben des Input-Output-Verhaltens der Subsysteme aus 5. 7. Beschreiben des Wirkprinzips und der Gestaltungsmerkmale aus 6. 8. Beschreiben der Funktionsstruktur des technischen Systems
Synthetische M.	<ul style="list-style-type: none"> - Verknüpfen bekannter Subsysteme zu einem technischen System mit vorgegebenen Anforderungen; - Kombinieren vorgegebener und bekannter Baugruppen oder Bauelemente mit oder ohne Anleitung zu einem neuen technischen System. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vorgeben der Anforderungen an das technische System 2. Vorlegen der erforderlichen Subsysteme 3. Beschreiben der Subsysteme aus 2. 4. Festlegen der Reihenfolge des Kombinierens der Subsysteme 5. Bereitstellen der zu 4. erforderlichen technischen Hilfs- und Sicherheitsmittel, ggf. Anleitung in Form technischer Informationsmittel 6. Kombinieren der Subsysteme, z.B. durch Montieren 7. Prüfen, ob Anforderungen aus 1. erfüllt 8. Ggf. korrigieren, bis Anforderungen aus 1. erfüllt.
Induktive M.	<ul style="list-style-type: none"> - Aufsuchen eines gesetzmäßigen Zusammenhangs zwischen zwei oder mehreren physikalischen Größen durch systematische Variationen einer Veränderlichen, unter Konstanthaltung der übrigen Einflussgrößen - Ermitteln einer allgemeinen Aussage aus systematisch gewonnenen Einzelergebnissen. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Festlegen der Veränderlichen und der konstant zu haltenden Größen 2. Bereitstellen der zur Untersuchung erforderlichen technischen, physikalischen und mathematischen Hilfsmittel und ggf. Sicherheitsmaßnahmen 3. Festlegen der Form der Speicherfläche zur Aufnahme der Messdaten 4. Ermitteln der Messwerte 5. Finden eines speziellen Zusammenhangs 6. Variieren der Veränderlichen und Ermitteln neuer Messwerte 7. Finden eines weiteren speziellen Zusammenhangs 8. Ggf. Variieren einer weiteren Veränderlichen und Ermitteln weiterer Messwerte 9. Verknüpfen der Einzelergebnisse zu einem gesetzmäßigen Zusammenhang
Deduktive M.	<ul style="list-style-type: none"> - Ableiten einer Einzelerkenntnis aus einem gesetzmäßigen Zusammenhang oder einer Regel oder mehrerer Zusammenhänge oder Regeln; - Aufsuchen einer speziellen Erkenntnis aus einer allgemeinen durch Umformen, Verändern Bedingungen, Idealisieren und logischem Verknüpfen. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Festlegen der angestrebten Einzelerkenntnis 2. Bereitstellen des allgemeinen Zusammenhangs, bzw. der Regeln 3. Festlegen der Bedingungen, Idealisierungen, Umformungen und /oder Verknüpfungen 4. Anwenden von 3. auf 2., ggf. in mehreren Teilschritten 5. Finden der speziellen Erkenntnis 6. Prüfen, ob Einzelerkenntnis aus 1. erreicht 7. Ggf. korrigieren bis Einzelerkenntnis aus 1. erreicht
Abstrahierende M.	<ul style="list-style-type: none"> - Aufsuchen eines wesentlichen Prinzips, z.B. Wirkprinzips, oder eines Merkmals, z.B. Gestaltungsmerkmals, in einem konkreten, vorgegebenen technischen System; - Erfassen des wesentlichen Prinzips und Vernachlässigen der unwesentlichen Prinzipien und Merkmal durch Abnahme konkretgegenständlicher Elemente 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vorlegen des konkreten technischen Systems, z.B. Realobjekt 2. Präsentieren der ersten Abstraktionsstufe des technischen Systems, z.B. Nachbildung 3. Präsentieren einer weiteren Abstraktionsstufe, z.B. Modell 4. Präsentieren jeweils weiterer Abstraktionsstufen, z.B. ggf. Teilmodell. Symbolhafte Darstellung, mathematische Darstellung 5. Beschreiben der wesentlichen Prinzipien und /oder Merkmale
Konkretisierende M.	<ul style="list-style-type: none"> - Aufsuchen einer konkreten Anwendung eines bestimmten Prinzips, z.B. Wirkprinzips; - Zunehmende Konkretisierung eines in abstrakter Darstellung vorliegenden Prinzips bis zu dessen gebrauchsgerechter Ausführung in einem konkreten System. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vorlegen eines Prinzips, z.B. Wirkprinzips etwa in mathematischer Darstellung 2. Präsentieren der ersten Konkretisierungsstufe, z.B. Zeichnung, Skizze 3. Präsentieren einer weiteren Konkretisierungsstufe, z.B. Bild 4. Präsentieren jeweils weiterer Konkretisierungsstufen, z.B. Modelle 5. Präsentieren der letzten Konkretisierungsstufe, z.B. Realobjekt 6. Beschreibung des Prinzips aus 1. im Realobjekt

(Tabelle zitiert n. BURGMER 1985, 80)

Die folgende Tabelle zeigt „Typische Kennzeichen und Schrittfolgen methodischer Hauptformen“:

Methoden	Typische Kennzeichen	Schrittfolge
Historisierende M.	<ul style="list-style-type: none"> - Aufsuchen des Standes technologischen Handelns und/oder technischer Systeme zu bestimmten historischen Zeitpunkten; - Zurückverfolgen oder Aufholen geschichtlicher Zeit bezüglich technologischen Handelns und/oder technischer System 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Festlegen der Absicht 2. Bereitstellen der erforderlichen Quellen und/oder deren Zugriffsmöglichkeiten 3. Festlegen der Reihenfolge des Quellenzugriffs sowie deren Aufarbeitung, z.B. Beobachtungskatalog für Museumsbesuch 4. Zugriff der Quellen 5. Aufarbeiten der Quellen, ggf. durch Anwenden geeigneter methodischer Grundformen 6. Auswerten der Quellen 7. Beschreiben des beabsichtigten Standes oder der historischen Verknüpfung
umsetzende M.	<ul style="list-style-type: none"> - Lösen vorgegebener Aufgaben, z.B. einer Fertigungsaufgabe, mit Hilfe eines bekannten Operatorinventars; - Aufsuchen einer geeigneten Kombination von Operatoren und ihrer Anwendung bis zu Lösung der Aufgabe. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Präsentieren der Aufgabe, z.B. durch Zeichnung / Skizze 2. Abgrenzen der Aufgabe und Festlegen der Bedingungen 3. Ggf. Aufgliedern in Teilaufgaben 4. Aufsuchen geeigneter Operatoren, z.B. Bohren 5. Aufsuchen einer geeigneten Folge der ausgesuchten Operatoren 6. Auflisten der Operatorfolge 7. Bereitstellen der erforderlichen technischen Hilfs- und Sicherheitsmittel 8. Anwenden der Operatoren bis zur Aufgabenlösung 9. Ggf. korrigieren, bis Aufgabe aus 1. gelöst
Synektische M.	<ul style="list-style-type: none"> - Aufsuchen von Lösungsansätzen für Probleme durch Analogiebildung im Rahmen einer Gruppe; - Kreieren von Lösungsideen durch Verknüpfen scheinbar zusammenhangloser Sachverhalte in Form von „lautem Denken“. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Darlegen des Problems 2. Analysieren des Problem, bis alle Gruppenmitglieder es verstanden haben 3. Spontanes Äußern von Ideen zur Problemlösung 4. Erneutes Formulieren des Problems 5. Aufsuchen und Äußern von direkten, persönlichen und/oder symbolischen Analogien 6. Beschreiben der Analogien in möglichst präziser Form 7. Auswerten der gefundenen Analogien bezüglich der Problemlösung 8. Ggf. einzelne Schritte wiederholen
Konstruktive M.	<ul style="list-style-type: none"> - Lösen komplexer Problemstellungen bis zu ausgearbeiteten Fertigungsunterlagen mit Hilfe eines z. T. unbekanntem Operatorinventars; - Aufsuchen geeigneter Lösungsideen und deren iterativer, zunehmend quantitativer und konkreter werdenden Ausarbeitung. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Klären und präzisieren der Aufgabenstellung 2. Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen 3. Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen 4. Gliedern in realisierbare Module 5. Gestalten der maßgebenden Module 6. Gestalten des gesamten Produkts 7. Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben

(Tabelle nach BURGMER 1985, 81 – Schrittfolge für die konstruktive Methode nach VDI 2221 modifiziert)

Methodische Grund- und Hauptformen können dabei inhaltsunabhängig selbst als Ziel technischer Vermittlungsprozesse gesehen werden (dies ist auch in Anlehnung an die Aussagen zum Lerntransfer im Kapitel 4.1.3 zu sehen):

„Das Merkmal Ziel- und Zweckgerichtetheit beinhaltet das Anstreben maximaler Verfestigung und deren Verallgemeinerung sowohl der Elementar-Prozesse als auch deren Verknüpfung, damit der Schüler diese möglichst beweglich, planmäßig, exakt, selbständig und aktiv anzuwenden lernt. [...] Damit werden methodische Grund- und Hauptformen selbst Ziel; dies macht ihre Beschreibung als Folge geplanter Einzelschritte, kurz Schrittfolge genannt, notwendig. Die Befunde zur prinzipiellen Erlernbarkeit der epistemischen und heuristischen Struktur [...] erfordern zudem, daß die einzelnen Elementar-Prozesse sowie deren Verknüpfung in sich vollständig angewendet werden; denn nur dadurch ist offensichtlich ein Erlernen der jeweiligen Strukturmerkmale zum Zwecke konstruktiver Selbstreflexion bezüglich methodischen Vorgehens möglich.“

(BURGMER 1985, 79)

Unter Rückgriff auf Kapitel 3 und Kapitel 4 kann also konstruktionsmethodisches Denken und Handeln (als Lerngegenstand) als methodische Hauptform eingeordnet werden – sie hat für technische Vermittlungsprozesse neben historisierenden, umsetzenden oder synektischen Methoden grundlegende Bedeutung.

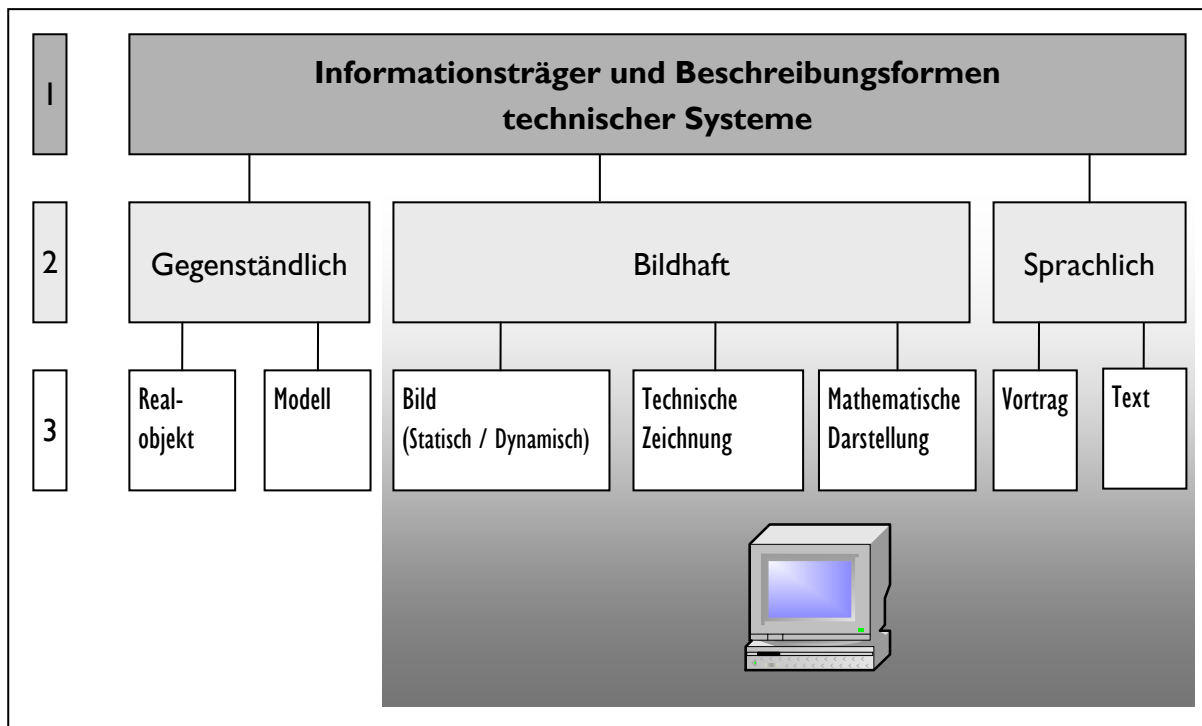
Die Verknüpfung des Bestimmungsfaktors „Methode“ mit dem Bestimmungsfaktor „Medien“ kann nun mit funktionaler Betrachtung und Präzisierung des Medienbegriffs (für Vermittlungsprozesse im Rahmen technischer Bildung) erfolgen:

„Didaktische technische Medien sind Träger/Vermittler von Informationen über technische Systeme in Vermittlungsprozessen im Technischen Unterricht.“

(BURGMER 1985, 113)

Als didaktische Konsequenz einer Allgemeinen Technologie bezogen auf die Medienkomponenten legt BURGMER ein „Kontinuum von Informationsträgern und Beschreibungsformen für technische Systeme“ vor (vgl. 82). Mit diesem Kontinuum wird eine nach möglichst einheitlichen Kriterien angeordnete Systematik technischer Systeme zur Klassifikation fachspezifischer Medien umgesetzt (vgl.88); Gegenstand sind dabei nicht die technischen Systeme selbst, sondern deren Beschreibungsformen und Informationsträger (Darstellungsarten) (vgl. 89).

Die folgende Abbildung zeigt eine –im Hinblick auf hypermediales Lernen wenig modifizierte – Übersicht der „Informationsträger und Beschreibungsformen für technische Systeme“ (s. BURGMER, 90):



(Informationsträger und Beschreibungsformen für technische Systeme, modifiziert nach Burgmer 1985, 90)

Klassifizierungsmerkmale sind hierbei die unterschiedlichen Merkmale von Abstraktionsgrad bzw. Anschaulichkeit. Unter Abstraktion soll „sowohl der Vorgang wie [das] Ergebnis des willkürlichen Herauslösens bestimmter raumzeitlicher Merkmale und/oder ihrer Relationen aus einem komplexen Original zum Zwecke der Kommunikation verstanden“ werden; Anschaulichkeit bezeichnet den Grad der Übereinstimmung mit einem Realobjekt (vgl. ebd. 89).

Auf der ersten Ebene der Übersicht ist das Kontinuum der Informationsträger und Beschreibungsformen technischer Systeme dargestellt, darunter sind nach dem Kriterium der fallenden Anschaulichkeit geordnet die Bereiche gegenständlich, bildhaft, und sprachlich dargestellt (vgl. ebd.) (die auf den ersten Blick „fehlenden“ Sinnesmodalitäten auditiv und/oder olfaktorisch-gustatorisch können für Informationsträger und Beschreibungsformen technischer Systeme nur durch Realobjekte sinnhaft zugeordnet werden).

Bisher gilt für alle Formen computergestützten Lernens, dass gegenständliche Medien nicht durch das Gerät Computer selbst präsentiert werden können - daher ist hier zusätzlich eine Grenzziehung zwischen den Bereichen Gegenständlich und Bildhaft angedeutet.

Im Unterschied zu BURGMER (1985, 90) wurde nun mit Hinblick auf die Themenstellung der vorliegenden Arbeit die dritte Ebene modifiziert und um die folgenden Ebenen gekürzt. Für den bildhaften Bereich wurde die weitere Unterteilung dynamisch (z.B. Video, 2D- und 3D-

Animationen) bzw. statisch (etwa 2D- und 3D-Grafik, Foto) getroffen. Für die Erläuterung der Begriffe und die weitere Ausführung der Ebenen sei auf BURGNER (88ff) verwiesen - an dieser Stelle soll nur die Übersicht Darstellung finden.

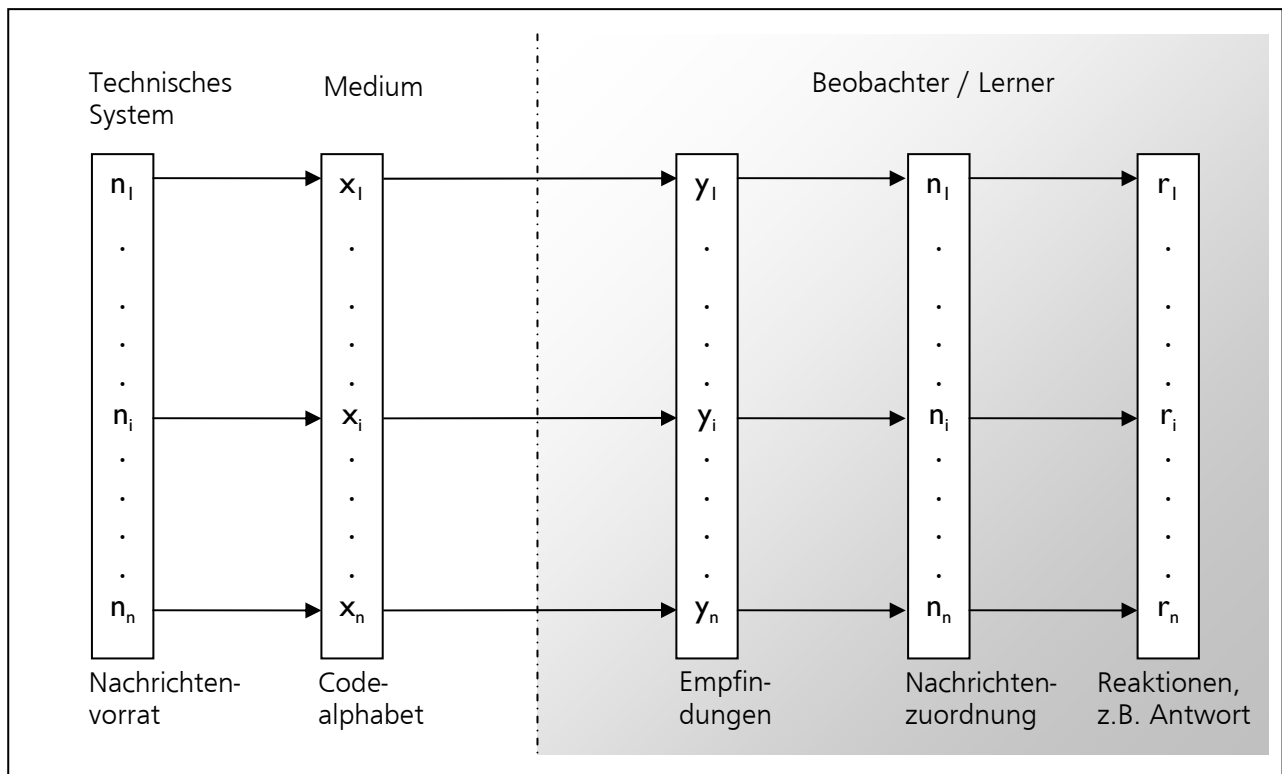
Der Auswahlprozess von Medien und Methoden für Vermittlungsprozesse im Rahmen technischer Bildung folgt dem bereits genannten Planungsraster (s. o.); nachdem im „Ziel-/ Inhalts- pfad“ Vorgaben in Form von Grobzielen definiert wurden, wird im nun folgenden Schritt die methodische Grund- und/oder Hauptform selektiert (vgl. ebd.116). Als Ergebnis des „Methodenpfades“ liegt dann eine Methodenkonzeption mit zugeordneten Feinzielen vor, welche als Ausgangspunkt für den „Medienpfad“ genutzt wird. Neben Befunden zur Wahrnehmungspsychologie und Semiotik können nach BURGNER „kognitiver, affektiver und psychomotorischer Istwert sowie kognitiver Stil“ der Lerner als wesentliche Selektionsbedingung für Medien gelten (ebd. 117). Direkt anschließend an die Selektion von Informationsträger und Beschreibungsform erfolgt die Selektion einer Ausführungsform für ein konkretes Medium:

„Hierunter ist sowohl die Auswahl des Trägermaterials als auch die prinzipielle Festlegung der Anordnung und Gestaltung der Information auf dem jeweils ausgewählten Trägermaterial zu verstehen, z.B. Zeichnung oder nur Skizze auf Arbeitstransparent oder Arbeitsblatt. Bestimmend für diesen Selektionsprozeß sind im wesentlichen die [...] Befunde und Annahmen zur Informationsverarbeitung und Codierung sowie die Gestaltgesetze, bzw. -faktoren; auch müssen die notwendigen Maßnahmen zur Unfallverhütung beachtet werden.“

(BURGNER, 119)

Der Auswahl der Ausführungsform folgt die Selektion der Präsentationsform, des Mediengerätes (etwa Diaprojektor oder Tafel), für die BURGNER eine Übersicht gängiger Präsentationsformen darlegt (vgl. 118f) – davon wird im Folgenden die Präsentationsform „Computer + Monitor“ weiter betrachtet.

Für das Mediengerät Computer bzw. die Präsentationsform „Computer + Monitor“ darf von einer vergleichsweise sehr großen Bedeutung des visuellen Kanals von Lernern in Lernprozessen ausgegangen werden. Da didaktische technische Medien als Träger von Informationen diese nur in codierter Form bereitstellen, ist die Codierung / Decodierung visueller Informationen über technische Systeme in der folgenden Abbildung dargestellt:



(Teilvorgänge bei der Codierung und Decodierung von Informationen über technische Systeme
s. BURGMEYER 1985, 106)

Ausgehend vom Technischen System, welches eine Menge von Informationen beinhaltet, werden die zu übermittelnden Informationen als Nachrichtenvorrat des technischen Systems abgebildet. Jeder Nachricht wird so ein Codezeichen zugeordnet und einem Beobachter bzw. Lerner durch ein Medium in Form von physikalischen Reizen dargeboten, welche bei diesem Empfindungen auslösen. Über die Zuordnung dieser Empfindungen zu Empfindungsklassen muss der Beobachter bzw. Lerner auf die zugrunde liegende Nachricht schließen sowie eine Reaktion zuordnen (vgl. BURGMEYER 1985, 106f).

Damit ist eine weitere grundlegende Anforderung an die Gestaltung bzw. Auswahl von Medien für technische Vermittlungsprozesse begründet: Ziel der Wahl einer geeigneten Codierung für die Darstellung der Informationen über ein technisches System muss immer die möglichst optimale und effektive Übertragung zum Beobachter bzw. Lerner sein – d.h. hohe Übertragungsleistung bei möglichst geringer Beanspruchung des Beobachters bzw. Lerners (vgl. ebd.).

Somit sind wahrnehmungs- und gestaltpsychologische Erkenntnisse für die Auswahl und Gestaltung von Medien für technische Vermittlungsprozesse explizit zu berücksichtigen, die bisher angeführten allgemeinen Teilvorgänge der Codierung / Decodierung auch direkt auf das Mediengerät Computer anzuwenden. Spezielle Anforderungen, die sich aus der Benutzung des Me-

diengerätes Computer ergeben, sind u. a. aus der DIN EN ISO 9241 abzuleiten – wenngleich diese Norm für Bildschirmarbeitsplätze und somit für die Berufs- und Arbeitswelt definiert wurde, ist die Übertrag- und Anwendbarkeit der allgemeinen Anforderungen an Arbeitsumgebung, Hardware und Software auch für technische Vermittlungsprozesse, die computergestützte Medien beinhalten, direkt gegeben.

Zusätzlich ist von unterschiedlichen medienspezifischen Wirkungen auszugehen, wenn identische Informationsträger und Beschreibungsformen technischer Systeme über verschiedene Präsentationsgeräte dargeboten werden – diese medienspezifischen Wirkungen können auch gezielt in technischen Vermittlungsprozessen genutzt werden. Für den Fall des Mediengerätes Computer ist etwa von einer Lehrobjektivierung auszugehen (vorausgesetzt, dass Lehrfunktion im Vermittlungsprozess vom Computer übernommen wird), da die eingesetzten Medien beliebig oft identisch präsentiert werden können. Weitere medienspezifische Besonderheiten bei der Nutzung des Mediengerätes Computer werden im folgenden Kapitel im Zusammenhang mit hypermedialen Informations- und Lernsystemen aufgegriffen.

6 Grundlagen der benutzerorientierten Entwicklung eines Hypermedialen Lernsystems für technische Vermittlungsprozesse

Nachdem in den vorangestellten Kapiteln notwendige Grundlagen bezüglich konstruktionsmethodischen Denkens und Handelns erarbeitet und relevante psychologische Randbedingungen von Adressaten für technische Vermittlungsprozesse dargestellt wurden, geht es im folgenden Kapitel um die Anwendung und Umsetzung dieser Grundlagen.

Zwar wurde im vorangestellten Kapitel computergestütztes Lernen mit Hilfe der Bestimmungsfaktoren für technische Vermittlungsprozesse eingeordnet, eine weitere Betrachtung und Ausarbeitung ist dennoch notwendig. Hierfür soll zunächst der technologische Stand hypermedialen Lernens aufgearbeitet werden und der Begriff Hypermedia selbst mit seinen Merkmalen definiert und Klassifikationsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Die Konkretisierung der in den Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit genannten Lernerarchitektur in Form eines Frameworks für Hypermediale Informations- und Lernmanagementsysteme (HILS) ist Gegenstand des anschließenden Teils. Über die Aufarbeitung des technologischen Stands bezüglich Web- und Internettechnologien werden zum einen eine zeitgemäße Serverarchitektur aufgezeigt sowie Funktionsmodule für HILS definiert, welche inhaltsunabhängig für die Realisierung konkreter Informations- und Lernsysteme als Bausteine genutzt werden können.

Die Nutzung eines benutzerorientierten Softwareentwicklungsprozesses soll neben den bisher aufgeführten psychologischen Randbedingungen für Vermittlungsprozesse sicherstellen, dass Qualitätsstandards und zugleich Optimierungsparameter für die effiziente und effektive Anbahnung von problemlösenden Denken mit einem hypermedialen Lernsystem geschaffen werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass dies bei der durchzuführenden Neuentwicklung vor allem durch Beachtung und Anwendung von Standards aus dem Bereich der Softwareergonomie (neben den in den vorangestellten Kapiteln dargestellten Grundlagen) gelingt.

6.1 Hypermedia und Lernen

„Hypermedia“ als Begrifflichkeit stellt eine Kombination der Begriffe *Hypertext* und *Multimedia* dar und ist keineswegs eine Wortschöpfung, die erst kürzlich getroffen wurde. So definieren FISCHER / MANDL (1990):

„Hypermedia are *virtual* media. The prefix „hyper“ in hypermedia distinguishes this type of media from multimedia. The difference is based upon the depth and richness of the information contained. Hypermedia are also different from multimedia because the learner decides how much of this virtual richness he or she wants to use. Thus the effectiveness of hypermedia depends upon the accessibility of the given *hypermedium* as the source information and the willingness and ability of the user to use the information in an efficient and meaningful manner based upon his/her prior knowledge and learning skills. Hypermedia as an information source is composed of *hypersource*, user interface, and the characteristics of the content.“

(FISCHER / MANDL 1990, XIX)

Dass Hypermedia – wie in der Definition angegeben - per se ein höherer Informationsgehalt zugeschrieben wird, ist erstmal kritisch zu sehen; eine weitere Betrachtung ist nur unter Einbeziehung der Aussagen im vorangestellten Kapitel möglich.

Unter Nutzung des Mediengerätes Computer ist mit dem Aspekt „Multimedia“ im Begriff Hypermedia also die integrative Präsentationstechnik aufzufassen (also die Kombination von Grafik, Video und Audio – jegliche bildhafte oder sprachliche Form vgl. Übersicht der Informationsträger und Beschreibungsformen, Kapitel 5), während der Aspekt „Hypertext“ die Organisation und Präsentation (assoziative Strukturierung mit besonderen Navigationsfunktionen) berücksichtigt – dies wird im folgenden weiter erläutert.

Die Entwicklung von Multimedia und besonders Hypertext sind sicherlich eng mit der Entwicklung des World Wide Web verknüpft (s. etwa MÜNZ / NEFZGER 1999, 31); Hypertext kann aber auch als eine zentrale Softwaretechnik der 90er Jahre bezeichnet werden (vgl. SCHNUPP 1992). Ab etwa 1990 wurden das Dateiformat HTML (*Hypertext Markup Language*) sowie das Internet-Protokoll HTTP (*Hypertext Transport Protokoll*) entwickelt. Kennzeichnend war hier die Idee, wissenschaftliche Dokumente online für den Austausch bereitzustellen und diese untereinander durch Verweise zu verknüpfen (zu verlinken), auch wenn diese auf ganz anderen Servern bereitgestellt wurden – einfache Möglichkeiten der Textformatierung, Einbinden von Grafiken sowie Hypertext-Funktionalität wurden hier umgesetzt (vgl. ebd.).

Nach SCHNUPP (1992) kann Hypertext definiert werden als die „Verknüpfung von Textdokumenten durch hierarchische Relationen und/oder Verweisstrukturen“ (15).

Multimedia kann nun nur unter Einbeziehung des im vorigen Kapitel dargestellten Medienbegriffes betrachtet werden. Somit erscheint eine Definition wie sie etwa BLUMSTENGEL (1998) liefert –für Vermittlungsprozesse im technischen Unterricht- allein nicht ausreichend, da der zugrunde liegende Medienbegriff nur die Verknüpfung an das Medien- oder Präsentationsgerät Computer leistet und keine weitere Differenzierung erfährt:

„Multimedia wird durch vier Merkmale charakterisiert:

- Digitalisierung
- computerbasierte Integration
- multimodale und multicodale Präsentation
- anwendergesteuerte (interaktive) Nutzung

der verwendeten Information.“

(BLUMSTENGEL 1998, 71)

Die Unterscheidung von multimodaler (unterschiedliche Sinnesmodalitäten werden beim Nutzer angesprochen) und multicodaler (unterschiedliche Symbolsysteme bzw. Codierungen finden Verwendung – s. Kapitel 5) Präsentation ist hierbei auf WEIDENMANN (2002) zurückzuführen.

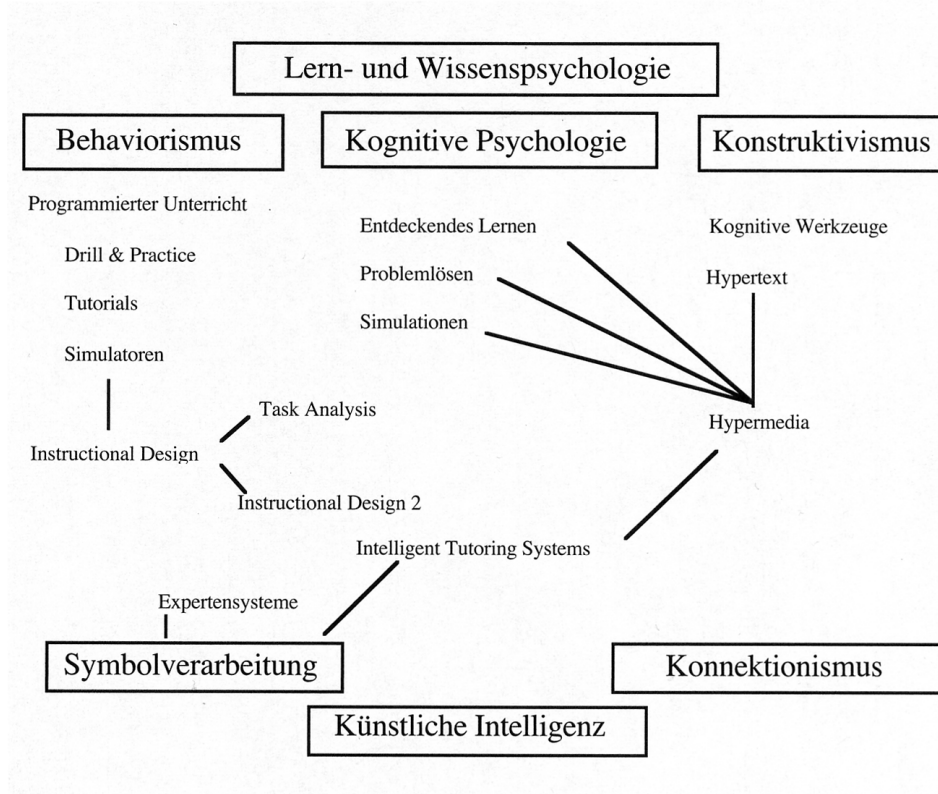
Hypermedia als kombinierter Begriff kann schließlich unter Zusammenfassung seiner Merkmale nach BLUMSTENGEL (1998) wie folgt definiert werden:

„...“

- *Struktur:* Hypermedia besteht aus Knoten und Verbindungen zwischen diesen. Die Knoten beinhalten oder repräsentieren Informationen in integrierter digitalisierter Form.
- *Operationen:* Das Anlegen von Hypermedia durch Autoren ist ebenso wie das Lesen durch Benutzer eine prinzipiell nichtsequentielle Tätigkeit. Der Leser bestimmt die Reihenfolge des Zugriffs auf die Knoten, indem er seinem Wissen und seiner Motivation entsprechend Links benutzt bzw. anlegt.
- *Medium:* Hypermedia wird auf Computerplattformen realisiert. Die Inhalte werden multimodal und multicodal präsentiert.
- *Interaktion:* Auf Hypermedia wird – im allgemeinen über eine direkt manipulierbare grafische Benutzeroberfläche – interaktiv zugegriffen.“

(BLUMSTENGEL 1998, 74)

SCHULMEISTER (2002) stellt wesentliche Entwicklungsrichtungen und ihre Verbindungen für „Multimedia-Systeme“ (jegliche Formen von Hypermedia sind den für diese Betrachtung zugrunde gelegten Begriff von Multimedia-Systemen zu integrieren) in folgendem Diagramm dar:



(SCHULMEISTER 2002, 69)

Die verschiedenen Wissenschaftsbereiche mit ihren Einflüssen werden hier deutlich - eine besondere Relevanz ist sicherlich Befunden und Erkenntnissen der Psychologie zuzuschreiben, wengleich die Befundlage etwa zur Lernwirksamkeit von Multimedia eher uneinheitlich ist (vgl. etwa VATH / HASSELHORN / LÜER 2001, 6).

Jeglicher Lernerfolg, der mit Hypermedia beim Benutzer bzw. Lerner erzielt werden kann, ist sicherlich direkt von der Qualität des Angebots abhängig sowie von dessen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Die von BURGNER (1985, 93f) zusammengetragenen Befunde aus Zeichentheorie, Wahrnehmungspsychologie, Informationsverarbeitung und Gestaltpsychologie können großteilig auch auf Hypermedia übertragen bzw. angewendet werden und damit zur Sicherstellung von Qualität von Hypermedia für technische Vermittlungsprozesse herangezogen werden.

Zusätzlich sind im folgenden allgemeine Erkenntnisse als Anforderungen an multimediale Lernsysteme nach VATH / HASSELHORN / LÜER (2001, 25ff) zusammengefasst:

1. *„Das (technische und domänenspezifische) Vorwissen hat den größten Einfluss auf den Wissenserwerb*
 - > Aus dieser Erkenntnis folgt zweierlei: Der Erwerb von Wissensstrukturen sollte gezielt unterstützt und der Informationsgehalt und die Navigationsmöglichkeiten des Systems sollten an den Vorkenntnissen der Nutzer ausgerichtet werden.

2. *Die Motivation des Lernenden ist von besonderer Bedeutung für effektive Wissensvermittlung*
 - > Für die Förderung der Lernmotivation sind zunächst zwei klassische Prinzipien ausschlaggebend: Der Lernende sollte Aufgaben erhalten, die für ihn von mittlerer Schwierigkeit sind und der Lernende sollte eine individuumorientierte Rückmeldung erhalten

3. *Lernende weisen verschiedene Lerngewohnheiten auf und erzielen daher bei gleicher Lernumgebung unterschiedliche Lernerfolge*
 - > Die Gestaltung sollte möglichst verschiedene Lerngewohnheiten berücksichtigen

4. *Der Mensch verfügt über eine begrenzte Informationsverarbeitungskapazität*
 - > Aus dieser Erkenntnis lassen sich verschiedene Anforderungen an Multimedia-Systeme ableiten, die sich zum einen auf die angemessene Steuerung von Wahrnehmungen und Aufmerksamkeit, zum anderen auf die Vermeidung kognitiver Überlastung und Desorientierung beziehen.

5. *Die Art der Darstellung bestimmter Inhalte ist für die Bildung angemessener mentaler Modelle beim Lernenden ausschlaggebend*
 - > Die Auswahl medialer Angebote (Texte, Abbildungen und Grafiken oder Animationen und Videos) muss für deren Beitrag zur Konstruktion mentaler Modelle angemessen und aufeinander abgestimmt sein.

6. *Die Behaltenswahrscheinlichkeit kann erhöht werden, wenn Inhalte im mentalen Repräsentationssystem sowohl eine verbale als auch eine imaginale Kodierung erfahren / wenn Lernmaterial gleichzeitig visuell und auditorisch dargeboten wird.*
 - > Die positive Wirkung von Illustrationen auf das Behalten von Text ist empirisch gut belegt (dabei müssen allerdings verschiedene Randbedingungen eingehalten werden).

(s. VATH / HASSELHORN / LÜER 2001, 25ff)

Die bisher dargestellten Erkenntnisse und Befunde werden in den folgenden Kapiteln für die Realisierung (besonders Kapitel 6.2 und Kapitel 7) aufgegriffen und umgesetzt.

Eine Klassifikation von „Software-Typen“ bei Multimedia-Lernprogrammen ist nach SCHULMEISTER (2002) nach lerntheoretischem Aspekt vornehmbar, sie ist direkt auf Hypermedia anwendbar, wenn die oben definierten Merkmale Berücksichtigung finden:

„Ich möchte folgende Typen von Multimedia-Lernprogrammen unterscheiden, wobei das Unterscheidungskriterium ein einheitliches lerntheoretisches ist, nämlich der Grad der Interaktionsfreiheit, über die der Lernende gegenüber dem Programm verfügt, vs. dem Grad an Kontrolle, die das Programm über den Lernenden ausübt, und wobei der Akzent auf Lernprogramm liegt, d.h. alle Werkzeuge, Dienstprogramme etc. ausgeschlossen sind.“

(SCHULMEISTER 2002, 66f)

Bezeichnung	Kennzeichnende Merkmale
Drill & Practice Programme	<ul style="list-style-type: none"> • basiert auf behavioristischem Modell; • kleine Lernschritte und frequentes Feedback
Courseware	<ul style="list-style-type: none"> • entstammt Drill & Practice, ohne behavioristisches Konzept; • arbeitet meist mit fest umrissenen Lerneinheiten (Frames), die vom Lernenden nicht zu beeinflussen sind
KIOSK-Systeme / Guided Tours	<ul style="list-style-type: none"> • fest umrissene Lerneinheiten; • vermehrte Möglichkeiten der eigenen Navigation für den Lernenden
Electronic Books	<ul style="list-style-type: none"> • eingeschränkte Hypertexte (weniger, reduzierte oder schematisierte Links); • typische Bucheigenschaften werden umgesetzt (nur eine Seite zur Zeit, Rollen des Textes, Bildschirmwechsel wie beim blättern o.ä.)
Hypertext-Systeme	<ul style="list-style-type: none"> • ein aktiver Umgang mit Texten wird ermöglicht (allerdings nicht die Konstruktion eigener Hypertexte)
Interaktive Programme	<ul style="list-style-type: none"> • „Lernen durch Konstruieren“ wird ermöglicht • „kognitive Werkzeuge“ werden bereitgestellt
Simulationen	<ul style="list-style-type: none"> • gehören zum Typ der interaktiven Lernprogramme; • simuliert werden z.B. biologische Systeme, physikalische Gesetze, mathematische oder abstrakte Modelle oder Maschinen

(Typen multimedialer Lernprogramme nach SCHULMEISTER 2002)

6.2 Technischer Hintergrund und Merkmale des Frameworks für hypermediale Informations- und Lernmanagementsysteme (HILS)

Unter der Betrachtung verschiedener Anforderungen für hypermediale Informations- und Lernsysteme wird offensichtlich, dass eine webbasierte Lösung bedeutsame Vorteile bietet. Während etwa KERRES (1997) noch für die Multimedia-Entwicklung mit „Autoren- und Hypertextsystemen“ grundsätzliche Defizite der Entwicklungswerkzeuge schildert (hier ist davon auszugehen, dass typischerweise noch offline CBTs –*Computer Based Trainings*- betrachtet wurden), sind diese bei der Anwendung von so genannten „Content-Management-Techniken“ vollständig vermeidbar.

KERRES (1997) führt hierbei folgende Problemgruppen auf (39):

- *Modifikation* bestehender Anwendungen für Erweiterungen und Neuerungen
- *Adaption* bestehender Anwendungen an veränderte Fragestellungen und Benutzergruppen
- *Weiternutzung* bestehender Anwendungen für Neuentwicklungen (*re-usability*)
- *Management* umfangreicher Sammlungen von Lehr-Lernmedien.

(s. KERRES 1997, 39)

Durch die Nutzung von web- oder internetbasierten Lösungen können anders als dies bei offline Angeboten möglich ist, alle Lerninhalte zentral vorgehalten werden. Der Vorteil einer web- oder internetbasierten Lösung liegt weiterhin in der client- / bzw. benutzerseitigen Unabhängigkeit in der Wahl von Hardware-Plattform und Betriebssystem, da nur ein Internet-Browser (ggf. mit Zusatz-Software in Form sogenannter „PLUG-INS“ wie Acrobat Reader, Flash Player oder Software für die Darstellung bestimmter Medientypen wie Real Player oder Windows Media Player) vorhanden sein muss.

Ein Internet Browser ist prinzipiell in der Lage, alle bildhaften und sprachlichen Medien (siehe Kontinuum von Informationsträgern und Beschreibungsformen technischer Systeme, s. Kapitel 5) darzustellen. Allerdings muss ggf. berücksichtigt werden, dass verschiedene Internet-Browser Programme oder auch Versionen clientseitig zum Einsatz kommen – trotz vorhandener Stan-

dards wie etwa HTML, CSS etc.² führt dies zu erhöhtem technischen Aufwand, wenn die Darstellung browser-übergreifend einheitlich sein soll.

Webbasierte Lösungen funktionieren wie der Großteil vorhandener Internetdienste (WWW, FTP, E-Mail etc.) auf der Client-Server-Technologie, d.h. ein einzelner Rechner bietet diesen Dienst durch eine Server-Software (z.B. HTTP-Server) für eine Vielzahl von Client-Rechnern an, die wiederum eine Client-Software benötigen (z.B. Internet-Browser – hier wird dann zur Kommunikation zwischen Server und Client das standardisierte HTTP-Protokoll genutzt).

Die effiziente Handhabung von größeren Informationsmengen in Bezug auf Erweiter- als auch Aktualisierbarkeit ist nun allerdings durch statische HTML-Seiten nach klassischer Methode nicht möglich. Daher wurde für das HILS Framework die Anwendung von Content-Management-Techniken beschlossen (s. o.).

Grundprinzip eines Content-Management-Systems ist die Trennung von Layout und Inhalt; die Inhalte werden in einem Datenspeicher vorgehalten und unter Zuhilfenahme von so genannten Design-Templates dynamisch beim Abruf generiert. Damit sind auch andere Formate als HTML (Hypertext Markup Language, Auszeichnungssprache für die strukturierte Beschreibung von Internet-Seiten) -Dokumente im PDF- oder Word-Format, Druckformate wie PostScript etc.- für die Ausgabe der identischen Inhalte denkbar. Content-Management lässt sich wie folgt definieren:

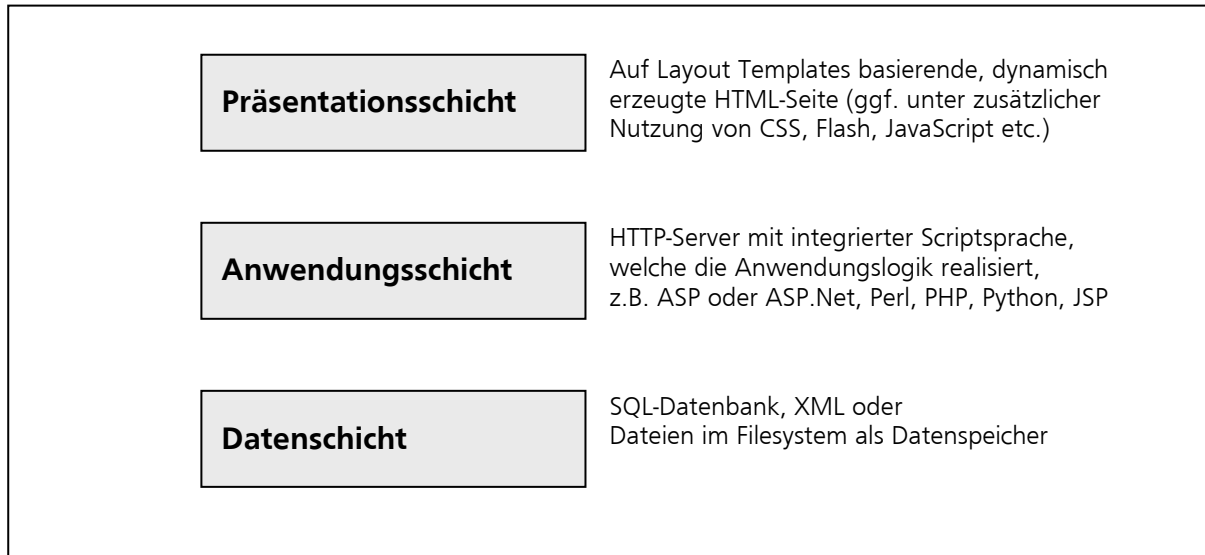
„Software-basiertes Content Management befasst sich mit der systematischen Sammlung, Erstellung, Speicherung und Veredelung von strukturierten Inhalten und Mediendaten aller Art in einem einzigen, fein granulierten (logischen) Bestand. Es unterstützt gezielt die sichere Aggregation, Veredelung, Verarbeitung, Auswertung und Wiederverwendung dieser Content Base durch ganze Benutzergruppen.“

(ROTHFUSS / RIED 2001, 59f)

Die konsequente Nutzung dieser Techniken für die Erzeugung von Lerninhalten, erweitert um Lernerverwaltung, –Protokollierung sowie Verwaltungsfunktionen, wird als Learning-Content-Management bezeichnet.

² World Wide Web Consortium (W3C) : <http://www.w3c.org>

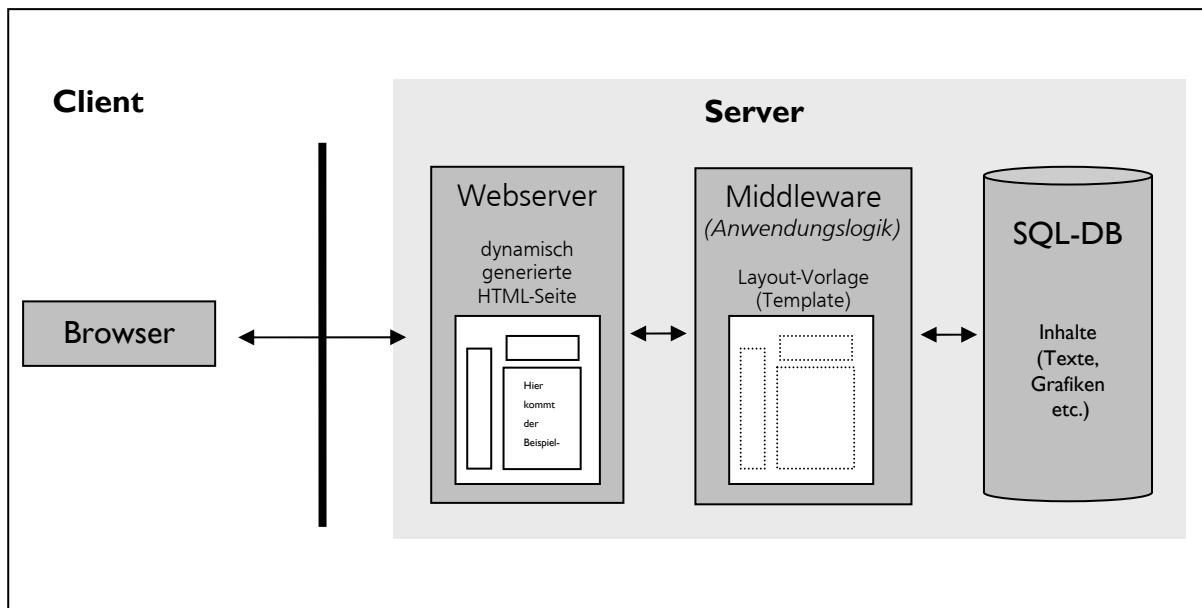
Server-Plattformen für die Erzeugung von dynamischen Webinhalten als Basis von Learning-Content-Management-Systemen (LMS) weisen neben einem Betriebssystem in der Architektur (mindestens) drei Schichten auf:



3-Schichten-Modell der Server-Architektur

Diese Betrachtungsweise der Architektur macht eine weitestgehende Unabhängigkeit der Schichten offensichtlich; Erweiterung und/oder Veränderung des Lerninhalts auf der Datenschicht etwa oder aber verschiedene Darstellungen des identischen Inhalts durch eine Veränderung auf der Präsentationsschicht sind ohne weiteres möglich.

Eine Umsetzung des 3-Schichten-Modells im Client-Server-Zusammenspiel lässt sich nun etwa wie folgt realisieren (die Datenschicht ist hier als relationale SQL-Datenbank ausgeführt; die Anwendungsschicht wird auch als „Middleware“ bezeichnet):



Client-Server Zusammenspiel bei dynamischer Content-Erzeugung

Als Basis für das HILS Framework wurde ein so genannter „LAMP“-Server (Linux als Betriebssystem, Apache Webserver, MySQL Datenbank, und PHP Scriptsprache) gewählt; diese Kombination ist als Plattform für webbasierte LMS und CMS sehr verbreitet und weist eine hohe Zukunftsfähigkeit auf (BEHME 2000a und 2000b, KIRSCH 2000 und PLESSEL/WILDE 2001 - gegenwärtig sind weltweit fast 10 Millionen Domains auf über 1,2 Millionen IP-Adressen zu finden, die PHP einsetzen³). Zusätzlich ist damit eine Portierung eines mit dem HILS Framework erstellten Lernsystems auf Windows-basierte Standard-Rechner durch die Verfügbarkeit von OpenSource Projekten wie FoxServ⁴ oder PHPTriad⁵ sehr einfach und zeitnah möglich. (Die beiden genannten Projekte stellen eine einfache Installationsdatei für Windows-Rechner mit einer Apache/MySQL/PHP-Kombination zur Verfügung).

Weiterer Gesichtspunkt für die Wahl einer LAMP - Plattform ist die Offenheit für Erweiterung bzw. Nutzung von Komponenten von OpenSource Projekten⁶ (für den Web-Bereich), da diese auch meist auf dieser Plattform basieren (denkbar wären hier etwa für kooperative / kollaborative Lernformen die Nutzung von Foren- oder Chat-Systemen – sofern dies gewünscht wird).

Neben der lizenzkostenfreien Nutzung (im Hochschulbereich) der LAMP Plattform kann außerdem auf die durch das Open-Source-Modell nachweislich gewährleistete Qualität und Skalierbarkeit der entwickelten Systeme verwiesen werden.

³ <http://www.php.net/usage.php>

⁴ <http://sourceforge.net/projects/foxserv/>

⁵ <http://sourceforge.net/projects/phptriad/>

⁶ <http://www.sourceforge.net>

Darüber hinaus gewährleisten die Software-Komponenten durch ihre Skalierbarkeit (etwa durch Aufteilung von Web- und Datenbank-Server auf getrennte Rechner, Wahl eines performanteren Datenbank-Servers etc.) eine Anpassungsmöglichkeit an steigende Anforderungen durch größere Benutzergruppen und/oder umfangreiche Lerninhalte im Zeitablauf.

PHP als zugrundeliegende Scriptsprache zeichnet sich durch eine spezielle Ausrichtung auf Webapplikationen aus; durch die Integrierbarkeit als Modul in den Apache – Webserver lassen sich Performance-Vorteile erzielen (vgl. PLESSEL/WILDE 2001, s. auch KRAUSE 2001). Weiterhin enthält PHP neben der komfortablen Anbindung an diverse Datenbanken (Oracle, MySQL, Microsoft SQL Server, Postgres oder ODBC-Quellen) spezifische Funktionen, die das dynamische Generieren von Grafiken und PDF-Dokumenten (durch die Integration zusätzlicher Komponenten, s. etwa MERZ 2000) ermöglichen wie auch Funktionen zur Sessionverwaltung. Außerdem existieren Schnittstellen zu häufig verwendeten netzwerk-basierten Diensten wie POP, IMAP, SMTP oder LDAP (vgl. ebd.). Die zunehmende Bedeutung von XML-fähigen Applikationen lassen sich für zukünftige Entwicklungen auch schon jetzt durch einem entsprechenden XML-Parser mit PHP erstellen.

Obschon mittlerweile eine Vielzahl webbasierter Content-Management-Systeme (CMS) auf der zuvor beschriebenen „LAMP“-Plattform zur Verfügung stehen (vgl. etwa WOLF 2002), ist dies für den Bereich der Learning-Management-Systeme (LMS) nicht der Fall, zumal wenn die in dieser Arbeit zugrunde liegenden Anforderungen gesetzt sind.

Das HILS Framework wurde nun in verschiedene Funktionsmodule gegliedert – diese können gleichzeitig als Bausteine für die Realisierung konkreter hypermedialer Informations- und Lernsysteme betrachtet werden (die Bezeichnung von HILS als „Framework“ ist auf diese Betrachtung zurückzuführen). Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der Funktionsmodule:

Funktionsmodul	Merkmale und Aufgaben
Navigation	<ul style="list-style-type: none"> • Anzeige einer baumartigen Navigations-Struktur auf Basis der in der Datenbank enthaltenen Sachstruktur der Inhalte • Anzeige von Links mit Aufrufparametern für das Topic-Modul
Topic	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamische Generierung einer gewählten Informationsseite aus den Inhalten der Datenbank (ggf. unter Einbettung von Medienobjekten) • Anzeige des Inhalts einer gewählten Informationsseite
Bookmark	<ul style="list-style-type: none"> • Verwaltung von Nutzer-Lesezeichen • Anzeige der Nutzer-Lesezeichen als Links mit Aufrufparametern für das Topic-Modul
Memo	<ul style="list-style-type: none"> • Verwaltung von Nutzer-Kommentaren und Ergänzungen, die einzelnen Informationsseiten zugeordnet werden
Session	<ul style="list-style-type: none"> • Sessionverwaltung der Nutzerdaten • Speicherung von Lern- und Informationswegen in die Datenbank (Clickstreams)
Search	<ul style="list-style-type: none"> • Volltextsuchfunktion durch alle Informationsseiten, Lesezeichen und Nutzer-Kommentare / Ergänzungen
Textmarker	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamische Erzeugung von Textmarkern (als Grafikdatei)
Lernweg	<ul style="list-style-type: none"> • Übersicht der aufgerufenen Seiten, erstellten Textmarker, Nutzer-Kommentare / Ergänzungen sowie Lesezeichen.
Lernscript	<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugung einer PDF-Datei zum Drucken und / oder Speichern (unter Einbeziehung von Nutzer-Kommentaren und Lesezeichen)
Hilfe	<ul style="list-style-type: none"> • Anzeige von Hinweisen und Hilfestellungen zur Bedienung
Database	<ul style="list-style-type: none"> • Abstraktionsschicht für den Datenbankzugriff für alle Module • Bereitstellung von abstrahierten Datenbankfunktionen (diese werden nur hier in konkrete PHP-Funktionen für eine bestimmte Datenbank umgesetzt)
Reporting	<ul style="list-style-type: none"> • Analysemodul für die Auswertung der Benutzer-Protokolldaten (z.B. grafische Clickstreamanalyse)

Übersicht der Funktionsmodule des HILS Frameworks

Eine Minimalkonfiguration eines konkreten Informations- und Lernsystems auf Basis des HILS Frameworks bestünde dabei mindestens aus den Funktionsmodulen Navigation und Topic, weitere Funktionsmodule sind als optional anzusehen. (Die konkrete Realisierung eines hypermedialen Informations- und Lernsystems auf der Basis des HILS Frameworks wird in Kapitel 7 weiter ausgeführt.)

Die Betrachtung der Funktionsmerkmale des HILS Frameworks beziehen sich dabei schwerpunktmäßig auf die Anwendungsschicht des 3-Schichten-Modells, die Datenschicht ist davon nur indirekt betroffen. Bezogen auf die Datenschicht ist für den Fall der Anwendung einer relationalen SQL-Datenbank (hier also MySQL) die direkte Zuordnung vorgesehen, d.h. für jedes Funktionsmodul wird in der Datenschicht auch eine Daten-Tabelle vorgesehen (bis auf die Module Lernscript und Lernweg). Zusätzlich sind in der Datenschicht noch Tabellen für die Benutzer sowie die Medienverwaltung enthalten.

Denkbar und technisch vergleichsweise einfach realisierbar wäre auch die Entwicklung eines zusätzlichen Export-Moduls, um ggf. zu einem gewünschten Zeitpunkt den Stand der Lerninhalte in ein offline Format (CD-ROM o. ä.) mit statischen HTML-Seiten zu überführen – dies wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit aber nicht weiter betrachtet, da mit offline Formaten nur mit zusätzlichem Aufwand Benutzerdaten gewonnen werden können.

6.3 Benutzerorientierte Softwareentwicklung und Usability

Qualitätsstandards sowie Qualitätssicherung für E-Learning Angebote (als Synonym für jegliches computerbasiertes Lernen) werden in letzter Zeit verstärkt gefordert (vgl. etwa Beiträge zur diesjährigen Learntec oder etwa das Strategiepapier der BLK „Neue Medien in der Hochschule“⁷). Als wesentlicher Bestandteil von Qualitätsstandards müssen hier sicherlich Erkenntnisse und Befunde aus dem Bereich der Softwareergonomie gelten.

Die Anwendung und Umsetzung von Softwareergonomischen Gesichtspunkten bezieht sich dabei schwerpunktmäßig auf die Präsentationsschicht des 3-Schichten-Modells der Server-Architektur (s.o.); mehr oder weniger ist aber auch immer die daran geknüpfte Anwendungsschicht mit davon betroffen. Stichworte in diesem Kontext sind u.a. GUI-Design (*Graphical User Interface* - als Gestaltung der graphischen Oberfläche einer Software) oder UID (*User Interface Design*), Mensch-Maschine-Interaktion etc. Es finden hier die Erkenntnisse aus Wahrnehmungs- und Gestaltpsychologie (vgl. etwa KEBECK 1994 und für didaktische Technische Medien BURG-MER 1985, 93ff) bezogen auf das Mediengerät Computer Anwendung.

Die Vorteile von „gutem GUI-Design“ sind dabei nach WESSEL (1999):

- „schnelleres Erstellen von Applikationen,
- effizienteres Arbeiten bei höherer Zufriedenheit des Anwenders,
- Verringerung von Bedienungsfehlern,
- bessere Wiedererkennbarkeit und damit eine leichtere Einarbeitung,
- Konsistenz und „Corporate Identity“ bei unternehmensweit eingesetzten Applikationen,
- Wiederverwendbarkeit von programmunabhängig gestalteten und damit universellen Elementen.“

(WESSEL 1999, 17)

Obschon nicht von einem Rechtsanspruch auf ergonomische Qualität der Software für alle Nutzer von E-Learning Angeboten ausgegangen werden kann (wie er für Arbeitnehmer im Rahmen der Arbeitsschutzgesetzgebung (ArbSchG) mit der Konkretisierung für Bildschirmarbeit in Form der Bildschirmarbeitsplatzverordnung (BildscharbV) seit 04.12.1996 gültig ist - vgl. GÖRNER / BEU / KOLLER 1999) so ist die grundlegende Relevanz solcher Anforderungen offensichtlich.

⁷ Internet, URL: http://www.blk-bonn.de/neue_medien_hochschule.htm (Strategiepapier vom 17. Juni 2002)

Die im Anhang der Bildschirmarbeitsplatzverordnung genannten Anforderungen zur ergonomischen Qualität von Software sind noch sehr allgemein gehalten und bedürfen der Konkretisierung, dies leisten die Teile 10-17 der DIN EN ISO 9241:

Teil	Titel
9241-10	Grundsätze der Dialoggestaltung
9241-11	Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze
9241-12	Informationsdarstellung
9241-13	Benutzerführung
9241-14	Dialogführung mittels Menüs
9241-15	Dialogführung mittels Kommandosprachen
9241-16	Dialogführung mittels direkter Manipulation
9241-17	Dialogführung mittels Bildschirmformularen

Übersicht der für Software relevanten Teile der DIN EN ISO 9241
(nach GÖRNER / BEU / KOLLER 1999, 10)

Als übergeordnet sowie zentral für die ergonomische Gestaltung von Software sind die im Teil 10 genannten sieben „Grundsätze der Dialoggestaltung“ zu sehen, sie können als „allgemeine Leitlinien bei der Leistungsbeschreibung, Gestaltung und Bewertung von Dialogsystemen“ angewendet werden (vgl. ebd. 16f):

„Nachfolgend werden die sieben Grundsätze für die Dialoggestaltung vorgestellt. Sie bilden die Basis, auf der alle detaillierten Einzelregeln und –richtlinien für einheitliche Benutzungsoberflächen aufbauen.

1. **Aufgabenangemessenheit**
Ein Dialog ist dem Maße aufgabenangemessen, wie er den Benutzer unterstützt, seine Arbeitsaufgabe effektiv und effizient zu erledigen
2. **Selbstbeschreibungsfähigkeit**
Ein Dialog ist in dem Maße selbstbeschreibungsfähig, wie jeder einzelne Dialogschritt durch Rückmeldungen unmittelbar verständlich ist oder dem Benutzer erklärt wird, wenn er die entsprechende Information verlangt.
3. **Steuerbarkeit**
Ein Dialog ist in dem Maße steuerbar, wie der Anwender in der Lage ist, den gesamten Dialogablauf zu beeinflussen.
4. **Erwartungskonformität**
Ein Dialog ist in dem Maß erwartungskonform, wie er den Kenntnissen aus bisherigen Arbeitsabläufen, der Ausbildung und den Erfahrungen des Benutzers, sowie allgemein anerkannten Konventionen entspricht.
5. **Fehlertoleranz**
Ein Dialog ist in dem Maße fehlerrobust, wie das beabsichtigte Arbeitsergebnis trotz erkennbar fehlerhafter Eingaben mit minimalem oder ganz ohne Korrekturaufwand erreicht wird.
6. **Individualisierbarkeit**
Ein Dialog ist in dem Maße individualisierbar, wie er Anpassungen an individuelle Benutzerbelange und Benutzerfähigkeiten im Hinblick auf seine Arbeitsaufgabe zulässt.
7. **Lernförderlichkeit**
Ein Dialog ist in dem Maße lernförderlich, wie er dem Benutzer während des Erlernens Unterstützung und Anleitung gibt.

(GÖRNER / BEU / KOLLER 1999, 16f)

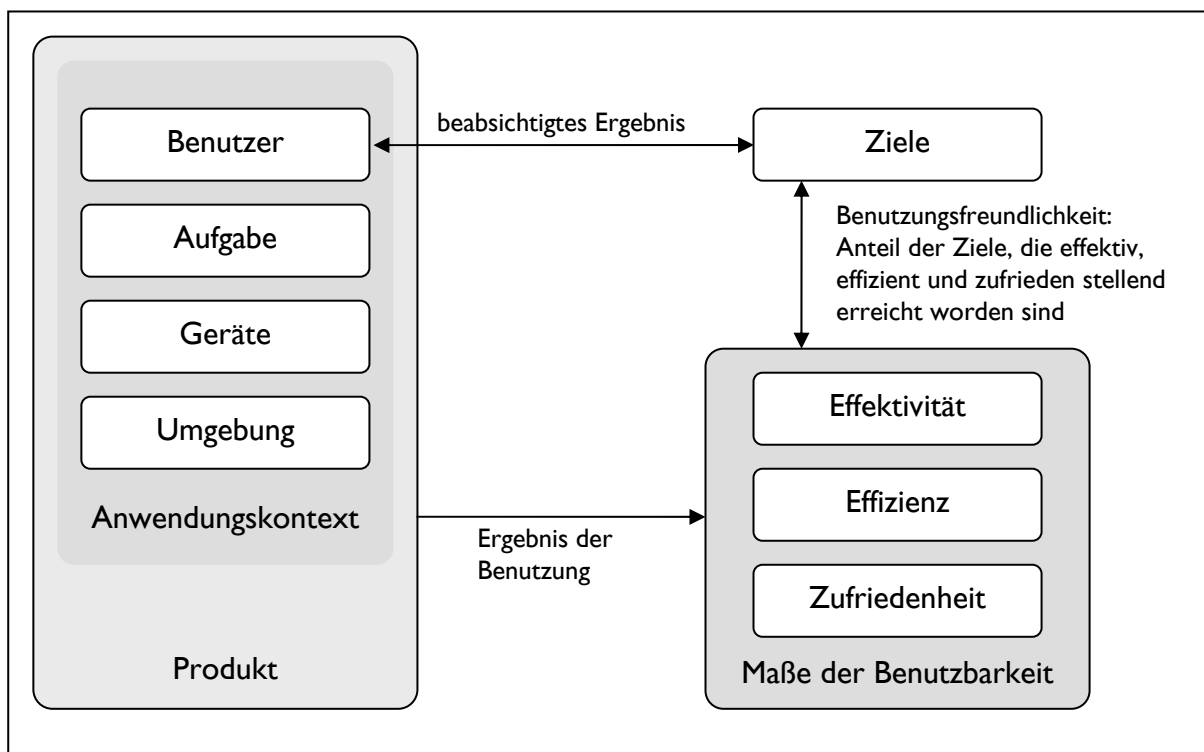
Diese sehr allgemeine aber strukturierte Betrachtung, welche durch die Grundprinzipien impliziert wird, kann direkt als Anforderung und zugleich zur Beurteilung von jeglicher Software für Lern- und Informationsprozesse angewendet werden und kann als sehr viel spezifischer gelten als etwa die „Grundsätzlichen Gestaltungsempfehlungen für hypermediale Lernsysteme“ bei BLUMSTENGEL (1998, 188f).

Ausgehend von diesen Grundprinzipien kann mit dem Teil II die Gebrauchstauglichkeit (oder mit der englischen Entsprechung „Usability“) als „wesentliches Gestaltungs- und Evaluierungsziel“ betrachtet werden (vgl. GÖRNER / BEU / KOLLER 1999, 25f und NIELSEN 1993, REDMOND-PYLE / MOORE 1995, MANDEL 1997 oder WESSEL 1998, 21f):

„Sie soll den Benutzer in die Lage versetzen, Arbeitsziele effizient zu erreichen und dabei die Anforderungen, die durch eine bestimmte Arbeitsumgebung vorgegeben sind, zu erfüllen. Beurteilt wird, bis zu welchem Grad die Arbeitsziele erreicht werden (Effektivität bzw. Genauigkeit und Vollständigkeit), in welchem Verhältnis dazu der Aufwand bezüglich der verwendeten Arbeitsmittel steht (Effizienz) und wie zufrieden der Benutzer bei der Arbeit mit der Bildschirmanwendung ist (Zufriedenheit, Akzeptanz).“

(GÖRNER / BEU / KOLLER 1999, 25)

In der folgenden Darstellung sind die Komponenten der Gebrauchstauglichkeit (synonym werden auch „Benutzungsfreundlichkeit“ oder „Bedienbarkeit“ verwendet) mit den zwischen ihnen bestehenden Abhängigkeiten dargestellt:



Aspekte der Benutzungsfreundlichkeit (Abbildung nach GÖRNER/BEU/KOLLER 1999, 26)

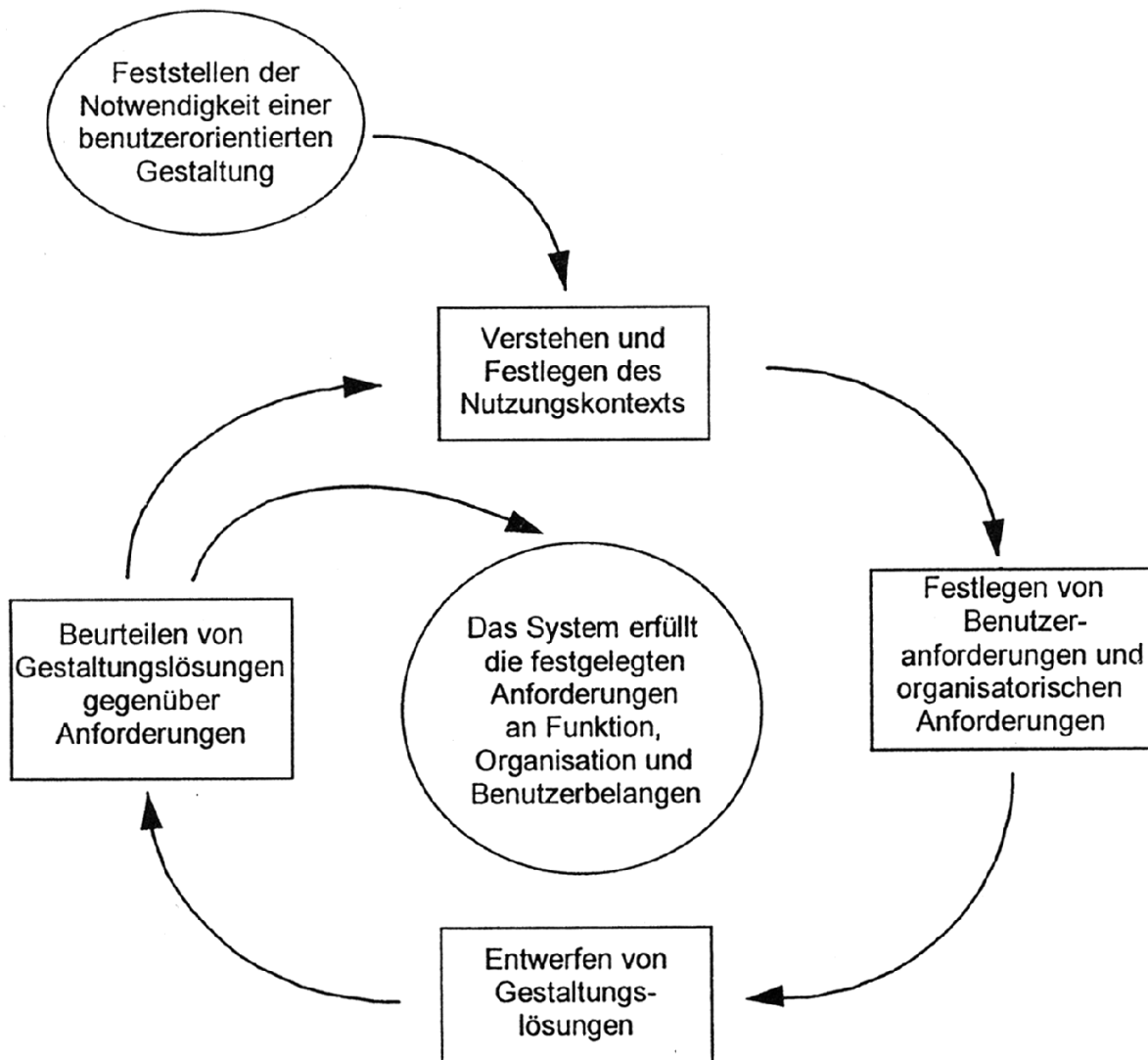
Auch hier können die getroffenen Aussagen direkt auf Software für Lern- und Informationsprozesse übertragen bzw. angewendet werden. Es ist davon auszugehen, dass die Einhaltung der Grundsätze der Dialoggestaltung sowie die Umsetzung der Richtlinien zur Informationsrepräsentation mit einer „hohen Wahrscheinlichkeit“ dazu führen, dass die Software gebrauchstauglich ist (vgl. BURMESTER / HASSENZAHL 2000).

Über diese allgemeinen Hinweise hinaus, enthalten die Teile 12 bis 17 der DIN EN ISO 9241 über 500 Gestaltungshinweise, die hier nicht einzeln aufgeführt werden können (vgl. ebd. und

GÖRNER / BEU / KOLLER 1999), allerdings als Grundlage für den im Kapitel 7.2.1 beschriebenen Entwurf benutzt wurden, sofern sie auf webbasierter Software bzw. geplanter Aufgabenstellung angewendet werden konnten.

Das Erreichen von Gebrauchstauglichkeit kann neben der Berücksichtigung der genannten Grundlagen auch und vor allem durch benutzerzentrierte Softwareentwicklungsverfahren erreicht werden; in standardisierter Form liegt hierfür die DIN EN ISO 13407, Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme, vor.

Eine Übersicht des Prozesses der benutzerorientierten Softwareentwicklung nach DIN EN ISO 13407 gibt die folgende Abbildung:



Übersicht DIN EN ISO 13407 - Wechselseitige Abhängigkeit benutzerorientierter Gestaltungsaktivitäten (DIN 2000, 6)

Die Darstellung macht für den benutzerorientierten Softwareentwicklungsprozess ein iteratives Vorgehen deutlich. Die Vorgehensweise basiert grundsätzlich auf der aktiven Beteiligung der Benutzer und einem klaren Verständnis von Benutzer- und Aufgabenanforderungen, einer geeigneten Funktionsaufteilung zwischen Benutzern und Technik, der Iteration von Gestaltungslösungen sowie der multidisziplinären Gestaltung (vgl. DIN 2000, 4 – dieses Vorgehensmodell zeigt weitgehende Übereinstimmungen mit REDMOND-PYLE / MOORE 1995, 47 sowie NIELSEN 1993, 71f).

Die Notwendigkeit einer benutzerorientierten Gestaltung darf bei der hier zugrunde gelegten Neuentwicklung eines hypermedialen Informations- und Lernsystems mit der Zielsetzung, hohe Gebrauchstauglichkeit zu erreichen, vorausgesetzt werden. Für das Verstehen und Festlegen des Nutzungskontextes sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- „Merkmale der vorgesehenen Benutzer: Wesentliche Merkmale der Benutzer können Kenntnisse, Fertigkeiten, Erfahrung, Ausbildung, Übung, physische Merkmale, Gewohnheiten, Vorlieben und Fähigkeiten einschließen. Falls es erforderlich ist, sind die Merkmale verschiedener Benutzertypen festzulegen, z.B. Benutzer mit unterschiedlichen Erfahrung oder verschiedenen Rollen (Wartungspersonal, Montagepersonal usw.)
- Arbeitsaufgaben, die von den Benutzern durchgeführt werden sollen: Die Beschreibung sollte die Gesamtziele für die Verwendung des Systems enthalten. Die Merkmale jener Aufgaben, die die Gebrauchstauglichkeit beeinflussen können, sollten beschrieben werden, z.B. die Häufigkeit des Vorkommens. Falls Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit bestehen, z.B. bei der Steuerung einer rechnergesteuerten Produktionsmaschine, sollten diese auch beschrieben werden. Die Beschreibung sollte die Verteilung der Aktivitäten und Arbeitsschritte zwischen Mensch und technischen Hilfsmitteln einschließen. Aufgaben sollten nicht nur hinsichtlich der Funktionen oder Leistungsmerkmale, über die ein Produkt oder System verfügt, beschrieben werden.
- Die Umgebung, in der die Benutzer das System benutzen sollen: Die Umgebung schließt die Hardware, Software und die zu verwendenden Materialien mit ein. Deren Beschreibung kann eine Auswahl von Produkten darstellen, von denen eines oder mehrere den Schwerpunkt der benutzerorientierten Spezifikation oder Beurteilung bilden kann, oder sie kann aus einer Auswahl von Merkmalen oder Leistungseigenschaften der Hardware, Software oder sonstiger Materialien bestehen.“

(DIN 2000, 6)

An die Analyse des Nutzungskontextes schließt sich sodann die Definition der organisatorischen Anforderungen sowie der Benutzeranforderungen an - bzw. werden Anforderungen aus dem Nutzungskontext abgeleitet. BURMESTER / HASSENZAHL (2000) schreiben dieser Phase des

Vorgehens große Bedeutung zu, da nicht beachtete Anforderungen in späteren Implementierungs- und Realisierungsschritten nicht ohne weiteres oder nur mit großem Aufwand berücksichtigt werden können. Als Eigenschaft der Anforderungen werden von BURMESTER / HASSENZAHL (2000) (nach IEEE P1233/D3) Abstraktheit (als Unabhängigkeit von der konkreten technischen Umsetzung), Eindeutigkeit (kein Interpretationsspielraum), Nachvollziehbarkeit (Zurückverfolgbarkeit der Anforderungen zur Quelle) sowie Überprüfbarkeit (Nachweis, dass das System die Anforderungen tatsächlich erfüllt) benannt. Hier soll für die Definition von Anforderungen auf RUPP (2001) zurückgegriffen werden:

„Eine Anforderung ist eine Aussage über eine zu erfüllende Eigenschaft oder zu erbringende Leistung eines Produktes, eines Prozesses oder der am Prozess beteiligten Personen.“

(RUPP 2001, 135)

Ausgehend von entsprechend dokumentierten Anforderungen können dann Gestaltungslösungen realisiert werden, üblicherweise wird mit einer Grobgestaltung begonnen - nach DIN EN ISO 13407 werden Gestaltungslösungen mit Hilfe von Simulationen, Modellen oder Prototypen konkretisiert (vgl. DIN 2000, 7). Ein Prototyp kann dabei als Bleistift- oder Papierskizze oder ggf. als „rechnergestützte Simulation“ ausgeführt sein (vgl. ebd., oder WESSEL 1998, 443).

Prototyping hat nach BURMESTER / HASSENZAHL eine „herausragende Bedeutung für die Grobgestaltung und die Feingestaltung“ und leistet „das frühzeitige Visualisieren und Erfahrbar-Machen der Gestaltungsideen“.

Für die sich anschließende Evaluation von Realisierungen (in der Übersicht –s.o.– als „Gestaltungslösungen“ bezeichnet) werden dann so genannte „Experten Reviews“ (als „Walkthrough“ oder checklistenbasierte Analyse von Fachleuten) oder konkretes „Usability Testing“ (als Test sowie Beurteilung durch reale Benutzer) vorgesehen (s. DIN 2000, 8f und NIELSEN / MACK 1994, ANSORGE / HAUPT 1997 sowie REDMOND-PYLE / MOORE 1995).

Auch hier bleibt die weitere Entwicklung abzuwarten, VOGT (2002) beschreibt etwa den geplanten Einsatz neuronaler Netze, die den Betrachtungsverlauf einer Benutzeroberfläche vorhersagen können (anstelle „von Eye-Tracking“ als Aufzeichnung des Betrachtungsverlaufs von Probanden) – auf absehbare Zeit sollten Benutzertests aber nicht ersetzbar sein (s. ebd.).

Die Beurteilung durch Fachleute kann als „schnell und ökonomisch“ betrachtet werden; größere Probleme können somit zeitnah aufgezeigt werden.

Bezogen auf die Grundsätze der Dialoggestaltung (s.o., Teil 10 der DIN EN ISO 9241) können nach ANSORGE / HAUPT (1997) durch „Reviews“ von Experten „Kriterien wie Fehlertoleranz und Steuerbarkeit, eingeschränkt auch Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit, sowie Fragen der Anordnung und Codierung“ weitgehend abgeprüft werden – die Beurteilung von Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit und Erwartungskonformität kann dann allerdings nur unter Einbeziehung von Benutzern erhoben werden (vgl. 63).

Zielsetzung aller Evaluationsmaßnahmen ist immer die Umgestaltung und Optimierung der Benutzungsschnittstelle, „Usability Testing“ soll nach BURMESTER / HASSENZAHL zusammenfassend definiert werden:

„Beim Usability Testing werden repräsentative Benutzer aufgefordert, unter realistischen Bedingungen, für den Nutzungskontext typische Aufgaben mit einem Prototypen oder der vollständigen Software zu lösen. Bei diesem Prozess wird die Interaktion des Benutzers mit Software beobachtet und auf Probleme der Gebrauchstauglichkeit, sog. Nutzungsprobleme, hin analysiert.

(BURMESTER / HASSENZAHL 2000)

Bisher gilt allerdings für die Evaluierung (und besonders für das „Usability Testing“), dass keine allgemein anerkannte Methodik für die Beurteilung von Software-ergonomischer Qualität existiert (vgl. BRÄUTIGAM 2000 und PRÜMPER 1997). Mit dem Fragebogen „ISONORM 9241/10“ (PRÜMPER / ANFT 1993) liegt aber ein Instrument vor, welches, bezogen auf die Testgütekriterien, als reliabel und valide eingeschätzt werden kann (bei N=1265 Benutzern und der Beurteilung von 178 Softwareprogrammen – s. PRÜMPER 1997) und „eine ausdrückliche Operationalisierung von ISO 9241 Teil 10 darstellt“ (ebd. 260).

Als Ergebnis der Evaluation mit dem ISONORM-Fragebogen können „Hinweise auf ergonomische Schwachstellen von Softwaresystemen“ gefunden werden, allerdings sind „konkrete Hinweise, wo Mängel vorliegen und wie diese behoben werden können“, aufgrund der allgemeinen Formulierung nicht zu gewinnen (s. BRÄUTIGAM 2000). Daher sollte der Fragebogen in einem kombinierten Verfahren durch zusätzliche Instrumente ergänzt werden (PRÜMPER 1997 verweist hierfür u. a. auf die oben genannten Reviews BRÄUTIGAM 2000 nennt „den Einsatz im Zusammenhang mit beteiligungsorientierten, moderierten Workshops oder Benutzergruppen“)

Die Anwendung und Umsetzung der hier dargestellten Grundlagen erfolgt im nun folgenden Kapitel 7.

7 Realisierung und Optimierungsansatz eines hypermedialen Informations- und Lernmanagementsystems webbasierter Automatisierungslandschaften (HILWA) auf Basis des HILS Frameworks

Wenn in Kapitel I Technische Bildung betrachtet wurde, so standen immer Vermittlungsprozesse im Vordergrund. Solche Vermittlungsprozesse sind an allgemeinbildenden Schulen wie auch in der beruflichen Aus- und Weiterbildung zu finden; wenngleich Zielsetzungen und Randbedingungen unterschiedlich sind, die zugrunde liegenden Strukturen der Vermittlungsprozesse sind als identisch anzusehen.

Im vorangestellten Kapitel wurde mit dem HILS Framework eine Lernerarchitektur vorgestellt und in Funktionsmodule gegliedert, welche Kommunikationsstrukturen nutzt, die den zeitgemäßen Stand der Web- und Internettechnologien repräsentieren. Diese Kommunikationsstrukturen haben auch ihren Einzug in die verschiedensten Bereiche der Fertigungstechnologie gehalten; Informationstechnologien in der Fertigung nähern sich immer mehr einem Industriestandard. Somit erscheint es auch nahe liegend, ein System aus dem Bereich der Fertigungstechnologie als Gegenstand bzw. Inhalt der konkreten Realisierung eines Hypermedialen Lern- und Informationssystems zu machen, welches zugleich konstruktionsmethodisches Handeln und Vorgehen ermöglicht.

Mit der Firma FESTO Didactic, einem weltweit führenden Unternehmen im Bereich technischer Aus- und Weiterbildung auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik, wurde ein Partner gefunden, dessen modulares Produktionssystem (MPS) es ermöglicht, am jeweils aktuellen industriellen Fertigungsstandard orientierte Fertigungsanlagen verschiedener Komplexität für Lern- und Vermittlungskontexte nachzubilden. Dankenswerterweise stellte die Firma FESTO Didactic einen MPS-Versuchsstand mit leistungsfähigen Steuereinheiten zur Verfügung. Ergänzt um eine Web-Kamera mit Steuerungseinheit sowie um das eigenentwickelte Hypermediale Informations- und Lernmanagementsystem webbasierter Automatisierungslandschaften (HILWA) stand somit ein in dieser Konfiguration völlig neues Lernsystem zur Verfügung.

Für die vorgesehene Akzeptanz- und Optimierungsstudie wurden sodann Probanden aus den Berufsgruppen ausgewählt, die Inhalte aus dem Bereich der Produktions- sowie der Informations- und Kommunikationstechnik berücksichtigen.

Es wurde, bezogen auf Kompetenzen im Bereich konstruktionsmethodischen Denkens und Handelns, dabei davon ausgegangen, dass grundlegende Strategien und Vorgehensweisen in den Probanden angelegt sind, wenngleich auch in unterschiedlichem Ausmaß. Die Optimierung konstruktionsmethodischer Lernmuster sollte durch spezifische, strukturierte Problemstellungen, im Folgenden darzustellenden Lernwerkzeugen sowie die Begünstigung von Lerntransfer von den Probanden realisiert werden. Der Erfolg der Problemlösung und damit der Lernerfolg sollte von den Probanden selbst beurteilt werden können, weil er direkt im Versuchsstand durch die im Sinne der Anforderungen realisierten Funktionen erkennbar wird.

Das erste Folgekapitel thematisiert nun den Stand der angesprochenen Fertigungs- sowie Informations- und Kommunikationstechnologien sowie deren Relevanz für die in der Untersuchung berücksichtigten Berufsgruppen.

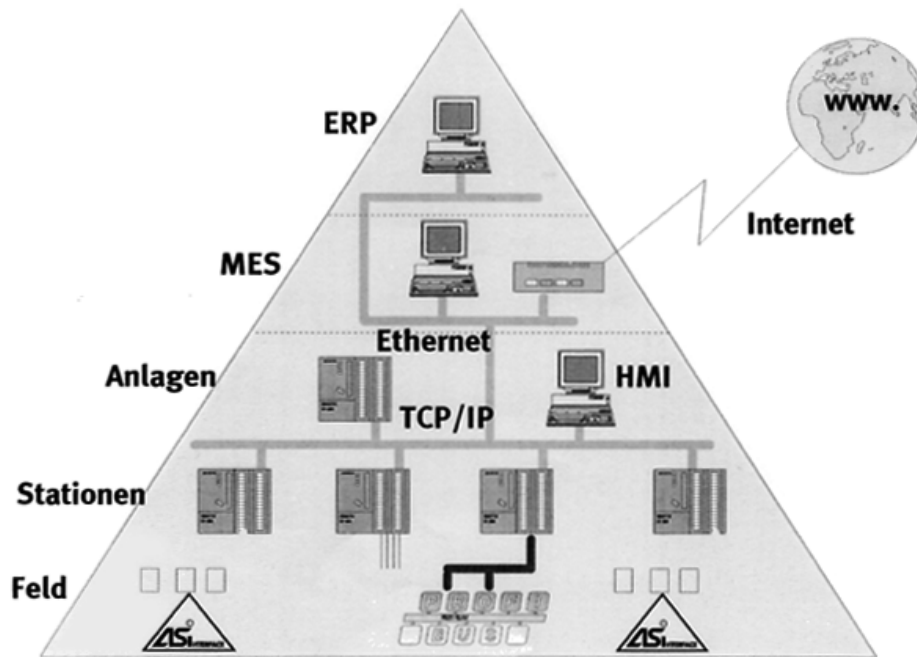
Danach werden das konkrete Vorgehen und die Durchführung der Untersuchung dargestellt; mit der Darstellung und Interpretation sowie einer Zusammenfassung endet das Kapitel.

7.1 Automatisierungstechnik und Webtechnologien

Der Bereich Automatisierung ist mit einem Umsatz von weltweit geschätzt 180 Mrd. € (Anteil Deutschland 2001 rund 25 Mrd. € oder 14% - s. BURGHARDT 2002) als nicht unwesentlich zu bezeichnen (Im Vergleich: Umsatz der deutschen Automobilindustrie für 2002 voraussichtlich 210 Mrd. €, in der deutschen Elektroindustrie 160 Mrd. € Umsatz für 2001 oder in der chemischen Industrie 107 Mrd. € Umsatz für 2001 – Daten aus BMWi 2002).

In den letzten Jahren hat nun die Entwicklung im Bereich Automatisierungstechnik unter anderem zu einer zunehmenden Kopplung und Integration der Funktionalitäten des Internet mit denen der Subnetze der Automatisierungslandschaft geführt. Prozessleitstände, Ferndiagnose- und Fernwartungssysteme sowie dezentrales Bedienen und Beobachten sind technische Realität in den verschiedensten Bereichen der Industrie – unter der Nutzung von Webtechnologien lassen sich so verschiedenste Anwendungen und Produktionsanlagen realisieren.

Dies hat nicht nur die Veränderung von Organisationsstrukturen (etwa im Sinne von ERP– *Enterprise Resource Planning*) zur Folge, sondern muss notwendigerweise auch in Berufsbildern neuer Berufe verankert werden. Schnittmengen bilden sich dabei rund um den Themenbereich „Ethernet“ zwischen Metall- / Elektro- / Mechatronik-Berufen und den 1997 geschaffenen vier IT-Ausbildungsberufen. So weisen die Verordnungen über die Berufsausbildung (BUNDESMINIST. FÜR BILD., WISS., FORSCH. U. TECHNOL. -1997 BZW. 1998) sowie die Rahmenlehrpläne für die Berufe IT-Systemelektroniker, Fachinformatiker und Mechatroniker (MINIST. F. BILD., WISS., FORSCH. UND KULT. D. LANDES S.-H. 1997 bzw. 1998) derartige Lernziele auch aus, allerdings mit unterschiedlicher Sichtweise und Akzentuierung. Während beim Mechatroniker vor allem die Aktor/Sensor-Ebene mit sich anschließender bottom-up-Betrachtungsweise fokussiert wird, ist dies beim Fachinformatiker eher eine systembedingte top-down-Betrachtung mit praxisnahen Anwendungsbeispielen bis hinunter auf die Aktor/Sensor Ebene. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick der Hierarchieebenen der Automatisierungstechnik:



(Hierarchieebenen der Automatisierungstechnik, s. KOEHNE 2002)

Aus der „Allgegenwärtigkeit“ von automatisierten Anlagen und Systemen (neben industriellen Fertigungsanlagen u. a. in Ampelschaltungen, Kraftfahrzeugen und Gebäuden) und insbesondere speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) ist nach TOENNSEN (2000), eine gute Eignung als Lehr- und Lerninhalt nicht nur für die angesprochenen Berufsgruppen, sondern auch für allgemeinbildende Schulen zu folgern (s. 7).

Die Schnittmengen der Ausbildungsinhalte der oben beschriebenen Berufsgruppen kommen allerdings gerade im Bereich „dezentrales web-gestütztes Bedienen und Beobachten“ zur Überlappung (s. o.), technische Realisierungen sind in der Industrie mit „Remote Scripting“ (mit OPC-basierten Servern) oder Java-Technologien zu finden.

Für die Untersuchung wurde auf eine neuartige Java-basierte Lösung in Form der Siemens „SIMATIC CP 343-1 IT für S7-300“⁸ gesetzt:

„Der im Kommunikationsprozessor (CP) integrierte Web-Server ermöglicht den Zugriff auf System- und Prozessdaten über Web-Browser. Die E-Mail-Funktion des CP ermöglicht der S7-300 elektronische Nachrichten an übergeordnete Systeme zu schicken, z.B. für Wartungszwecke.“

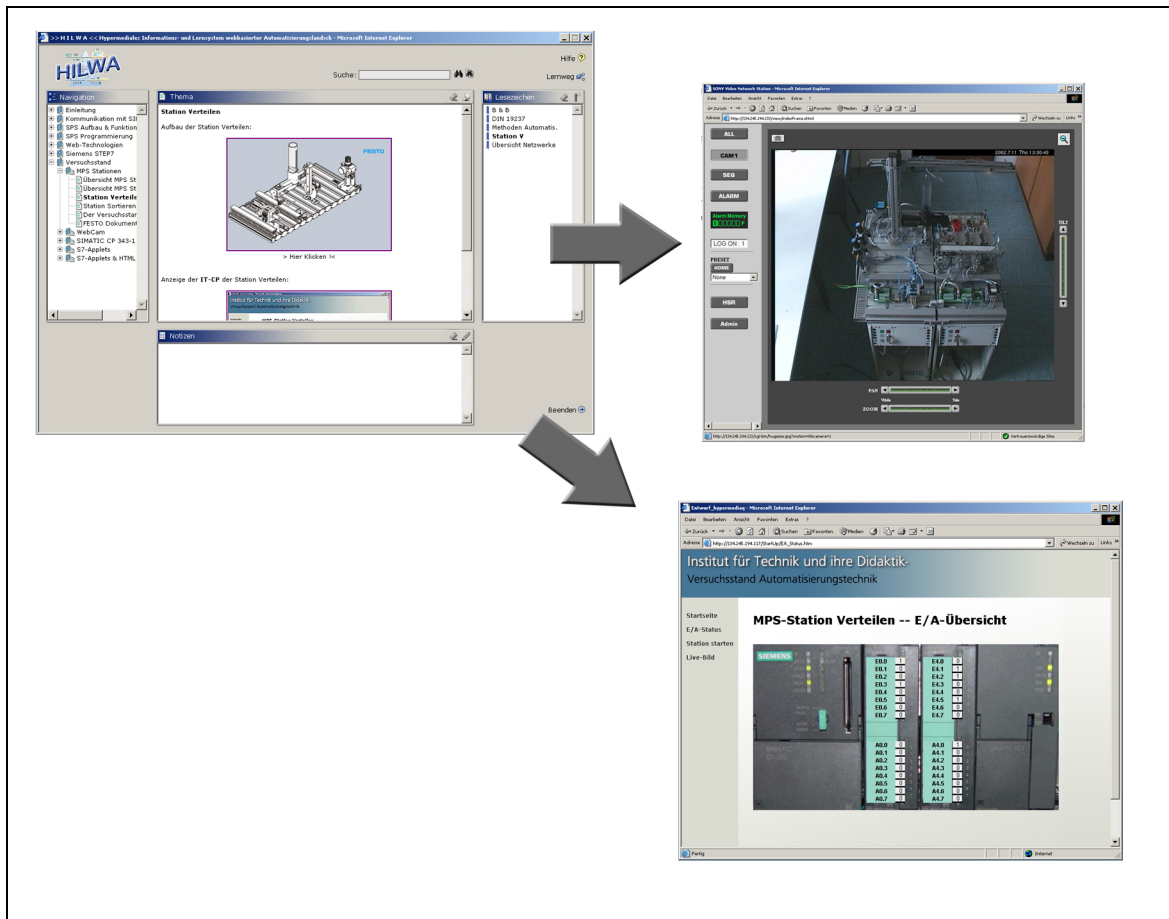
⁸ Internet, URL: <https://mall.ad.siemens.com/WWW/guest/index.asp?aktprim=0&nodeid=9300272&lang=de>

7.2 Vorgehen und Durchführung der Untersuchung

Für die Untersuchung wurde auf Basis des HILS Frameworks (s. Kapitel 6.2) unter Ausnutzung und Anwendung der Befunde und Erkenntnisse (s. Kapitel 2 bis 6) ein hypermediales Lern- und Informationssystem webbasierter Automatisierungslandschaften (HILWA) geplant und bis zum Status eines funktionsfähigen Prototypen entwickelt (s. Kapitel 7.2.1).

Zusätzlich wurde, um dem Anspruch zu genügen, möglichst alle Bereiche des Kontinuums der Informationsträger und Beschreibungsformen (s. Kapitel 5) lernwirksam zu berücksichtigen und einzusetzen, ein Versuchsstand (siehe unten und Anhang) der Firma FESTO aufgebaut und durch verschiedene Verknüpfungspunkte direkt in HILWA integriert – hierzu gehören die Einbindung einer steuerbaren Webcam (siehe Anhang) um jederzeit aus dem Lernkontext heraus Live-Bilder des Versuchsstandes (Übersichts- sowie Detailaufnahmen von Einzelkomponenten) zur Verfügung zu haben sowie die Nutzung der beiden IT-CPs (CP 343-I IT siehe Anhang) mit vorbereiteten HTML-Seiten (die per Java-Applets Prozessdaten und Parameter der Steuerungsprogramme direkt anzeigen können). Die folgende Abbildung zeigt dies beispielhaft.

Die Inhalte für HILWA wurden entsprechend der Analyse der Rahmenlehrpläne und Verordnungen der relevanten Ausbildungsberufe (s. o.), Gesprächen mit den jeweiligen Lehrern an der Berufsschule sowie dem Vorfragebogen (s. Anhang) ausgewählt und zusammengestellt (siehe Anhang).



(Darstellung HILWA und durch Hyperlinks in HILWA eingebundene Verknüpfungen zu Webcam bzw. IT-CPs der Stationen)

Mit dieser Gesamtkonfiguration von neuartigen Lernwerkzeugen (ein hypermediales Lern- und Informationssystem für webbasierte Automatisierung – HILWA – mit direkt integrierten Verknüpfungspunkten zum MPS Versuchsstand der Firma Festo, siehe Anhang) sowie den im Anhang aufgeführten Problemstellungen (welche auf Grundlage des ermittelten aufgabenspezifischen Kenntnisstandes der Probanden definiert wurden, vgl. Vfragebogen im Anhang) wurden somit auch zugleich die konstruktionsmethodischen Lernmuster vorstrukturiert.

Die Problemstellungen (siehe Anhang) und damit auch die konstruktionsmethodischen Lernmuster weisen einen ansteigenden Schwierigkeitsgrad sowie einen ansteigenden Grad an Komplexität auf; sie sind insgesamt in eine praxisnahe Rahmensituation eingebettet. Nach der Klassifikation (aus Kapitel 4.1) können die Problemstellungen für die Probanden als Allgemeine Entwurfsprobleme eingeordnet werden (sowohl die Operator- wie auch die Zustandsmenge sind nicht abgeschlossen), d.h. es müssen zuerst lösungsrelevante Zustände oder Operatoren aufgesucht werden, bevor von den Probanden eine Annäherung an die Problemlösung geleistet wer-

den kann. Eine Vorgehensweise im Sinne der VDI 2221 (siehe Kapitel 3.2.2) scheint dabei als am ehesten zielführend. Wie die Probanden die Problemstellungen bearbeiten, wird allerdings nicht beeinflusst, auch Vorgehensweisen im Sinne der fünf prototypischen Formen des Problemlösenden Denkens –s. Kapitel 4.1- sind sicherlich denkbar.

Unter Berücksichtigung und Nutzung der Erkenntnisse eines zuvor von den Probanden gelösten Problems müssen für die jeweils aktuelle Problemstellung dann zusätzliche Anforderungen erfüllt werden, im Sinne einer positiven Lerntransfers (s. Kapitel 4.1.3). Begünstigend für einen Lerntransfer sollen auch reflektierende Gesprächs- und Diskussionsrunden realisiert werden, in denen die Probanden ihr Vorgehen erläutern.

Die besondere Bedeutung von HILWA für die von den Probanden zu realisierenden Problemlöseprozesse ist unter Betrachtung des Ablaufmodells zu sehen (vgl. Kapitel 4.1). Auf der Lösungsseite sind die Handlungsmöglichkeiten der Probanden und damit der Suchraum durch die in HILWA enthaltenen, durch spezifische, auf den Kenntnisstand der Probanden zugeschnittenen und vorstrukturierten Inhalte sowie durch spezielle Zugriffswerkzeuge in HILWA gekennzeichnet (siehe Kapitel 6.2).

Entsprechend der Qualifikationen und Kompetenzbereiche der beiden Berufsgruppen wurden mit den Problemstellungen zwei lösungsrelevante Schwerpunkte konstruiert:

1. Schrittweise Implementierung von Anlagenkomponenten und darauf aufbauende Projektierung und SPS-Programmierung für die teilnehmenden Mechatroniker;
2. Design von HTML-Seiten, Einbinden der Java – Applets sowie Javascript - Programmierung und abschließende Dokumentation für die IT – Berufsgruppen.

Die Problemstellungen sind dabei so angelegt, dass beide Berufsgruppen ein Grundverständnis für die Funktionsweise einer IT-CP, die ihnen bisher unbekannt war, entwickeln müssen und vor allem durch aktiven Austausch und Zusammenarbeit zwischen den Probanden (bzw. Berufsgruppen) Lösungen realisiert werden können.

Die Untersuchung ist insgesamt als Optimierungs- und Akzeptanzstudie angelegt und zielt auf die Ermittlung von Erkenntnissen mit den folgenden Schwerpunkten:

1. Es werden Befunde zum effizienten Gebrauchswert und der Benutzungsfreundlichkeit des HILWA-Prototypen erwartet
2. Es werden Ansatzpunkte für die Optimierung des Prototypen erwartet.
3. Es soll überprüft werden, ob HILWA effizient und flexibel genutzt werden kann.
4. Es werden Befunde zur Akzeptanz der gemeinsamen Bearbeitung von Problemstellungen durch Kombination verschiedener Berufsgruppen (und damit auch der unterschiedlichen Kompetenzbereiche) erwartet.

Wegen der signifikanten Zusammenhänge von Motivation, Benutzerfreundlichkeit und Lernerfolg (siehe auch Kapitel 4 und 6) und deren besonderer Bedeutung für die Realisierung konstruktionsmethodischer Lernmuster durch die Adressaten unter Nutzung der hier definierten Lernwerkzeuge (s. o.), müssen auch genau diese Bereiche überprüft werden. Um dies zu ermitteln, werden folgende Instrumente (siehe auch jeweils im Anhang) eingesetzt:

Instrument	Funktion
Informeller Vorfragebogen	<ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung des spezifischen Kenntnisstands bezüglich der thematischen Schwerpunkte der Untersuchung bezogen auf die Berufsgruppen • Ermittlung der Einstellungen und Kompetenzen der allgemeinen Computernutzung.
ISONORM Fragebogen	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation von HILWA gemäß der Teilbereiche von ISO 9241 Teil 10 (siehe auch Kapitel 6.3)
Informeller Abschluss-Fragebogen	<ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung von Einstellungen zum Projekt und HILWA • Unterstützung des ISONORM Fragebogens für die Gewinnung von Ansatzpunkten zur Optimierung von HILWA
Diskussions- und Gesprächsrunden	<ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung des jeweiligen Standes der Bearbeitung der Problemstellungen • Ermittlung von Einstellungen zum Projekt und HILWA • Unterstützung des ISONORM Fragebogens für die Gewinnung von Ansatzpunkten zur Optimierung von HILWA

Es sei dabei noch mal klar betont, dass es sich hierbei nicht um ein empirisches Untersuchungsdesign im klassischen Sinne (etwa Prä-Post-Design o. ä.) handelt, sondern der Softwareergonomische Optimierungsprozess für HILWA im Vordergrund steht. Das Vorgehen entspricht dem hier zugrunde gelegten benutzerorientierten Softwareentwicklungsprozess (vgl. Kapitel 6.3). Somit kann auch der Lernerfolg unter der hier geltenden Zielsetzung dadurch bemessen werden, dass Problemstellungen gelöst werden - hierzu wird HILWA in mehr oder weniger großem Umfang von den Probanden genutzt. Für den Lernerfolg kann außerdem als Beurteilungsgrundlage herangezogen werden, dass Problemstellungen auch in angemessener Zeit bearbeitet und gelöst werden.

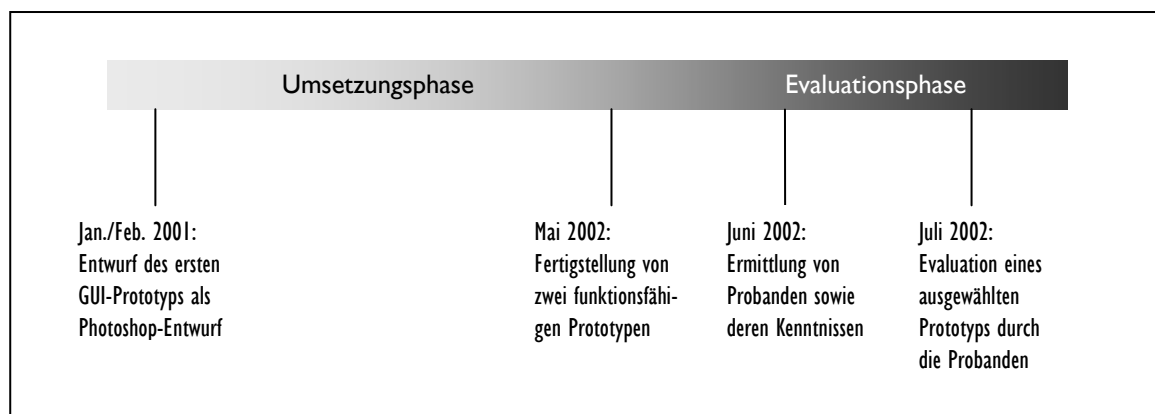
7.2.1 Entwicklungsverlauf des HILWA Prototypen

Die Notwendigkeit des hier zugrunde gelegten benutzerorientierten Softwareentwicklungsprozesses (nach DIN EN 13407, vgl. Kapitel 6.3) konnte für die Neuentwicklung eines hypermediale Informations- und Lernsystems mit der Zielsetzung, hohe Gebrauchstauglichkeit zu erreichen, vorausgesetzt werden. Nutzungskontext und Benutzeranforderungen wurden in internen Diskussionen geklärt und definiert, in der Folge wurden dann Gestaltungslösungen entwickelt. Hierbei wurde auch besonders auf ausgewiesenes Know-How (am Institut für Technik und ihre Didaktik) für die Planung, Durchführung, Nachbereitung, Evaluation und Optimierung von Vermittlungsprozessen in der technischen Aus- und Weiterbildung sowie der dafür einzusetzenden Medien zurückgegriffen.

Neben den aus den Kapiteln 3 bis 6 resultierenden Anforderungen wurden als Ausgangspunkt der Entwicklung folgende Merkmale zusätzlich zugrunde gelegt:

- Bildschirmauflösung 800 x 600 bis 1024 x 768 Bildpunkte (Pixel)
- Geringe bis durchschnittliche Computer- bzw. Nutzerkenntnisse allgemein
- Geringe bis durchschnittliche Erfahrungen in der Nutzung des Internets

Die folgende Abbildung zeigt in einer zeitlichen Übersicht die Vorgehensweise bei der Entwicklung von Gestaltungslösungen für HILWA.



Als erster Entwurf und zugleich als Zusammenfassung des internen Diskussionsstandes wurde im Januar/Februar 2001 ein grafischer GUI-Prototyp als Photoshop-Entwurf erstellt (s. Anhang). Die Vorteile bei der Nutzung von Grafikprogrammen bei der Prototypen-Erstellung liegen auf der Hand; es können sehr leicht Modifikationen vorgenommen werden und/oder durch die Arbeit mit Ebenen auch Variationen schnell realisiert und getestet werden. Deutlich erkennbar ist

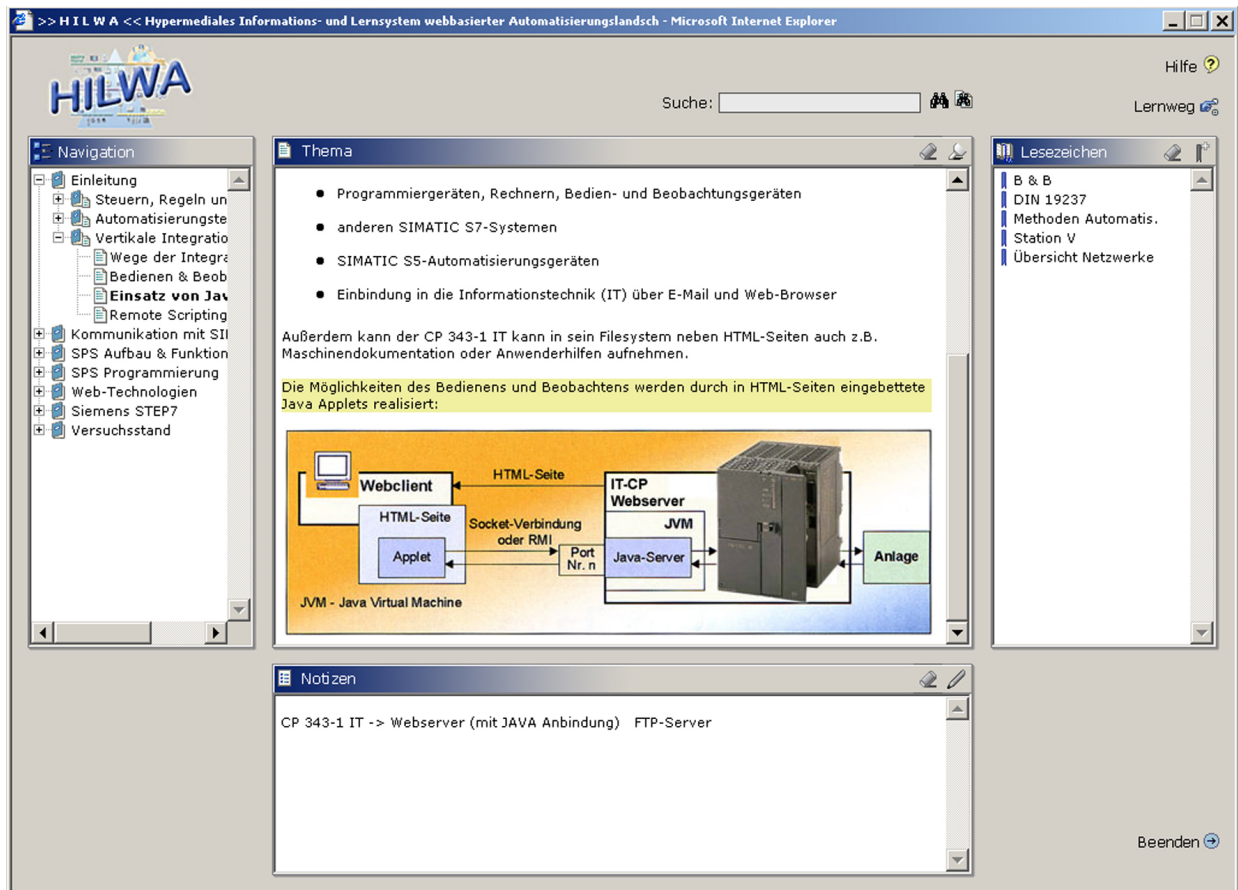
das zugrunde gelegte Navigationskonzept mit einer links angeordneten Inhaltsnavigation sowie einer benutzerdefinierten Navigation an der rechten Seite - der eigentliche Inhalt wird jeweils in der Mitte angeordnet.

Im Rahmen erster Umsetzungen als statische HTML-Prototypen (hier konnten dann auch Dialogabfolgen erprobt werden) und internen Diskussionen wurde dann eine Modifikation des ersten Entwurfs in folgender Hinsicht beschlossen:

- Nutzung einer Bildschirmauflösung von 1024x768 Bildpunkten;
- Ausblendung der sonst typischen Browser-Elemente (Adresszeile und Schaltflächen);
- Direkte Integration der Elemente „Suche“ und „Notizen“ in das Grundlayout, um die Anzahl der so genannten „Pop-Up-Fenster“ zu reduzieren.

In der Folge wurde sodann in der Umsetzungsphase mit der Definition eines Datenmodells (Datenbankdesigns) begonnen und die grundlegenden Funktionsmodule der Anwendungsschicht definiert (vgl. 3-Schichten-Modell der Server-Architektur). Zielsetzung war, hier die Funktionsmodule im Sinne des HILS Frameworks (s. Kapitel 6.2) anzuwenden, die weitestgehend von der Präsentationsschicht entkoppelt sind.

Auf Basis der identischen Daten- sowie einer weitgehend identischen Anwendungsschicht (mit den genannten Funktionsmodulen) wurden dann zwei funktionsfähige Prototypen parallel entwickelt. Für die Untersuchung wurde dann einer dieser Prototypen ausgewählt – die folgende Darstellung zeigt dessen graphische Benutzungsschnittstelle:



(Graphische Benutzungsschnittstelle des für die Untersuchung benutzten HILWA-Prototypen mit beispielhaft ausgewählter Inhaltsseite)

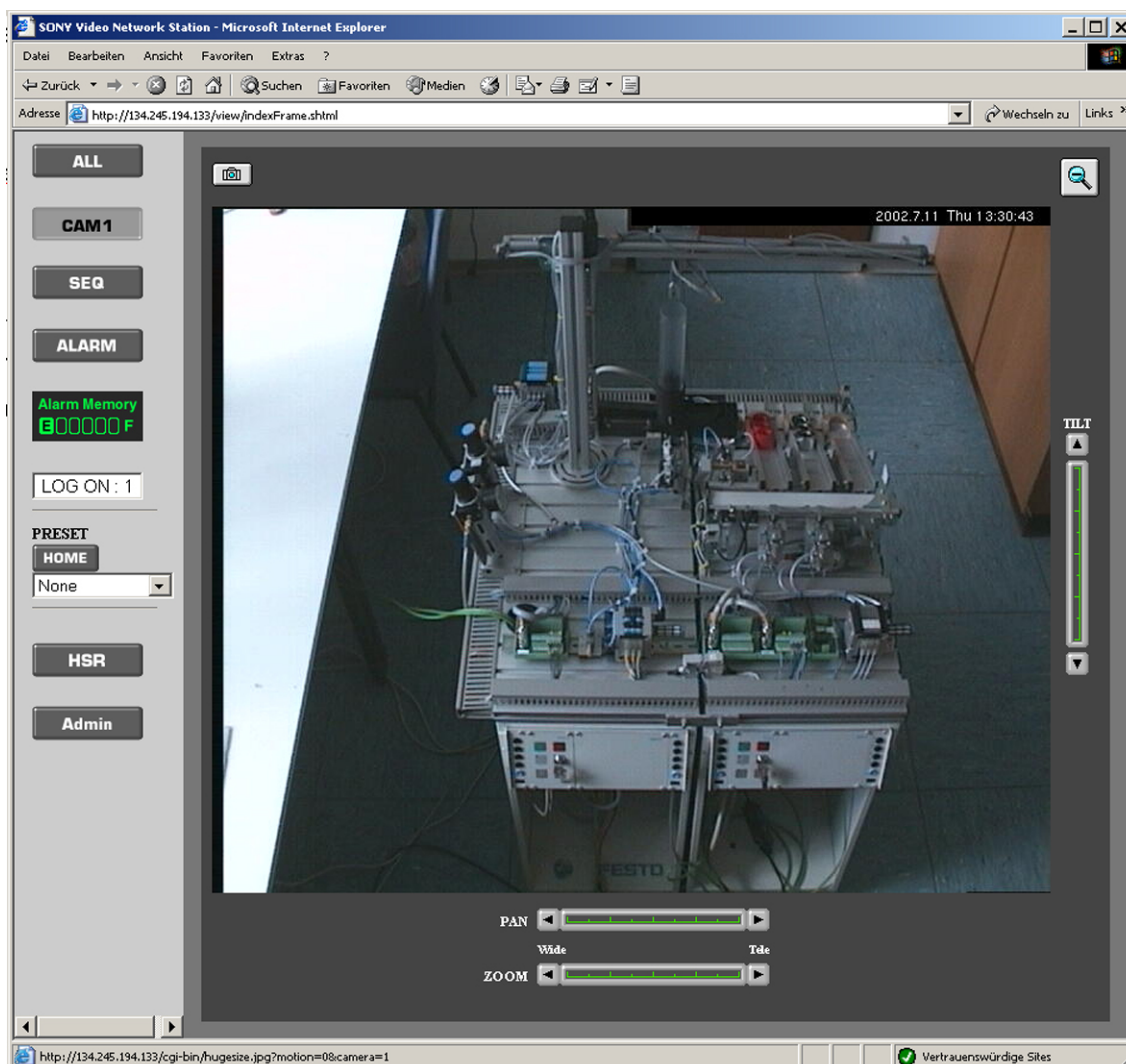
Das Grundlayout enthält als Fenster angedeutete Navigationselemente „Navigation“ sowie „Lesezeichen“; mittig angeordnet sind für die Inhaltspräsentation „Thema“ und das Element „Notizen“. Weiterhin sind oberhalb Elemente für die Volltext-Suchoption, Hilfe-Funktion und den Lernweg angeordnet; über den rechts unten angeordneten Link kann die Lernsitzung in HILWA beendet werden.

Eine prinzipielle Übereinstimmung mit dem Grundlayout des grafischen GUI-Prototypen wird etwa für das Navigationskonzept deutlich, die Präsentation der Inhaltsnavigation wurde allerdings um eine Ebene erweitert und in eine Baumstruktur-Darstellung überführt (es wurden thematische Obergruppen gebildet, die gleichzeitig einer besseren Übersicht und Orientierung dienen).

7.2.2 Versuchsstand und Raumplan

Für die Untersuchung wurde ein Versuchsstand, bestehend aus zwei MPS Stationen der Firma FESTO aufgebaut. Das Modulare Produktionssystem (MPS) ermöglicht die Nachbildung von industriellen Fertigungsanlagen und –systemen unterschiedlicher Komplexität, die an Industriestandards orientiert sind.

Die MPS Stationen „Verteilen“ und „Sortieren“ wurden um einen Rücktransportmechanismus erweitert und im Layout geringfügig verändert. Die folgende Abbildung zeigt den Versuchsstand (Screenshot der über dem Versuchsstand montierten Webcam):



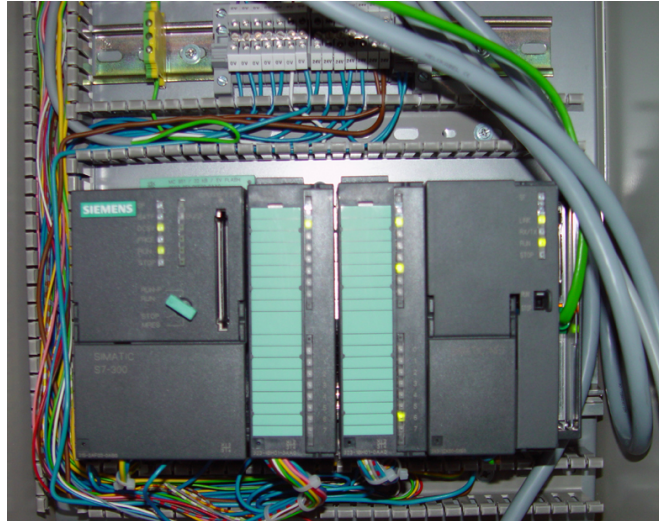
(Screenshot des Versuchstandes mit der WebCam – s. Anhang)

Die spezifischen Merkmale und Funktionen der dargestellten Station „Verteilen“ bzw. „Sortieren“ (jeweils in der Grundkonfiguration) sind nun in der folgenden Tabelle dargestellt:

	Station Verteilen	Station Sortieren
Beschreibung	<p>Die Station Verteilen ist eine Zubringeeinrichtung. Nach VDI 3240 sind Zubringeeinrichtungen definiert als Einheiten, die die Funktion des Bunkerns, Ordnen und Zuführens von Teilen erfüllen. Zubringeeinrichtungen können darüber hinaus das Ordnen von Teilen nach mehreren Ordnungsmerkmalen (Geometrie, Gewicht usw. des Teils) ermöglichen. Klassische Zubringeeinrichtungen sind z.B. Magazine mit Vereinzelung, Vibrationswendelförderer, Schrägförderer und Bunker mit Vereinzelungseinrichtung.</p> <p>Klassische Werkstücke die von Zubringeeinrichtungen gehandhabt werden sind z.B. galvanisch beschichtete Teile, Formteile aus Kunststoff, Stanz- und Drehteile.</p>	<p>Die Station Sortieren ist eine Sortiereinrichtung. Sortieren ist nach VDI 2860 ein Unterbegriff der Handhabungsfunktion Menge verändern. Zum Sortieren der Werkstücke ist die Bandstrecke verzweigbar. Abhängig vom Werkstück werden verschiedene Weichen geschaltet. Die Werkstücke müssen einzeln laufen, damit die Schaltvorgänge der Weichen nicht behindert werden.</p> <p>In der Station Sortieren werden die Werkstücke nach Material und Farbe sortiert</p>
Aufgabe	<ul style="list-style-type: none"> • Vereinzeln von Werkstücken aus dem Magazin • Bereitstellen des Werkstücks für einen weiterführenden Prozess 	<ul style="list-style-type: none"> • Sortieren von Werkstücken nach Beschaffenheit
Aufbau	<ul style="list-style-type: none"> • Profilplatte • SPS-Board mit Bedienpult • Modul Stapelmagazin • Modul Umsetzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Profilplatte • SPS-Board mit Bedienpult • Modul Sortierband (mit Weichen) • Modul Rutsche

(Übersicht Merkmale und Funktionen der MPS Stationen des Versuchsstands, s. FESTO 1998 bzw. 1999)

Die Steuerungen der beiden Stationen sowie ein zusätzliches SPS-Board für den Rücktransportmechanismus wurden mit Siemens S7-300 speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPSen) ausgestattet; die SPS-Boards der MPS Stationen wurden dann zusätzlich noch mit jeweils einem Siemens Kommunikationsprozessor CP 343-1 IT (s. o.) bestückt, um die IT-Kopplung zu realisieren. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Konfiguration eines SPS-Boards in der Aufbauphase:



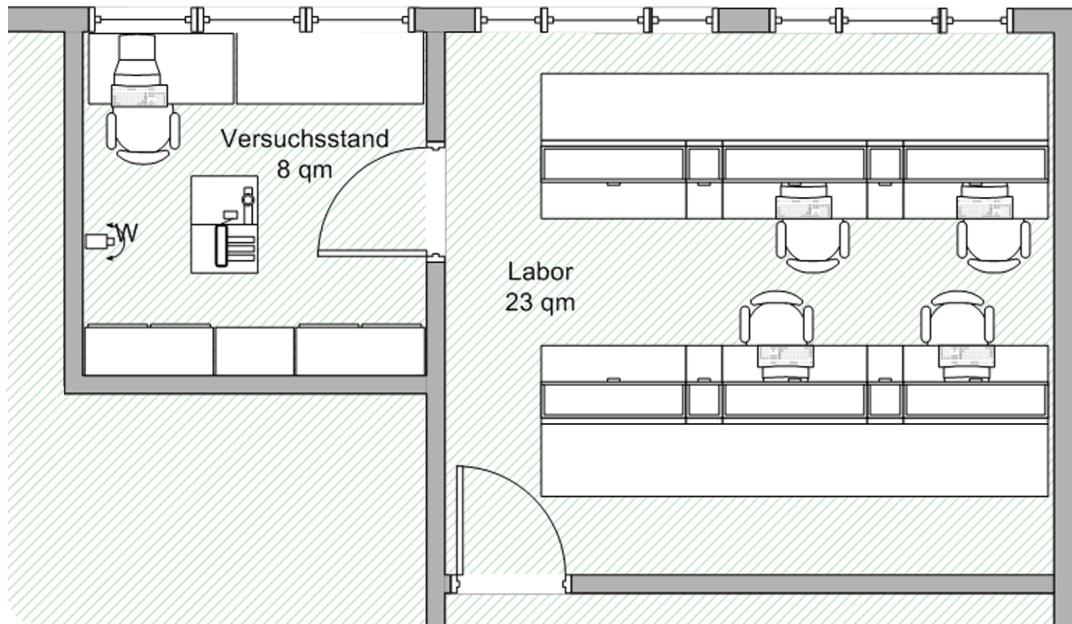
(Beispielhafte Konfiguration des SPS-Boards einer MPS Station in der Aufbauphase, angeordnet sind von links eine S7-300 CPU, zwei digitale E/A-Baugruppen sowie die CP 343-1 IT)

Zusätzlich wurde neben dem Versuchsstand ein PC-Arbeitsplatz für die SPS-Programmierung mit Siemens STEP7 Software (siehe Anhang) sowie im direkt angrenzenden Nebenraum 4 PC-Arbeitsplätze für die Probandengruppen für den Zugriff auf HILWA eingerichtet - HILWA-Server, Webcam (siehe Anhang), IT CPs und Arbeitsplatz-PCs wurden über Ethernet vernetzt (100 MBit-Ethernet-Netzwerk).

Die 4 PC-Arbeitsplätze wurden mit folgender Ausstattung bereitgestellt:

- Standard PCs (Prozessor von Pentium II-350 bis Pentium III-500, 256 MB RAM)
- Eizo 17 Zoll Monitor mit Sound-Option und Kopfhörer
- Betriebssystem Microsoft Windows 2000
- Microsoft Internet Explorer 6, Windows Media Player 7
- Microsoft Office 2000 Professional, Corel Draw 10
- HTML-Editor Phase5
- IrfanView 3.6
- Selfhtml 8.0
- WS-FTP

Der folgende Raumplan zeigt die Anordnung aller Komponenten in der Übersicht:



(Raumplan für das Projekt HILWA – dargestellt sind Versuchsstand, PC-Arbeitsplatz für die SPS-Programmierung, steuerbare Webcam sowie die PC-Arbeitsplätze für den Zugriff auf HILWA)

7.2.3 Zielgruppe und Zeitumfang der Untersuchung

Aus den zuvor beschriebenen Berufsgruppen wurden 8 Probanden (Auszubildende der Walther-Lehmkuhl-Schule - Berufliche Schulen der Stadt Neumünster bzw. Auszubildende der Beruflichen Schule in Gaarden - Kiel) für die Untersuchung in zwei Gruppen aufgeteilt; Kriterium der Zuordnung war die Verteilung der Berufsgruppen auf beide Untersuchungsgruppen sowie die zeitliche Verfügbarkeit der Probanden.

Die folgenden Tabellen zeigen als Übersicht die Zusammensetzung der beiden Untersuchungsgruppen:

Gruppe 1 (N=4)		
Anzahl	Ausbildungsberuf	Ausbildungsjahr
1	Mechatroniker	Ende 3. Ausbildungsjahr
1	IT-Systemelektroniker (Fachrichtung Systemintegration)	Ende 2. Ausbildungsjahr
2	Fachinformatiker/innen	Ende 2. Ausbildungsjahr
<i>Altersdurchschnitt der Probanden der Gruppe: 21 Jahre</i>		

Gruppe 2 (N=4)		
Anzahl	Ausbildungsberuf	Ausbildungsjahr
2	Mechatroniker	Ende 3. Ausbildungsjahr
1	IT-Systemelektroniker (Fachrichtung Systemintegration)	Ende 2. Ausbildungsjahr
1	Fachinformatiker	Ende 2. Ausbildungsjahr
<i>Altersdurchschnitt der Probanden der Gruppe: 21,7 Jahre</i>		

Zu Beginn der Untersuchung wurde für die Auszubildenden und die zuständigen Fachlehrer der Berufsschule ein Informationstermin veranstaltet, in dem der Versuchsstand sowie die Arbeit mit HILWA vorgestellt wurden.

In der Folge wurde dann mit dem informellen Vorfragebogen (siehe Anhang) der für die Untersuchung spezifische Kenntnisstand bezüglich der Schwerpunkte der Untersuchung, bezogen auf die Berufsgruppen sowie die Einstellungen und Kompetenzen der allgemeinen Computernutzung, ermittelt.

Für beide Versuchsgruppen wurden dann 4 Termine á mindestens 3 Stunden geplant und durchgeführt; jeder Termin fand jeweils ab 16h statt, nur auf Wunsch der Gruppe wurden Termine über 19h hinaus durchgeführt. Die beiden Gruppen haben nacheinander jeweils an den aufeinander folgenden Tagen Dienstag, Donnerstag, Freitag und Montag die Termine realisiert.

Am ersten Termin wurde jeweils die Problemstellung vorgestellt und ggf. Fragen dazu erläutert. Anschließend wurden die beiden Gruppen jeweils aufgefordert, die weitere Planung sowie Verteilung der Arbeiten selbständig in der Gruppe zu realisieren.

Während der Termine waren zwei Beobachter anwesend, die für die Probanden für außerplanmäßige Schwierigkeiten bei der Bedienung der Software der PC-Arbeitsplätze oder dem Versuchsstand als Ansprechpartner für die Probanden zur Verfügung standen.

Im Anschluss an jeden Einzeltermin wurde eine Abschlussbesprechung durchgeführt, in der die Probanden den Stand der Bearbeitung der Problemstellung darstellen sollten sowie auf Schwierigkeiten in der Bedienung von HILWA und / oder Software hinweisen sollten.

Am letzten (also jeweils vierten) Termin für jede Gruppe wurden die Probanden jeweils aufgefordert, in einem Online-Fragebogen das Lernsystem HILWA unter Zuhilfenahme des ISO-NORM Fragebogens⁹ sowie auch das Projekt HILWA mit einem zusätzlichen Online Fragebogen insgesamt zu beurteilen (siehe Anhang).

Zusätzlich wurde ein gemeinsamer Abschlusstermin für beide Gruppen durchgeführt, in welchem sich die Gruppen über ihre Vorgehensweise bei der Bearbeitung der Problemstellungen sowie Problemlösungen austauschen sollten. Hierbei wurden dann auch die Ergebnisse des ISONORM-Fragebogens präsentiert und mit den Probanden besprochen.

⁹ Vorlage siehe Internet, URL: <http://www.sozialnetz-hessen.de/ergo-online/Software/ISO-Norm.htm>, Stand 31.08.1999

7.3 Ergebnisse der Untersuchung

7.3.1 Ergebnisse des informellen Vorfragebogens

Hauptfunktion des informellen Vorfragebogens war die Ermittlung des spezifischen Kenntnisstands bezüglich der Schwerpunkte der Untersuchung (s. o.) sowie bezogen auf die Berufsgruppen, außerdem die Einstellungen, Nutzungsgewohnheiten und Kompetenzeinschätzung der eigenen Computernutzung der Probanden.

Die Auswertung der Ergebnisse des informellen Vorfragebogens (siehe Anhang) liegt allgemein im Erwartungshorizont - die IT-Berufsgruppe zeichnet sich durch eine vergleichsweise zeitlich umfangreichere Computernutzung, einen vergleichsweise umfangreicheren Kenntnisstand sowie einer tendenziell positiveren Einschätzung der Computernutzung aus.

Bezogen auf speicherprogrammierbare Steuerungen sind bei der IT-Berufsgruppe keine Kenntnisse voranzusetzen; bei den Mechatronikern ist von grundlegenden Kenntnissen bezüglich SPSen auszugehen.

Bedingt durch die kleine Stichprobe (N=19) kann dieses Ergebnis allerdings nur stark relativierend betrachtet werden, eine Verallgemeinerung ist über die Untersuchung ebenso wenig angestrebt, wie sie zulässig erscheint.

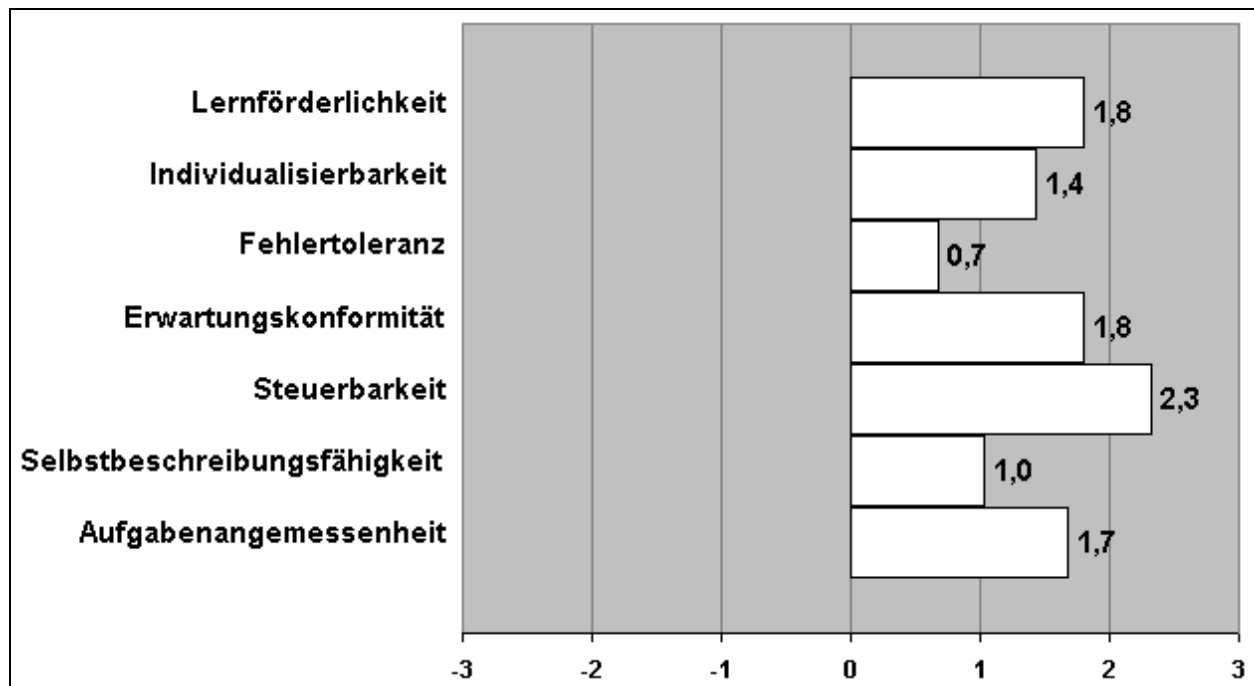
Die Ergebnisse des informellen Vorfragebogens wurden dann zum einen herangezogen, um die spezifischen konstruktionsmethodischen Problemstellungen (siehe Anhang) zu definieren – außerdem wurden die Inhalte von HILWA im Vorfeld der Untersuchung, bezogen auf die Ergebnisse des informellen Vorfragebogens, nochmals durchgesehen und im Einzelfall im Niveau angepasst bzw. es wurden inhaltliche Ergänzungen vorgenommen.

Ebenfalls können die für die Entwicklung (s. Kapitel 7.2.1) von HILWA zugrunde gelegten Nutzerkompetenzen bezüglich Computer- bzw. Internetnutzung als in den Untersuchungsgruppen gegeben angenommen werden.

7.3.2 Ergebnisse des ISONORM Fragebogens

Funktion des Untersuchungsinstrumentes Fragebogen war die Einschätzung des Gebrauchswertes des HILWA-Prototypen mit Hilfe des standardisierten ISONORM Fragebogens (s. Kapitel 6.3). Hiefür wurde eine Adaption des Online Fragebogens (RICHTER 1999¹⁰) verwendet (Fragebogen und Ergebnisse siehe Anhang – die Adaption bezieht sich nur auf die Präsentationsart sowie die jeweiligen „Targets“ der Formulare, die die eingegebenen Daten verarbeiten).

Die zusammengefassten Ergebnisse zu den Teilbereichen (nach DIN EN ISO 9241 Teil 10 – siehe Kapitel 6.3) zeigt das folgende Diagramm (Durchschnittswerte über alle Probanden):



In der von -3 bis +3 reichenden Skala werden die Steuerbarkeit, Lernförderlichkeit und Erwartungskonformität (nach DIN EN ISO 9241 Teil 10 – siehe Kapitel 6.3) am positivsten bewertet; Fehlertoleranz und Selbstbeschreibungsfähigkeit schneiden vergleichsweise weniger positiv ab. Die Benutzerkommentare (siehe Tabelle im Anhang), die von den Probanden abgegeben wurden, liefern ein einheitlich positives Bild. Sie beinhalten außerdem Anhaltspunkte für Optimierungsmaßnahmen (diese wurden in der Abschlussbesprechung wieder aufgegriffen).

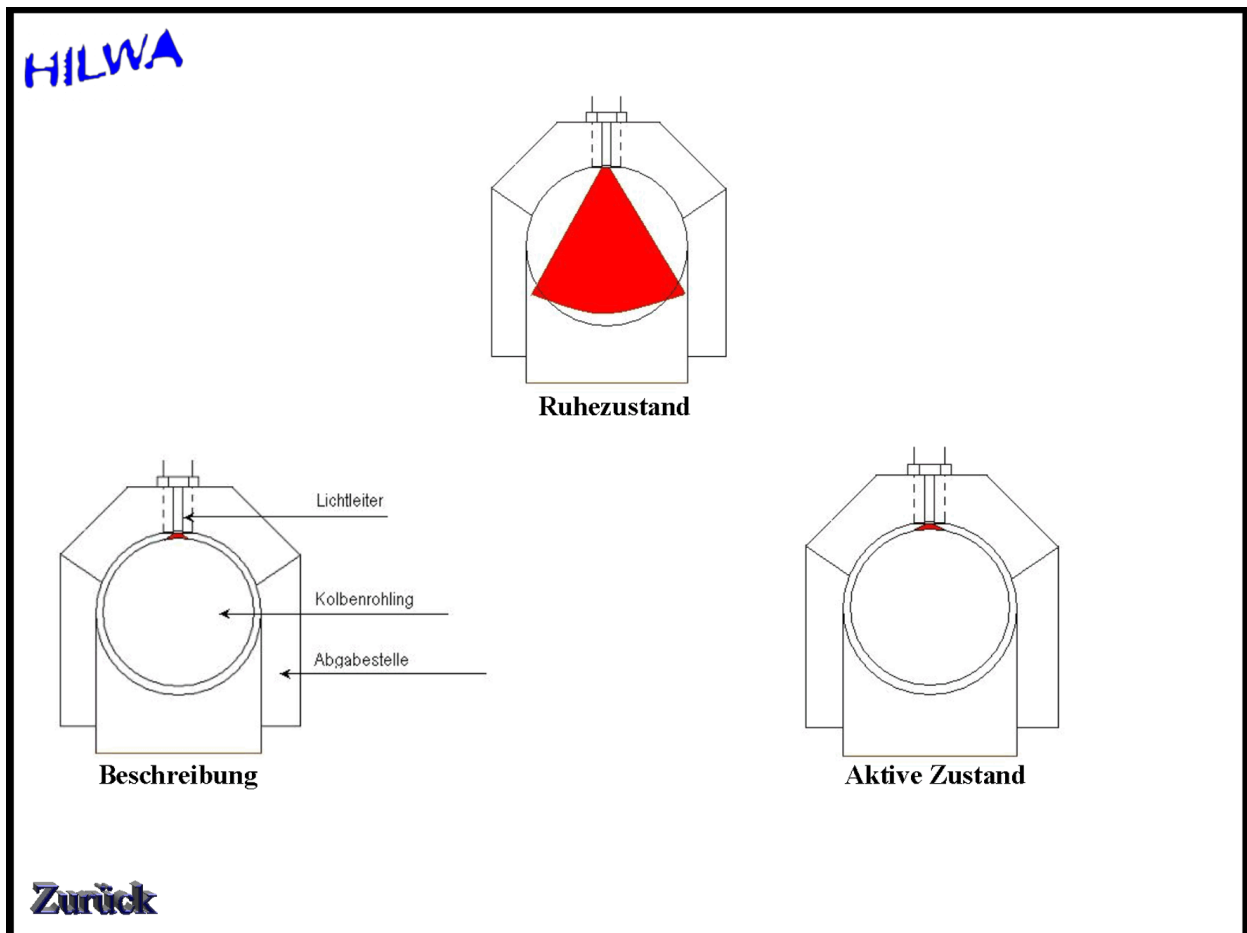
¹⁰ Internet, URL: <http://www.sozialnetz-hessen.de/ergo-online/Software/ISO-Norm.htm> Stand: 31.08.1999

Zusammenfassend wird damit dem HILWA Prototypen ein hoher Gebrauchswert nach den Teilbereichen der ISO 9241 Teil 10 bescheinigt, dies ist bedingt durch die kleine Untersuchungsgruppe (N=8) allerdings nicht zu verallgemeinern.

Bezogen auf den benutzerorientierten Softwareentwicklungsprozess nach DIN EN ISO 13407 kann für die exemplarische Realisierung eines konkreten hypermedialen Lern- und Informationssystems webbasierter Automatisierungslandschaften (den HILWA-Prototypen) unter Nutzung des HILS Frameworks davon ausgegangen werden, dass HILWA die festgelegten Anforderungen an Funktion, Organisation und Benutzerbelange schon gut erfüllt.

7.3.3 Problemlösungen der Untersuchungsgruppen

Beide Gruppen haben bei geringfügig unterschiedlicher Zusammensetzung (bezogen auf die Berufsgruppen) die Problemstellungen motiviert bearbeitet, wobei unterschiedliche Schwerpunktssetzungen und Vorgehensweisen gewählt wurden. Die als lösungsrelevant gekennzeichneten Schwerpunkte wurden von beiden Gruppen realisiert und umgesetzt, d.h. als Ergebnis wurde von beiden Gruppen sowohl der funktionierende Sortierprozess als Video dokumentiert als auch eine HTML-Seite mit funktionierender Anzeige des Zustands der Abgabestelle erstellt (vgl. Problemstellungen im Anhang); dies soll aber hier nicht weiter inhaltlich analysiert werden. Exemplarisch ist unterhalb eine Einzelseite der Powerpoint-Dokumentation (welche von der Gruppe I für die Abgabestelle erstellt wurde) abgebildet.



Unter Berücksichtigung des dafür von den Gruppen jeweils benötigten Zeitumfangs, können die Problemlösungen als effizient erarbeitet bewertet werden. Insgesamt kann damit auf Basis der Erfahrungswerte für technische Vermittlungsprozesse am Institut für Technik und ihre Didaktik für beide Gruppen das Ergebnis als sehr gut bis ausgezeichnet eingeordnet werden.

7.3.4 Ergebnisse des Abschluss-Fragebogens

In dem informellen Abschluss-Fragebogen zum Gesamtprojekt sollten die Probanden globale Einschätzungen vornehmen – dies sollte als zusätzliches Meinungsprofil das Bild komplettieren und gegebenenfalls Hinweise bzw. Anhaltspunkte für die Optimierung liefern.

Die Beurteilung des eigenen erreichten Ergebnisses liegt im Durchschnitt aller Probanden (N=8) im positiven Bereich (Durchschnittswert von 0,38; Skala von +2 bis -2); die Beurteilung der Problemstellungen bei einem mittleren bis leichten Schwierigkeitsgrad (Durchschnittswert 0,25; Skala von +2 bis -2).

Die Arbeit am Versuchsstand wird von vier Probanden (die am Versuchsstand gearbeitet haben) als positiv eingeschätzt (Durchschnittswert 0,75; Skala von +2 bis -2), ebenso die an den Arbeitsplatz-PCs von sieben Probanden genutzte zusätzliche Software (Durchschnittswert 0,43; Skala von +2 bis -2).

Die von HILWA angebotenen Eigenschaften werden im Durchschnitt der Probanden (N=8) bis auf „Lernweg“ (neutrale Einschätzung) als „wichtig“ bis „sehr wichtig“ eingeschätzt (Durchschnittswerte 0,2 bis 1,6; Skala von +2 bis -2).

Die Frage, ob auch andere Inhalte mit HILWA gelernt werden sollten, wird eindeutig bejaht (100% der Probanden stimmten mit „Ja“) – auch ein Zugriff auf HILWA von zu Hause aus wäre von den Probanden begrüßt worden (87% stimmten mit „Ja“).

Im Vergleich mit herkömmlichem Unterricht in Schule bzw. Berufsschule werden von den Probanden die Punkte „selbstbestimmte Reihenfolge und Tempo des Lernens“, „Flexible Zeitaufteilung“, „Kopplung der Darstellungsformen“ und „Motivation beim Lernen“ als klar besser bewertet, die Punkte „Übersichtlichkeit des Lerngegenstandes“, „Effektivität des Lernens“ als tendenziell besser und die Punkte „Kontakt zum Lehrer“ sowie „Berücksichtigung von Vorwissen“ als vergleichbar eingeschätzt.

Zusammenfassend liefert der Abschluss-Fragebogen ein eindeutig positives Bild –auch bezogen auf die von HILWA angebotenen Eigenschaften-, er belegt außerdem eine hohe Motivation der Probanden. Insgesamt stützen die Ergebnisse des informellen Abschluss-Fragebogens damit die positive Beurteilung der Ergebnisse aus dem ISONORM Fragebogen; auch hier muss allerdings auf die kleine Stichprobe und die damit nicht zu leistende Verallgemeinerung der Ergebnisse hingewiesen werden.

7.3.5 Lernweganalyse

Die Analyse der unterschiedlichen Lernwege der Probanden (vgl. Funktionsmodule Reporting des HILS Frameworks, Kapitel 6.2) belegen, dass HILWA unterschiedlich und flexibel genutzt wurde. Exemplarisch sind dafür im Anhang (quasi als Extrempositionen) zwei Lernwege gegenübergestellt (sie stellen die jeweils erste Lernsitzung zweier unterschiedlicher Mechatroniker dar).

Durch die kleine Gesamtstichprobe können die Lernwege allerdings über den Beleg der flexiblen Nutzung hinaus nicht für weitergehende Analysen und Interpretationen herangezogen werden.

7.3.6 Ergebnisse der Abschlussbesprechungen

Die jeweils zum Ende der Termine mit den Gruppen durchgeführten Gesprächs- und Diskussionsrunden zeigten eine motivierte Arbeitshaltung der Probanden – auf Wunsch der Gruppen wurden jeweils einzelne Termine auch über den geplanten Zeitraum von drei Stunden hinaus verlängert. Ebenfalls wurden ein großes Interesse sowie ein kritischer Umgang mit HILWA und der Themenstellung der Problemstellungen deutlich.

Die Zusammenarbeit der unterschiedlichen Berufsgruppen gestaltete sich von Beginn an (bei beiden Gruppen) als unproblematisch, wie auch die jeweilige Verteilung von Aufgabenstellungen innerhalb der Gruppe.

Insgesamt wurde von den Probanden durch verschiedene Aussagen ein sehr positives Bild von HILWA gezeichnet. Als zentrale Ansatzpunkte für Optimierungsmaßnahmen von HILWA wurden bei den Gesprächs- und Diskussionsrunden mit den Probanden zwei Punkte deutlich:

1. Die Volltextsuche liefert bei bestimmten Suchbegriffen oder auch bei der Verwendung von sehr kurzen, allgemeinen Suchworten eine vergleichsweise große Treffermenge.
2. Beim Löschen von Textmarkern, Notizen oder Lesezeichen gibt es keine Möglichkeit, diesen Vorgang rückgängig zu machen (im Sinne einer „Undo“ - Funktion)

Diese beiden Punkte sowie mögliche Optimierungsmaßnahmen wurden im Rahmen der Abschlussbesprechung mit beiden Gruppen im Zusammenhang mit der Darstellung der Ergebnisse

des ISONORM-Fragebogens diskutiert. Hierbei wurde durch Aussagen der Probanden auf einen Zusammenhang zwischen dem (vergleichsweise schlechteren) Ergebnis für den Teilbereich „Fehlertoleranz“ und dem oben angeführten Punkt 2 hingewiesen.

Auf sehr positive Resonanz bei den Probanden stießen dabei folgende Optimierungsvorschläge:

Bezogen auf den Punkt 1:

- Die Treffermenge soll zusätzlich als Anzahl (von Seiten) in dem PopUp der Suchergebnisse mit dargestellt werden;
- Für die Volltext-Suchfunktion werden Boolesche Operatoren (und/oder) für die Verknüpfung von Suchbegriffen vorgesehen;
- Analog zu bekannten Internet-Suchmaschinen soll ermöglicht werden, dass Suchbegriffen ein „+“ bzw. „-“ vorangestellt wird, um Prioritäten setzen zu können;
- Alle in HILWA angebotenen Medien (Bild, Video etc.) sollen mit Schlüsselworten in der Datenbank indexiert und damit auch der textbezogenen Suche besser zugänglich gemacht werden.

Bezogen auf den Punkt 2:

- Es soll eine Sicherheitsstufe für den Löschvorgang erstellt werden (In der Form: „Wollen Sie X wirklich löschen?“), die optional vom Nutzer abgeschaltet werden kann;
- Es soll eine „Undo“ und „Redo“ Funktionalität in HILWA integriert werden (in welchem Umfang bzw. mit welcher Anzahl von Schritten ist dabei noch zu klären).

8 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, einen Beitrag zur Optimierung konstruktionsmethodischer Lernmuster im Rahmen von technischen Vermittlungsprozessen unter Nutzung hypermedialer Lernsysteme zu leisten.

Hierfür wurden relevante Grundlagen aus den Bereichen der Technikwissenschaften, Psychologie und der Softwareentwicklung aufgearbeitet, um sie für die Entwicklung eines hypermedialen Lernmanagementsystems nutzbar zu machen.

Als ein wesentliches Ergebnis konnte mit dem HILS Framework eine neuartige und inhaltsunabhängige Lernerarchitektur vorgelegt werden, welche unter klarer Gliederung in Funktionsmodule für die Realisierung konkreter Hypermedialer Informations- Lernmanagementsysteme invariant, also inhaltsneutral, genutzt werden kann.

Im Rahmen einer Akzeptanz- und Optimierungsstudie wurde sodann mit HILWA ein konkretes hypermediales Informations- und Lernsystem mit dem HILS Framework geplant und als Prototyp realisiert. Unter Beachtung eines benutzerorientierten Softwareentwicklungsprozesses konnte damit ein hoher Gebrauchswert dieses Prototypen belegt werden, wobei dieses Ergebnis unter Beachtung der kleinen Stichprobe zu relativieren ist.

Außerdem konnten, bezogen auf die konstruktionsmethodischen Lernmuster, effiziente Problemlösungen der Probanden dokumentiert werden, bei denen die zur Verfügung gestellten Lernwerkzeuge inklusive HILWA motiviert und flexibel genutzt werden konnten.

Als weiteres Ergebnis konnten Ansatzpunkte für die Optimierung von HILWA bestimmt und mit den Probanden diskutiert werden.

Weitere Arbeiten unter Nutzung des HILS Frameworks sind nötig und wünschenswert, vor allem, um Erkenntnisse für andere Anwendungs- und Inhaltsbereiche zu ermitteln.

9 Summary

This dissertation was intended to provide a contribution to optimisation of construction- and design-related learning patterns by utilisation of hypermedial learning systems in teaching processes of technology education.

Therefore relevant and fundamental basics of technology sciences, psychology and software engineering were analysed and utilised for the development of a hypermedial learnmanagement system.

As a considerable result the so-called “HILS-framework”, a novel, content-independent learning architecture was presented. The hils-framework is structured into invariant functional modules which can be used for developing concrete hypermedial information- and learn-management-systems.

In the context of an acceptance- and optimisation-study, the HILS-framework was then used for planning and implementing the so-called “HILWA-prototype” as a precise hypermedial learn- an information-management-system dealing with automation engineering. In compliance with a user-centred software development process a high value in use of the HILWA prototype could be documented, whereas the minor quantity of the sample must be considered.

Referring to the construction- and design-related learning patterns furthermore efficient problem solving of the test persons was documented, also flexible as well as motivated usage of the provided teachware including the HILWA-prototype and a test station of the modular production system by FESTO Didactic, a top ranking entrepreneur of trading in automation technology.

As additional result starting points for an optimisation process of the HILWA prototype could be gained and were discussed with the test users.

Further work under utilisation of the HILS-framework is both necessary and desirable, most notably for acquiring consolidated findings of different application and content areas.

10 Anhang

10.1 Technische Daten zu Hardware und verwendeter Software

GUI-Template-Erstellung:

- Adobe Photoshop 6

Programmierung und HTML-Umsetzung:

- PHPEdit v0.7.1.62
- PHP Dokumentation und Funktionsreferenz unter <http://www.php.net>
- W3C HTML Validator unter <http://validator.w3.org/>
- SELFHTML 8.0
- HTML-Editor Phase5

Datenbankverwaltung und Medienerstellung (Texte)

- phpMyAdmin (s. Server)
- Microsoft Access via ODBC

Medienerstellung und Verwaltung:

- Adobe Photoshop 6
- Adobe Premiere 6
- Irfanview 3.61
- Camtasia 3.0.2

FTP:

- WS-FTP LE

SSH-Client (Serverkonfiguration und Bedienung):

- Putty 0.52

LAMP - Server:

Hardware Server1:

- Pentium IV 1.9 GHz,
- 512 MB RAM
- 3 x 40 GB HD (UDMA)
- 2 x Netzwerkkarte 10/100 MBit

Hardware Server2:

- Dual-Pentium Pro 200 MHz
- 196 MB RAM
- 3 x 4 GB (SCSI)
- Netzwerkkarte 10/100 MBit

Software Server 1 und 2:

- Red Hat Linux 7.2 i386,
- Apache 1.3.22-2
- PHP 4.06
- MySQL 3.23.41
- phpMyAdmin 2.2.4
- ProFTPD 1.2.2rc2
- HTMLDOC 1.8.19
- OpenSSH 3.1

Versuchsstand:

Webcam

- Sony SNT-V304 Video Network Station (Videoserver)
- Sony EVI-D31 (steuerbare AV-Kamera)

SPS-Programmierung


- Siemens SIMATIC STEP 7 Professional (Edition 08/2001)
- Siemens SIMATIC S7 PC ADAPTER V5.1 (zum Anschluss an S7-300/-400, C7, M7; zur Umsetzung RS232 auf RS485)

Festo MPS-Stationen Verteilen, Sortieren

- inkl. Siemens S7-315 CPU
- und CP 343-1 IT

10.2 HILWA GUI-Prototyp

HILWA - Hypermediales Informations- und Lernsystem web-basierter Automatisierungslandschaften - Microsoft Internet Expl...



Content Navigation

Grundlagen der Kommunikation

- grundlegende Begriffe
- Netzwerktopologie
- Klassifikation von Netzwerken
- Zugriffsverfahren
- Client-Server-Konzept
- Verbindungen
- ISO-Referenzmodell
- Kopplung von Bussystemen
- Übertragungssicherheit
- Einordnung der Subnetze

Kommunikationsdienste

Kommunikationsnetze

Kommunikationsfunktionen

- auf S7-300/400
- auf PCs

Aufbau einer SPS

Funktionsweise einer SPS

Programmbearbeitung und Programmierung

Verknüpfungen

Ablaufsteuerungen

Sicherheitsbestimmungen

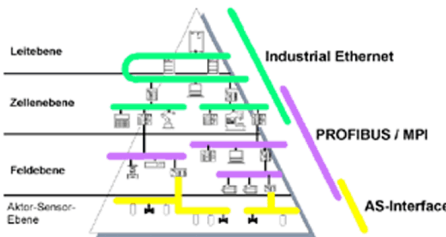
Einordnung der Subnetze

Es existieren vier Automatisierungsebenen um die verschiedenen Anforderungen der Automatisierungslandschaft zu realisieren:

- > Leitebene
- > Zellebene
- > Feldebene
- > Aktor-Sensor-Ebene

Dem gegenüber stehen die von SIMATIC angebotenen Kommunikationsnetze:

- > Industrial Ethernet (IEEE 802-3 und IEEE 802.3u)
- > PROFIBUS (EN 50170) / MPI (Kommunikation zw. CPU, PG/PC,TD/OP)
- > AS-Interface (EN 50295)



In der **Leitebene** werden übergeordnete Aufgaben bearbeitet, die den gesamten Betrieb betreffen (Managementfunktionen). Dazu gehören neben dem Speichern von Prozeßwerten auch optimierende und analysierende Verarbeitungsfunktionen sowie deren Ausgabe in Protokollform. Die dafür erforderlichen Daten werden standortübergreifend gesammelt und verarbeitet. Ebenso kann von der Leitebene aus auf andere Standorte zugegriffen werden.
Die Anzahl der Teilnehmer kann mehr als 1.000 betragen.


User Topics

Pyramide Subnetze

← →

10.3 Informeller Vorfragebogen

Nachfolgend ist beispielhaft der Fragebogen zu Ermittlung des Vorwissens für Mechatroniker angefügt.

	<p>Institut für Technik und ihre Didaktik Prof. Dr. M Burgmer</p> <p>Stephan Raimer Tel. 0431-8801194 Olshausenstraße 75 GSM 0170-5882885 24118 Kiel stu36059@mail.uni-kiel.de</p>
<p>Fragebogen zur Ermittlung des Vorwissens von Mechatronikern (3. Ausbildungsjahr) für das Projekt HILWA</p> <p>Im Projekt HILWA (Hypermediales Informations- und Lernsystem für Weiterbildung und Ausbildung) soll internetbasiertes Lernen mit praktischem Lernen an einem modularen Produktionssystem ausbildungsgerecht verknüpft werden.</p> <p>Dies soll an gemeinsamen Ausbildungsinhalten für Mechatroniker, IT-Systemelektroniker und IT-Fachinformatikern überprüft werden. Damit dies auch praxisnah geschieht, brauchen wir Ihre Mitarbeit.</p> <p>Auf den folgenden Seiten sind daher Fragen zusammengestellt, die zur Ermittlung des Kenntnisanstandes für das Projekt HILWA benötigt werden.</p> <p>Dies wird streng anonym durchgeführt; Noten werden selbstverständlich auch nicht vergeben !</p> <p>Bitte lesen Sie jede Frage sorgfältig durch und beantworten sie so genau wie möglich.</p> <p>Alle Angaben werden streng vertraulich behandelt !!!</p> <p>Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit !</p>	

Fragenkomplex 1: Steuerungen mit SPS

1.1 Welche Tätigkeiten an einer Anlage mit einer Siemens S7-300 haben Sie in Ihrer bisherigen Ausbildung durchgeführt ?

- Inbetriebnahme
- Wartung
- Fehlersuche
- Reparatur
- keine

1.2 Haben Sie außer mit einer S7-300 mit anderen Siemens SPS gearbeitet ?

Wenn ja, mit welchen:

1.3 Beurteilen Sie Ihre Fähigkeiten, mit STEP 7 eine Siemens SPS zu programmieren (KOP, FUP, AWL) :

- keine bis schlechte Fähigkeiten
- geringe Fähigkeiten
- durchschnittliche Fähigkeiten
- gute Fähigkeiten
- sichere Beherrschung
- STEP 7 kenne ich nicht

1.4 Mit welchen Kopplungen einer Siemens SPS sind Sie bisher während Ihrer Ausbildung in Berührung gekommen ?

- AS - Interface
- Profibus
- Ethernet
- weitere Datenkommunikation:

Fragenkomplex 2: *Computer-Nutzung*

2.1 Wie oft haben Sie an den folgenden Orten Zugang zu einem Computer ?

	fast jeden Tag	mehrmals pro Woche	zwischen einmal pro Woche und einmal pro Monat	weniger als einmal im Monat	nie
Zu Hause	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In der Berufsschule	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Im Betrieb	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.2 Wie gut schätzen Sie Ihre Fähigkeiten bei der Erstellung von technischen Dokumentationen (Texterstellung, Grafikbearbeitung) ein ?

- keine bis schlechte Fähigkeiten
- geringe Fähigkeiten
- durchschnittliche Fähigkeiten
- gute Fähigkeiten
- sichere Beherrschung

2.3 Geben Sie Ihre Meinung zu folgenden Aussagen an !

Es ist mir wichtig, am Computer zu arbeiten.

- Ja
- Nein

Ich benutze den Computer, weil mich das Interessiert.

- Ja
- Nein

Ich habe / betreue eine Internet – Homepage

- Ja
- Nein

2.4 Wie oft benutzen Sie :

	fast jeden Tag	mehrmals pro Woche	zwischen einmal pro Woche und einmal pro Monat	weniger als einmal im Monat	nie
Das Internet ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Den Computer zur elektronischen Kommunikation (z.B. E-Mail oder „Chat-Rooms“) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Den Computer als Hilfsmittel zum Lernen für die Schule ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Den Computer am Arbeitsplatz (im Betrieb) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.5 Wie oft benutzen Sie die unten stehenden Softwarearten ?

	fast jeden Tag	mehrmals pro Woche	zwischen einmal pro Woche und einmal pro Monat	weniger als einmal im Monat	nie
Computerspiele ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Textverarbeitung (z.B. Word oder Word Perfect)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tabellenkalkulation (z.B. Excel oder Lotus123)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grafik-, Mal- bzw. Zeichenprogramme?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lernsoftware	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

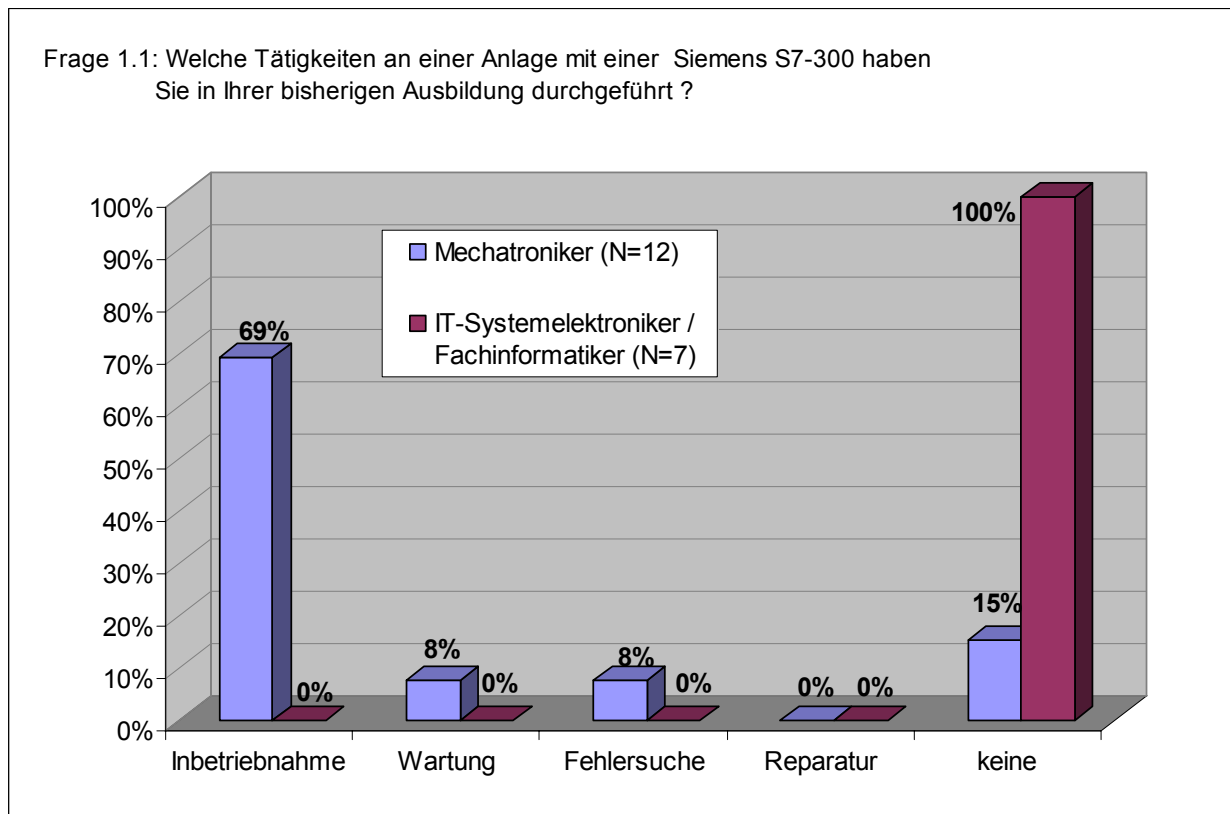
2.5 Wie gut schätzen Sie Ihre Kenntnisse für folgende Internet-Standards ein ?

	sehr gut	gut	einigermaßen gut	überhaupt nicht gut	kenne ich nicht
HTML	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FTP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CSS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CGI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Javascript	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

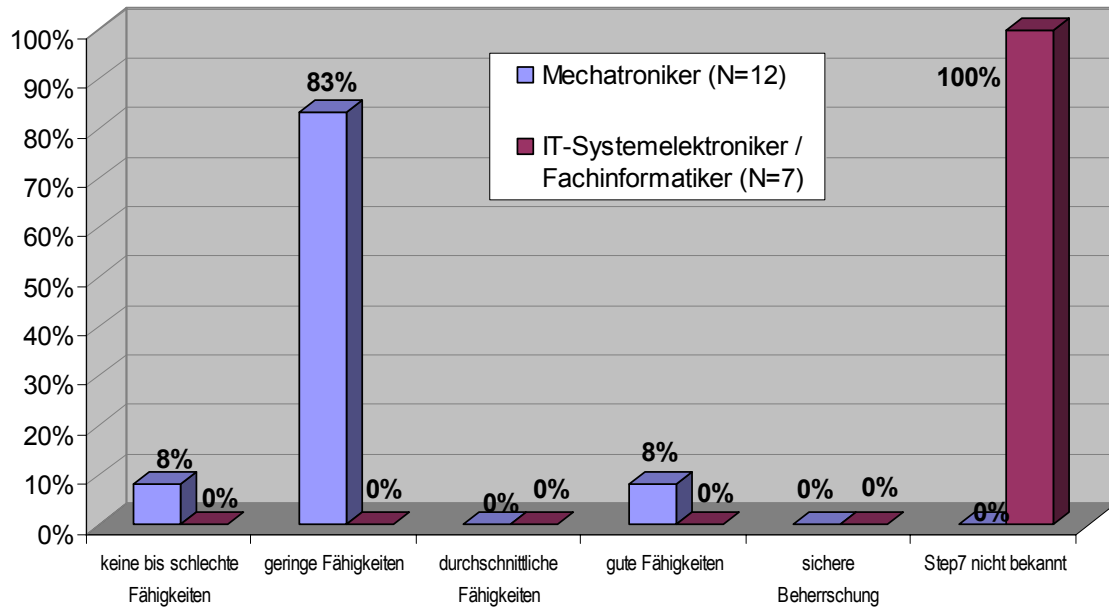
**Vielen Dank für das Ausfüllen
des Fragebogens !**

10.4 Ergebnisse des Fragebogens zur Ermittlung des Vorwissens

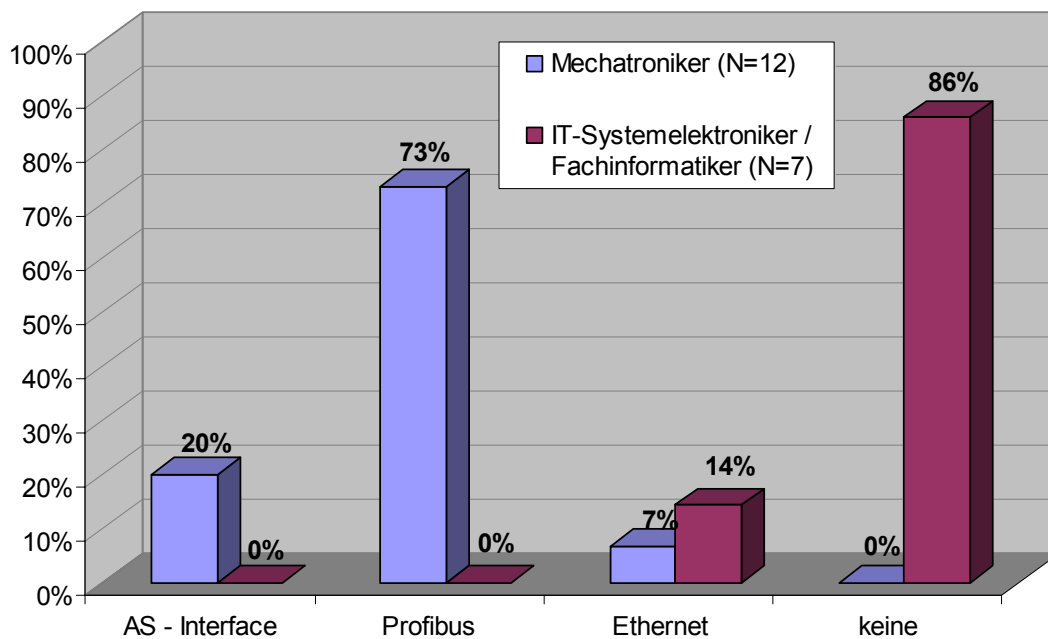
Nachfolgend sind in Diagrammform die Ergebnisse des Fragebogens (siehe vorangestellte Seiten) dargestellt (N=19; darunter sind 12 Mechatroniker jeweils im dritten Ausbildungsjahr und 7 IT-Systemelektroniker bzw. Fachinformatiker, jeweils im 2. Ausbildungsjahr).



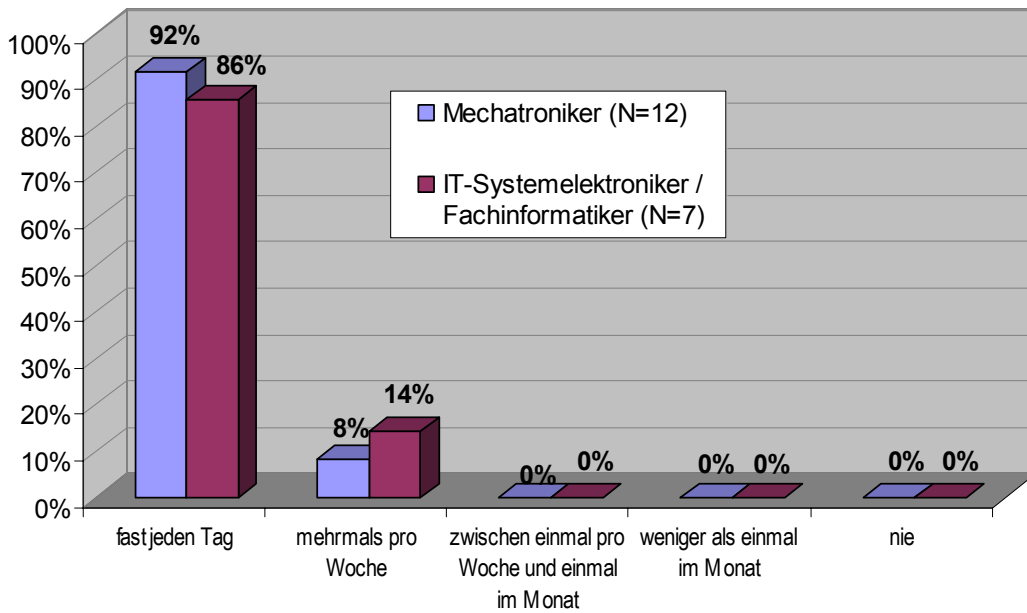
Frage 1.3: Beurteilen Sie Ihre Fähigkeiten, mit STEP7 eine Siemens SPS zu programmieren (KOP, FUP, AWL)



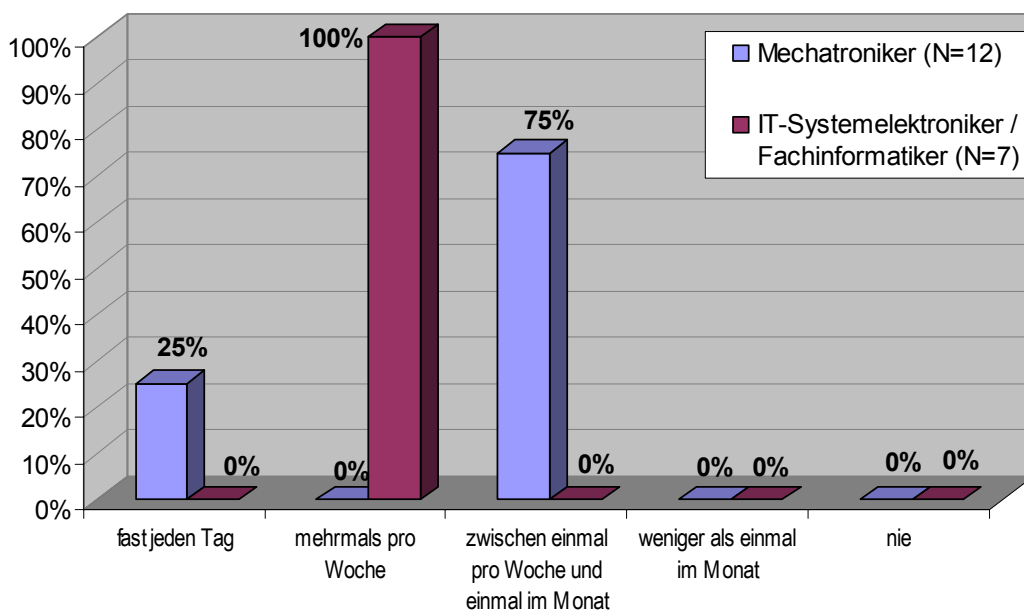
Frage 1.4: Mit welchen Kopplungen einer Siemens SPS sind Sie bisher während Ihrer Ausbildung in Berührung gekommen ?



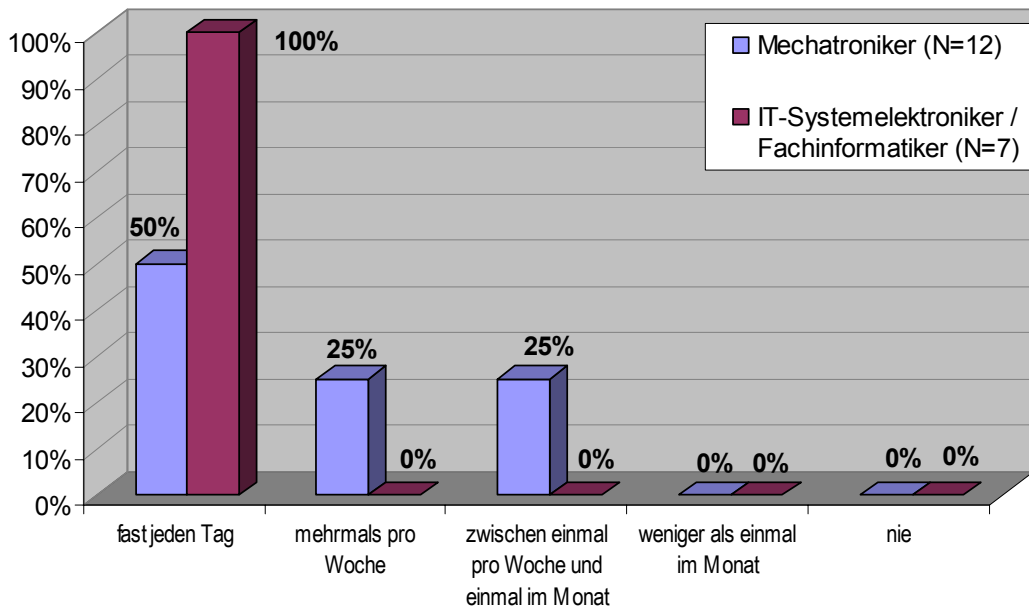
Frage 2.1: Wie oft haben Sie an den folgenden Orten Zugang zu einem Computer ?
 (Anteil Nennungen der Antwort "Zu Hause")



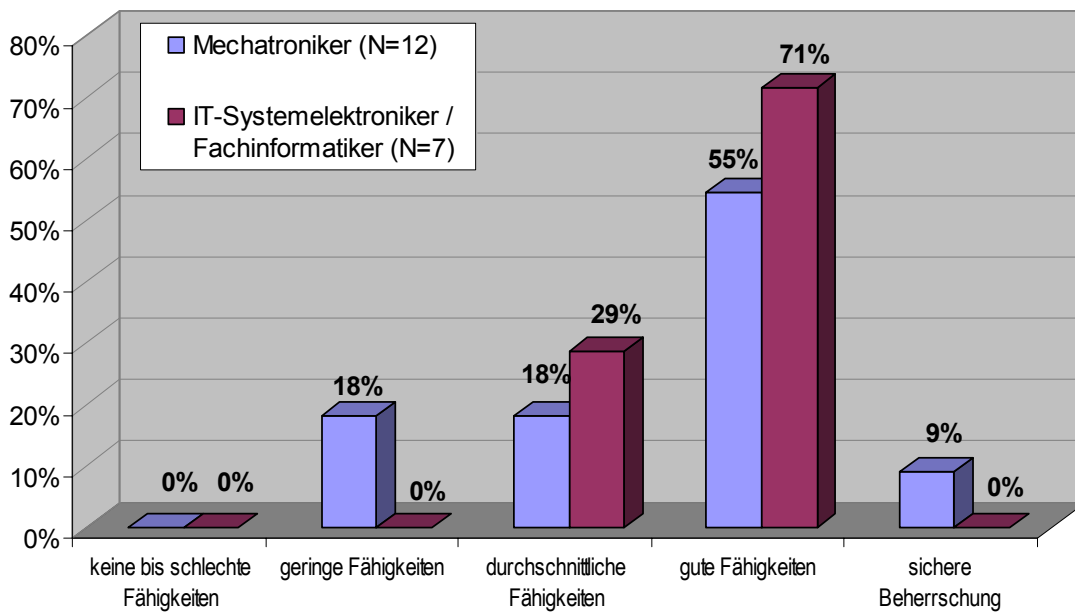
Frage 2.1: Wie oft haben Sie an den folgenden Orten Zugang zu einem Computer ?
 (Anteil Nennungen der Antwort "In der Berufsschule")



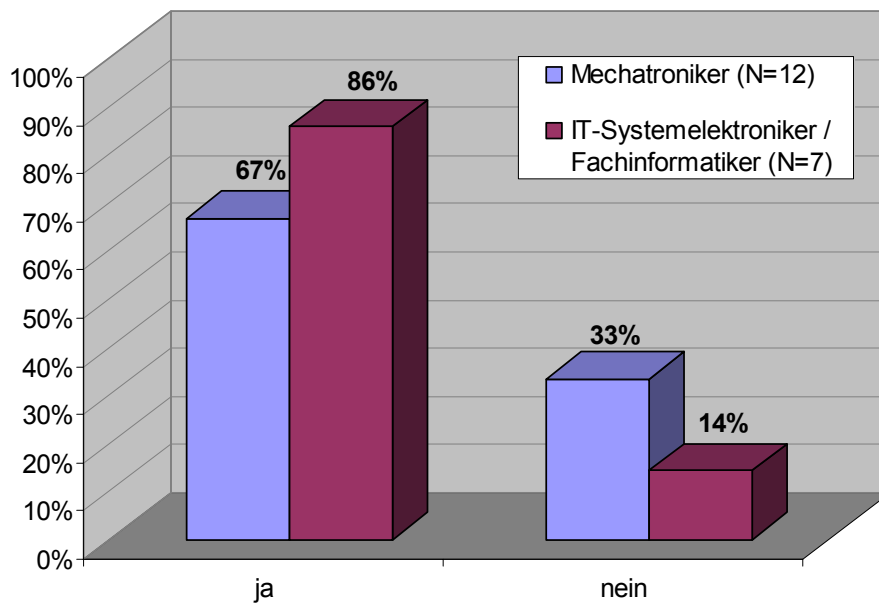
Frage 2.1: Wie oft haben Sie an den folgenden Orten Zugang zu einem Computer ?
(Anteil Nennungen der Antwort "Im Betrieb")



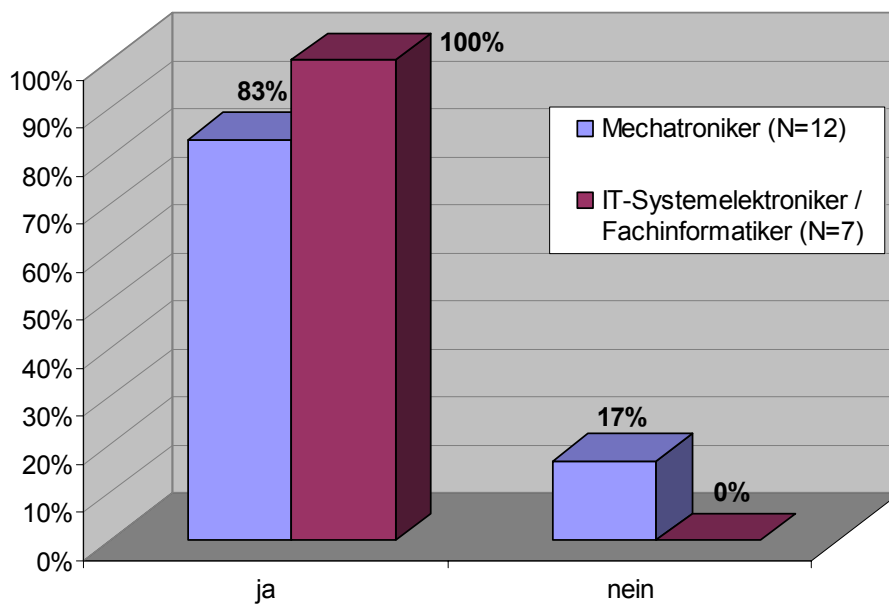
Frage 2.2: Wie gut schätzen Sie Ihre Fähigkeiten bei der Erstellung von technischen Dokumentationen (Texterstellung, Grafikbearbeitung) ein ?



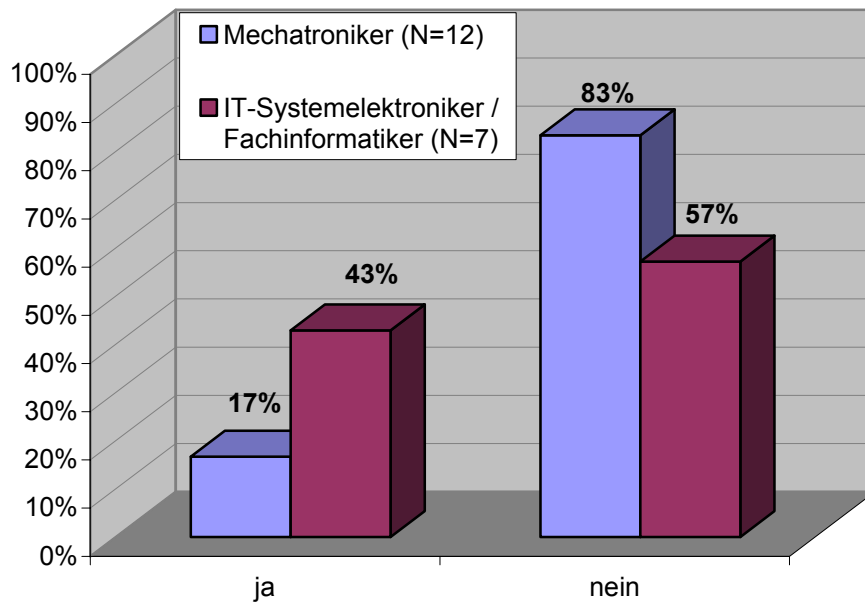
Frage 2.3: Geben Sie Ihre Meinung zu folgenden Aussagen an !
(Anteil Nennungen für "Es ist mir wichtig, am Computer zu arbeiten.")



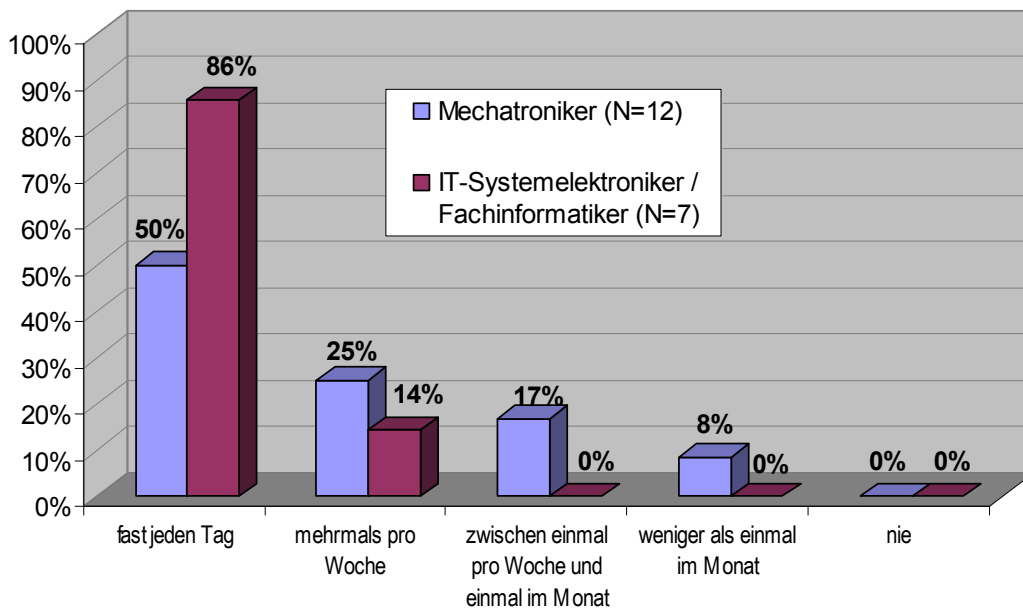
Frage 2.3: Geben Sie Ihre Meinung zu folgenden Aussagen an !
(Anteil Nennungen für "Ich benutze den Computer, weil es mich interessiert.")



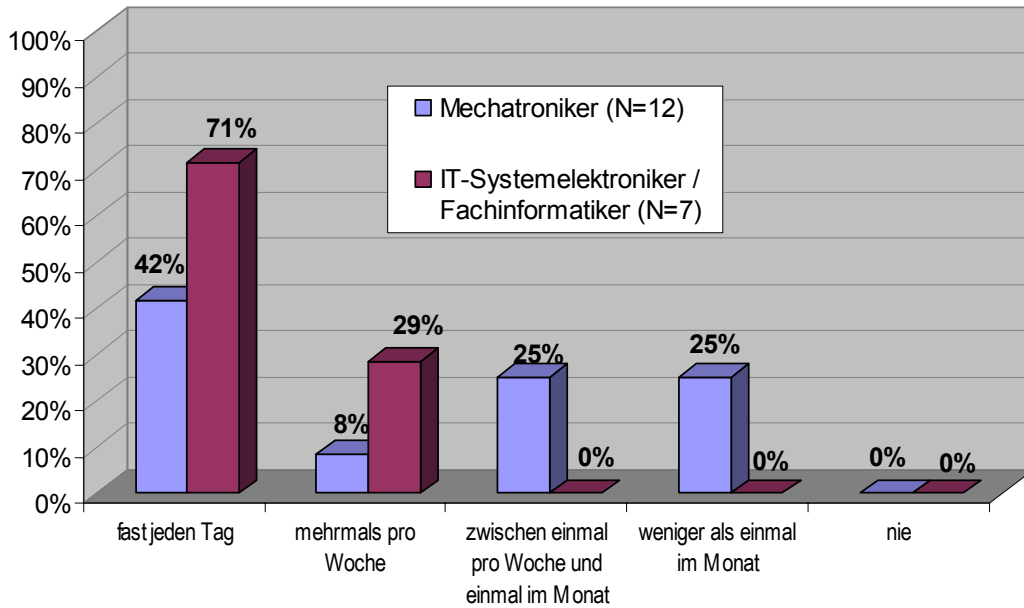
Frage 2.3: Geben Sie Ihre Meinung zu folgenden Aussagen an !
 (Anteil Nennungen für "Ich habe/betreue eine Internet-Homepage.")



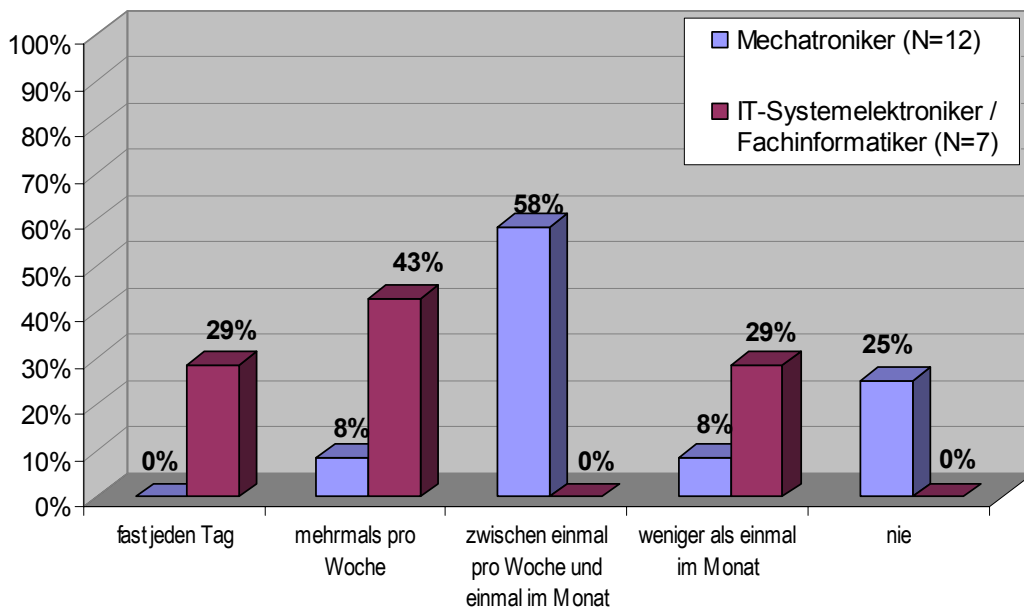
Frage 2.4: Wie oft benutzen Sie: Das Internet ?



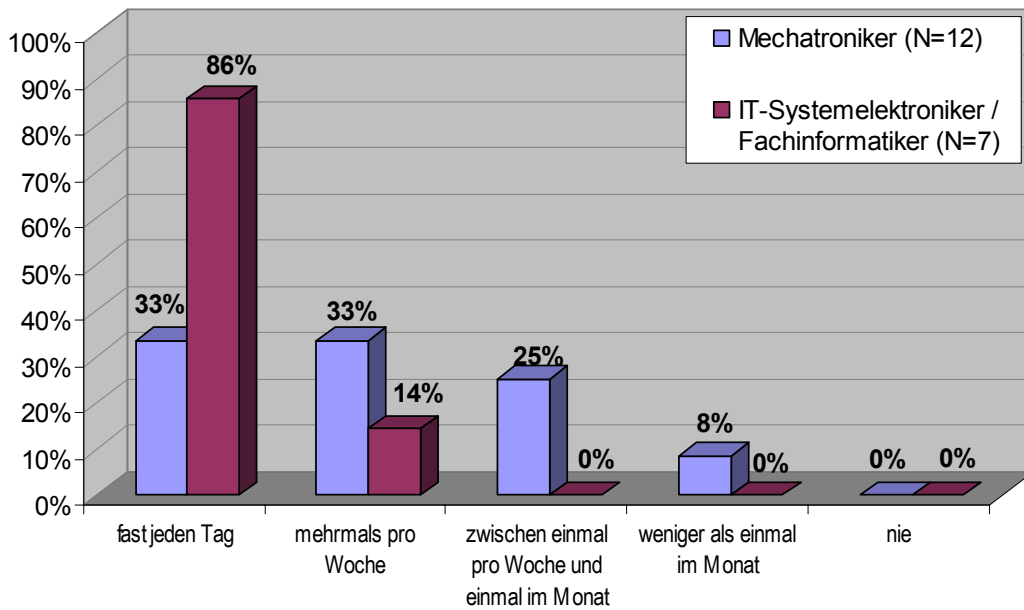
Frage 2.4: Wie oft benutzen Sie: Den Computer zur elektronischen Kommunikation (z.B. E-Mail oder "Chat-Rooms") ?



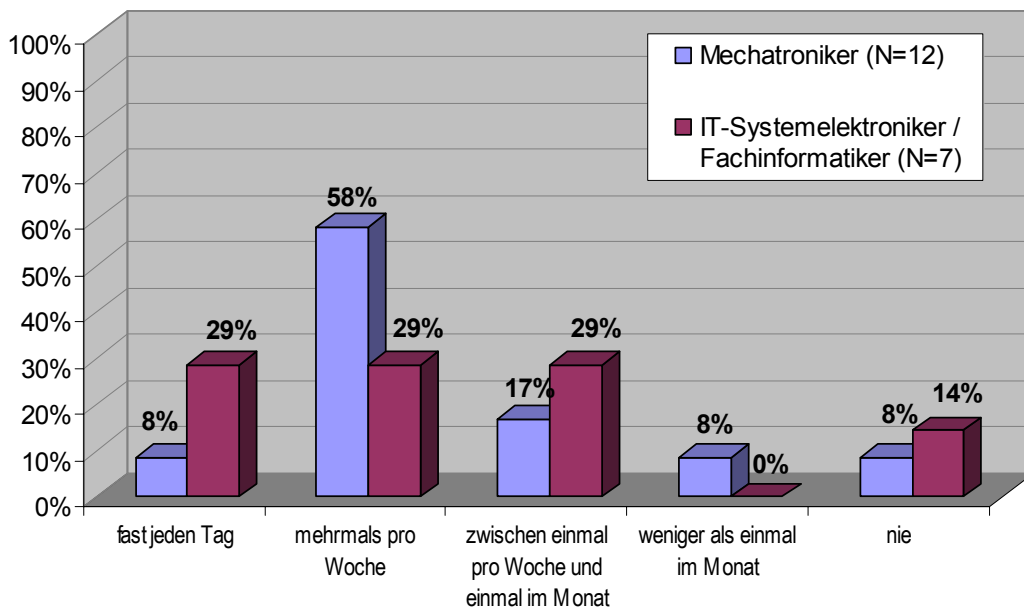
Frage 2.4: Wie oft benutzen Sie: Den Computer als Hilfsmittel zum Lernen für die Schule ?



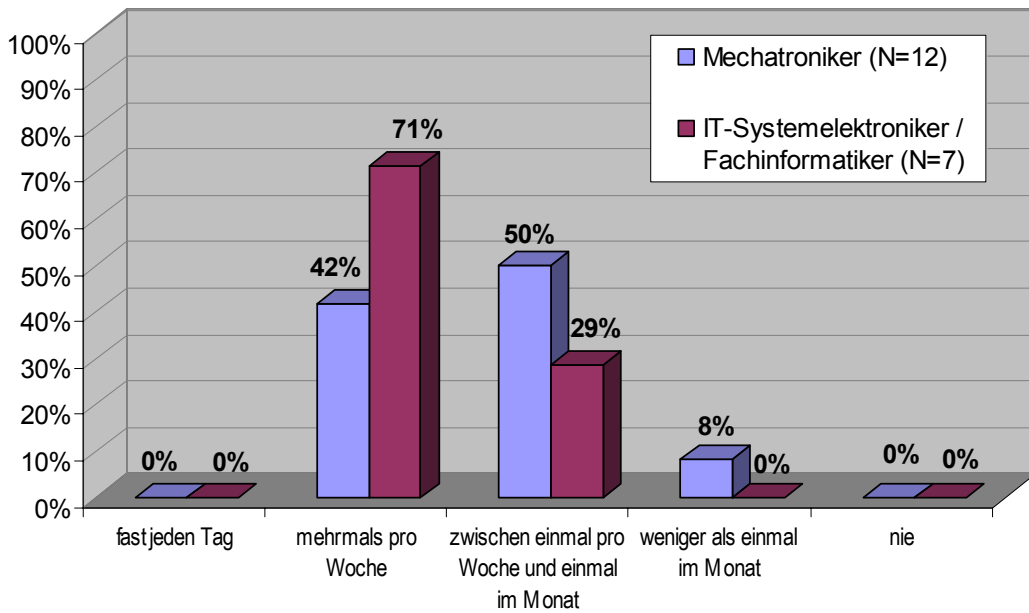
Frage 2.4: Wie oft benutzen Sie: Den Computer am Arbeitsplatz (im Betrieb) ?



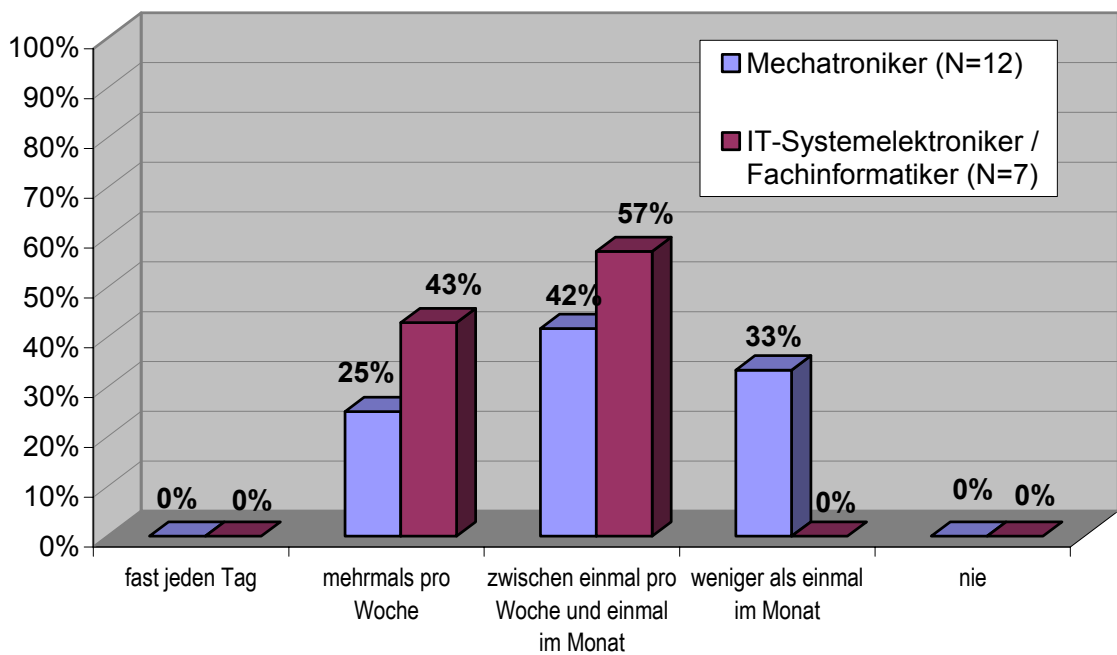
Frage 2.5: Wie oft benutzen Sie die Softwareart "Computerspiele" ?



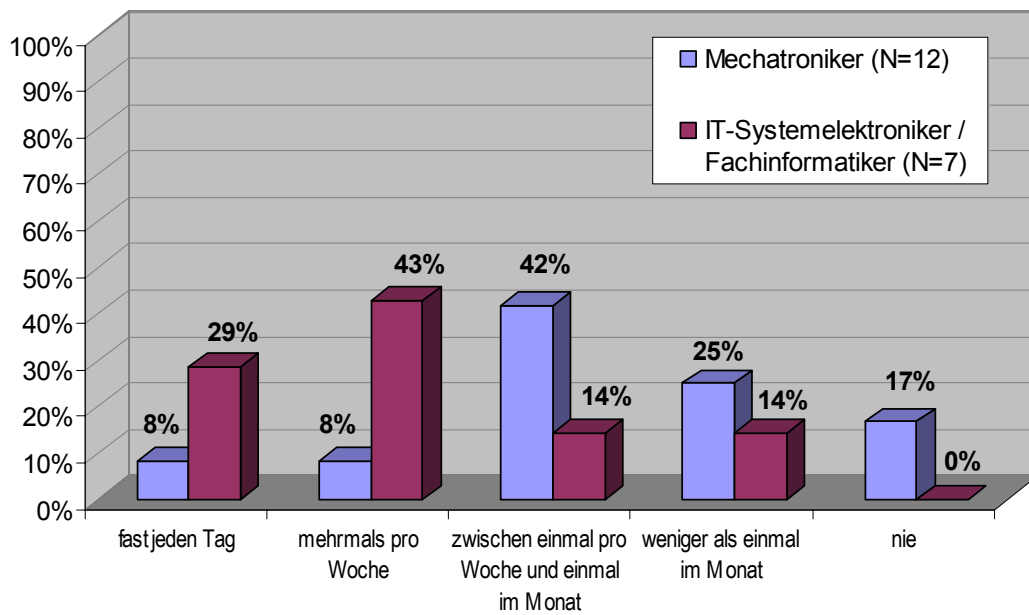
Frage 2.5: Wie oft benutzen Sie die Softwareart "Textverarbeitung (z.B. Word oder Word Perfect)" ?



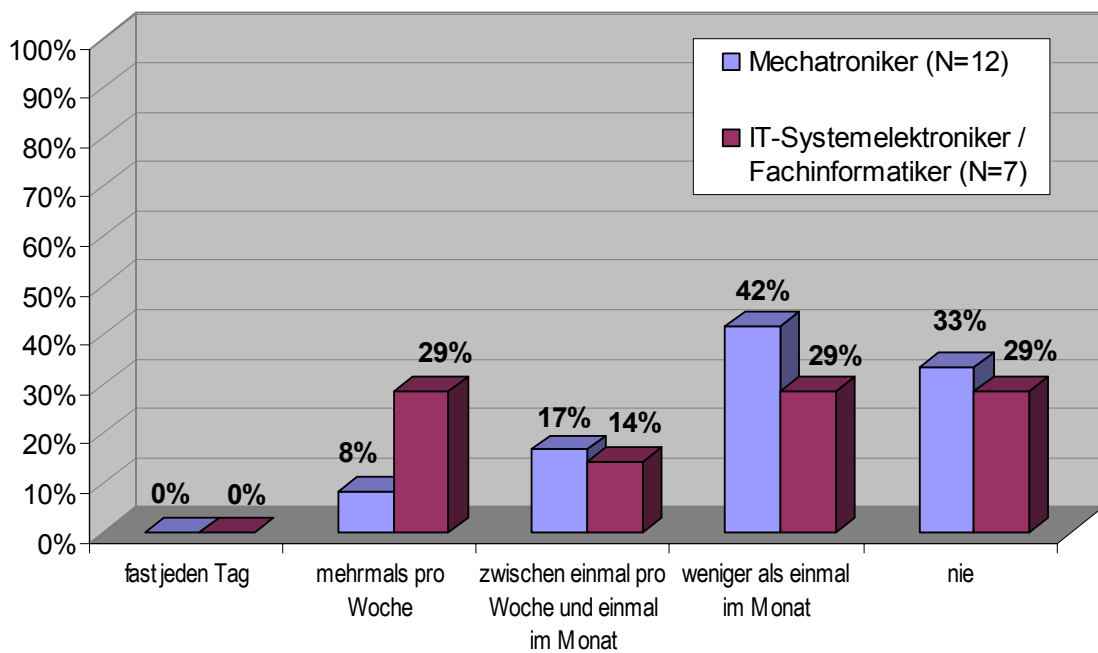
Frage 2.5: Wie oft benutzen Sie die Softwareart "Tabellenkalkulation (z.B. Excel oder Lotus123)" ?



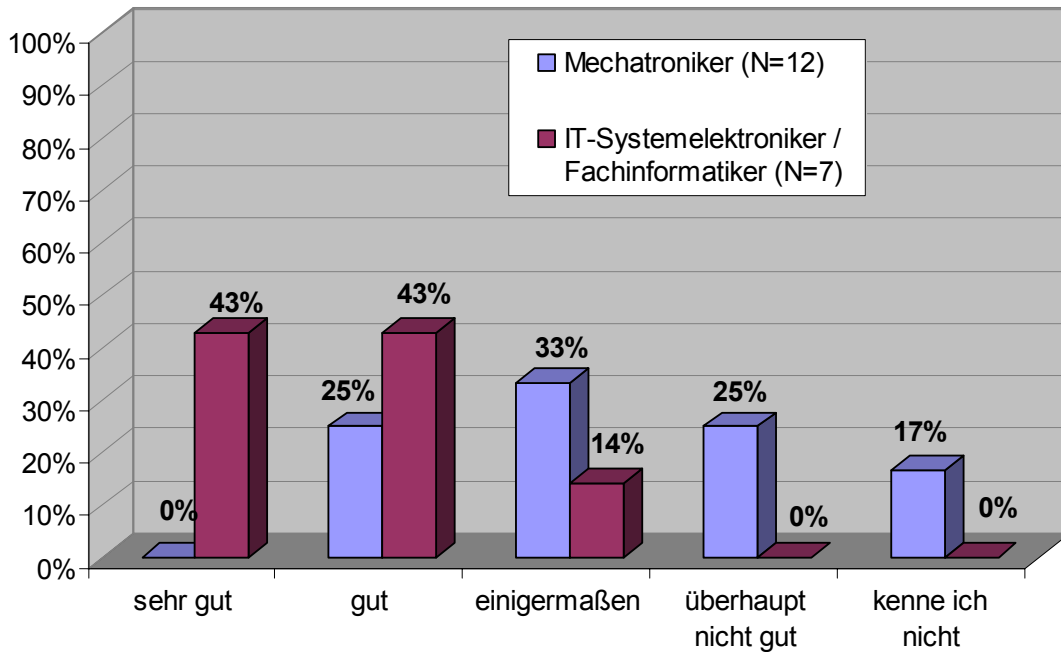
Frage 2.5: Wie oft benutzen Sie die Softwareart "Grafik- Mal- bzw. Zeichenprogramme" ?



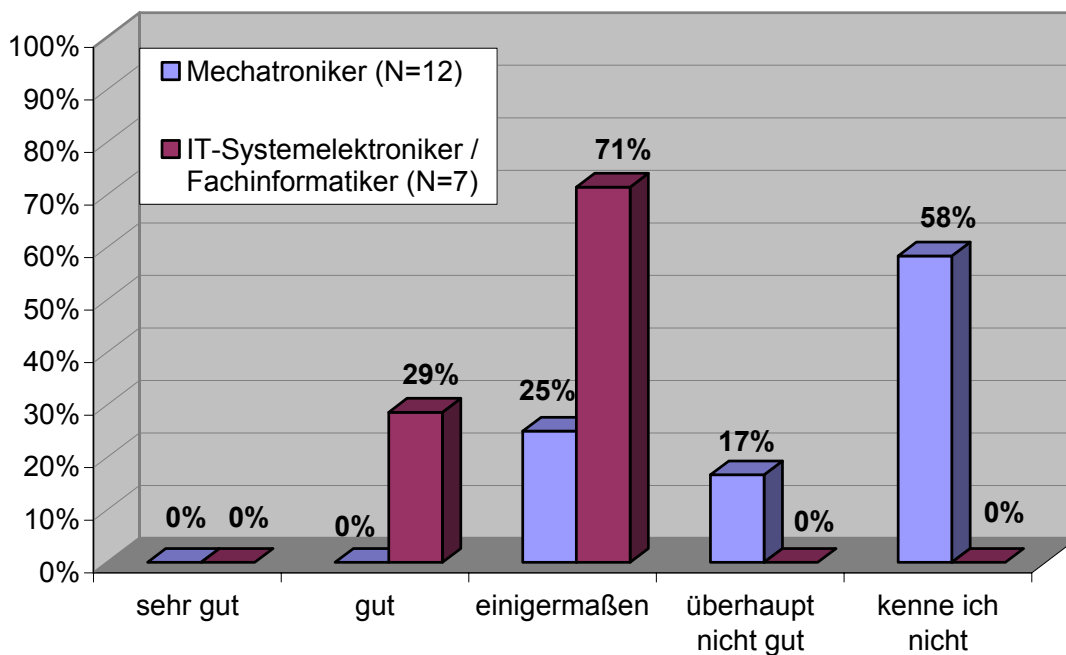
Frage 2.5: Wie oft benutzen Sie die Softwareart "Lernsoftware" ?



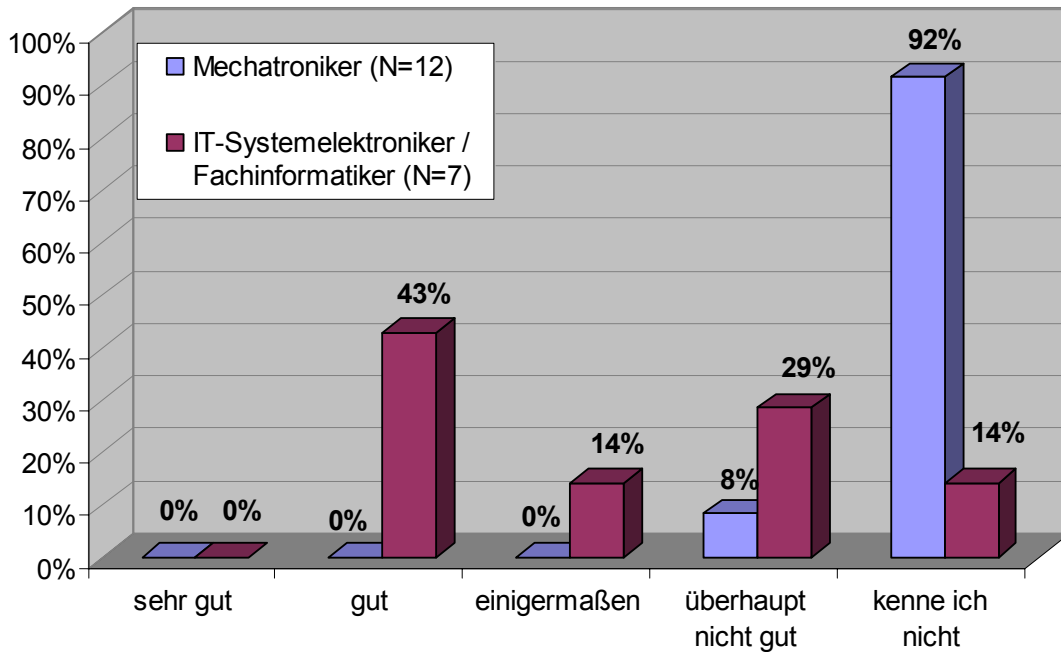
Frage 2.6: Wie gut schätzen Sie Ihre Kenntnisse für folgende Internet-Standards ?
(Anteil Nennungen für "HTML")



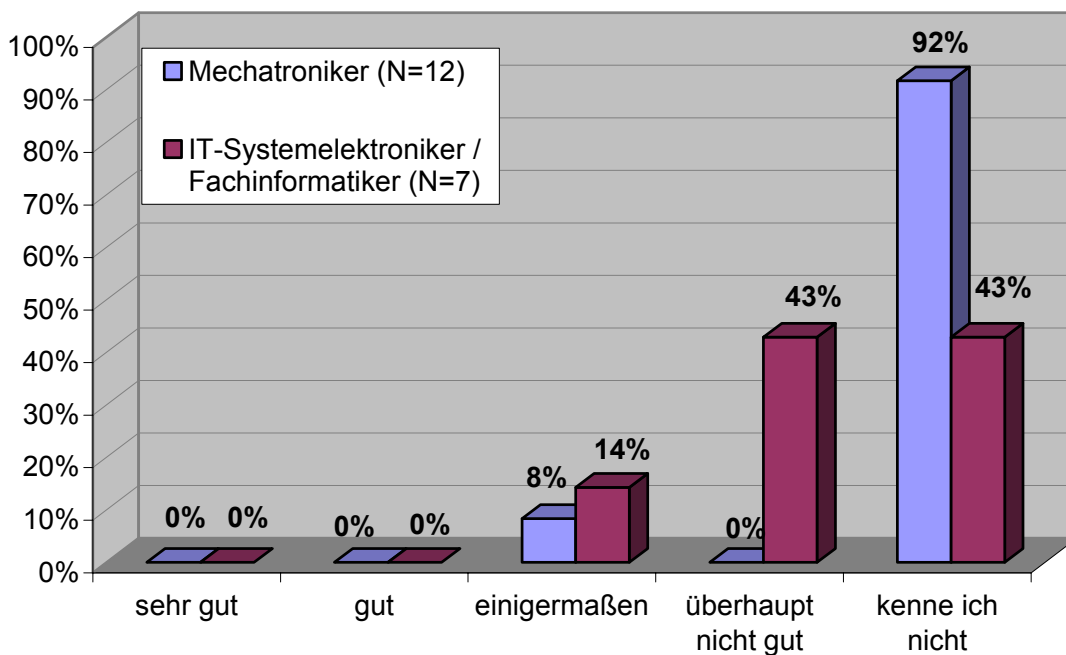
Frage 2.6: Wie gut schätzen Sie Ihre Kenntnisse für folgende Internet-Standards ?
(Anteil Nennungen für "FTP")



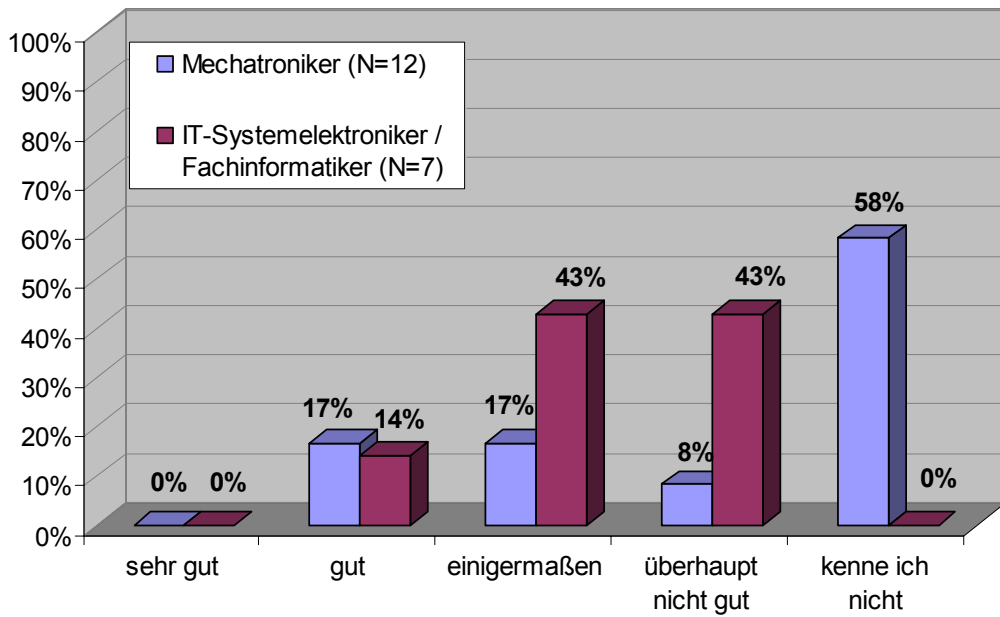
Frage 2.6: Wie gut schätzen Sie Ihre Kenntnisse für folgende Internet-Standards ?
(Anteil Nennungen für "CSS")



Frage 2.6: Wie gut schätzen Sie Ihre Kenntnisse für folgende Internet-Standards ?
(Anteil Nennungen für "CGI")



Frage 2.6: Wie gut schätzen Sie Ihre Kenntnisse für folgende Internet-Standards ?
(Anteil Nennungen für "Javascript")



10.5 HILWA Quellen

Die Inhalte für HILWA wurden durch eigens erstellte Videoaufnahmen, Digitalfotos am Versuchsstand und durch Übernahme von Inhalten aus den folgenden Quellen erstellt bzw. zusammengestellt:

Festo Dokumentation und Medienelemente:

- Flash Animationen zum Aufbau der MPS Stationen (aus Mechatronics Assistant)
- Handbücher zu den Stationen Verteilen, Sortieren (s. Literaturliste)

Siemens Dokumentation (als PDF-Dokumente):

- SIMATIC NET IT-CP
Anleitungen für CP 343-1 IT und CP 443-1 IT
Ausgabe 04 – 12/2001
- Industrielle Kommunikation für die Automatisierung
Übersicht - April 2001

Bücher:

- Gevatter, H.-J. (Hrsg.) (1999) „Handbuch der Meß- und Automatisierungstechnik“
Springer-Verlag, Berlin
- Schmid, H. (u.a.) (Hrsg.) (2000) „Steuern und Regeln für Maschinenbau und Mechatronik“
Europa Lehrmittel Verlag, Haan-Gruiten ,7. Auflage
- Kaftan, J. (2000) „SPS-Grundkurs mit SIMATIC S7“
Vogel Buchverlag, Würzburg, 2. Auflage
- Isermann, R. (1999) „Mechatronische Systeme – Grundlagen“
Springer Verlag, Berlin u. a.

Zeitschriften:

- SPS-Magazin – Zeitschrift für Automatisierungstechnik
15. Jahrgang, Ausgaben 1,3,6 und HMI-Special
14. Jahrgang, Ausgabe 11

Insgesamt wurden über 106 Inhaltsseiten mit ca. 100 Medienelementen für das Lernsystem erzeugt.

10.6 Problemstellungen

Die Nachfolgend dargestellte Problemstellung wurde den Probanden in Form einer Web-Seite präsentiert:

Problemstellungen

Materialflusssituation

In einem Produktionsbetrieb zur Herstellung und Bearbeitung von Kolbenrohlingen (Firma Kolbenmüller GmbH Kiel) soll eine Fördereinheit bestehend aus Transportband mit zwei Weichen, drei Rutschen mit je einer Abgabestelle und einem Einlegegerät mit Greifer nach produktionsbedingtem Umbau wieder in Betrieb genommen werden.

Dabei müssen die Daten für die Spielzeiten, die Stromstärke und den Durchsatz der Fördereinheit wie auch Störungsmeldungen permanent erfasst und zeitnah dem Produktionsleitstand und den Abteilungen Arbeitsvorbereitung sowie Produktplanung (Konstruktion) auf vorgegebenen Masken über das firmeneigene Intranet übermittelt werden. Die Abteilungen Einkauf und Kalkulation erhalten lediglich die Durchsatzdaten.

Darüber hinaus sind alle genannten Daten sowie der optische Zustand der Förderanlage wegen der Gewährleistungen dem Systemhersteller der Fördereinheit, der Firma Schnellband GmbH, Stuttgart, ebenfalls zeitnah zu übermitteln.

Zusätzlich sollen ausgewählte Daten und Videobilder nach Vorgabe des Ausbildungsleiters der Fa. Schnellband für die firmeninterne Aus- und Weiterbildung aufbereitet werden.

Inbetriebnahmephase I (Bandanlauf / Bandabschaltung)

(Programmierung auf vorhandener Sortier-SPS, S-SPS, vornehmen.)

- 1.1 Transportband, TB, an der Aufgabestelle mit optischem Sensor bestücken (Bandanlaufsensor, BANS);
 - 1.2 Rutsche mit Bandabschaltensor BABS bestücken;
 - 1.3 BANS aktivieren: TB muss anlaufen;
 - 1.4 BABS aktivieren: TB muss anhalten;
 - 1.5 Alle auf der Aufgabestelle aufgelegten Kolbenrohling müssen auf Rutsche 3 gefördert werden;
-

Inbetriebnahmephase 2 (Aktivierung Abgabestellensensor 3)

(Programmierung auf vorhandener Sortier-SPS, S-SPS, vornehmen.)

2.1 Abgabestelle Rutsche 3 mit optischem Sensor bestücken (Abgabestellensensor, ABS3);

2.2 Wenn Kolbenrohling vollständig in der Abgabestelle 3 positioniert ist, wird ABS3 aktiviert;

2.3 Sensorimpuls wird von S-SPS (A0.4) an die Füllen-SPS, F-SPS, übermittelt Voraussetzung für die Auslösung des Füllens);

Randbedingungen:

Programmierung der F-SPS wird NICHT vorgenommen

Impulswerte an der F-SPS:

Impuls 100ms > Rutsche 1 einmalig bedienen

Impuls 200ms > Rutsche 2 einmalig bedienen

Impuls 300ms > Rutsche 3 einmalig bedienen

Nach jeder einzeln abgeschlossenen Befüllung (pro Kolbenrohling!) wird von

F-SPS ein "Fertig-Signal" von 1s als Quittierung / Bestätigung an die S-SPS (E8.3) gesendet.

2.4 Zustand der Abgabestelle über Browser mit Hilfe einer einfachen Grafik anzeigen.

GetApplet zeigt Status ABS3

Zusätzlich: 2 Grafiken für die Zustände erstellen, dynamischer Grafikwechsel bei Zustandsänderung

Erweiterung der Materialflussaufgabe

Durch eine Änderung der Anforderung des Kunden für die Kolbenrohlinge muss der Bearbeitungsvorgang geändert werden:

Der Kolbenrohling muss vor dem Bearbeitungsvorgang eine bestimmte Temperatur haben. Zur Erhöhung des Materialdurchsatzes wird der Kolbenrohling bereits während des Transportes vorgeheizt. Dies hat zur Folge, den Rohling 20 Sekunden auf der Abgabestelle des Transportbandes (Abgabestelle Rutsche 3) zu belassen, bevor er weitertransportiert wird.

Inbetriebnahmephase 3 (Nutzen einer Zeitfunktion im SPS-Programm)

(Programmierung auf vorhandener Sortier-SPS, S-SPS, vornehmen.)

3.1 Programmierung der Zeitfunktion vornehmen;

3.2 Zeitfunktion auf der Anlage überprüfen;

3.3 HTML-Seite mit Anzeige der jeweiligen Restaufwärmzeit erstellen;

Einrichtung einer Zeitstempel-Funktion (JavaScript), welche jeweils die aktuellen Systemzeiten in der Seite untereinander anzeigt, bei denen die Kolbenrohlinge die Verarbeitungstemperatur erreicht haben.

Erweiterung der Materialflussaufgabe

Bei der Fertigung der Kolbenrohlinge lässt es sich derzeit nicht vermeiden, dass sich in den Sinterguss Metall eingelagert hat. Solche Kolbenrohlinge sind nicht brauchbar und müssen aussortiert werden.

Inbetriebnahmephase 4 (Implementierung der Sortierfunktion Metall)

(Programmierung auf vorhandener Sortier-SPS, S-SPS, vornehmen.)

- 4.1 TB unmittelbar hinter der Aufgabestelle mit induktivem Metallsensor, MS, bestücken.
- 4.2 TB mit pneumatisch angetriebener Weiche bestücken;
- 4.3 MS und Weiche programmieren und in Betrieb nehmen;
- 4.4 Passiert ein metallhaltiger Kolbenrohling MS, muss die Weiche in Umlenkposition schalten;
- 4.5 Die Sortierung muss über mindestens 10 Spielzeiten fehlerfrei erfolgen;
- 4.6 Funktionierenden Sortierprozesses mit Screen-Cam-Software (als Video-Datei) dokumentieren

Erweiterung der Materialflussaufgabe

Der Kunde wünscht Kolbenrohlinge aus unterschiedlichen Werkstoffen deren Oberfläche unterschiedliche optische Eigenschaften besitzen. Unter Licht einer bestimmten Wellenlänge erscheinen die Rohlinge rot bzw. schwarz.

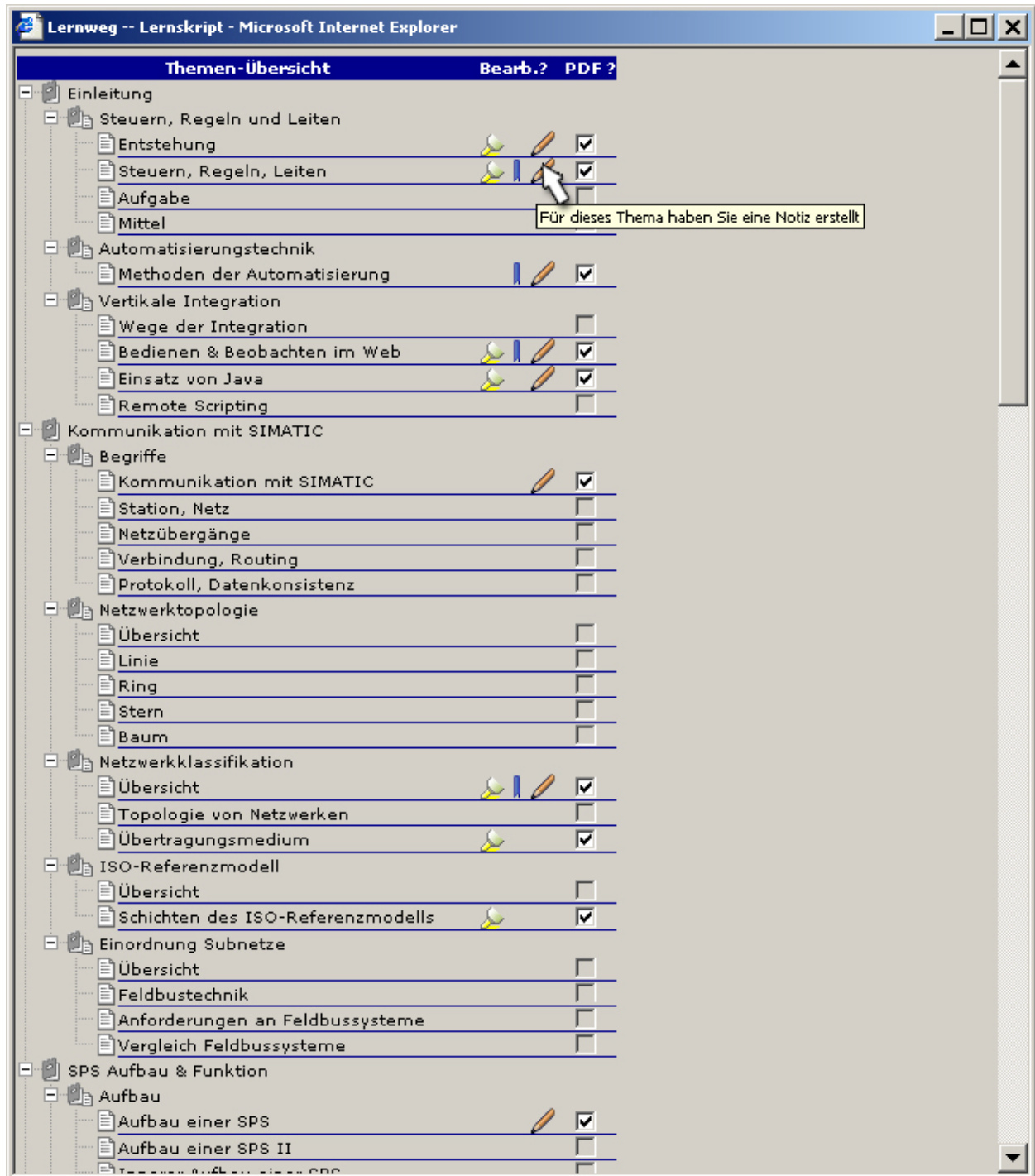
Inbetriebnahmephase 5 (Implementierung der Sortierfunktion Farbe)

- 5.1 TB hinter der Aufgabestelle mit optischem Farbsensor, FS, bestücken.
- 5.2 TB mit weiterer pneumatisch angetriebener Weiche bestücken;
- 5.3 FS und Weiche programmieren und in Betrieb nehmen;
- 5.4 Passiert ein roter und nicht metallhaltiger Kolbenrohling FS, muss die entsprechende Weiche in Umlenkposition schalten;
- 5.5 Die Sortierung muss über mindestens 10 Spielzeiten fehlerfrei erfolgen;
- 5.6 Zähler pro Rutsche implementieren und Zählerstand pro Rutsche in einer HTML-Seite anzeigen
- 5.7 Funktionierenden Sortierprozesses mit Screen-Cam-Software (als Video-Datei) dokumentieren

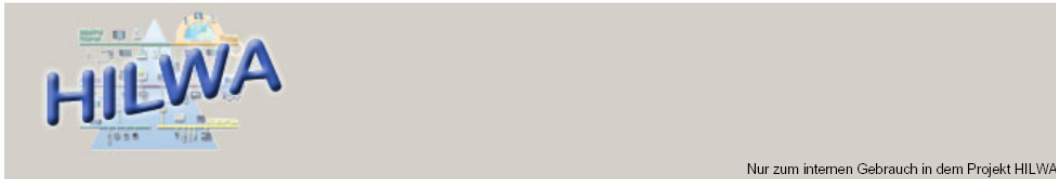
Inbetriebnahmephase 6 (Weitergabe der Dokumentation der Inbetriebnahme)

10.7 Beispielhafte Darstellung der Module „Lernweg“ und „Lernscript“

Beispielhafte Darstellung der Lernweg-Übersicht (die per CheckBox gewählten Seiten werden dann für die Erzeugung des Lernscriptes berücksichtigt)



Beispielhafte Darstellung einer mit dem Lernscript-Modul erzeugten PDF-Seite (die Benutzer-Lesezeichen werden rechtsbündig als invertierte Marginalien angezeigt, Benutzer-Notizen werden unter dem Seiteninhalt der Inhaltsseite angeordnet):



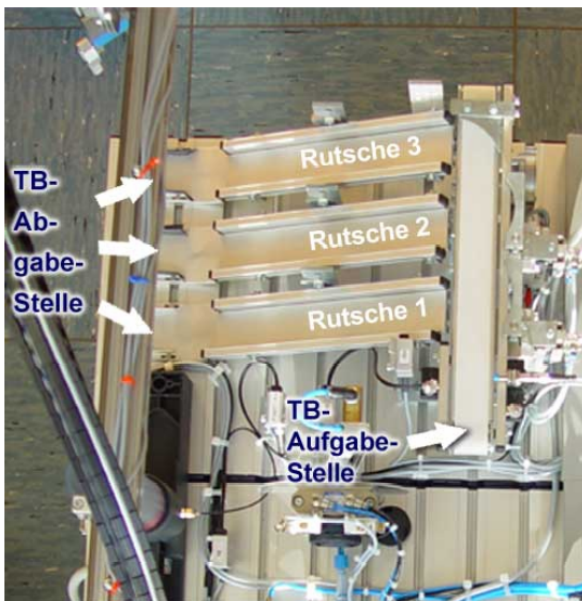
Versuchsstand>MPS Stationen>

Der Versuchsstand

Der Versuchstand ist eine Kombination der zwei MPS-Stationen Verteilen bzw. Sortieren. Die Stationen wurden im Layout etwas modifiziert, um den gewünschten geschlossenen Stoffkreislauf realisieren zu können. Eine weitere Station Füllen wurde entwickelt und ergänzt.

Im Zentrum der Versuche steht die Station Sortieren, deren Materialfluss hier skizziert ist:

Übersicht Versuchsstand



Abgabestelle und Aufgabestelle für das Transportband -> siehe Problemstellungen !

10.8 ISONORM Fragebogen

Nachfolgend ist der Online-Fragebogen mit Hinweisen abgebildet, wie er in der Untersuchung den Probanden präsentiert wurde:



 Startseite | [Hinweise](#) | [Fragebogen](#)

Benutzerbefragung

Im folgenden geht es um die Beurteilung von HILWA in zwei Schritten:

In einem ersten Schritt bitten wir Sie, **nur das Lernsystem HILWA** auf Grundlage der Internationalen Norm ISO 9241/10 zu beurteilen.

Anschließend werden Fragen zum **Projekt HILWA** insgesamt gestellt.

Das Ziel dieser Beurteilung ist es, Schwachstellen aufzudecken und konkrete Verbesserungsvorschläge zu entwickeln.

Um dies zu bewerkstelligen, ist Ihr Urteil als Kenner des Softwaresystems von entscheidender Bedeutung !
Grundlage Ihrer Bewertung sind Ihre individuellen Erfahrungen mit HILWA.

Dabei geht es nicht um eine Beurteilung Ihrer Person, sondern **um Ihre persönliche Bewertung der Software mit der Sie in den letzten Tagen gearbeitet haben.**

Bitte lesen Sie jetzt die [Hinweise](#).

Quelle: Fragebogen ISONORM 9241/10, von Jochen Prümper & Michael Anft, 1993.



Hinweise

Im folgenden geht es um die Beurteilung des **Lernsystems HILWA**.

Beurteilungsgrundlage sind Kriterien, die jeweils kurz erläutert werden.

Sie sollen die Bewertung aufgrund Ihrer individuellen Erfahrung mit HILWA vornehmen.

Denken Sie daran, es geht nicht um die Beurteilung Ihrer Person, sondern um **Ihre ganz persönliche Beurteilung der Software mit der Sie arbeiten**. Es gibt kein "richtig" oder "falsch".

Die wichtigen Aspekte werden über Beschreibungen konkretisiert. Diese Beschreibungen sind immer in folgender Form:

Beispiel 1:

Die Software...	---	--	-	-/+	+	++	+++	
ist schlecht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	ist gut.

Im ersten Beispiel geht es darum, wie gut, bzw. wie schlecht die Software ist. In diesem Fall wird die Software zwar als ganz gut, aber noch verbesserungsfähig beurteilt.

Beispiel 2:

Die Software...	---	--	-	-/+	+	++	+++	
ist langsam.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ist schnell.

Im zweiten Beispiel wird die Software als ziemlich langsam beurteilt.

Bearbeiten Sie den Fragebogen äusserst sorgfältig und lassen Sie keine Fragen aus. **Die Auswertung der Daten erfolgt selbstverständlich anonym.**

Bitte beginnen Sie jetzt mit dem [Fragebogen](#).

Aufgabenangemessenheit

Unterstützt die Software die Erledigung Ihrer Arbeitsaufgaben, ohne Sie als Benutzer unnötig zu belasten?

Die Software...	---	--	-	-/+	+	++	+++	
ist kompliziert zu bedienen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ist unkompliziert zu bedienen.
bietet nicht alle Funktionen, um die anfallenden Aufgaben effizient zu bewältigen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	bietet alle Funktionen, um die anfallenden Aufgaben effizient zu bewältigen.
bietet schlechte Möglichkeiten, sich häufig wiederholende Bearbeitungsvorgänge zu automatisieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	bietet gute Möglichkeiten, sich häufig wiederholende Bearbeitungsvorgänge zu automatisieren.
erfordert überflüssige Eingaben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	erfordert keine überflüssigen Eingaben.
ist schlecht auf die Anforderungen der Arbeit zugeschnitten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ist gut auf die Anforderungen der Arbeit zugeschnitten.

Selbstbeschreibungsfähigkeit

Gibt Ihnen die Software genügend Erläuterungen und ist sie in ausreichendem Masse verständlich?

Die Software...	---	--	-	-/+	+	++	+++	
bietet einen schlechten Überblick über ihr Funktionsangebot.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	bietet einen guten Überblick über ihr Funktionsangebot.
verwendet schlecht verständliche Begriffe, Bezeichnungen, Abkürzungen oder Symbole in Masken und Menüs.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	verwendet gut verständliche Begriffe, Bezeichnungen, Abkürzungen oder Symbole in Masken und Menüs.
liefert in unzureichendem Masse Informationen darüber, welche Eingaben zulässig oder nötig sind.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	liefert in zureichendem Masse Informationen darüber, welche Eingaben zulässig oder nötig sind.
bietet auf Verlangen keine situationsspezifischen Erklärungen, die konkret weiterhelfen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	bietet auf Verlangen situationsspezifische Erklärungen, die konkret weiterhelfen.
bietet von sich aus keine situationsspezifischen Erklärungen, die konkret weiterhelfen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	bietet von sich aus situationsspezifische Erklärungen, die konkret weiterhelfen.

Steuerbarkeit

Können Sie als Benutzer die Art und Weise, wie Sie mit der Software arbeiten, beeinflussen?

Die Software...	---	--	-	-/+	+	++	+++
bietet keine Möglichkeit, die Arbeit an jedem Punkt zu unterbrechen und dort später ohne Verluste wieder weiterzumachen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
erzwingt eine unnötig starre Einhaltung von Bearbeitungsschritten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ermöglicht keinen leichten Wechsel zwischen einzelnen Menüs oder Masken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ist so gestaltet, dass der Benutzer nicht beeinflussen kann, wie und welche Informationen am Bildschirm dargeboten werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
erzwingt unnötige Unterbrechungen der Arbeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
bietet die Möglichkeit, die Arbeit an jedem Punkt zu unterbrechen und dort später ohne Verluste wieder weiterzumachen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
erzwingt keine unnötig starre Einhaltung von Bearbeitungsschritten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ermöglicht einen leichten Wechsel zwischen einzelnen Menüs oder Masken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ist so gestaltet, dass der Benutzer beeinflussen kann, wie und welche Informationen am Bildschirm dargeboten werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
erzwingt keine unnötigen Unterbrechungen der Arbeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Erwartungskonformität

Kommt die Software durch eine einheitliche und verständliche Gestaltung Ihren Erwartungen und Gewohnheiten entgegen?

Die Software...	---	--	-	-/+	+	++	+++	
erschwert die Orientierung, durch eine uneinheitliche Gestaltung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	erleichtert die Orientierung, durch eine einheitliche Gestaltung.
lässt einen im Unklaren darüber, ob eine Eingabe erfolgreich war oder nicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	lässt einen nicht im Unklaren darüber, ob eine Eingabe erfolgreich war oder nicht.
informiert in unzureichendem Masse über das, was sie gerade macht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	informiert in ausreichendem Masse über das, was sie gerade macht.
reagiert mit schwer vorhersehbaren Bearbeitungszeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	reagiert mit gut vorhersehbaren Bearbeitungszeiten.
lässt sich nicht durchgehend nach einem einheitlichen Prinzip bedienen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	lässt sich durchgehend nach einem einheitlichen Prinzip bedienen.

Fehlertoleranz

Bietet Ihnen die Software die Möglichkeit, trotz fehlerhafter Eingaben das beabsichtigte Arbeitsergebn ohne oder mit geringem Korrekturaufwand zu erreichen?

Die Software...	---	--	-	-/+	+	++	+++	
ist so gestaltet, dass kleine Fehler schwerwiegende Folgen haben können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ist so gestaltet, dass kleine Fehler keine schwerwiegenden Folgen haben können.
informiert zu spät über fehlerhafte Eingaben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	informiert sofort über fehlerhafte Eingaben.
liefert schlecht verständliche Fehlermeldungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	liefert gut verständliche Fehlermeldungen.
erfordert bei Fehlern im grossen und ganzen einen hohen Korrekturaufwand.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	erfordert bei Fehlern im grossen und ganzen einen geringen Korrekturaufwand.
gibt keine konkreten Hinweise zur Fehlerbehebung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	gibt konkrete Hinweise zur Fehlerbehebung.

Individualisierbarkeit

Können Sie als Benutzer die Software ohne grossen Aufwand auf Ihre individuellen Bedürfnisse und Anforderungen anpassen?

Die Software...	---	--	-	-/+	+	++	+++	
lässt sich von dem Benutzer schwer erweitern, wenn für ihn neue Aufgaben entstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	lässt sich von dem Benutzer leicht erweitern, wenn für ihn neue Aufgaben entstehen.
lässt sich von dem Benutzer schlecht an seine persönliche, individuelle Art der Arbeitserledigung anpassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	lässt sich von dem Benutzer gut an seine persönliche, individuelle Art der Arbeitserledigung anpassen.
eignet sich für Anfänger und Experten nicht gleichermaßen, weil der Benutzer sie nur schwer an seinen Kenntnisstand anpassen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	eignet sich für Anfänger und Experten gleichermaßen, weil der Benutzer sie leicht an seinen Kenntnisstand anpassen kann.
lässt sich - im Rahmen ihres Leistungsumfangs - von dem Benutzer schlecht für unterschiedliche Aufgaben passend einrichten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	lässt sich - im Rahmen ihres Leistungsumfangs - von dem Benutzer gut für unterschiedliche Aufgaben passend einrichten.
ist so gestaltet, dass der Benutzer die Bildschirmdarstellung schlecht an seine individuellen Bedürfnisse anpassen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ist so gestaltet, dass der Benutzer die Bildschirmdarstellung gut an seine individuellen Bedürfnisse anpassen kann.

Lernförderlichkeit

Ist die Software so gestaltet, dass Sie sich ohne grossen Aufwand in sie einarbeiten konnten und bietet sie auch dann Unterstützung, wenn Sie neue Funktionen lernen möchten?

Die Software...	---	--	-	-/+	+	++	+++	
erfordert viel Zeit zum Erlernen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	erfordert wenig Zeit zum Erlernen.
ermutigt nicht dazu, auch neue Funktionen auszuprobieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ermutigt dazu, auch neue Funktionen auszuprobieren.
erfordert, dass man sich viele Details merken muss.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	erfordert nicht, dass man sich viele Details merken muss.
ist so gestaltet, dass sich einmal Gelerntes schlecht einprägt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ist so gestaltet, dass sich einmal Gelerntes gut einprägt.
ist schlecht ohne fremde Hilfe oder Handbuch erlernbar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ist gut ohne fremde Hilfe oder Handbuch erlernbar.

Zum Schluss

Wie gut beherrschen Sie die beurteilte Software?

	---	--	-	-/+	+	++	+++	
sehr schlecht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr gut

Wie lange benutzen Sie ungefähr schon...

Die beurteilte Software? Jahre Monate

Computer? Jahre Monate

Wie häufig benutzen Sie durchschnittlich...

Die beurteilte Software? Stunden pro Woche

Computer? Stunden pro Woche

Ihr Geschlecht? weiblich männlich

Wie alt sind Sie? Jahre

Vielen Dank für Ihre aktive Hilfe. Ihre Daten werden selbstverständlich anonym behandelt.

Das letzte Wort haben Sie:

Bitte sehen Sie den Fragebogen nochmals durch, ob Sie alle Fragen beantwortet haben!

Fragebogen senden

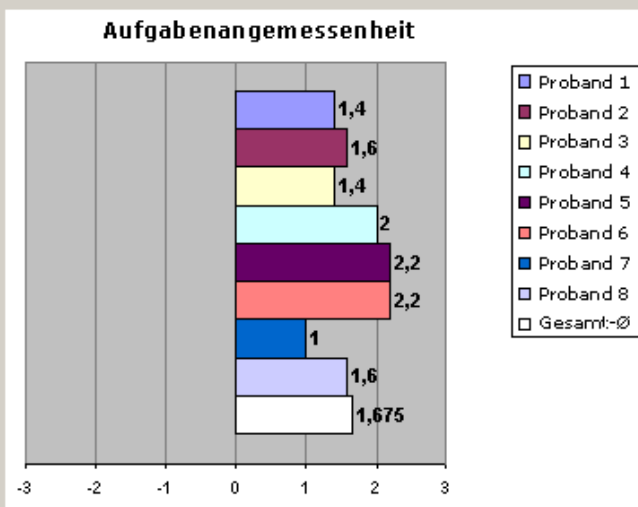
[Zum Seitenanfang](#)

10.9 Ergebnisse des ISONORM Fragebogens

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Befragung in Diagrammen sowie einer Tabelle zusammengefasst dargestellt:

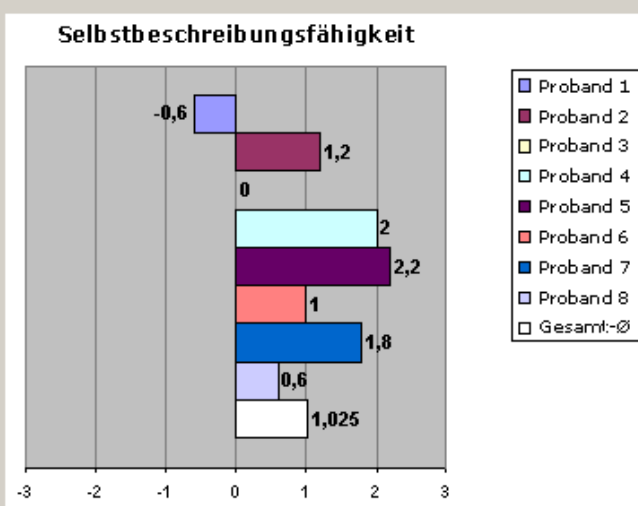
Aufgabenangemessenheit

Ein Dialog ist dem Maße aufgabenangemessen, wie er den Benutzer unterstützt, seine Arbeitsaufgabe effektiv und effizient zu erledigen.



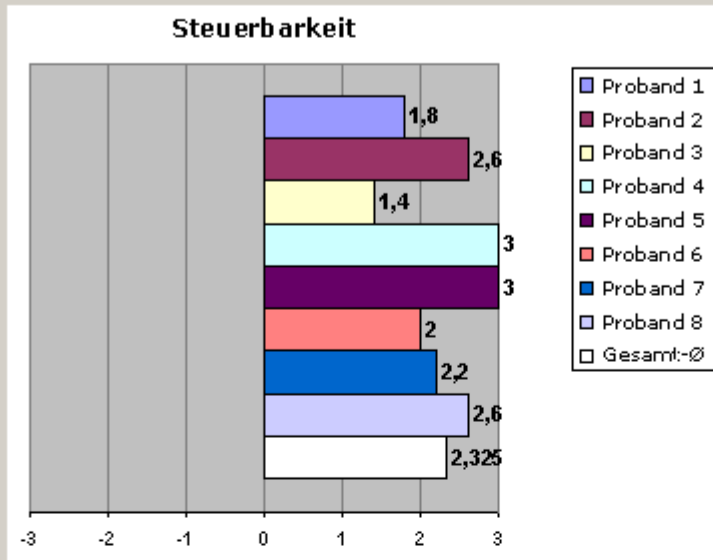
Selbstbeschreibungsfähigkeit

Ein Dialog ist in dem Maße selbstbeschreibungsfähig, wie jeder einzelne Dialogschritt durch Rückmeldungen unmittelbar verständlich ist oder dem Benutzer erklärt wird, wenn er die entsprechende Information verlangt.



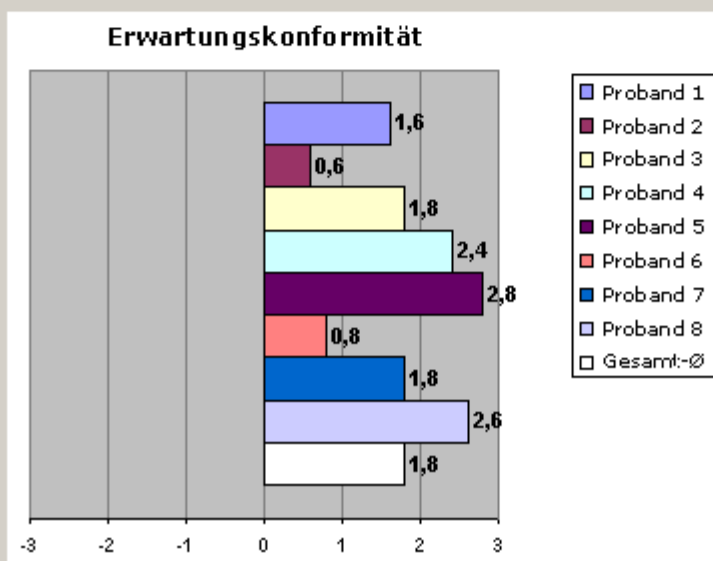
Steuerbarkeit

Ein Dialog ist in dem Maße steuerbar, wie der Anwender in der Lage ist, den gesamten Dialogablauf zu beeinflussen.



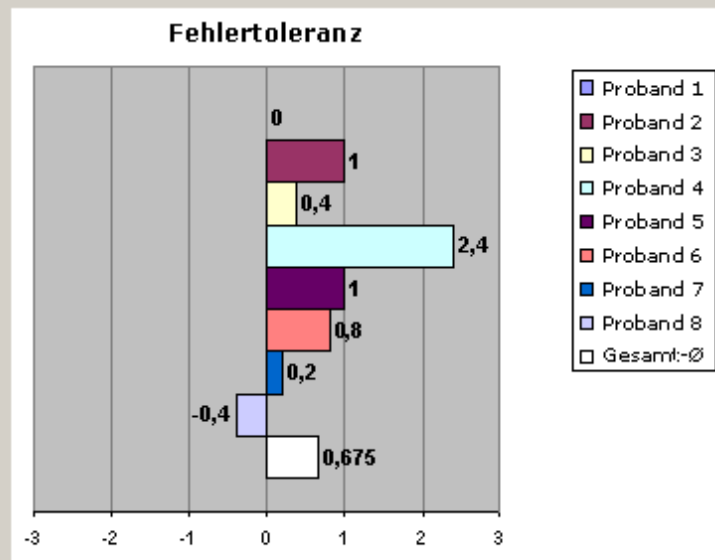
Erwartungskonformität

Ein Dialog ist in dem Maß erwartungskonform, wie er den Kenntnissen aus bisherigen Arbeitsabläufen, der Ausbildung und den Erfahrungen des Benutzers, sowie allgemein anerkannten Konventionen entspricht.



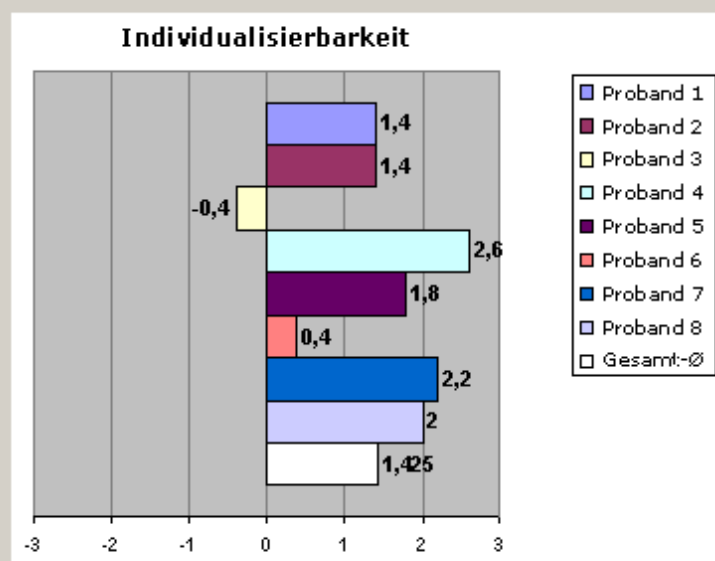
Fehlertoleranz

Ein Dialog ist in dem Maße fehlerrobust, wie das beabsichtigte Arbeitsergebn trotz erkennbar fehlerhafter Eingaben mit minimalem oder ganz ohne Korrekturaufwand erreicht wird.



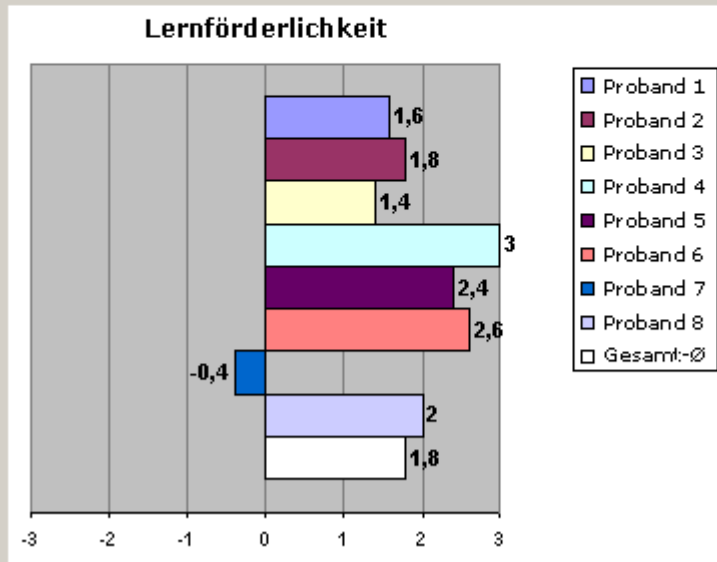
Individualisierbarkeit

Ein Dialog ist in dem Maße individualisierbar, wie er Anpassungen an individuelle Benutzerbelange und Benutzerfähigkeiten im Hinblick auf seine Arbeitsaufgabe zuläßt.



Lernförderlichkeit

Ein Dialog ist in dem Maße lernförderlich, wie er dem Benutzer während des Erlernens Unterstützung und Anleitung gibt.



Von den acht Probanden haben sechs die folgenden Benutzerkommentare zur Arbeit mit HILWA abgegeben, diese sind mit Kommentaren versehen in der folgenden Tabelle zusammengestellt (die Kommentare ergeben sich aus Gesprächen mit den jeweiligen Probanden):

Aussage	Kommentar / Erläuterung
<p>Die Software ist sehr leicht zu verstehen! Das Hintergrundwissen was man aus der Software erlernt ist gut zu verstehen. Nur die Hilfestellung muss noch etwas überarbeitet werden. Entweder kommt nichts vom gesuchten Thema oder es kommt zu viel!</p>	<p><i>Der Proband bezieht sich dabei auf die Suchfunktion.</i></p>
<p>Die Lernsoftware ist gut geeignet für den Weiterausbau in andere Projekte. Einige Erweiterungen, sowie OnMouseOver mit Hilfe bei ALLEN Buttons wäre hilfreich, und Hilfe dicker zum Ausdruck kommen lassen. Sonst Sehr gut :-)</p>	<p><i>Der Proband bezieht sich hierbei auf die grafische Darstellung des „Hilfe“ Buttons</i></p>
<p>sehr komfortabel das Ganze!</p>	<p>-</p>
<p>Ich denke das Hilwa eine überaus leicht verständliche Software ist, die zum Lernen bestens geeignet ist.</p>	<p>-</p>
<p>Für Leute, die wie ich mit dynamischer Webseitenprogrammierung in der Ausbildung leider ;-(zu wenig am Hut hatten, ist es schwer, sich allein durch den Inhaltsumfang von HILWA das Thema, wie in meinem Fall jetzt die JavaScript-Programmierung und das Einbinden von Java-Applets in HTML-Seiten anzueignen. Als zusätzliche Hilfe musste einfach SelfHTML her und außerdem nahm man die Hilfe anderer doch gerne in Anspruch.</p>	<p>-</p>
<p>Die Zusammenarbeit mit den Kollegen hat mir sehr gut gefallen, jedoch waren sehr große Unterschiede zwischen dem vorhandenen Wissen der einzelnen Bereiche (SPS und Web-Programmierung) festzustellen, so dass eine Gruppe der anderen ein bisschen voraus war</p>	<p><i>(Die Einschätzung des Probanden bezüglich eines Unterschieds der Gruppen kann nur mit Einschränkungen bestätigt werden)</i></p>
<p>Ich habe es als angenehm empfunden themenbezogene Informationen zu erhalten ohne Bücher bzw. endlose Inhaltsverzeichnisse zu durchsuchen. Die Suchfunktion sollte aber noch optimiert werden, z.B. mit Booleschen Verknüpfungen. Gefährlich oder unflexibel ist auch das Radiergummi, da immer die Markierungen im Ganzen entfernt werden.</p>	<p>-</p>

10.10 Informeller Abschluss-Fragebogen

Nachfolgend ist der Online Abschluss-Fragebogen abgebildet, wie er den Probanden präsentiert wurde:



Fragestellungen zum Projekt HILWA

Wie beurteilen Sie Ihr in dem Projekt HILWA erreichtes **Ergebnis** ?

Sehr gut	Gut	Einigermaßen gut	Ausreichend	Überhaupt nicht gut
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie beurteilen Sie die **Problemstellungen** für das Projekt HILWA ?

Sehr leicht	Leicht	Angemessen	Schwer	Zu schwer
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wenn Sie an dem Versuchsstand gearbeitet haben (Aufbau, Programmierung STEP7):
Wie beurteilen Sie die Arbeit an dem **Versuchsstand** ?

Sehr gut	Gut	Einigermaßen gut	Ausreichend	Überhaupt nicht gut
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wenn Sie neben HILWA zusätzliche Software (CorelDraw, FTP etc.) genutzt haben:
Wie beurteilen Sie die Arbeit mit der **zusätzlichen Software** ?

Sehr gut	Gut	Einigermaßen gut	Ausreichend	Überhaupt nicht gut
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie wichtig sind Ihnen folgende **Eigenschaften** von HILWA:

	Sehr wichtig	Wichtig	Teilweise wichtig	Kaum wichtig	unwichtig
Lesezeichen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Volltextsuche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Notizen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Textmarker	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eigenen Lernweg nachvollziehen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lernskript als PDF erstellen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Würden Sie auch **andere Inhalte** mit HILWA lernen wollen ?

Ja	Nein
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hätten Sie im Projekt auch gern die Möglichkeit gehabt, HILWA von **zu Hause** zu nutzen ?

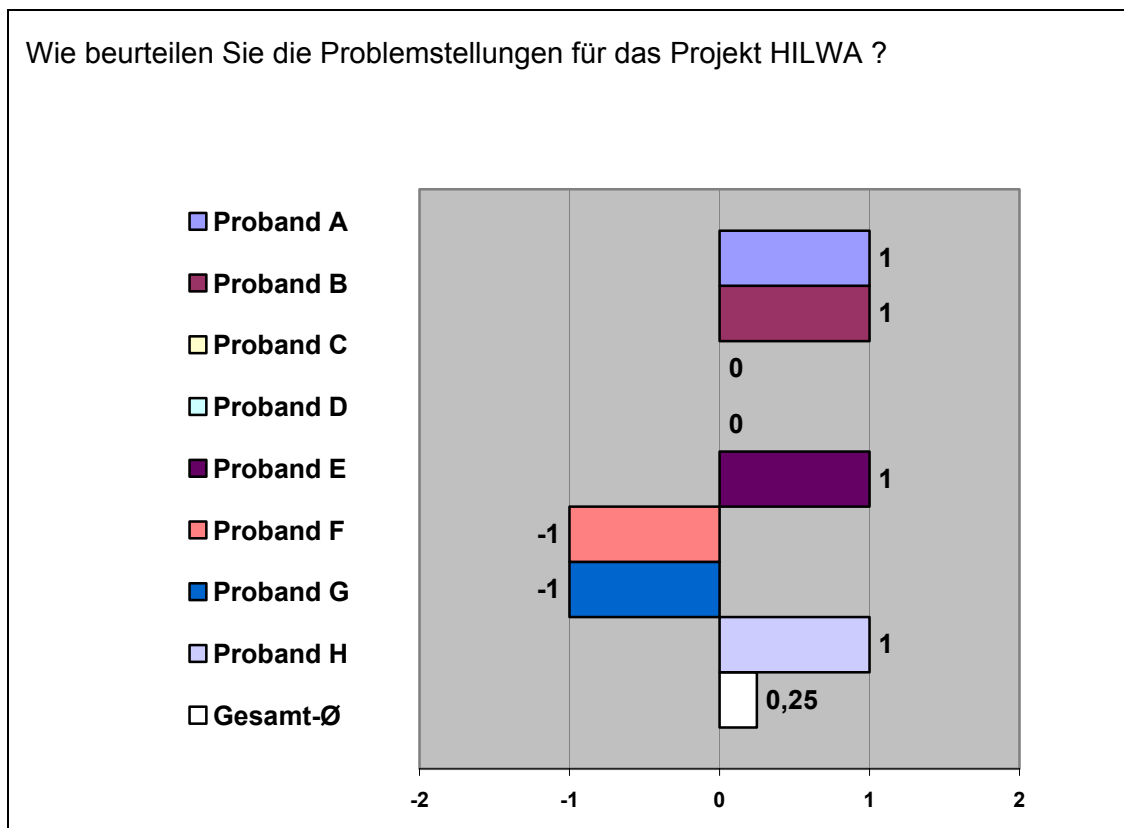
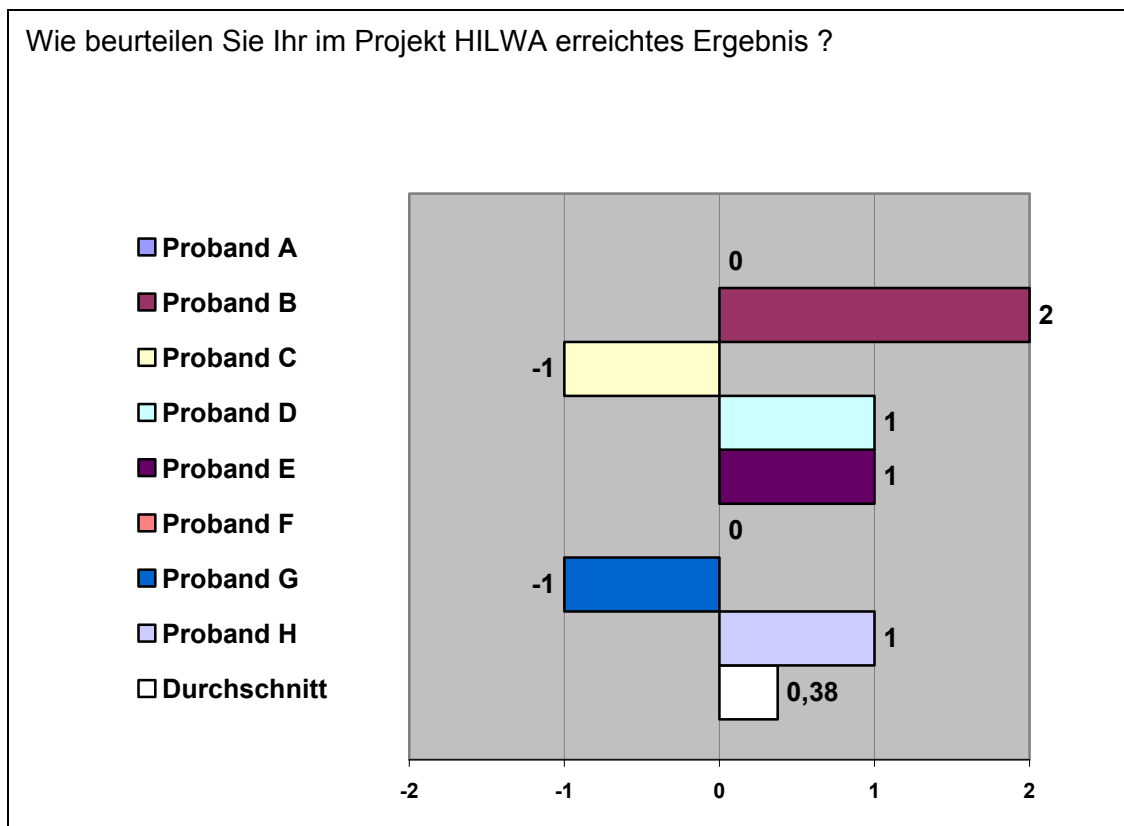
Ja	Nein
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie beurteilen Sie HILWA in folgenden Punkten, wenn Sie HILWA mit herkömmlichen **Unterricht** (Schule, Berufsschule) vergleichen ?

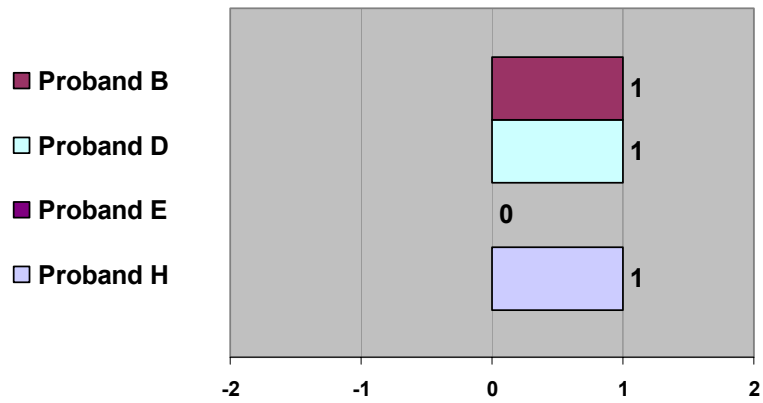
	Wesentlich besser	Besser	Gleich	Schlechter	Wesentlich schlechter
Selbstbestimmte Reihenfolge und Tempo des Lernens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flexible Zeitaufteilung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kopplung verschiedener Darstellungsformen (Text, Ton, Animation, usw.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Übersichtlichkeit des Lerngegenstandes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kontakt zum Lehrer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Effektivität des Lernens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Berücksichtigung von Vorwissen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Motivation beim Lernen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Absenden !

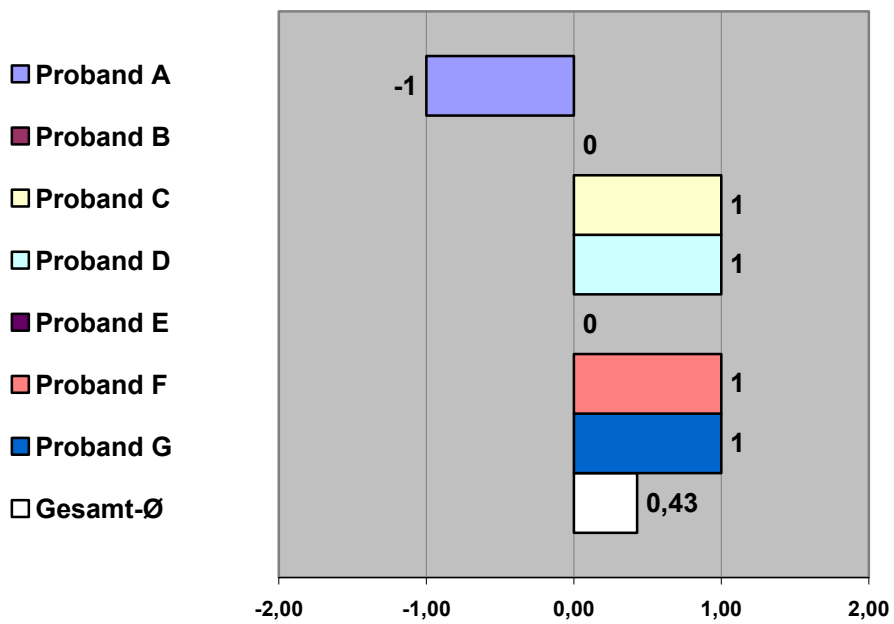
10.11 Ergebnisse des informellen Abschluss-Fragebogens



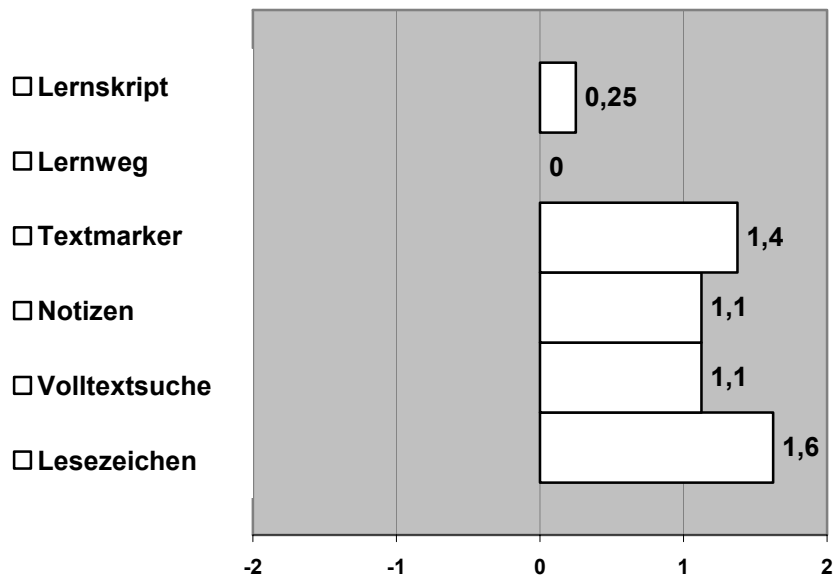
Wenn Sie an dem Versuchsstand gearbeitet haben (Aufbau, Programmierung STEP7):
Wie beurteilen Sie die Arbeit am Versuchsstand (N=4) ?



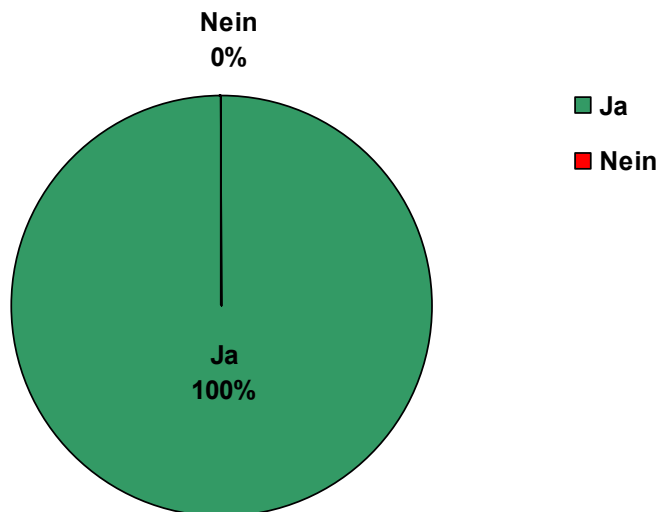
Wenn Sie neben HILWA zusätzliche Software (CorelDraw, FTP etc.) genutzt haben:
Wie beurteilen Sie die Arbeit mit der zusätzlichen Software (N=7) ?



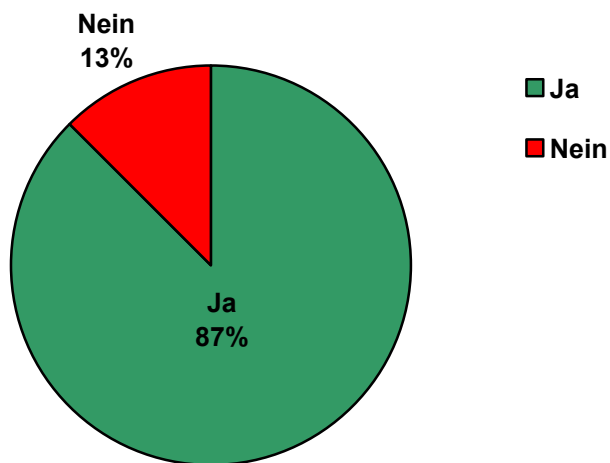
Wie wichtig sind Ihnen folgende Eigenschaften von HILWA ?
(jeweils Gesamt-Ø der Probanden pro Eigenschaft)



Würden Sie auch andere Inhalte mit HILWA lernen wollen ?

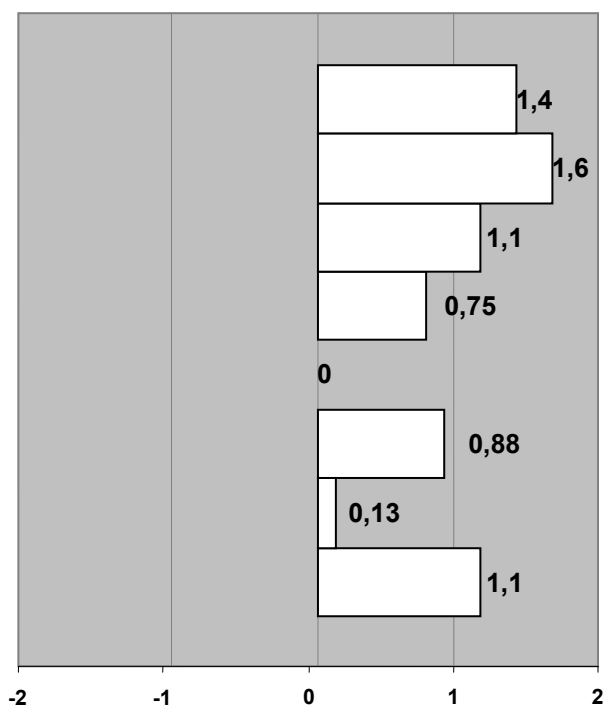


Hätten Sie im Projekt auch gern die Möglichkeit gehabt, HILWA von zu Hause zu nutzen ?



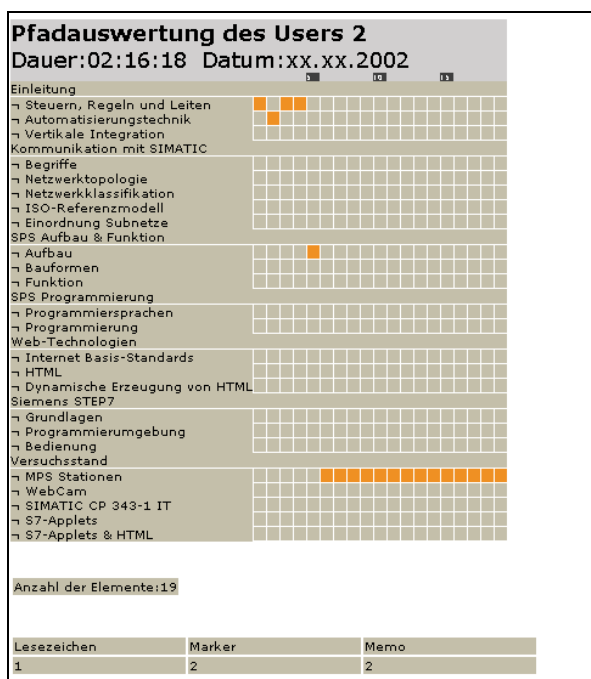
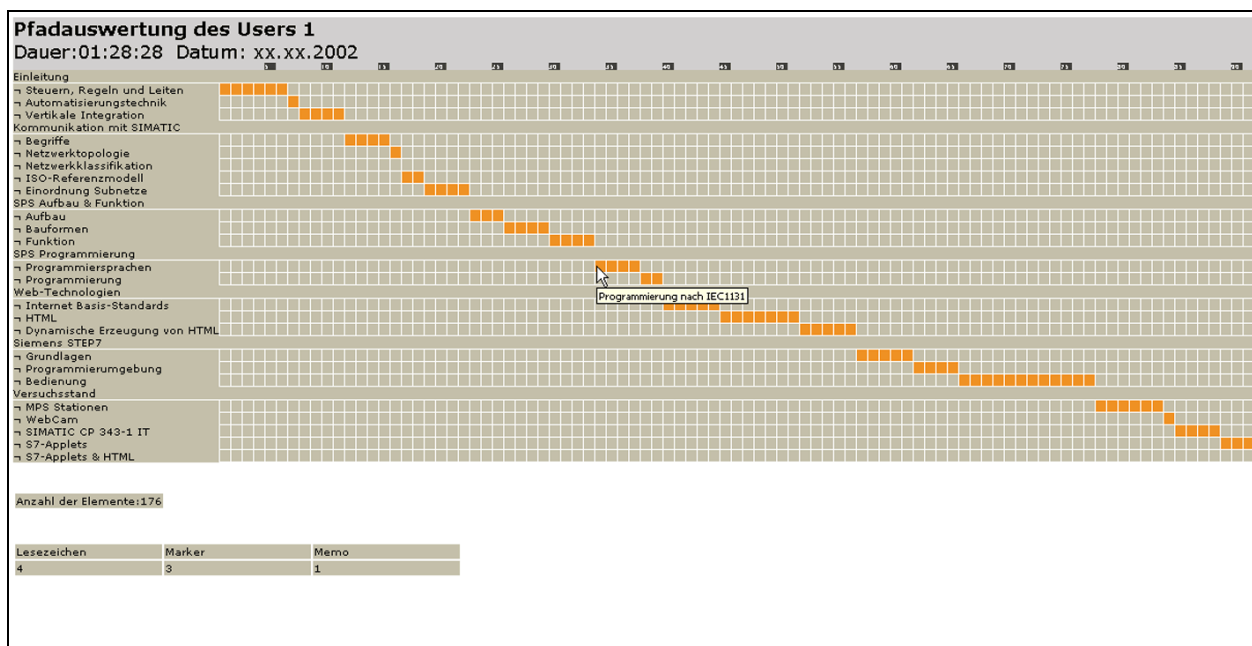
Wie beurteilen Sie HILWA in folgenden Punkten, wenn Sie HILWA mit herkömmlichem Unterricht (Schule, Berufsschule) vergleichen ?
(jeweils Gesamt-Ø der Probanden pro Eigenschaft)

- Selbstbestimmte Reihenfolge und Tempo des Lernens
- Flexible Zeitaufteilung
- Kopplung verschiedener Darstellungsformen
- Übersichtlichkeit des Lerngegenstandes
- Kontakt zum Lehrer
- Effektivität des Lernens
- Berücksichtigung von Vorwissens
- Motivation beim Lernen



10.12 Lernweganalyse des Moduls „Reporting“

Beispielhaft wird die graphische Darstellung des Moduls „Reporting“ der jeweils ersten Lernsituation zweier Probanden (Mechatroniker) gegenübergestellt (das Datum wurde zur Anonymisierung unkenntlich gemacht) – am linken Bildrand finden sich die Kapitel und Unterkapitel wie sie in HILWA präsentiert wurden, jede der orangenen Flächen stellt eine vom Benutzer angewählte Seite dar (im zeitlichen Verlauf von links nach rechts) – auf Wunsch kann per so genanntem „MouseOver“ der Seitentitel angezeigt werden.



11 Literatur

- ANSORGE, P. / HAUPT, U. (1997) *Ergonomie-Reviews und Unsability-Testing als Beratungs- und Qualifizierungsinstrumente*
In: LISKOWSKY, R. / VELICHKOVSKY, B.M. / WÜNSCHMANN, W. (HRSG.) 1997, 55 – 69
- ARP, H. (1984a) *Zum Entwurf einer Allgemeinen Technologie*
In: ARP, H. / HÄRTEL, W. (1984), 5- 25
- ARP, H. (1984b) *Inhalte einer technischen Bildung*
In: ARP, H. / HÄRTEL, W. (1984), 59-70
- ARP, H. / HÄRTEL, W. (1984) *Beiträge zur Allgemeinen Technologie*
Schriftenreihe des Fachbereiches Erziehungswissenschaften
Bergische Universität-Gesamthochschule-Wuppertal –
Arbeitsbericht des Faches Technologie und Didaktik der Technik (Nr.11)
- AUSUBEL, D. P. / NOVAK, J.D. / HANESIAN, H. (1980) *Psychologie des Unterrichts I*
Beltz, Weinheim und Basel, 2. völlig überarb. Auflage
- BANSE, G. / REHER, O. (2002) *Tagungsbericht „Symposium Allgemeine Technologie- Vergangenheit und Gegenwart (Berlin, 12. Oktober 2001)“*
In: Technikfolgenabschätzung, Nr.1, 11. Jahrg., 03/2002, 141-143
- BEHME, H. (2000a) *Aller Anfang – Apache für Linux mit PHP und Perl konfigurieren*
In: iX, Zeitschrift für professionelle Informationstechnik, 6/2000, 48-51
- BEHME, H. (2000b) *Sichten Teilen – MySQL- Daten mit PHP ins Web bringen*
In: iX, Zeitschrift für professionelle Informationstechnik, 6/2000, 56-58
- BENAD-WAGENHOF, V. (1994) *Handwerkzeug, Maschine, Automat. Bemerkungen zum Reuleauxschen Maschinenbegriff.*
In: BENAD-WAGENHOF, V. (HRSG.) (1994), 181 - 208
- BENAD-WAGENHOF, V. (1993) *Industrieller Maschinenbau im 19. Jahrhundert*
Verlag für Geschichte der Naturwiss. u. d. Technik, Stuttgart
- BENAD-WAGENHOF, V. (HRSG.) (1994) *Industrialisierung: Begriffe und Prozesse*
Verl. für Geschichte der Naturwiss. und der Technik, Stuttgart

- BENAD-WAGENHOFF, V. / PAULINYI, A. / WENGENROTH, U. (HRSG.) (1990) *Emanzipation des kontinentaleuropäischen Maschinenbaus vom britischen Vorbild.* THD Schriftenreihe Wissenschaft u. Technik (Bd. 53), Darmstadt
- BLUMSTENGEL, A. (1998) *Entwicklung hypermedialer Lernsysteme* Wiss. Verl. Berlin, Berlin
- BMW (2002) *Wirtschaftsüberblick – Aktuelle Wirtschaftsentwicklung und Wirtschaftsdaten- Ausgabe 1/2002 – Stand 30. April 2002-07-09* Internet, URL: <http://www.bmw.de/textonly/Homepage/download/wirtschaftspolitik/Wirtschaftsüberblick.pdf>
- BRÄUTIGAM, L. (2000) *Beurteilung der Software-Ergonomie anhand des ISONORM-Fragebogens* Internet, URL: <http://www.sozialnetz-hessen.de/ergo-online/Software/SW-Evaluation.htm> Stand: 14.02.2000
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE (1997 BZW. 1998) *Verordnungen über die Berufsausbildung*
- Fachinformatiker / Fachinformatikerin
- IT-System-Elektroniker / IT-System-Elektronikerinnen
- Mechatroniker / Mechatronikerinnen
- BURGHARDT, D. (2002) *Konjunkturwende zum Jahresende* In: SPS-Magazin, Zeitschrift für Automatisierungstechnik, Ausgabe 6, 10-12
- BURGMER, M. (1985) *Optimierung methodengerechten Einsatzes von Medien im technischen Unterricht* Dissertation, Universität-Gesamthochschule-Wuppertal
- BURGMER, M. (1999) *Einführung in die Didaktik des Technikunterrichts* Nicht veröffentlichtes Script zur Vorlesung am Institut für Technik und ihre Didaktik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel – bearbeitet von OHSER, A.
- BURMESTER, M. / HASSENZAHL, M. (2000) *Software-Ergonomie: Benutzerzentrierte Softwaregestaltung* Internet, URL: http://www.sozialnetz-hessen.de/ergo-online/Software/S_Benutzer-SW-Gest.htm Stand vom 14.08.2000
- CARDWELL, D. (1997) *Viewegs Geschichte der Technik* Vieweg, Braunschweig
- DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (2000) *DIN EN ISO 13407 - Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme (2000-11)* Beuth Verlag, Berlin

- DÖRNER, D. (1984) *Denken, Problemlösen und Intelligenz*
In: Psychologische Rundschau, Band XXXV, Heft 1, 10-20
- DÖRNER, D. (1987 bzw. 1. Aufl. 1979) *Problemlösen als Informationsverarbeitung*
Kohlhammer, Stuttgart u.a., 3. Aufl.
- DÖRNER, D. (1995) *Problemlösen und Gedächtnis.*
In: DÖRNER, D. / VAN DER MEER, E. (Hrsg.) (1995), 297-320
- DÖRNER, D. / VAN DER MEER, E. (HRSG.) (1995) *Das Gedächtnis: Probleme-Trends-Perspektiven*
Hogrefe, Göttingen
- DÖRNER, D. / REITHER, F. (1978) *Über das Problemlösen in sehr komplexen Realitätsbereichen*
In: Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, Band XXV, Heft 4, 527-551
- DÖRNER, D. / SELG, H. (HRSG.) (1996) *Psychologie: Eine Einführung in ihre Grundlagen und Anwendungsfelder*
Kohlhammer, Stuttgart u.a., 2. überarb. Und erw. Aufl.
- DÖRR, G. / STRITTMATTER, P. (2002) *Multimedia aus pädagogischer Sicht*
In: ISSING, L.J. / KLIMSA, P (HRSG.) (2002), 28 - 42
- DUNCKER, K. (1935) *Zur Psychologie des produktiven Denkens*
Springer, Berlin.
- DYLLA, N. (1991) *Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren*
Hanser, München und Wien
- EDELMANN, W. (1996), (2000) *Lernpsychologie*
Psychologie Verlags Union, Weinheim, 5. vollst. überarb. Aufl. bzw.: 6. vollst. überarb. Aufl.
- FESTO (1998) *Modulares Produktionssystem – Handbuch Station Sortieren*
Festo Didactic GmbH & Co., Denkendorf
- FESTO (1999) *Modulares Produktionssystem – Handbuch Station Verteilen*
Festo Didactic GmbH & Co., Denkendorf
- FISCHER, P.M. / MANDL, H. (1990) *Introduction – Toward a Psychophysics of Hypermedia*
In: JONASSEN, D.H. / MANDL, H. (EDS.) (1990)
- FREY, H.G. / SCHACH, J. (1996) *Modern geknotet. Neuro-Netze: Strukturen., Typen, Anwendungen*
In: c't Zeitschrift für Computertechnik, 2, 256-264

- GAGE, N.L. / BERLINER, D.C. (1996) *Pädagogische Psychologie*
Herausgegeben und übersetzt von BACH, G.
Psychologie Verlags Union, Weinheim, 5. vollst. überarb. Aufl.
- GIAPOULIS, A. (1998) *Modelle für effektive Konstruktionsprozesse*
Shaker, Aachen.
(Zugl. München, Techn. Univ., Diss. 1996)
- GÖRNER, C. / BEU, A. / KOLLER, F. (1999) *Der Bildschirmarbeitsplatz. Softwareentwicklung mit DIN EN ISO 9241*
Beuth, Berlin u.a.
- GRUBER, H. / MACK, W. / ZIEGLER, A. (HRSG.) (1999) *Wissen und Denken.*
DUV, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden
- HANSEN, S. (2001) *Die Hardwarefalle*
Report Schule und neue Medien
In: c't Zeitschrift für Computertechnik, 14, 168-173
- HÄRTEL, W. (1984) *Grundformen technologischen Handelns*
In: ARP, H. / HÄRTEL, W. (1984), 26-38
- HENSELER, K. / HÖPKEN, G. / REICH, G. (HRSG.) (1998) *Technische Allgemeinbildung*
Berichtsband der 5. Hochschultage Technikunterricht
Institut für Technische Bildung, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- HUBKA, V. / EDER, E. (1992) *Einführung in die Konstruktionswissenschaft*
Springer, Berlin u.a.
- HUSSY, W. (1983) *Komplexe menschliche Informationsverarbeitung: das SPIV-Modell*
In: Sprache und Kognition 2, 47-62
- HUSSY, W. (1998) *Denken und Problemlösen*
Kolhammer, Stuttgart u.a.
- ISSING, L.J. / KLIMSA, P. (HRSG.) (1997), (2002) *Information und Lernen mit Multimedia*
Psychologie Verlags Union, Weinheim, 2. überarbeitete Auflage
Psychologie Verlags Union, Weinheim, 3. vollst. überarb. Aufl.
- JONASSEN, D.H. / MANDL, H. (EDS.) (1990) *Designing Hypermedia for Learning*
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- KEBECK, G. (1994) *Wahrnehmung. Theorien, Methoden und Forschungsergebnisse der Wahrnehmungspsychologie*
Juventa, Weinheim, München
- KERRES, M. (1997) *Technische Aspekte multimedialer Lehr-Lernmedien*
In: ISSING/KLIMSA (HRSG.) (1997) 26-44

- KERRES, M. (2001) *Multimediale und telemediale Lernumgebungen*
Oldenbourg, München u.a.
- KIRSCH, C. (2000) *Datendüse – MySQL: freie Datenbank*
In: iX, Zeitschrift für professionelle Informationstechnik,
6/2000, 52-55
- KLEMM, F. (1999) *Geschichte der Technik*
Teubner, Stuttgart, 4. Aufl.
- KLIX, F. (1971) *Information und Verhalten*
Lizenz Ausgabe des VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften,
Berlin
- KÖHNE, D. (2002) *IT Berufe und moderne Automatisierungstechnik*
unveröffentlichte Präsentation,
Festo Didactic GmbH & Co., Denkendorf
- KÖNIG, W. (1989) *Konstruieren und Fertigen im deutschen Maschinenbau unter dem
Einfluß der Rationalisierungsbewegung. Ergebnisse und Thesen für
eine Neuinterpretation des „Taylorismus“*
In: Technikgeschichte, 56, 183-204
- KOTKAMP, U. (1999) *Elementares und komplexes Problemlösen. Über Invarianzeigen-
schaften von Denkprozessen*
Papst Science Publishers, Lengerich u.a.
- KRAPP, A. /
WEIDENMANN, B. (HRSG.) (2001) *Pädagogische Psychologie*
Psychologie Verlags Union, Weinheim, 4. vollst. überarb. Aufl.
- KRAUSE, JÖRG (2001) *PHP4. Grundlagen und Profiwissen*
Hanser Fachbuch, München, Wien
- KRAUSE, W. (1982) *Problemlösen – Stand und Perspektiven*
In: Zeitschrift für Psychologie, 190, 17 – 36 (I) und 141-169 (II)
- LEUTNER, D. / BRÜNKEN,
R. (HRSG.) (2000) *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung: aktuelle Ergeb-
nisse empirischer pädagogischer Forschung*
Waxmann, Münster u.a.
- LISKOWSKY, R. /
VELICHKOVSKY, B.M. /
WÜNSCHMANN, W.
(HRSG.) (1997) *Software-Ergonomie '97: Usability Engineering: Integration von
Mensch-Computer-Interaktion und Software-Entwicklung*
Teubner, Stuttgart
- MANDEL, T. (1997) *The elements of user interface design*
John Wiley & Sons, New York u.a
- MERZ, T. (2000) *Mit PDF ins Web. Integration, Formulare, Sicherheit, E-Books.*
Dpunkt-Verlag, Heidelberg

- MILLER, G.A. / GALLANTER, E. / PRIBRAM, K.H. (1960) *Plans and the structure of behaviour*
New York, Holt
(Klett, Stuttgart dt. 1973)
- MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT FORSCHUNG UND KULTUR DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (HRGS.) (1997) *Lehrplan für die Sekundarstufe I der weiterführenden allgemeinbildenden Schulen Hauptschule, Realschule, Gesamtschule*
Lehrplan Grundschule
Kiel
- MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT FORSCHUNG UND KULTUR DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (HRGS.) (1997 bzw. 1998) *Lehrplan für die Berufsschule – Mechatroniker / Mechatronikerin (Stand: 30.01.1998)*
Lehrplan für die Berufsschule – IT-Berufe
a) *IT-Elektroniker / IT-Elektronikerinnen*
b) *Fachinformatiker / Fachinformatikerinnen*
c) *IT-Kaufmann / IT-Kauffrau*
d) *Informationskaufmann / Informationskauffrau*
Kiel
- MÜNZ, S. / NEFZGER, W. (1999) *HTML 4.0 Handbuch*
Franzis, Poing
- NIELSEN, J. (1993) *Usability Engineering*
Academic Press, San Diego, CA
- NIELSEN, J. / MACK, R.L. (HRSG.) (1994) *Usability Inspection Methods*
John Wiley & Sons, New York, NY
- PAHL, G. (HRSG.) (1994) *Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren*
Verlag TÜV Rheinland, Köln
- PAHL, G. / BEITZ, W. (1997) *Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung*
Springer, Berlin u.a., 4. neubearb. Aufl.
- PAULINYI, A. (1987) *Das Puddeln. Ein Kapitel aus der Geschichte des Eisens in der industriellen Revolution.*
R. Oldenburg Verlag, München.
- PAULINYI, A. (1990) *Einführung zum Maschinenbau-Kolloquium in Darmstadt*
In: BENAD-WAGENHOF, V. U.A (HRSG.) (1990)
- PLESSEL, W. / WILDE, E. (2001) *Dienstbare Geister – Server-Side Techniken im Web - ein Überblick*
In: iX, Zeitschrift für professionelle Informationstechnik, 3/2001, 88-93

- PRÜMPER, J. (1997) *Der Benutzerbefragungsbogen ISONORM 9241/10: Ergebnisse zu Reliabilität und Validität*
In: LISKOWSKY, R. / VELICHKOVSKY, B.M. / WÜNSCHMANN, W. (HRSG.) 1997, 55 – 69
- PRÜMPER, J. / ANFT, M. (1993) *ISONORM 9241/10 - Beurteilung von Software auf Grundlage der Internationalen Ergonomie-Norm ISO 9241/10*
FHTW-Berlin, Fachgebiet Wirtschaftspsychologie
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1981) *Problemlöseprozesse und Intelligenztestleistung*
Verlag Hans Huber, Bern u.a.
- PUTZ-OSTERLOH, W. / LUER, G. (1981) *Über die Vorhersagbarkeit komplexer Problemlöseleistungen durch Ergebnisse in einem Intelligenztest*
In: Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, Band XXVIII, Heft 2, 309-334
- REDMOND-PYLE, D. / MOORE, A. (1995) *Graphical User Interface Design and Evaluation (GUIDE)*
Prentice Hall, London u.a.
- REITHER, F. (1996) *Denken und Sprache*
In: DÖRNER, D. / SELG, H. (HRSG.) (1996), 194-210
- ROPOHL, G. (1999) *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*
Hanser Fachbuch, München u.a.
- ROTHFUSS, G. / RIED, C. (HRSG.) (2001) *Content Management mit XML – Grundlagen und Anwendungen*
Springer-Verlag, Berlin u. a..
- RÜCKERT, C. (1997) *Untersuchungen zur Konstruktionsmethodik – Ausbildung und Anwendung*
Fortschr.-Ber. VDI Reihe I Nr. 293
VDI Verlag, Düsseldorf
- RUPP, C. (2001) *Requirements-Engineering und Management*
Hanser Verlag, München, Wien
- SCHAUB, H. / REIMANN, R. (1999) *Zur Rolle des Wissens beim komplexen Problemlösen*
In: GRUBER, H. / MACK, W. / ZIEGLER, A. (HRSG.) (1999), 169-191
- SCHNUPP, P. (1992) *Hypertext*
Oldenbourg, München
- SCHÜLER, U. (1994) *Aufgaben, didaktische Bedingungen einer Technischen Bildung*
Unveröffentlichtes Vortragsmanuskript, Universität Dortmund

- SOUVIGNIER, E. (1998) *Effekte kognitiver Trainingsprogramme der Vorstellungsfähigkeit und des induktiven Denkens auf die Problemlösefähigkeit*
In: Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 45,1, 20-28
- SPITZER, M. (2000) *Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln*
Spektrum, Berlin u.a.
- STEINER, G. (2001) *Lernen und Wissenserwerb*
In: KRAPP, A. / WEIDENMANN, B. (2001), 137 –206
- SÜB, H.-M. (1996) *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*
Hogrefe, Verl. Für Psychologie, Göttingen u.a.
- SZAGUN, G. (1996) *Sprachentwicklung beim Kind*
Psychologie Verlags Union, Weinheim, 6. vollst. überarb. Aufl
- TOENNSEN, K.-C. (2000) *Entwicklung realitätsnaher Versuchsstände zu Steuerungsaufgaben mit Speicherprogrammierbaren Steuerungen, SPS, im Rahmen der Aus- und Weiterbildung von Techniklehrerinnen und Techniklehrern*
Unveröffentlichte Examensarbeit am Institut für Technik und ihre Didaktik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- VATH, N. / HASSELHORN, M. / LÜER, G. (2001) *Multimedia-Produkte für das Internet: psychologische Gestaltungsgrundlagen*
Oldenbourg, München u.a.
- VDI 2221 (1993) *Methodik zum Entwickeln technischer Systeme und Produkte*
Beuth, Berlin
- VDI 2222 (1997) *Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien – Blatt I*
Beuth, Berlin
- VDI 2223 (1999) *Methodisches Entwerfen technischer Produkte – Entwurf –*
Beuth, Berlin
- VOGT, P. (2002) *Dem Surfer auf der Spur – Untersuchungen zur Benutzerfreundlichkeit von Websites*
In: c't, Magazin für Computertechnik, Heft 14, 180 - 183
- WEIDENMANN, B. (2002) *Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess*
In: ISSING, L.J. / KLIMSA, P (HRSG.) (2002), 64 - 84

- WENGENROTH, U. (O.J.) *"Kunst" und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts. Zur Bedeutung von "tacit knowledge" bei der Gestaltung von Technik.*
Allgemeine Angaben zum Teilprojekt A4 des Sonderforschungsbereichs 536 "Reflexive Modernisierung"
Internet, URL: <http://www.lrz-muenchen.de/~t791lan/webserver/webdata/html-projekte/A4.html>
Stand: 01. Juli 1999
- WESSEL, I. (1998) *GUI Design. Richtlinien zur Gestaltung ergonomischer Windows-Applikationen*
Hanser, München, Wien
- WÖGERBAUER, H. (1942) *Die Technik des Konstruierens*
R. Oldenburg, München und Berlin
- WOLF, M. (2002) *Die richtige Schublade – Marktübersicht über PHP-basierte Content Management Systeme*
In: PHP Magazin, 2/2002, 54-77
- WOLFFGRAMM, H. (1994 / 1995) *Allgemeine Technologie*
(Teil I 1994, Teil II 1995)
Franzbecker, Hildesheim
- ZIMMERMANN, T. /
DÖRNER, D. (2001) *Götter bauen.*
Interview: D. Dörner im Gespräch mit T. Zimmermann
In: c't Zeitschrift für Computertechnik, 19, 30-31