

Sonderdruck

aus

Enzyklopädie der Psychologie

Themenbereich D
Praxisgebiete

Serie III

Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie

Band 2

Ingenieurpsychologie

herausgegeben von
Prof. Dr. Bernhard Zimolong
Prof. Dr. Udo Konradt

2006



Hogrefe · Verlag für Psychologie
Göttingen · Bern · Toronto · Seattle

Entwurfstätigkeiten und ihre psychologischen Unterstützungsmöglichkeiten

Winfried Hacker und Pierre Sachse

1 *Entwurfstätigkeiten und Entwurfsdenken*

1.1 Begriff und Einordnung von Entwurfstätigkeiten in ingenieur- und kognitions-psychologische Konzepte

Entwurfstätigkeiten haben eine Schlüsselrolle für das Gedeihen von Wirtschaftsstandorten. Sie umfassen das Konstruieren von Maschinen, das Entwerfen von Gebäuden, von Software, von technologischen Prozessen oder von Organisationskonzepten, das Entwickeln neuer Pharmaka, Lehr- oder Therapieverfahren. Dieser Beitrag konzentriert sich auf das konstruktive Entwerfen, also das Konstruieren von „Hardware“. Dazu liegen am ehesten Untersuchungen vor. Allerdings gibt es bisher keine universelle Theorie, und kognitions- sowie arbeitspsychologische Beiträge zu diesem Aufgabengebiet sind selten.

Das Konstruieren, insbesondere im Sinne eines Neukonstruierens, wird als das lückenlose und schöpferische Vorausdenken eines technischen Gebildes und als das Schaffen aller Unterlagen für seine stoffliche Verwirklichung definiert (Bock, 1955). Das Besondere dabei ist nicht nur das Vorausdenken überhaupt, sondern das Vorausdenken von Strukturen, die Funktionen realisieren müssen. Gebilde müssen also laufend in Funktionen und Funktionen wiederum in Gebilde, die sie realisieren, gedanklich bzw. vorstellungsmäßig übersetzt werden.

Die Hauptschritte sind nach der VDI 2221 (Entwicklungsmethodik) das Erfassen und Klären des Problems/der Aufgabe, das Konzipieren prinzipieller Lösungsmöglichkeiten, das Auswählen und Entwerfen von Lösungsalternativen und

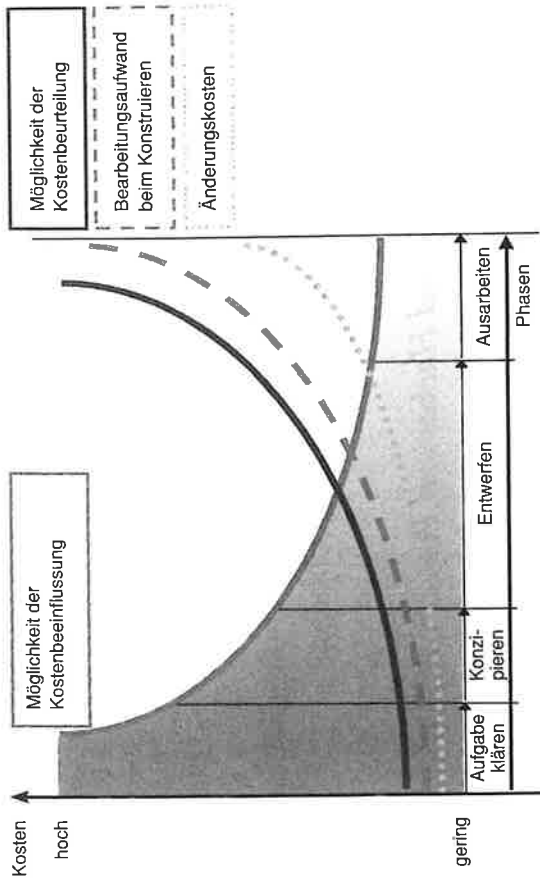


Abbildung 1:

Phasen des konstruktiven Entwurfsprozesses und Kosten (nach Ehrlenspiel, 1995)

deren Ausarbeitung (vgl. Abb. 1). Entscheidend ist, dass gerade die am schlechtesten fassbaren frühen Schritte des Aufgabenklärens sowie des Konzipierens und Abwägens grundsätzlicher Lösungsmöglichkeiten den ausschlaggebenden Einfluss auf die Innovativität der Lösung und die Herstellungskosten haben. Ehrlenspiel (1995) hat das verdeutlicht an der Kostenbeeinflussung: Sie ist unvergleichlich größer bei den frühen Schritten der „Problem-/Aufgabenklärung“ und der „Suche von Lösungsalternativen“, aber hier zugleich auch am wenigsten sicher beurteilbar. Eine sichere Kostenbeurteilung wird derzeit erst dann möglich, wenn es für kostensparende Konsequenzen bei genauer Betrachtung zu spät ist.

Welche Anforderungen müssen also Konstrukteure – und ähnlich Entwickler von Software – bei den frühen Schritten des Entwurfs erfüllen? Idealerweise müsste ein Konstrukteur zunächst sämtliche Lösungsmöglichkeiten aus der erschöpfend kombinierten Anzahl ihrer Merkmale ideell erzeugen, um die optimale Merkmalskombination aus der Gesamtzahl aller möglichen Kombinationen auswählen zu können. Er sollte also anfangs einen vollständigen Problemmraum aufbauen (Bach, 1973; Hacker, 1999). Gerade dies ist wegen der Begrenztheit der Bewusstseiskapazität (des Arbeitsgedächtnisses) unmöglich. Der Konstrukteur muss sich daher von vornherein auf einen Merkmalsausschnitt beschränken. Dennoch sollte die bedachte Teilmenge der Merkmalskombinationen – in der Regel betrifft das sogar nur eine einzige Lösungsvariante – die günstigste Lösung darstellen. Der Konstrukteur soll also die günstigste Variante herausfinden,

dafür müsste er jedoch alle möglichen Varianten vergleichen, die er jedoch gar nicht bewusst erhalten und damit vergleichen kann.

In der Literatur ist es üblich, diese psychischen Besonderheiten des Entwurfs mit Hilfe einer spezifischen Denkform, des sogenannten „Design thinking“ oder „Design problem solving“, zu beschreiben (Thomas & Carroll, 1979; Carroll, Thomas, Miller & Friedman, 1980; Guindon, 1990 a, b). Einerseits ist diese Betrachtungsweise hilfreich, weil damit Besonderheiten der beteiligten Denkleistungen herausgearbeitet werden:

- Konstruieren ist nicht das Bedenken von gegebenen Sachverhalten, sondern ein Vorausdenken, also ein denkendes Entwerfen noch nicht gegebener Sachverhalte, beispielsweise eines noch nicht existierenden künftigen Gebildes. Dieses Vorausdenken muss wenigstens teilweise schöpferische Qualität haben, denn das zu entwerfende Gebilde soll nützliche neue Eigenschaften aufweisen. Hinzu kommt, dass das Entwerfen hinsichtlich seines Ausgangs Unsicherheiten aufweist: Es besteht ein Widerspruch zwischen dem Anreiz, mit Hilfe der eigenen Denktätigkeit zu sicheren Lösungen vorzudringen und dem beeinträchtigenden Risiko, dabei auf Umwege zu geraten oder gar zu scheitern. Dies wird dadurch verschärft, dass sich bei Entwurfstärigkeiten niemals vollständig feststellen lässt, ob das entwickelte Ergebnis tatsächlich das optimale ist (Bucciarelli, 1994). Insgesamt steht das Denken beim Konstruieren vor Anforderungen, die in einer optimalen rationalen Weise nicht erfüllbar sind (vgl. das Konzept der bounded rationality, March, 1978).
 - Im Unterschied zu den wissensreinen Problemen der experimentellen Denkpsychologie geht es beim Konstruieren des Alltags um äußerst wissensreiche Denkaufgaben. Das hat weitreichende Folgen für den Verlauf des Konstruierens.
 - Im Denken während des Konstruierens ist eine Wirkungskette zu entwickeln. Es sind stoffliche Gebilde (bspw. ein Getriebe) auszudenken, die bestimmte Funktionen realisieren (z. B. eine Drehbewegung bestimmter Richtung, Kraft und eines bestimmten Tempos), welche wiederum zu beachtlichen Wirkungen führen sollen (beispielsweise zur Fortbewegung). Dazu muss das Denken fortlaufend zwischen diesen qualitativ unterschiedlichen Lösungsbereichen wechseln.
- Die Beschreibung des Konstruierens als „Design thinking“ ist hingegen problematisch:
- Zum Ersten engt es die Anforderungen unzutreffend auf das Denken bzw. Problemlösen ein. Der für das Konstruieren entscheidende Wissensersatz und Wissenstransfer wird wenig beachtet. Des Weiteren werden Tätigkeitsbestandteile wie das Skizzieren, das Improvisieren („Basteln“ materieller Modelle) und das Diskutieren mit anderen oder mit sich selbst kaum einbezogen. Auch

zu Lösungen vergleichbarer Güte führen. Einen aktuellen Überblick zu dieser Problematik gab von der Weth (2001). Obgleich bisher „keine von Individuen unabhängige Optimalstrategie des Konstruierens“ identifiziert werden konnte (von der Weth, 2001, S. 81), gibt es andererseits eine Reihe übereinstimmender Einzelmerkmale erfolgreichen Vorgehens beim Entwerfen, die von verschiedenen Untersuchern bei verschiedenen Konstrukteuren mit unterschiedlichen Aufgaben beobachtet wurde. Im Einzelnen:

In zahlreichen Laboruntersuchungen wurde mit detaillierten Verhaltensprotokollen das Vorgehen von Konstrukteuren untersucht (Dylla, 1991; Fricke, 1993; Blessing, 1994; von der Weth, 1994; Günther & Ehrlenspiel, 1998). Einer dieser Untersucher resümiert: „... die Vielfalt der Vorgehensweisen war enorm“, es zeigten sich „sehr unterschiedliche Vorgehensstile“ und „keine Optimalstrategie und keine Erfolgsstrategie für jedermann“ (von der Weth, 2001, S. 83, 95). Eine mögliche Erklärung hierfür dürfte sein, dass Konstrukteure selten ihre Aufträge systematisch zerlegen, sondern vorwissensgeleitet bei Teilen des Auftrags, für die sie Lösungen bereits kennen, beginnen und dann weiter arbeiten.

Einerseits ist also keine zu erfolgreichen Lösungen führende Strategie nachgewiesen, und erfolgreiche Lösungen scheinen auch ohne eine identifizierbare reliable Strategie des Vorgehens möglich zu sein. Andererseits gibt es in der Literatur aber keine überzeugenden Argumente dafür, dass erfolgreiche Lösungen mit beliebigen Vorgehensmerkmalen entstehen. Es ist beispielsweise wenig wahrscheinlich und nicht belegt, dass das Ignorieren der Anforderungen des Auftrags, rigides Festhalten am anfänglichen vermuteten Lösungsprinzip, Unterlassen von bewertenden Rückkopplungen von Teillösungen zu den Gesamtanforderungen oder ein Agieren ohne Zielbezug charakteristische Merkmale eines erfolgreichen Entwickelns sind (Hacker, Wetzstein & Römer, 2002). Möglicherweise war also das Ziel der Suche nach einer einheitlichen Optimalstrategie zumindest vorerst zu hoch gesteckt. Eine Strategie ist doch ein heuristisches zielorientiertes Entscheidungsschema, nach dem mehr oder weniger umfangreiche Handlungssequenzen in Abhängigkeit von den Eingabegrößen und Prüfbedingungen ausgewählt werden (Clauß, 1995).

Bei der Suche nach Einzelmerkmalen erfolgreichen Entwurfs finden sich in empirischen Untersuchungen hingegen bedenkenwerte Übereinstimmungen der Befunde (Dylla, 1991; Fricke, 1993; Görner, 1994; Stauffer & Ullman, 1988; von der Weth, 2001) sowie Analogien zu Ergebnissen der kognitionspsychologischen Forschung zum Problemlösen (Krause, 2000). Die Merkmale erfolgreichen Entwurfs verschiedener Objekte durch verschiedene Personen sowie die Merkmale des Vorgehens von erfolgreichen bzw. beruflerfahrenen Konstrukteuren werden im Folgenden zusammengefasst. Zu diesem Merkmalspool gehört nach den bisherigen Ergebnissen:

die leistungsbestimmende Rolle des Arbeitsgedächtnisses als ein Trade-off von Bewussthalten und Verarbeiten wird wenig berücksichtigt.

Zum Zweiten reduziert die Behandlung als „Design thinking“ die Konstruktionstätigkeit als komplexe geistige Arbeitstätigkeit auf die Betrachtungsebene psychischer Prozesse, wie sie die Allgemeine Psychologie isoliert behandelt. Aber die Summe aller beteiligten psychischen Prozesse ergibt noch keine erschöpfende Einsicht in das Funktionieren erfolgreicher Entwurfstätigkeiten: Das Entwerfen von technischen Artefakten schließt die Intentionalität des Erzeugens von Produkten ein. Damit liegt der Nutzen der Konzepte des intentionalen (zielgerichteten) Handelns näher. So ist es sinnvoll, das Untersuchen des Entwurfs im Rahmen tätigkeits- bzw. handlungspsychologischer Konzepte zielgerichteter Tätigkeiten zu betreiben. Gelegentlich wird der Versuch einer realistischeren Einordnung des Entwurfs als „Makro-Kognition“ bezeichnet und der Fiktion der puren und kontextfreien „Mikro-Kognition“ im Sinne einzelner psychischer Prozesse gegenübergestellt und damit von der kognitionspsychologischen Herangehensweise abgegrenzt (Hollnagel, 1998). Die bereits erprobten tätigkeitspsychologischen Konzepte versprechen eine umfassendere Berücksichtigung der Besonderheiten von Entwurfstätigkeiten im Vergleich zu dem noch wenig erprobten Konzept der Makrokognition. Sie berücksichtigen nicht nur, dass Entwurfsprozesse ganzheitliche Arbeitstätigkeiten mit sozialer Kooperation sind, sondern beziehen auch eine Forschungstradition ein, die Entwurfstätigkeiten als Vorgänge des reflexiven Auseinandersetzens, des „Dialogs“ der Entwickler mit ihren Zwischenergebnissen und deren zu berücksichtigenden Bedingungen verstehen (reflection-in-action-Konzept, Bucciarelli, 1988, 1994; Schön, 1988, 1996; Stacey, Eckert und McFadzean, 1999). Da Dialoge nicht nur von individuellen Bearbeitern mit ihren Zwischenergebnissen geführt werden, sondern Konstrukteure die Bedeutung des Gesprächs mit Kollegen oder Auftraggebern betonen, ist das Entwerfen schließlich auch ein sozialer Prozess (Frankenberger & Badke-Schaub, 1998).

1.2 Optimalstrategien des Entwurfs versus Einzelmerkmale des erfolgreichen Vorgehens beim Entwerfen

Die erwähnte Abfolge von Hauptschritten im konstruktiven Entwurfsprozess gemäß der VDI-Richtlinie 2221, stellte sich als eine präskriptive Idealisierung des Ablaufs heraus. Eingehendere empirische Untersuchungen des tatsächlichen Vorgehens relativierten ihre generelle oder gar normative Gültigkeit als optimale Vorgehensweise: Die berichteten Vorgehensweisen von Konstrukteuren weichen von den normativ vorgeschlagenen deutlich ab. Verschiedene Konstrukteure nutzen in Abhängigkeit von ihren Erfahrungen unterschiedliche Vorgehensweisen. Es fehlen jedoch Erklärungskonzepte, wieso die verschiedenen Vorgehensweisen

- Das umfassendere Analysieren der Anforderungen und der Informationen über das zu entwickelnde Objekt am Anfang und während des weiteren Vorgehens (Dylla, 1991), wobei Erfolge besonders die funktionsrelevanten Informationen berücksichtigen und diese häufiger integrieren sowie fixieren als andere Bearbeiter (Görner, 1994).
- Das umfangreichere Ausnutzen von Wissen und Informationen, wodurch bei neuen Einsichten und Informationen, die im Verlaufe des Entwurfs entstehen, in einer zwar zielbezogenen, aber flexiblen Art vorgegangen wird (Fricke, 1993).
- Auf der Basis einer groben vorläufigen Idee von der Gesamtlösung werden die Teile des zu entwickelnden Systems nacheinander im Detail bearbeitet. Es wird also zwischen dem Arbeiten am Gesamtsystem und dem detaillierten Arbeiten an Teilen im Sinne eines bereichsorientierten Vorgehens wiederholt gewechselt (Fricke, 1993).
- Es werden verschiedene Lösungsprinzipien für die Gesamt- und die Teillösungen entwickelt. Es liegt eine generierende und nicht nur eine korrigierende Lösungserzeugung vor. Aus diesen Alternativen wird eine günstig erscheinende ausgewählt (divergentes und konvergentes Denken; Ehrlenspiel, 1995).
- Beim Entwickeln wird sowohl skizziert, d. h. visuell wahrnehmbar dargestellt, als auch begrifflich auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen operiert (multimodale Lösungsentwicklung; Dylla, 1991; Eisentraut & Günther, 1997; Roozenburg & Dorst, 1998).
- In wiederholten Rückgriffen auf die im Pflichtenheft fixierten Anforderungen erfolgen reflexive Bewertungen der Zwischenergebnisse und des eigenen Vorgehens, und es werden dabei weitere Arbeitsschritte festgelegt (Eisentraut & Günther, 1997). Das geschieht für das generelle Lösungsprinzip und für konkrete Einzellösungen (Görner, 1994).

1.3 Ablauf von Entwurfstätigkeiten – Hybrides Vorgehen: „Opportunistisch mit systematischen Episoden“

Die normale Form der psychischen Regulation intentionaler Tätigkeiten ist die wissensbasierte Regulation (Hacker, 1998). Ein Konstruktionsauftrag führt zunächst zum bewussten Durchmustern des Wissensraumes nach bereits gelösten einschlägigen Fällen und bringt Wissen in Erinnerung. Ist ein brauchbar erscheinender Fall bekannt, so wird er als Ausgangspunkt des Entwurfs genutzt. Trifft das nicht zu, müssen neue Lösungen erdacht oder bekannte ähnliche Lösungen verändert werden. In der Regel greifen berufterfahrene Entwurfer auf eine Kombination dieser fallbasierten Wissensnutzung und des Neuausdenkens bei komplexen Konstruktionsaufträgen zurück (Guindon, 1990a, b; Visser, 1994; Sonnentag, 1996). Wegen dieses häufigen Ansetzens an erinnerten Fäl-

len ist die Entwurfstätigkeit normalerweise kein „top-down-breadth-first“-Prozess, der zunächst den Gesamtauftrag systematisch denkend in alle Teile zerlegt und sodann wiederum jedes Teilziel systematisch auf alle Lösungsmöglichkeiten hin untersucht. Vielmehr wechseln durch Wissen getriebene, auf ein Teilziel bezogene Vorgehensteile mit solchen einer streckenweise systematischen Zerlegung des Gesamtauftrags, also ein bottom-up- und ein top-down-Vorgehen. Dabei handelt es sich um eine Variante der sogenannten heterarisch-sequenziellen Tätigkeitsregulation (vgl. Hacker & Richter, in diesem Band). Der Begriff der Heterarchie soll im Unterschied zu dem der Hierarchie das mögliche Abweichen von einem systematischen Zerlegen eines Gesamtzieles und das zeitweilige Bearbeiten noch nicht systematisch abgeleiteter lokaler Ziele sowie deren rückwirkenden Einfluss auf das Präzisieren des Gesamtzieles bezeichnen. Bei Entwurfsprozessen werden nicht selten Lösungsideen verfolgt, bereits bevor das zu lösende Gesamtproblem klar ausgearbeitet wurde. Anstatt also zunächst das Problem tiefgründig und erschöpfend zu untersuchen und erst danach Lösungen zu erzeugen, verfolgen Konstrukteure alsbald vermutungsgeleitet eine Lösungsalternative, wobei sie zu verfolgende Ziele und zu beachtende Einschränkungen analysieren und auf diese Weise die Komplexität des Gesamtproblems reduzieren (Darke, 1979; Bucciarelli, Goldschmidt & Schön, 1987).

Dieses Abweichen von einer systematischen Zerlegung von Gesamtzielen ist dadurch ausgelöst, dass der Entwurfende auf Sachverhalte stößt, die nach seinem Vorwissen mit vermutlich nützlichen Teillösungen für den zu bearbeitenden Gesamtauftrag verknüpft sind (Guindon, 1990a, b). Dieses heterarische, d. h. streckenweise Gelegenheiten aufgreifende („opportunistische“) Vorgehen steht im Widerspruch sowohl zu konstruktionswissenschaftlichen Empfehlungen als auch zu denpsychologischen Konzepten: Die Empfehlungen des Mach- oder Zerlege-Prinzips (Smith & Browne, 1993) lauten, Aufträge systematisch so lange weiter in kleinere Teile zu zerlegen, bis durch vorhandenes Vorwissen lösbare kleine Aufgabenteile erreicht sind. Das entspricht dem Modell der Mittel-Ziel-Analyse der Kognitionspsychologie. Das „opportunistische“, fall- bzw. vorwissensbasierte Vorgehen und das systematische Zerlegen eines Gesamtauftrags schließen einander nicht aus, sondern ergänzen sich. Das wird beispielsweise in dem task-episode-accumulation-Modell erkennbar (TEA-Modell; Ullman, Dietterich & Stauffer, 1988): Nach einer vorläufigen Dekomposition von Aufträgen (task) wird lokal, an Teilaufgaben (Episoden) Alternativen entwerfend und prüfend entwickelt. Im Ergebnis davon werden die vorläufigen, zerlegten Ideen vom Gesamtprodukt akkumulativ weiter verbessert. Sie werden dabei zur Gesamtlösung integriert (Roozenburg & Dorst, 1998).

Trotz seines streckenweise „opportunistischen“ Vorgehens ist das Entwerfen als eine ergebnisbezogene Arbeitstätigkeit auch zielgerichtet. Es wird nicht „durchgewurstelt“, sondern ein Auftrag wird zügig erfüllt. Das kann dadurch erklärt

werden, dass anfänglich sehr unspezifische Ziele, die sogar die Qualität von Werten haben können – beispielsweise eine elegantere Lösung für die Realisierung der Bewegungsumkehr – zeitweilig als eine determinierende Tendenz zur vagen Bestimmung einer Suchrichtung sowie zur groben Bewertung von Teilergebnissen (das könnte irgendwie weiterhelfen, jenes dagegen kaum) geeignet sind (von der Weth, 1994). Die Zielpräzisierung ist also selbst ein Inhalt des Entwurfs im Sinne einer iterativen Zielentwicklung. Ziele haben eine unerlässliche tätigkeitsregulierende Funktion, aber das bedeutet nicht, dass zunächst klar umrissene Ziele gegeben sein müssen, bevor der Entwurfende entwickeln kann.

Gelegentlich werden nacheinander sogar Teilziele verfolgt, die nicht auseinander hergeleitet wurden, sondern unverknüpft sind. Eine Möglichkeit zur Erklärung dieses Wechsels zwischen unverknüpften Teilzielen bietet der Tätigkeitsaufbau aus Ziel-Bedingungs-Maßnahmen-Einheiten bzw. auf untergeordneter Ebene nur aus Bedingungs-Maßnahme-Einheiten (Wenn-Dann-Einheiten).

Die Ziel-Bedingungs-Maßnahmen-Einheiten sind bei genauerer Betrachtung Rückkopplungskreise, weil jeweils geprüft wird, ob die Maßnahme die Bedingung verändert bzw. das Ziel erreicht hat. Sie besitzen die Struktur der sogenannten test-operate-test-exit (TOTE)-Einheiten (im Sinne von Miller, Galanter & Pribram, 1960; Hacker, 1998). Die Ziel-Bedingungs-Maßnahmen-Einheiten sind eine wissenspsychologische Darstellung der TOTE-Einheiten. Beim Entwerfen ist der fortlaufende rückkoppelnde Wechsel zwischen Gestaltungs- und Bewertungsschritten (einschließlich Berechnungs-)Schritten typisch. Oftmals werden hierbei Gestaltungsschritte hypothetisch („intuitiv“) eingesetzt und erst danach wird ihre Brauchbarkeit bewertet (Roozenburg & Dorst, 1998). Das Entwerfen besteht also zu entscheidenden Teilen aus Gestaltungs-Bewertungs-Zyklen und ist somit auch als fortlaufender Fehlerkorrekturprozess – also nicht nur als ein Prozess zielgerichtet voranschreitender Lösungsentwicklung – beschreibbar (Smith & Browne, 1993).

2 *Unterstützungsbedarf und Unterstützungsmöglichkeiten konstruktiver Entwurfstätigkeiten*

2.1 *Unterstützungsbedarf und seine Systematisierung*

Es gibt zahlreiche Bemühungen, Entwurfstätigkeiten durch externe Wissensspeicher, Verfahrensvorschriften, organisatorische Empfehlungen, Hilfsmittel, wie beispielsweise morphologische Kästen, oder Arbeitsmittel, wie beispielsweise Computer mit Softwaresystemen (CAD), zu erleichtern, zu beschleunigen und zu verbessern (Ehrlenspiel, 1995; Pahl & Beitz, 1997).

Dabei müssen auch bei Entwurfstätigkeiten zwei Strategien der Unterstützung unterschieden werden, weil sie verschiedenartige Wirkungen auf die Struktur geistiger Arbeit haben:

- a) *Automatisierung* – Tätigkeiten werden dem Entwerfer abgenommen und durch Computerprozesse ersetzt. Diese Automatisierung verändert die Funktionsteilung (Allokation) zwischen Mensch und Automat bzw. Programm. Eine Unterstützung des Konstrukteurs liegt hierbei bestenfalls in einem weiteren Sinne vor, weil Handlungen, die der Mensch nicht mehr ausführt, auch nicht unterstützt werden können. Eine Unterstützung besteht hier darin, dass der Konstrukteur Vorrichtungen nicht selbst ausführen muss, die für das Erfüllen des Gesamtauftrags erforderlich sind. Inwieweit das Automatisieren den Menschen dabei tatsächlich unterstützt, hängt von der Aufgabenanpassung und Bedienfreundlichkeit des jeweiligen Systems, d. h. von dem Aufwandsverhältnis zwischen eingesparten, an das Computersystem delegierten Vorrichtungen, zu den hinzukommenden Bedieneinrichtungen und Transformationsanforderungen ab.
- b) *Unterstützung durch Vorgehensweisen und Hilfsmittel* – Die auszuführenden Tätigkeiten verbleiben hierbei beim Entwerfer, werden aber durch zweck-spezifische Verfahrensweisen oder Hilfsmittel unterstützt.

Die Automatisierung von Teilen des Entwurfsprozesses mittels CAD-Systemen betrifft einen andersartigen, eigenständigen Themenbereich, nämlich die substanziellen Veränderungen von Arbeitsinhalten, Handlungsorganisationen und Arbeitsweisen der Entwerfer durch CAD-Systeme. Sie bedingen, dass CAD allein kein geeignetes Medium für die hier im Vordergrund stehenden Entwurfsabschnitte der Aufgabenklärung und der Ideenfindung ist (Böhle, 1995; Bolte, 1998). Das wird bekräftigt durch Befunde, die zeigen, dass mehr als die Hälfte CAD-erfahrener Konstrukteure angibt, zur Vorbereitung von CAD-Arbeitsabschnitten sowie während dieser zusätzlich Handskizzen anzufertigen, auch wenn sie explizit keine Zeichenausbildung absolviert hatten (Sachse, Leinert & Hacker, 2001a).

Im Weiteren werden nur die eigentlichen Unterstützungsmöglichkeiten des Entwerfers durch zweckbestimmte Vorgehensweisen und Hilfsmittel („Strategien“) behandelt. Diese psychologisch fundierten Unterstützungsmöglichkeiten zielen vornehmlich auf das Unterstützen der kognitiven Prozesse. Den hier zuordenbaren Untersuchungen und erfahrungsgestützten Vorschlägen ist aus psychologischer Sicht gemeinsam, dass mental ablaufende Prozesse erweitert werden um externe, physisch ablaufende Vorgänge. Diese ergänzen mentales Denken durch ein „Denken im Handeln und durch das Handeln“ (Rubinstein, 1984, S. 431). Die Rolle der Einheit innerer, mentaler und äußerer, psychomotorischer Vorgänge im Denken einschließlich ihrer Wechselwirkungen ist verallgemeinert in

der Interiorisations-/Exteriorisations-Theorie geistigen Handelns von Galperin (1966). Seit mehreren Jahrzehnten heben anfänglich Erfahrungsberichte und in neuerer Zeit experimentelle Analysen die ausschlaggebende Bedeutung der Wechselwirkung mentaler und motorischer, „materialisierender“ Vorgänge für das konstruktive Entwerfen hervor (Keiser, 1929; Bauerfeind, 1947; Bach, 1973; Richter, 1987; Ferguson, 1993; Goel, 1995; Viebahn, 1996; Sachse, 2002). Einen Überblick über Unterstützungsmöglichkeiten, die aus konstruktionswissenschaftlicher Sicht entwickelt wurden, gab Lauche (2001).

Das Unterstützen der frühen Phasen des Entwerfens, also der Problemfindung, der Aufgaben- bzw. Problemerkklärung sowie der Entwicklung von Lösungsprinzipien, ist von zentralem Interesse, weil in ihnen die Ergebnis- und Kostenbeeinflussung am größten sind, die Lösungsgewissheit am ausgeprägtesten ist und die Delegationsmöglichkeiten an eine automatisierte Bearbeitung (CAD) geringer sind als bei „späteren“ Entwicklungsphasen.

Das ergänzende Externalisieren von Entwurfsschritten in diesen frühen Phasen kann im Einzelnen sehr verschiedene Formen aufweisen und unterschiedliche psychische Vorgänge beinhalten, z. B. als

- das Herstellen einfacher materieller Modelle („improptu“-Modelle, Radcliffe, 1998) oder von visualisierten Beziehungsgeflechten (Strukturlegetechnik, Scheele & Groeben, 1988),
- das Skizzieren und/oder schriftliches Entwerfen von Lösungen,
- das sprechende Entwickeln von Lösungen für eine fragende Person oder – innerlich sprechend – für sich selbst,
- das schriftliche Bearbeiten von Fragesystemen/Checklisten beispielsweise bei der Problemerkklärung anstelle reinen mentalen Erwägens,
- die Diskussion unter Fachleuten mit mindestens teilweiser heterogener, d. h. sich wechselseitig ergänzender Kompetenz, als zeitweilig kooperativer Problemlöseprozess (aufgabenbezogener Informationsaustausch, Neubert & Tomczyk, 1986), oder
- entwerfende Gesten (u. a. begleitende, darstellende Ausdrucksbewegungen ohne externe Fixierung).

Diese verschiedenen Formen einer ergänzenden Externalisierung von Entwurfsschritten unterscheiden sich hauptsächlich in zwei Aspekten: Zum Ersten können sie Zwischenergebnisse extern festhalten (z. B. mittels Skizzen oder Notizen) und somit zu einer Gedächtnisentlastung beitragen. Insofern können Externalisierungen mit Fixierung (bspw. Zeichnen) und Externalisierungen ohne Fixierung (beispielsweise Lösungen sprachlich oder gestisch darstellen) unterschieden werden. Zum Zweiten kann im Falle einer sprachlichen oder auch zeichnerischen bzw. schriftlichen Darstellung diese für und mit Partner erfolgen oder auch lediglich für sich selbst, also ohne realen Partner.

Damit bestehen wenigstens drei Möglichkeiten zur Erklärung der Unterstützung durch die im Folgenden dargestellten Vorgehrensweisen:

1. *Unterstützung durch eine Gedächtnisentlastung mit Hilfe des Fixierens von Ideen.* Die Ideen werden einerseits dadurch vor dem Vergessen bewahrt und es wird des Weiteren Mentalkapazität frei für das Bearbeiten.
2. *Unterstützung der intellektuellen Lösungsentwicklung (individuelle Denkkunterstützung).* Diese Unterstützung geht hauptsächlich zurück auf zusätzliche Problemrepräsentationen, damit auf zusätzliche Rückmeldungen über eigene Teilergebnisse und auf den Wechsel zwischen unterschiedlichen Repräsentationsformen. Die zusätzlichen Problemrepräsentationen ermöglichen Vorteile, die in der Kognitionspsychologie unter den Begriffen der multiplen Repräsentation und der Komplexitätsreduktion behandelt werden. Komplexitätsreduktionen werden möglich bei dem Wechsel zwischen zeichnerischer und begrifflicher Repräsentation, da im begrifflichen Bereich der Wechsel zwischen verschiedenen Abstraktionsebenen leicht gelingt.
- Eine zweite Unterstützung der individuellen Denkprozesse ist durch das laute oder leise Sprechen, die so genannte dialogische Sprachstruktur, möglich. Dazu wird unten im Zusammenhang mit der Unterstützung durch Reflexionstechniken auf kognitionspsychologische Grundlagenkenntnisse verwiesen.
3. *Unterstützung der kooperativen Lösungsentwicklung (kooperative Denkkunterstützung).* Bei der Unterstützung der kooperativen Lösungsentwicklung handelt es sich um das Bereitstellen und Nutzen geeigneter Formen der Kooperation bei problemlösenden Arbeitstätigkeiten.

2.2 Problem- bzw. Aufgabenanalyse – Analyse der Anforderungsstruktur von Entwurfsaufträgen¹

Entwurfstätigkeiten erfüllen Aufträge. Der Auftrag ist oftmals in Pflichten- oder Lastenheften spezifiziert. Aus dem Auftrag ergeben sich die Arbeitsanforderungen. Diese sind objektive Merkmale des Auftrags und unabhängig von den Leistungsvoraussetzungen der späteren Bearbeiter. Je nach diesen kann ein gleicher Auftrag ein durch intellektuelle Leistungen zu lösendes Problem oder eine einfache – weil eventuell zum wiederholten Male und mit vorgegebenem Wissen bearbeitete – Aufgabe darstellen. Aus diesem Bezug der Anforderungen auf die individuellen Leistungsvoraussetzungen des Bearbeiters ergibt sich der Schwierigkeitsgrad (Hacker, 1998).

¹ Diese Darstellung basiert auszugsweise auf einem Beitrag von F. Schroda & W. Hacker (1998).

Um zu der Vielzahl verschiedener, der Entwurfstätigkeit zu Grunde liegender Arbeitsaufträge allgemein gültige Aussagen treffen zu können, ist es notwendig, diese zu klassifizieren und die Unterschiede zu beschreiben. Erste Versuche der Anforderungsbeschreibung finden sich bei Müller (1990) und Langner (1991), die aber eine Einschätzung des Konstruktionsproblems erst nach erfolgreicher Lösung zulassen und die Anforderungen nicht klar vom Bearbeiter trennen. In der Regel ist es nicht möglich, von der Problemlösung retrospektiv auf die Anforderungen zu schließen, da oft verschiedene Lösungsvarianten und Lösungswege möglich sind und im Prozess bereits Kontextbedingungen und Personenvariablen gewirkt haben.

Folgende Anforderungsmerkmale finden sich in der Literatur zum Problemlösen unter verschiedenen Benennungen: Komplexität, Transparenz, Freiheitsgrade und Dynamik. Aus nachstehend beschriebenen Gründen wurden die Kriterien „widersprüchliche Ziele“ und „erforderliches Wissen“ hinzugefügt (vgl. Abb. 2).

1. *Widersprüchliche Ziele.* Die Ziel-Identifikation ist einer der ersten und schwierigsten Schritte beim Konstruieren. Ziele sind in der Regel zu Beginn unscharf. Sie können nicht direkt zu einer Lösung führen. Die Ziele von Konstruktions-

problemen sind hierarchisch strukturiert. Unterziele sind spezifizierte Oberziele. Oft müssen bei einer Problemlösung gleichzeitig mehrere Ziele verfolgt werden (Smith & Browne, 1993). Einzelne Ziele können sich widersprechen und zu einem Zielkonflikt führen (Kannheiser, 1984). Die Konflikte zwischen Zielen können unterschiedlich stark sein. Mehrere schwer oder nicht zu vereinbarende, vor allem mengen- und qualitätsbezogene Zielstellungen konkurrieren miteinander.

2. *Komplexität.* In einem zweiten Schritt der Anforderungsanalyse werden aus den Zielen des Konstruktionsauftrages die Teilfunktionen des zu konstruierenden Gebildes abgeleitet. Die Teilfunktionen und deren Vernetztheit bestimmen die Komplexität der Konstruktionsaufgabe (vgl. Dörner, 1976). Funktionen sind hierarchisch strukturiert. Teilfunktionen sind spezifizierte Unterfunktionen der Gesamtfunktion. Die Komplexität einer Konstruktionsaufgabe ist abhängig von der Anzahl an Teilfunktionen, die bei der Bearbeitung gleichzeitig berücksichtigt werden müssen, von deren Verknüpfung und von der Stärke der Verknüpfung zwischen den Teilfunktionen. Mit der Stärke der Verknüpfungen wird ausgedrückt, ob geringfügige Veränderungen von Variablen zu größeren Veränderungen in anderen Variablen führen. Bei der Komplexität handelt es sich also um strukturelle Problemeigenschaften.

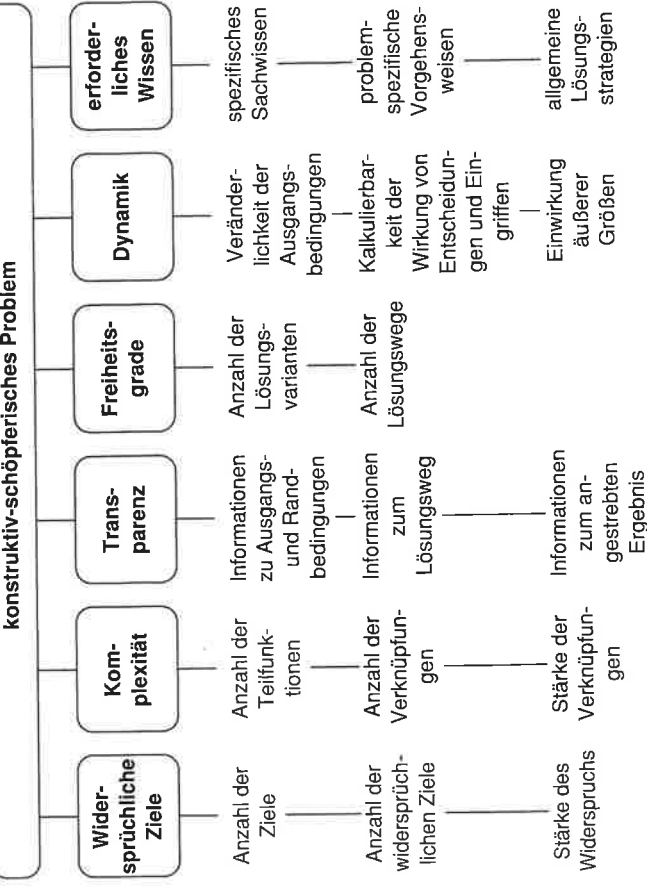


Abbildung 2:

Anforderungsstruktur eines konstruktiv-schöpferischen Problems

3. *Transparenz.* Nach Dörner (1976) ist das Ausmaß an Transparenz in einer Situation gering, wenn die Feststellung der Situationsmerkmale schwierig oder ganz unmöglich ist. Putz-Osterloh (1983) beschreibt ein Problem als intransparent, wenn nicht alle für die Lösung relevanten Daten vorgegeben sind. Nach Müller (1990) ist Transparenz die Schärfe, in der eine Aufgabenstellung infolge des Gegebenen, der Struktur und des Zielzustandes durchschaubar ist. Intransparenz ist mit Unsicherheit verbunden. Unter der Transparenz eines Konstruktionsproblems wird die Verfügbarkeit von Informationen zu den Ausgangsbedingungen, zum Lösungsweg und zum Zielzustand verstanden (Krause, 2000).

4. *Freiheitsgrade.* Freiheitsgrade sind objektive Wahlmöglichkeiten, die alle zum angestrebten oder vorgegebenen Ziel führen. Ihr Umfang hängt von der Aufgaben- bzw. Problemstellung ab. Freiheitsgrade sind Möglichkeiten zum unterschiedlichen aufgabenbezogenen Handeln hinsichtlich der Auswahl von Mitteln und Wegen und der zeitlichen Abfolge von Aufgabenbestandteilen. Die Menge an möglichen Lösungswegen und Lösungsvarianten kennzeichnet die Freiheitsgrade für den Bearbeiter eines Konstruktionsproblems. Es müssen beide Komponenten betrachtet werden, da für eine Lösung auch mehrere Lösungswege möglich sind.

5. *Dynamik.* Dynamik ist eine Eigenschaft des Systems selbst. Sie umfasst Veränderungen, für die der Problemlöser nicht verantwortlich ist (Dörner, 1976).

Bei dynamischen Problemen sind die aktuellen Ausgangsbedingungen zeitlichen Veränderungen unterworfen. Die Feststellung der Ausgangsbedingungen ist mit Schwierigkeiten verbunden und die Wirkung der eigenen Handlung, d. h. die zukünftige Wirkung eines gegenwärtigen Eingriffs, ist nur begrenzt voraussehbar. Dynamische Probleme existieren nicht isoliert von der Umwelt, sondern äußere Randbedingungen können auf das Problemverhalten einwirken (Thalmaier, 1979).

6. *Erforderliches Wissen.* Im Unterschied zu den klassischen Experimenten der Denkpsychologie, die sich mit weniger komplexen, wissensfreien oder -armen und somit künstlichen Problemen, wie z. B. dem „Turm von Hanoi“ (Cook, 1937; Klix, 1971) oder dem „Neun-Punkte-Problem“ (Maier, 1931) beschäftigen, richtet sich die Erforschung komplexer, wissensreicher Probleme auf die Bewältigung von Problemen aus dem Alltag des Menschen. Dabei erfordert jede Aufgabe und jedes Problem vom Bearbeiter zum Lösen ein bestimmtes Mindestmaß an notwendigem Basiswissen. Dieses Wissen kann Sach- und Methodenwissen sein.

Auf der Grundlage der skizzierten Überlegungen hat Schroda (1999) ein Analyseverfahren der Anforderungen konstruktiv-schöpferischer Probleme (die Problem- und Aufgabenanalyse) entwickelt, validiert und dargestellt, das eine Verfahrensstücke schließt. Die Problem- und Aufgabenanalyse eignet sich für Aufgabenstellungen, die in Auftragsform vorliegen, nicht aber für kontinuierliche Arbeitsaufgaben, d. h., Anfang und Ende einer Aufgabe müssen definiert sein. Die Übertragbarkeit des Hilfsmittels in die Softwareentwicklung ist denkbar.

2.3 Unterstützung durch Darstellungshandeln – Skizzieren und Modellieren im Entwurfsprozess

Externe materialisierte Handlungen (z. B. Skizzieren, Modellieren) können das Denken beim Konstruieren unterstützen (vgl. Rusch, 1970; Bruns, 1993; Ehrlenspiel, Bernard & Günther, 1995; Hacker, 1998; Suwa, Gero & Purcell, 1998; Sachse, 2002; Bilda & Demirkan, 2003). Das Konstruieren ist im umfassenden Maße Darstellungshandeln. Das Skizzieren und Modellieren, also die Erzeugung zeichnerisch-symbolhafter und gegenständlichen Unterstützungsformen (Prototyping) ermöglicht dabei nicht nur eine äußere Abbildung der mentalen Repräsentationen. Vielmehr können diese weiter entwickelt, präzisiert und korrigiert werden. Entscheidend ist mithin, dass die Externalisierung nicht lediglich intern „im Kopfe“ verfertigte Lösungen fixiert, sondern in einem erheblichem Maße auch Lösungsentwicklung ist (Klauer, 1993, 1995; Viehbahn, 1996; Purcell &

Gero, 1998; McGown, Green & Rodgers, 1998; Kavaki & Gero, 2001; Schütze, Sachse & Römer, 2003). Die visuelle Rückmeldung dürfte hierbei ebenso förderlich sein wie eine mögliche Komplexitätsreduktion des Problems in den abstrahierenden Skizzen und materiellen Modellen, die eine Voraussetzung für das Finden der Lösungen sein kann. Das könnte insofern von Anfang an zum Präzisieren und dabei Prüfen zwingen und Mehrdeutigkeit und Vagheit reduzieren.

Bedingung für eine fördernde Wirkung ist allerdings, dass das Skizzieren und Modellieren integrativer Bestandteil des zu unterstützenden Prozesses ist (Hunt, 1987; Ehrlenspiel, 1995; Tovey, Porter & Newman, 2003). Die Vernachlässigung des notwendigen Skizzierens und Modellierens kann zu Erschwernissen für einen erfolgreichen Konstruktionsverlauf führen, welche die mentale Problem- und Aufgabenrepräsentation und die mentalen Operationen an diesen, betreffen. Weiterhin kann es mit Beeinträchtigungen des Erfahrungsgewinns und des Hinzulernens zu einer Stagnation der Entwicklung der Problemlösebefähigung kommen (Tab. 1).

2.3.1 Funktionen externer Unterstützungsformen

Skizzen, materielle Modelle und Prototypen haben im Entwicklungsprozess für den Konstrukteur zusammenfassend mehrere allgemeine Grundfunktionen: Sie dienen der *Verallgemeinerung* komplexer konstruktiver Sachverhalte und ihrer

Tabelle 1:

Erschwernisse bei der Vernachlässigung des Skizzierens und Modellierens (nach Sachse & Leinert, 1999)

Erschwernisse	
Bei der Aufgaben- und Problemrepräsentation	<ul style="list-style-type: none"> – Entzug der Grundlagen einer sinnlichen Wahrnehmung – Erschwerter Aufbau mentaler Modelle von Handlungsanforderungen, die über das Wissen hinausgehen – Ausparung der praktischen Erfahrung des Konstrukteurs – Begrenzte Herausbildung eines Vorgehensplanes
Beim Denken und Problemlösen	<ul style="list-style-type: none"> – Behinderung des Problemlösens – Beeinträchtigung des schöpferischen Vorgehens – Auftreten kognitiver Notfalloperationen (Ad-hoc-Entscheidungen, Analyseverzicht) – Zeitaufwendigere, erschwerte Lösungsfindung
Beim Lernen/ Erfahrungsgewinn	<ul style="list-style-type: none"> – Verlust umfassender Teilhabe am Entwicklungsprozess – Behinderung von Lernvorgängen

vielfältigen Zusammenhänge (Wirkstrukturen), der *Planung, der Kontrolle* sowie der *Reflexion*. Die systematische Befragung von berufserfahrenen Konstrukteuren ergab ferner, dass die unterschiedlichen externen Unterstutzungsweisen als *Analyse-, Losungsfindungs-, Bewertungs-, Speicher- sowie Kommunikationshilfen* fungieren können (Sachse, Hacker, Leinert & Riemer, 1999).

Die externen Unterstützungsformen lassen sich zwei Hauptgruppen zuordnen. Eine erste Gruppe bilden Unterstützungen ohne nennenswerten Herstellungsaufwand, die im Prozess des Konstruierens vom Konstrukteur selbst erzeugt werden und hochgradig vereinfachen bzw. abstrahieren (vgl. Abb. 3). Abkürzend sei hier von einfachen Unterstützungen gesprochen, deren Hauptvertreter Freihandskizzen und einfache, materielle Modelle (z. B. aus Pappe, Styropor) sind. Einfache Unterstützungen müssen das zu entwickelnde Objekt hinreichend genau repräsentieren, d. h. sie sollten dem Objekt so ähnlich wie *notwendig* sein, ihm aber auch nicht genauer als *zweckmäßig* entsprechen. Damit werden als nebensächlich angesehene Aspekte außer Acht gelassen und die wesentlichen Eigenschaften hervorgehoben. Der Rückgriff auf diese einfachen Unterstützungen ist folglich von einer Kompromissuche zwischen der notwendigen Einfachheit und der Zweckdienlichkeit gekennzeichnet. Dabei können die „Leerstellen“ der einfachen Unterstützungsformen die weitere flexible gedankliche Lösungsentwicklung fördern und neue Ideen für den weiteren Lösungsprozess aufnehmen (Müller, Pra & Beitz, 1992).

Eine zweite Gruppe bilden Unterstützungen mit zusätzlichem zeit- und kostenmäßigen Herstellungsaufwand, die überwiegend außerhalb des Hauptprozesses des Konstruierens arbeitsteilig hergestellt werden. Sie stimmen mit Teilen oder Aspekten des Endproduktes bereits physisch überein. Hauptvertreter sind hier materialechte Modelle, Prototypen sowie die endgültigen Konstruktionszeichnungen.

Keine dieser externen Unterstützungsformen erfüllt ausnahmslos alle nachgewiesenen Funktionen und kann in allen Phasen des Konstruktionsprozesses eingesetzt werden. Ein Unterstützungsangebot, das alle Funktionen und Bearbeitungsphasen abdecken soll, muss als Grundempfehlung Unterstützungsformen aus beiden Hauptgruppen zu einem „*mixed prototyping*“ kombinieren. Erst dadurch wird einerseits frühzeitiges und aufwandsarmes Unterstützen der Effektivitatsbestimmenden Anfangsphasen wie auch ein phasen- und funktionsübergreifendes Unterstützen möglich (Sachse & Hacker, 1997). Das Kombinieren zumeist hochgradig vereinfachender mit produktgetreuen, detaillierten Unterstützungen trägt nicht nur der Datenbeschaffenheit in den verschiedenen Phasen Rechnung. Vielmehr beugt die relative Unbestimmtheit der vereinfachten frühen Formen einer möglicherweise vorzeitigen Einengung der Überlegungen vor und kann darüber hinaus infolge ihrer Mehrdeutigkeit Denkanstöße liefern, die gerade in den Effektivitatsbestimmenden Phasen benötigt werden (Radcliffe, 1998).

2.3.2 Unterstutzungspotenzial des Skizzierens und Modellierens

Nicht allein die fertigen Skizzen und materiellen Modelle unterstützen den Entwurfsprozess, sondern bereits das Skizzieren und Modellieren trägt dazu bei. Analog zu Heinrich von Kleins (1987) Beobachtung der „allmahllichen Verfertigung der Gedanken beim Reden“, kommt es auch beim Skizzieren und Modellieren zu einem allmahllichen Verfertigen des Losungsgedankens. Leinert, Römer und Sachse (1999) konnten mittels experimenteller Problemstellungen aus der Mechanik nachweisen: Bereits das Skizzieren selbst förderte kurzfristig den Aufbau einer Vorstellung („mentale Repräsentation“). Probanden, die ohne zu skizzieren Problemstellungen analysierten, erkannten weniger Systembestandteile und Relationen und berichteten zudem über eine höhere erlebte Problemschwierigkeit.

Das Skizzieren bzw. Modellieren hat beim entwerfenden Problemlösen eine grundlegende *losungserzeugende und prozessunterstutzende* Wirkung. Zudem kann das Skizzieren und Modellieren zu einer Verbesserung der Güte der konstruktiven Lösung beitragen (Sachse, 1999, 2002). Damit werden u. a. Untersuchungsergebnisse aus der Problemloseforschung bestätigt, nach denen ein „externes Denken“ beim Problemlösen die Lösungsgüte statistisch gesichert verbessert

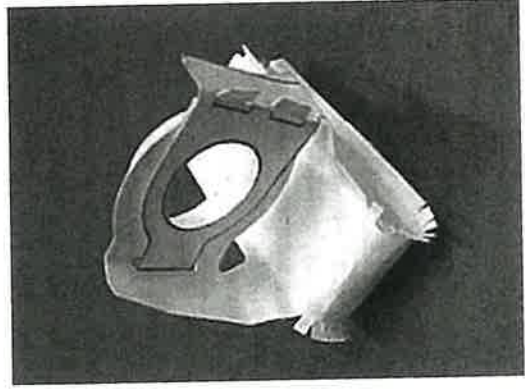


Abbildung 3:
Einfaches und aufwandsarmes, materielles Modell (Sammlung Styner & Bienz AG, Schweiz)

und zugleich zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses beiträgt (Klauert, 1993; Gilhooly, Logic, Wetherick & Wynn, 1993).

Zur Erklärung der Effektivitätsverbesserung durch das Skizzieren und Modellieren trägt auch die wesentlich niedrigere Anzahl von Arbeitsschrittwiederholungen bei (Sachse, Leinert & Hacker, 2001b). Ein verbessertes Behalten auf Grund vertiefter Elaboration während des Skizzierens bzw. Modellierens und einer externen Speicherung in der Skizze bzw. dem Modell, reduziert das Ver-gessen lösungsdienlicher Informationen. Somit wird der Bearbeitungsprozess zur erneuten Informationssuche seltener überflüssigerweise wiederholt und unterbrochen. Die geringere Anzahl der Unterbrechungen dieses aus Rückkopplungskreisen aufgebauten Prozesses kann ihn beschleunigen und verbessern. Effektives Handeln, auch geistiges Handeln, ist auf unzerschnittene und unverzögert arbeitende Rückkopplungskreise angewiesen (vgl. hierzu die TOTE- bzw. VVR-Einheiten der Handlungsregulation, Hacker, 1998, 1999). Das Skizzieren und Modellieren trägt damit auch zu einer unmittelbaren *Unterstützung der Handlungsregulation* bei.

Weitere Befunde legen nahe, dass neben der nachgewiesenen gedächtnisunterstützenden Wirkung von Darstellungshandlungen bereits der Prozess des Skizzierens denkunterstützend wirkt. Das Skizzieren fixiert nicht nur erdachte Lösungen besser, sondern vermag zum Erzeugen angemessener Problemlösungen durch Wechsel der Repräsentationsmodalität, durch Veranlassen zur Reflexion und durch Offenbaren von Lösungsmängeln, beizutragen (Sachse, Hacker & Leinert, 2004).

2.4 Unterstützung durch Reflexion – Fragensysteme als Hilfsmittel beim Entwerfen

Berufserfahrene Konstrukteure und Berufsanfänger benennen als eine besonders häufig genutzte Unterstützung ihrer Entwurfsfähigkeiten das Gespräch mit Kollegen. Sie betonen, dass diese Person mit den bearbeiteten Problemen nicht vertraut sein müsse und dass der Gesprächspartner zur fehlenden Lösung nicht beitragen müsse. Der Gesprächspartner scheint also bereits als interessierter Frager und Zuhörer eine lösungsbegünstigende Rolle zu besitzen (Römer, Weißhahn, Hacker & Pache, 2001).

Görner (1994) berichtet, dass häufiger bei erfolgreich bewerteten konstruktiven Lösungsprozessen reflexive Vorgehensbestandteile vorlagen als bei den wenig erfolgreichen Prozessen. Zwischen der wahrgenommenen Unterstützung durch Gespräche, in denen die „naiven“ Partner nicht die fehlende Lösung beisteuern und den berichteten reflexiven Vorgehensteilen, dürften nach dem bisherigen

kognitionspsychologischen Erkenntnisstand Beziehungen bestehen, sofern das sprachliche Darstellen des Problems – beispielsweise im Gespräch, aber auch für sich selbst – zum reflexiven Befassen mit der eigenen Lösung und/oder dem Lösungsweg veranlasst. „Wenn sich das Denken in Sprechen verwandelt, strukturiert es sich um und verändert sich“ (Vygotski, 1964, S. 303).

Aus kognitionspsychologischer Sicht sind Beziehungen zwischen Denken und Sprache bzw. Sprechen umstritten. Einige Autoren verstehen Denkprozesse als Operationen in einem propositionalen Code und folgern, dass die Sprache zwar Denkergebnisse mitteilen, aber selbst nicht beeinflussen könne (Anderson, 1989; Churchland, 1997). Andere Autoren wiesen einen Einfluss von Sprache auf die Denkleistungen nach und zeigten Leistungsverbesserungen durch die Sprachbeteiligung insbesondere in Form von Selbstbewertungen und Selbsterklärungen (Chi, de Leeuw, Chiu & La Vancher, 1994; Bartl & Dörner, 1998). Die Art der Aufgaben sowie die Inhalte des Verbalisierens erwiesen sich als ausschlaggebend für die Wirkung der Sprachbeteiligung beim Bearbeiten von Denkanforderungen (Gagné & Smith, 1962; Hussy, 1987; Deffner, 1989). Nach dem Modell von Ericsson & Simon (1984) fördert Verbalisieren die Leistung, sofern noch nicht im Arbeitsgedächtnis repräsentierte lösungsrelevante Inhalte versprachlicht werden. Weinert und Kluwe (1984) und Tisdale (1998) verwiesen auf Beziehungen des Verbalisierens zur Selbststeuerung bzw. exekutiven Kontrolle informationsverarbeitender Prozesse.

Eine Erklärung wurde in einem durch das Verbalisieren lösungsrelevanter Inhalte provozierten analytischen Lösungsstil gesehen (Merz, 1969). Bartl und Dörner (1998) schlugen präzisierend eine Erklärung der Leistungsverbesserungen beim Verbalisieren lösungsrelevanter Inhalte durch spezifische Aspekte des Sprachverhaltens, nämlich durch ein dialogisches Verhalten vor. Dieses gehe über Beschreibungen, Erklärungen und Begründungen liefert, hinaus, indem es reflektierend und schlussfolgernd argumentiert sowie Selbstinstruktionen aufstellt. Im Selbstgespräch einer leistungsstärkeren Versuchsperson fanden sich mehr Rekapitulationen von Arbeitsschritten, mehr Fragen, Hypothesen sowie relationale (z. B. konditionale, konsekutive und kausal-begründenden) Aussagetile als bei einer leistungsschwächeren. Diese inhaltlichen Aspekte des Sprachverhaltens seien verantwortlich für die Verbesserung der Problemlöseprozesse. Bertau (1999) stütze diese Sichtweise: Mit steigender Schwierigkeit intellektueller Anforderungen nehme der entfaltete Frage-Antwort-Dialog der Bearbeiter mit sich selbst zu. Dies sei gekennzeichnet durch Auffordern, Nachfragen, Hinweisen und Zurückweisen. Vom monologischen, kognitiv ausgerichteten verkürzten Sprechen könne bei Bedarf in das dialogische, kommunikativ ausgerichtete, wieder entfaltete Sprechen gewechselt werden. Möglicherweise könne der rasche Moduswechsel den erfolgreichen Problemlöser kennzeichnen. Hier könnten Beziehun-

gen zu leistungssteigernden Wirkungen einer tatsächlich interaktiven Kognition bestehen.

Neben möglichen Leistungsvorteilen des Verbalisierens werden in der zitierten Literatur auch Nachteile nicht ausgeschlossen, weil eine Sprechbeteiligung im Denken mit dessen Verlangsamung, Sequenzialisierung und Bewusstmachung einhergehe.

In der Literatur verbleiben allerdings offene Fragen, und eine Reihe von Befunden erscheint widersprüchlich (Hacker & Wetzstein, 2004): Unter anderem muss ausgeschlossen werden, dass Leistungssteigerungen lediglich auf die signifikant verlängerten Bearbeitungszeiten beim Verbalisieren zurückgehen (Merz, 1969). Angesichts der Aufgabenabhängigkeit von Verbalisierungseffekten interessiert, ob diese Effekte in einem signifikanten Ausmaß nicht nur bei den wissensarmen Intelligenztestaufgaben vorliegen, sondern auch bei wissensreichen Alltagsproblemen, speziell im hier interessierenden Bereich des Konstruierens.

Die unklare Befundlage der Grundlagenforschung erschwert die Bewertung von einschlägigen Beobachtungen und Erfahrungen unter Alltagsbedingungen, die aus dem Entwerfen in der Konstruktionspraxis berichtet werden. Beiträge dieser Art knüpfen häufig an Überlegungen von Schön (1996) über die denkende Auseinandersetzung mit dem eigenen Handeln beim Auftreten von etwas Unwarteten an, die nicht sprachgebunden erfolgen muss. Kontrollierte empirische Untersuchungen wurden allerdings nach unserem Wissen nicht dargelegt (Roozenburg & Dorst, 1998; Valkenburg & Dorst, 1998).

In einer Serie von Experimentaluntersuchungen (Hacker & Wetzstein, 2004) konnte gesichert werden, dass geeignete Formen verbalisierender Reflexion über fertiggestellte eigene Entwurfsergebnisse signifikante und effektstarke weitere Verbesserungen der standardisiert bewerteten Lösungsgüte ermöglichen.

Dabei können Abhängigkeiten von einer psychometrisch erfassbaren Kreativität ausgeschlossen werden. Weiterhin führt weder die Aufforderung „eine fertiggestellte Lösung für ein Gerät nochmals zu überdenken“ und danach zu verbessern, noch eine Pause vor der Aufforderung zum Weiterbearbeiten zu signifikanten Lösungsverbesserungen.

Hingegen erfolgen detaillierte Verbesserungen, nachdem die Entwerfenden einer fragenden, naiven Person oder für sich selbst die erzielte Lösung sprechend beschreiben, erklären und begründen sollten. Die fragende „naive“ Person steuert dabei selbst nichts zur Lösung bei, sondern stellt lediglich Fragen und verfolgt mit erkennbarem Interesse die Antworten. Eingehende Analysen zeigen, dass ein kognitiv bedingter, kein kommunikativer oder partnerbedingter Effekt vorliegt (Hacker & Wetzstein, 2004).

Die Analyse der Art der Verbesserungen zeigt, dass beim Sprechenden bzw. notierenden Beschreiben, Erklären und Begründen vorliegender Lösungen im Vergleich zum Überdenken signifikant mehr funktionale Aspekte und mehr andersartige, alternative Lösungen bei der Weiterführung nach der Intervention entwickelt wurden.

Die Erklärung für die Lösungsverbesserungen nach dem Sprechenden oder notierenden Beschreiben, Erklären und Begründen der eigenen Entwurfslösungen werden unter Bezug auf die Fallstudien von Bartl und Dörner (1998) und Untersuchungen von Bertau (1999) in den Wirkungen einer dialogischen Sprachstruktur als Ausdruck eines spezifischen analytischen und begründenden Denkstils gesehen. Diese Sprachstruktur ist im Vergleich zu lediglich beschreibenden Sprachformen unter anderem gekennzeichnet durch vergleichsweise hohe Anteile von Konditional-, Final- und Kausalrelationen in den Aussagen (zur Psychologie semantischer Relationen vgl. Krause, 2000).

Für die praktische Nutzung ist wesentlich, dass auch gegenstandsneutrale, also bei unterschiedlichen Entwurfsaufträgen gleichermaßen einsetzbare Fragen vom Typ der sogenannten W-Fragen (Was? Wozu? Warum? Womit? Unter welchen Bedingungen? etc.) zu signifikanten Lösungsverbesserungen führen – also keineswegs nur streng gegenstandsspezifische Fragen.

Ferner ist praktisch bedeutsam, dass ein sprachgebundenes Reflektieren über eigene Entwurfsergebnisse Verbesserungen bei der Mehrzahl der untersuchten Personen bewirkt, unabhängig davon, welche Vorgehensweise des Entwerfens sie zuvor genutzt hatten (bspw. eine systematische oder eine fallbasierte „opportunistische“ Vorgehensweise).

In praktischer Hinsicht sind damit Grundlagen für die zunehmend häufiger genutzte Frage-System-Technik dargestellt. Diese individuell nutzbare Technik bringt nicht nur Nutzen in Entwurfsprozessen, sondern auch bei gewissenhaft vorab zu überdenkenden Eingriffen in risikobehafteten Technologien.

Für Konstrukteure am Berufsbeginn wurde beispielsweise von Ahmed, Wallace und Blessing (2000) ein Fragesystem als Trainingsprogramm entwickelt, das nach seinen Bestandteilen als „C-QuARK-method“ bezeichnet ist. Geeignete Fragen ordnen die Problembearbeitung, erleichtern die Aufgabenanalyse und unterstützen die bildhaft-anschauliche und begriffliche Doppelrepräsentation von Problemen (vgl. hierzu von der Weth & Weinert, 2002).

In theoretischer Hinsicht ordnen sich die dargestellten Sachverhalte schlüssig in gegenwärtige Sichtweisen des sozialen Charakters geistiger Tätigkeiten und ihrer Entwicklung ein, welche die „interactive minds“-Konzeption mit Rückgriff auf Vygotski (1978) integriert (Baltes & Staudinger, 1996).

2.5 Entscheidungsunterstützung in konstruktiven Entwurfstätigkeiten

Beim Entwickeln von Produkten sind Entscheidungen unerlässliche Bestandteile des Denkens. Insofern ist das Unterstützen des Entscheidens eine wesentliche Möglichkeit zum Unterstützen des Konstruierens.

In Entwurfstätigkeiten sind komplexe Entscheidungssituationen maßgeblich dadurch charakterisiert, dass mehrere teilweise miteinander konkurrierende Ziele gleichzeitig verfolgt werden müssen und die in die Entscheidung einbezogenen Optionen diese Ziele mehr oder weniger zufriedenstellend erfüllen. So besitzt häufig eine Alternative Vorzüge hinsichtlich des eines Ziels, gleichzeitig aber auch Nachteile bezüglich eines anderen Ziels. Damit können beispielsweise geringe Nachteile durch größere Vorteile kompensiert werden, und die Alternative wirkt insgesamt besser als andere. Dabei ist die Informationsfülle vielfach nicht nur zu umfangreich für das Arbeitsgedächtnis, sondern führt auf Grund der schrittweise erfolgenden menschlichen Informationsverarbeitung oftmals zu inkonsistenten Bewertungen, die sich in fehlerhaften Entscheidungen widerspiegeln (Weißhahn & Rönsch, 2002). Einen Ausweg aus diesen Schwierigkeiten bieten u. a. computergestützte Entscheidungshilfen, da sie genügend Kapazität für das simultane Verarbeiten von Informationen zur Verfügung stellen und somit die kompensatorische Verarbeitung der Bewertungen des Entscheiders gewährleisten.

Mit solchen Hilfesystemen sollen die Entscheidungen dem Konstrukteur aber keineswegs abgenommen, sondern seine Entscheidungen sollen unterstützt werden.

Als Beispiel eines auch in der konstruktiven Praxis bewährten Hilfesystems ist die kontextfreie, interaktive, computergestützte Entscheidungshilfe ADELE zu nennen (vgl. Sachse, 1995). Die Basis der entwickelten Entscheidungshilfe ist die Entscheidungsanalyse, wobei ihr Schwerpunkt auf der multiattributiven Nutzentheorie liegt (MAU-Theory, Keeney & Raiffa, 1976; Edwards & Newman, 1982; vgl. auch Rommelfanger & Eickemeier, 2002). Sie ist auf alle Entscheidungen anwendbar, bei denen konkurrierende Ziele vorliegen und die Konsequenzen der Optionen bekannt sind, unabhängig von deren Anzahl; sie dient der Findung einer optimalen (und/oder akzeptablen) Alternative.

Dabei bilden die *Gewichtungsfaktoren* (die Kennzahlen, mit welchem Gewicht Auspragungsunterschiede der Alternativen bezüglich eines bestimmten Merkmals in die Entscheidung eingehen) und die *Bewertungen* (jeder einzelnen Konsequenz zugeordnete numerische Werte für das Ausmaß, mit dem diese Konsequenz das entsprechende Ziel des Dezidenten erfüllt) die Voraussetzungen für

die Anwendung des MAU-Algorithmus. Wenn diese Angaben vorliegen, werden diese in Anwendung der MAU-Entscheidungsregel verrechnet.

ADELE verbindet die Hauptelemente des systematischen Entscheidens mit der beschriebenen multiattributiven Nutzentheorie, deren Einsatz im Trade-off-Schritt des proaktiven Entscheidungsablaufs erfolgt. Die ersten Schritte des Entscheidungsablaufs, also das Definieren des Problems, das Klären der Ziele, das Ermitteln von Entscheidungsalternativen und das Beschreiben ihrer Konsequenzen, findet vor der Nutzung des Hilfesystems statt. Die in diesen Schritten gewonnenen Informationen dienen als Input für die anschließende Anwendung des MAU-Algorithmus (Weißhahn & Rönsch, 2002).

In einer Reihe von Studien (u. a. Weißhahn, Rönsch & Sachse, 1999) konnte u. a. belegt werden, dass die Nutzung einer solchen Form der Entscheidungsunterstützung

- den Grad der Ausnutzung vorhandener, entscheidungsbedeutsamer Informationen erhöht bei einer gleichzeitigen Entlastung des Arbeitsgedächtnisses,
- die inhaltliche Auseinandersetzung mit problemrelevanten Sachverhalten resp. mit Komponenten des Entscheidungsproblems fördert (Transparenz der Entscheidungsgrundlagen),
- die Unsicherheit bezüglich der Qualität der Entscheidungsergebnisse reduziert,
- die Übereinstimmung hinsichtlich der gewählten Alternative zwischen verschiedenen Entscheidergruppen erhöht,
- bei wiederholter Entscheidungsfindung als Lernhilfe fungieren kann und
- zur Fehlerdiagnose von Entscheidungen geeignet ist.

Wenngleich ein systematisches Vorgehen beim Entscheiden mehr Aufwand erfordert als eine rasche ad-hoc-Entscheidung, trägt es zur Sicherung der Qualität der zutreffenden Entscheidungen und über einen längeren Zeitraum hinweg zur Förderung der Entscheidungskompetenz der Konstrukteure bei.

2.6 Unterstützung bei der Bewertung der Qualität von konstruktiven Lösungen

Zur frühzeitigen Qualitätssicherung und zur prozessbegleitenden Losungsevaluation im Konstruktionsbereich sind anleitende, aber nicht einengende Hilfsmittel der Losungsgutebestimmung vonnöten. Als Losungsgute wird die Qualität und Anforderungskonformitat der Konstruktions(zwischen-)ergebnisse bezeichnet.

Die Verfahren zur Lösungsgütebewertung verfolgen neben einer hohen Produktqualität oftmals darüber hinausreichende Zielstellungen wie z. B. die Früherkennung von Zielkonflikten, die Fehlervermeidung in der Produktentwicklung, die Unterstützung von Entscheidungen im Konstruktionsprozess, die Steigerung der Kundenzufriedenheit, die Verbesserung der Arbeitssicherheit und Bedienbarkeit.

Im konstruktiven Entwurfsprozess sollte die Lösungsgüte so früh wie möglich und so differenziert wie nötig bewertbar sein. In den verschiedenen Phasen des Konstruktionsprozesses erweist sich sowohl die Bewertung von Lösungsvarianten und Konzeptergebnissen als auch die Bewertung der Entwurfsergebnisse als hilfreich.

Die Lösungsgüte ist durch viele Einzelkriterien charakterisiert (u. a. der Funktion/dem Wirkprinzip, der Fertigung, der Montage, der Gestaltung, der Zuverlässigkeit, dem Herstellungsaufwand). Außerdem müssen bei Bedarf spezifische Kriterien in Abhängigkeit von den Anforderungen der Aufgabe/des Arbeitsbereiches zur Bestimmung der Lösungsgüte mit einbezogen werden. Der Erfüllungsgrad der Lösungsgütekriterien kann beispielsweise mittels Nutzwertanalysen bestimmt werden (vgl. Langner, 1991; Pahl & Beitz, 1997; Rückert, 1997). Im Zentrum dieser Methode steht die Quantifizierung der Beurteilung durch die Ermittlung von Teilwerten in den einzelnen Beurteilungskategorien anhand definierter Beurteilungskriterien und der darauf basierenden Berechnung eines Gesamtwertes unter Berücksichtigung einer definierten relativen Gewichtung der Teilwerte. Mit der Einführung nominaler Beurteilungsskalen oder Wertfunktionen können auch die nicht direkt messbaren Teilwerte einer quantitativen Verarbeitung zugänglich gemacht werden. Die Methode kann sowohl auf produkt- bzw. ergebnisorientierte als auch prozessorientierte Beurteilungsbereiche angewandt werden.

Erfolgreiche Verfahren zur Lösungsgütebewertung im Konstruktionsbereich benötigen nur einen geringen Bearbeitungsaufwand, sind flexibel einsetzbar und bieten erforderlichenfalls Schnittstellen zu komplexen Prozeduren wie beispielsweise QFD (Quality Function Deployment) und FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) [vgl. Mai, 1998; Bläsing & Eiche, 2002].

2.7 Unterstützung beim Analysieren, Bewerten und Planen von konstruktiven Entwurfstätigkeiten

Die derzeit zur Erfassung und Bewertung von Konstruktionsstätigkeiten genutzten Methoden beeinflussen oftmals den Konstruktionsprozess und belasten den Konstrukteur zusätzlich. Die Auswirkungen sind dabei noch wenig untersucht. Selbstaufschreibebögen, lautes Denken und teilnehmende Beobachtungen grei-

fen in den kreativen Ideenfluss des Konstrukteurs ein und unterbrechen seine Arbeit. Verfahren wie die Videoprotokollierung sind nur für kürzere Konstruktionsprozesse in Laborsituationen geeignet. Die rechnergestützte Protokollierung ist hauptsächlich für computerbearbeitete Konstruktionsprobleme nutzbar. Eine Prozessfassungsmethode ohne Beeinflussung und Beanspruchung des Konstrukteurs ist kaum denkbar. Der Konstruktionsprozess sollte aber so wenig wie möglich gestört oder unterbrochen werden, um eine realitätsgereue Abbildung des Vorgehens zu ermöglichen. Aus diesen Überlegungen heraus wurde eine aufwands- und beanspruchungsarme Methode für die Erfassung des Konstruktionsprozesses entwickelt (Schroda & Sachse, 2000). Die so genannte Konstruktionslandkarte stellt den Entwicklungsprozess anschaulich-bildhaft dar. Sie ist nicht nur Methode für den Wissenschaftler, sondern – von ihm angewendet – zudem auch Hilfsmittel für den Konstrukteur in der Praxis.

In der Konstruktionslandkarte wurden die Hauptarbeitsschritte der Konstruktionsfähigkeit im Sinne eines Konstruktionsleitfadens berücksichtigt, ohne eine algorithmische Reihenfolge vorzugeben. Ferner können auch individuelle und problemspezifische Arbeitsschritte ergänzt werden. Des Weiteren sind in dieser Landkarte auch externe Unterstützungsangebote vermerkt, die den angemessenen Einsatzzeitpunkt eines Hilfsmittels und seine jeweilige Funktion berücksichtigen. Die Konstruktionslandkarte enthält methodische, bildhaft/gegenständliche und verbal/numerische Unterstützungsformen.

Die Konstruktionslandkarte unterstützt die

- Planung des Konstruktionsprozesses – Die Landkarte strukturiert den Prozess, unterstützt das Projektmanagement, dient der Terminkontrolle und trägt zur Planungssicherheit bei. Dabei kann anhand dieser Methode auch rückwärtsplanend vorgegangen werden.
- Dokumentation des Konstruktionsprozesses – Das schwer verbalisierbare Handlungswissen wird in einfacher Form und teilweise indirekt sichtbar und kommunizierbar. Die findfreundliche Dokumentation des Konstruktionsprozesses mit der Landkarte dient weiterhin dem Wissensmanagement. Der oft schwer nachvollziehbare Konstruktionsprozess wird transparent.
- Selbstreflexion über den Prozess – Durch die bildhafte und ganzheitliche Veranschaulichung des Konstruktionsprozesses mittels der Landkarte wird das eigene Tun ständig zurückgemeldet und somit fungiert sie als Anstoß zur Selbstreflexion (vgl. Abschnitt 2.4). Durch die unmittelbare Rückmeldung dient sie auch als „Lernlandkarte“ (Prozessoptimierung). Im Team angewendet ist sie Metaplan und Kommunikationsgrundlage.

Die prozessbegleitende Konstruktionslandkarte ist sowohl im Ausbildungsbereich als auch in der Industrie auf hohe Akzeptanz gestoßen. Der zeitliche Mehraufwand ist gegenüber dem Nutzen sehr gering. Auf die branchen- und unter-

nehmensspezifischen Prozesse angepasst ist man mit der Konstruktionslandkarte in der Lage, Prozesse zu analysieren, zu bewerten und auch zu gestalten. Der Detaillierungsgrad ist dabei abhängig vom Anliegen.

2.8 Zeitweilig kooperatives Problemfinden und Problemlösen – hybride Kooperationsformen in Entwurfsprozessen

Der größte Teil der Ergebnisvarianz beim Kooperieren wird durch den Aufgabentyp erklärt. Das betrifft beinahe 90 % der Varianz (Hackman & Vidmar, 1970).

Die Zusammenarbeit mehrerer Experten bei Entwurfsprozessen in der konstruktiven Praxis betrifft einen Aufgabentyp, der in der sozialpsychologischen Gruppenforschung kaum behandelt wird: Es geht um Aufträge mit komplexen Problemen, die heterogener Kompetenzen bedürfen und daher einerseits meist nicht von Einzelpersonen gelöst werden können, denn diese verfügen allein nicht über das erforderliche Fachkönnen aus mehreren Disziplinen. Andererseits müssen diese Aufträge eben wegen ihrer speziellen Expertiseanforderungen streckenweise arbeitsteilig – und zwar artteilig – individuell bearbeitet werden (zum Begriff der Art- vs. Mengenteilung vgl. Hacker, 1998, S. 137 ff.). Damit stellt sich die zentrale Frage, ob der Auftrag individuell oder in Gruppen besser gelöst wird, nicht. Das Abwägen zwischen sozialpsychologischen Prozessverlust-Modellen und organisationspsychologischen Synergie-Modellen entfällt also (Steinler, 1972; Tschan, 2000). Erforderlich ist eine überlegt ausgelegte hybride Arbeitsform mit individuellen, mit dyadischen und mit Realgruppenabschnitten sowie möglicherweise auch mit Nominalgruppenkomponenten (vgl. Witte, 1998). Die Kernprobleme bei der Gestaltung dieses Aufgabentyps sind daher

- das sachgerechte Bestimmen, welche Aufgabenteile wie bearbeitet werden und
 - das bestmögliche Auslegen dieser verschiedenen Bearbeitungsformen.
- Deshalb sind Hilfen für diese beiden Kernprobleme wichtige Unterstützungsmöglichkeiten des konstruktiven Entwurfsprozesses.

Welche Formen der Arbeitsorganisation im Sinne der Arbeitsteilung und Kooperation sind bei Entwurfsprozessen prinzipiell möglich?

Die Beschränkung bei der Suche nach organisatorischen Unterstützungsmöglichkeiten auf das Problemlösen in Kleingruppen griffe zu kurz (Badke-Schaub, 1993). Auch in der sogenannten Projektgruppenarbeit wird keineswegs ununterbrochen kooperiert oder in Gruppen gearbeitet.

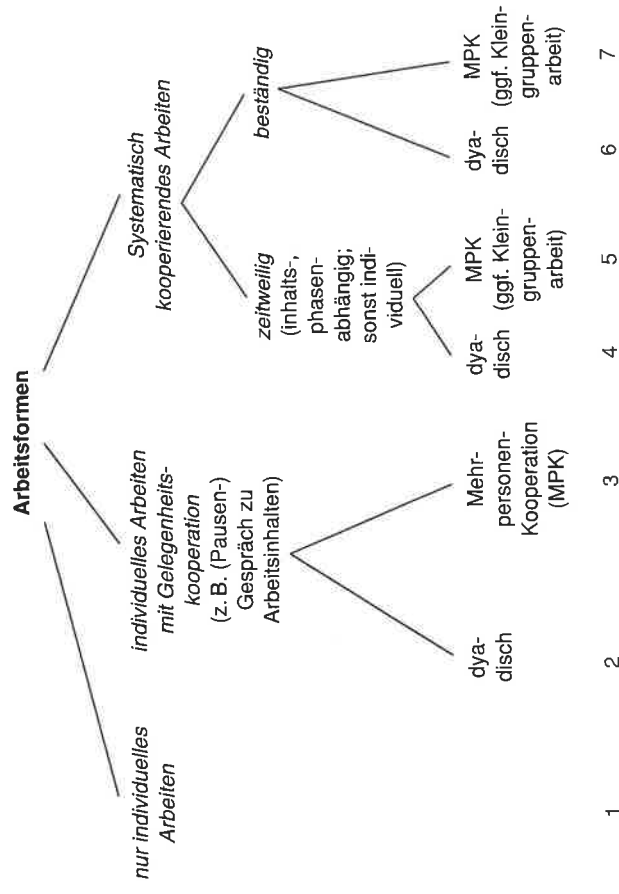


Abbildung 4:

Kooperationsbezogene Arbeitsformen (Zeitlich nacheinander ist eine Vielzahl von Abfolgkombinationen der sieben Grundformen möglich. Nicht jede Mehrpersonen-Kooperation ist Kleingruppen-Arbeit)

Die Abbildung 4 stellt wesentliche Arbeitsorganisationsformen schematisch dar.

Man erkennt, dass eine Kleingruppenarbeit, die durch keine andere Organisationsform des Arbeitens unterbrochen würde, nur eine unter mehreren Möglichkeiten ist und dass verschiedene Kombinationsformen der Arbeitsorganisation immer dann vorliegen, wenn weder beständig individuell noch unablässig in allen Bearbeitungsschritten in einer Gruppe gearbeitet wird. Ein isoliertes, nur individuelles Arbeiten dürfte bestenfalls ausnahmsweise existieren. Berufserfahrene Konstrukteure berichten, dass Lösungsideen oft in informellen Gesprächen entstehen und dass sie dieses im Bedarfsfall suchen (Römer, Weißhahn, Hacker & Pache, 2001). Bei der Ideenerzeugung wird informellen Gesprächen am Arbeitsplatz oder in Arbeitspausen eine gleich große Bedeutung zugemessen wie formellen Veranstaltungen (Wetzstein, Oberkirsch & Schumann, 2003). Ebenso dürfte – auch angesichts der empirischen Belege für Prozessverlustmodelle bei der Kleingruppenarbeit – die unablässige kollektive Problemlösung und Problembearbeitung außerhalb des Labors bestenfalls ausnahmsweise betrieben werden.

Somit würde in der Entwurfspraxis die hybride Arbeitsform vorherrschen. Für sie fehlen in der Forschung weitestgehend Befunde.

In welchen Bearbeitungsabschnitten von Entwurfsproblemen können welche Arbeitsformen nützen?

Mehrfach wurden mit Bezug auf die VDI 2221 Abschnitte der Problembearbeitung erwähnt. Verschiedene Formen der Zusammenarbeit dürften besonders die wenig formalisierbaren, kreativen „frühen Abschnitte“, also die Problem-/Auftragsklärung, die Generierung von Lösungsprinzipien und die Auswahl zu realisierender Alternativen sowie die Integration arttellig bearbeiteter Lösungsbestandteile unterstützen.

Innerhalb dieser frühen Abschnitte des Entwurfs sprechen mehrere Sachverhalte dafür, möglichst günstige Bedingungen für eine informelle Kommunikation bzw. Kooperation zu schaffen und systematisch unterschiedliche Arbeitsformen zu kombinieren. Bei diesen systematisch zu kombinierenden Arbeitsformen handelt es sich um das individuelle Bearbeiten, um die Kleingruppendiskussion in Realgruppen sowie für spezifische Fragestellungen auch die Informations- und Ideensammlung im Sinne der Nominalgruppentechnik. Die zweckmäßige Kombination und Organisation dieser verschiedenen Arbeitsformen ist eine wichtige Unterstützungsmöglichkeit des Entwurfs. Dabei sollten die verschiedenen Arbeitsformen in einer Reihenfolge durchlaufen werden, die zunächst eine Darstellung des Gesamtauftrags und das Diskutieren des Auftragsverständnisses in einer Realgruppe umfasst, sodann individuelle Bearbeitungsschritte zur zunächst getrennten Ideengenerierung entsprechend der jeweiligen Fachkompetenz der einzelnen Bearbeiter und danach eine Realgruppenarbeit im Interesse des Integrierens der arbeitsteilig entwickelten Lösungsbeiträge. Je nach dem Aufgabenumfang und der Problemhaltigkeit kann ein mehrmaliges Durchlaufen dieser Abfolge erforderlich sein (Tschan, 2000; Wetzstein, Jahn & Hacker, 2003; Zysno, 1998).

Individuelle Bearbeitungsschritte können in zwei verschiedenen Einordnungsformen auftreten: Das individuelle Arbeiten an komplexen, verschiedene Fachgebiete übergreifenden Aufträgen betrifft zum einen das Lösen fachspezifischer Probleme (bspw. von mechanischen, elektronischen oder hydraulischen Problemkomponenten) als Bestandteilen des Gesamtauftrags entsprechend der heterogenen Fachkompetenz der Beteiligten. Diese individuell bearbeiteten Auftragsteile können zuvor in Realgruppendifkussionen abgesteckt und bezüglich ihrer Nahtstellen abgestimmt sein. Danach werden sie als Auftrag der Gruppe für die Gruppe in individueller Verantwortung auf dem Hintergrund eines wenigstens teilweise gemeinsamen (geteilten) mentalen Modells ausgeführt („Individuarbeit im Gruppenauftrag“. In der Abb. 4 entspricht dies dem Typ 5.).

Zum anderen kann das individuelle Arbeiten unter anderem das Klären des Gesamtauftrags und möglicher Lösungsprinzipien in einer individuellen Ideengenerierung und im individuellen Entscheiden beinhalten und zwar in Vorbereitung auf das spätere kooperative Abstecken von Auftragsteilen und ihrer

Schnittstellen. Diese individuellen Entwurfsprozesse werden also noch nicht als Gruppenauftrag durchgeführt. Gegebenenfalls können bei Kenntnis der später in der Gruppenarbeit beteiligten Experten anderer Fachgebiete dabei antizipativ deren Funktionen bereits mit erwogen werden („Nutzung des transaktionsanalytischen Gedächtnisses“).

Eine weitere Unterstützungsmöglichkeit des Entwurfsprozesses besteht in der optimalen Organisation bzw. Moderation der in dem dargestellten hybriden Gesamtablauf enthaltenen Realgruppenarbeit, d. h. der Arbeit in Kleingruppen. Das Ziel dabei ist, die Produktivitätsverluste in Kleingruppen, in denen die Ideenerzeugung zum Kernauftrag gehört, zu Gunsten potenzieller Gewinne zurückzuführen (zur diesbezüglichen Situation bei Experimentalgruppen Diehl & Stroebe, 1991; Stroebe & Diehl, 1994). Einen Überblick zu Merkmalen und Organisationsformen von Kleingruppen im Arbeitsprozess findet sich bei Tschan (2000).

Ein teilweise empirisch bestätigtes integratives Modell der Einflüsse auf die Effizienz der Leistung von realen Arbeitsgruppen hat Gladstein (1984) vorgelegt (zu seiner aktuellen Bewertung vgl. Tschan, 2000). Um Entwurfsprozesse durch Kleingruppenarbeit zu unterstützen sind die in der Tabelle 2 dargestellten Sachverhalte hauptsächlich zu beachten.

3 *Ausblick*

Die Forschung zum Entwurfsdenken steht vergleichsweise noch am Anfang. Trotz der außerordentlichen wirtschaftlichen Bedeutung ihrer möglichen Ergebnisse findet sie wenig Förderung. Dies hat u. a. mit ihrem interdisziplinären Charakter zu tun: Sie berührt als kognitions-, arbeits- und organisationspsychologische Forschung sowie als technikwissenschaftliche Forschung verschiedene Disziplinen, ohne jedoch in einer dieser Disziplinen ein zentrales Thema darzustellen. Jedoch entwickeln sich allmählich internationale Arbeitsgruppen, die eine verstärkte und koordinierte Weiterführung begonnener Forschungslinien erwarten lassen.

Bearbeitungswürdige Fragestellungen existieren dafür in größerer Zahl als bereits gelöste Fragen. Aus ingenieurpsychologischer Perspektive konzentrieren sich diese zu bearbeitenden Fragen auf Unterstützungsmöglichkeiten des Entwickelns von Artefakten unter besonderer Berücksichtigung der Automatisierung von Entwicklungsprozessen, speziell der Softwaresysteme in CAx- einschließlich VR-Technologien. Ungelöst erscheinen dabei insbesondere optimale Funktionsverteilungen (Allokationen) zwischen Entwicklern, beispielsweise Konstruktoren und der Soft- sowie Hardware.

Unterstützung von Entwurfsprozessen durch Kleingruppenarbeit

Tabelle 2:

Bezüglich der Auftragsauswahl für die Kleingruppenarbeit

- Es muss erforderlich sein, heterogene Fachkompetenzen für die Auftragsfüllung zu integrieren.
- Die Auftragsteile müssen Verknüpfungen miteinander aufweisen.

Bezüglich der Gruppenzusammensetzung

- Heterogenität: Fachleute mit angemessenen Leistungsvoraussetzungen und der erforderlichen Erfahrung müssen für alle zu bearbeitenden Fachthemen (Kompetenzbereiche) einbezogen werden.
- Die Gruppe muss Weisungsberechtigte im Interesse einer möglichen Auftragserteilung einschließen (z. B. um Untersuchungsreihen anzuweisen zu können).

Bezüglich der Gruppenorganisation

- Die Gruppengröße muss in Abhängigkeit von ihrem Auftrag die kleinstmögliche Mitgliederzahl haben (vgl. Ringelmann-Effekt; hierzu bspw. Witte, 1998).
- Die Führung bzw. Moderation des Gruppenprozesses muss unter Beachtung des vorhandenen Erkenntnisstands bestmöglich organisiert sein. Weil die hier diskutierte Art des Gruppenprozesses mit Experten aus heterogenen Fachbereichen, die Teillösungen integrieren müssen, sich in Ziel und Inhalt vom herkömmlichen brainstorming unterscheidet, differiert partiell auch die erforderliche Art der Führung bzw. Moderation (vgl. bspw. Neubert & Tomczyk, 1986).
- Die Führung bzw. Moderation muss die oben skizzierte Einordnung in die hybriden Arbeitsformen berücksichtigen und den Erkenntnisstand zur Multimodalität und zur Externalisierung von Problemlöseprozessen, zur Reflexion und zum Frageverhalten nutzen.
- Die Führung/Moderation muss die laufende Dokumentation sowie die Evaluation des Gruppenprozesses in einer partizipativen Weise sichern.

Bezüglich der Einbettung in die Gesamtorganisation des Unternehmens

- Die Gruppenarbeit muss im Auftrag übergeordneter Führungsebenen, mit deren Unterstützung und in kontinuierlicher Kommunikation mit ihr erfolgen.
- Für die Gruppenarbeit sollen Leistungsziele und erforderlichenfalls extrinsische Belohnungen definiert sein.
- Bestandteil der Realgruppenarbeit muss ein tatsächlicher Informationsaustausch mit betroffenen bzw. interessierten Teilen der Organisation und ihren Angehörigen einschließen, die selbst nicht Mitglieder der Gruppe sind.

Bezüglich des Ressourcenzugriffs

- Die Gruppe muss direkten bzw. vermittelten Zugriff auf erforderliche materielle und personelle Ressourcen besitzen.

Literatur

- Ahmed, S., Wallace, K. & Blessing, L. T. M. (2000). *Training document – C-QuARK method – The experienced designer's approach to design (unpublished)*. Engineering Design Centre, Cambridge University.
- Anderson, J. R. (1989). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Bach, K. (1973). Denkvorgänge beim Konstruieren. *Konstruktion*, 25, 1–5.
- Badke-Schaub, P. (1993). *Gruppen und komplexe Probleme*. Frankfurt: Lang.
- Baltes, P. B. & Staudinger, U. M. (Eds.) (1996). *Interactive Minds*. New York: Cambridge University Press.
- Bartl, C. & Dörner, D. (1998). Sprachlos beim Denken – Zum Einfluss von Sprache auf die Problemlöse- und Gedächtnisleistung bei der Bearbeitung eines nicht-sprachlichen Problems. *Sprache & Kognition*, 17, 224–238.
- Bauerfeind, R. (1947). *Konstruieren. Einführung in das Arbeitsgebiet des Konstrukteurs*. Brandenburg: Rudolf Bauerfeind Selbstverlag.
- Bertau, M.-C. (1999). Spuren des Gesprächs in innerer Sprache. Versuch einer Analyse der dialogischen Anteile des lauten Denkens. *Zeitschrift Sprache und Kognition*, 18, 4–19.
- Bilda, Z. & Demirkan, H. (2003). An insight on designers' sketching activities in traditional versus digital media. *Design Studies*, 24, 27–50.
- Blessing, L. T. M. (1994). *From design characteristics to system requirements*. Cambridge Engineering Design Centre.
- Bläsing, J. P. & Eiche, D. (2002). *Workbook FMEA: Failure Mode & Effects*. Ulm: TQU-Verlag.
- Bock, A. (1955). Die Begriffe „Konstruieren, Entwerfen und Gestalten“. *Die Technik*, 10, 504–505.
- Böhle, F. (1995). Technikenentwicklung zwischen Verwissenschaftlichung und Erfahrung. In H. Rose (Hrsg.), *Nutzerorientierung im Innovationsmanagement* (S. 69–102). Frankfurt/M.: Campus.
- Bolte, A. (1998). Beim CAD geht das Konstruieren langsamer als das Denken. *Arbeit*, 7, 362–379.
- Bruns, F. W. (1993). Zur Rückgewinnung von Sinnlichkeit. *Technische Rundschau*, 29/30, 14–18.
- Bucciarelli, L. L. (1988). An ethnographic perspective on engineering design. *Design Studies*, 9, 159–168.
- Bucciarelli, L. L. (1994). *Designing engineers*. Cambridge MA: MIT Press.
- Bucciarelli, L. L., Goldschmidt, G. & Schön, D. A. (1987). Generic design process in architecture and engineering. In J. P. Protzen (Ed.), *Proceedings of 1987 Conference on Planning and Design in Architecture*. American Society of Mechanical Engineers.
- Carroll, J. M., Thomas, J. C., Miller, L. A. & Friedman, H. P. (1980). Aspects of solution structure in design problem solving. *American Journal of Psychology*, 93, 2, 269–284.
- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M.-H. & La Vancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439–477.

- Churchland, P. M. (1997). *Die Seelenmaschine*. Heidelberg: Spektrum.
- Clauß, G. (Hrsg.) (1995). *Fachlexikon ABC Psychologie*. Thun: Deutsch-Verlag.
- Cook, T. W. (1937). Amount of material and difficulty of problem solving II. The disc transfer problem. *Journal of Experimental Psychology*, 20, 2, 288–296.
- Darke, J. (1979). The primary generator and the design process. *Design Studies*, 1, 36–44.
- Deffner, G. (1989). Interaktion zwischen Laurem Denken, Bearbeitungsstrategien und Aufgabenmerkmalen? Eine experimentelle Prüfung des Modells von Ericsson und Simon. *Zeitschrift Sprache & Kognition*, 8, 98–111.
- Diehl, M. & Stroebe, W. (1991). Productivity loss in idea generating groups: Tracking down the blocking effect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61, 392–403.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dörner, D. (1999). Approaching design thinking research. *Design Studies*, 20, 407–415.
- Dylla, N. (1991). Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. In *Konstruktionstechnik* (Bd. 5). München: Hanser.
- Edwards, W. & Newman, J. R. (1982). *Multiatribute evaluation*. Beverly Hills: Sage.
- Ehrlenspiel, K. (1995). *Integrierte Produktentwicklung*. München: Hanser.
- Ehrlenspiel, K., Bernard, R. & Günther, J. (1995). Unterstützung des Konstruktionsprozesses durch Modelle. In W. Hacker & P. Sachse (Hrsg.), *Bild und Begriff III, Zur Rolle von Anschauung und Abstraktion im konstruktiven Entwurfsprozess. Bericht über das Werkstattgespräch* (S. 45–59).
- Eisentraut, R. & Günther, J. (1997). Individual styles of problem solving and their relation to representations in the design process. *Design Studies*, 18, 369–383.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1984). *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data*. Cambridge: MIT Press.
- Ferguson, E. S. (1993). *Das innere Auge – Von der Kunst des Ingenieurs*. Basel: Birkhäuser.
- Frankenberger, E. & Badke-Schaub, P. (1998). Integration of group. Individual and external influences in the design process. In H. Birkhofer, P. Badke-Schaub & E. Frankenberger (Eds.), *Designers – The Key to Successful Product Development* (S. 149–164). London: Springer.
- Fricke, G. (1993). Konstruieren als flexibler Problemlöseprozess – Empirische Untersuchung über erfolgreiche Strategien und methodische Vorgehensweisen beim Konstruieren. Düsseldorf: VDI.
- Gagné, R. M. & Smith, E. C. (1962). A study of the effects of verbalization on problem solving. *Journal of Experimental Psychology*, 63, 12–18.
- Galperin, P. J. (1966). Die geistige Handlung als Grundlage für die Bildung von Gedanken und Vorstellungen. In J. Lompscher (Hrsg.), *Probleme der Lerntheorie*. Berlin: Volk und Wissen.
- Gillhooly, K. J., Logie, R. H., Wetherick, N. E. & Wynn, V. (1993). Working memory and strategies in syllogistic-reasoning tasks. *Memory and Cognition*, 21, 115–224.
- Gladstein, D. L. (1984). Groups in context: A model of task group effectiveness. *Administrative Science*, 29, 499–517.
- Goel, V. (1995). *Sketches of thought*. Cambridge: MIT Press.

- Görner, R. (1994). Zur psychologischen Analyse von Konstrukteur- und Entwurfstätigkeiten. In B. Bergmann & P. Richter (Hrsg.), *Die Handlungsregulationstheorie. Von der Praxis einer Theorie* (S. 233–241). Göttingen: Hogrefe.
- Günther, J. & Ehrlenspiel, K. (1998). How do designers from practise design? What can design methodology learn from them? How can design methodology support them? In H. Birkhofer, P. Badke-Schaub & E. Frankenberger (Eds.), *Designers – The Key to Successful Product Development*. London: Springer.
- Guindon, R. (1990a). Designing the design process: Exploiting opportunistic thoughts. *Human-Computer Interaction*, 5, 305–344.
- Guindon, R. (1990b). Knowledge exploited by experts during software system design. *International Journal of Man-Machine Studies*, 33, 279–304.
- Hacker, W. (1998). Allgemeine Arbeitspsychologie – Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Bern: Huber.
- Hacker, W. (1999). Konstruktives Entwickeln als Tätigkeit – Versuch einer Reinterpretation des Entwurfsdenkens (design problem solving). *Sprache & Kognition*, 18 (3/4), 88–97.
- Hacker, W. & Wetzstein, A. (2004). Verbalisierende Reflexion und Lösungsgüte beim Entwurfsdenken. *Zeitschrift für Psychologie*, 212, 152–166.
- Hacker, W., Wetzstein, A. & Römer, A. (2002). Gibt es Vorgehensmerkmale erfolgreichen Entwurfs von Produkten? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 56, 5, 1–13.
- Hackman, J. R. & Vidmar, N. (1970). Effects of size and task type on group performance and member reactions. *Sociometry*, 33, 37–54.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive reliability and error analysis method*. Oxford: Elsevier.
- Hunt, R. M. (1987). The difficulties of design problem formulation. In W. B. Rouse & K. R. Boff (Eds.), *System Design*. New York: North-Holland.
- Hussy, W. (1987). Zur Steuerfunktion der Sprache beim Problemlösen. *Zeitschrift Sprache & Kognition*, 1, 14–22.
- Kannheiser, W. (1984). *Erfassung potentiell beanspruchungsrelevanter organisatorisch-technischer Bedingungsstrukturen von Arbeitstätigkeiten*. Kassel: AWI-Druck.
- Kavaldi, M. & Gero, J. S. (2001). Sketching as mental imagery processing. *Design Studies*, 22(4), 347–364.
- Keeney, R. L. & Raiffa, H. (1976). *Decision with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs*. Wiley: New York.
- Keiser, K. (1929). *Freies Skizzieren ohne und nach Modell für Maschinenbauer*. Berlin: Springer.
- Klauser, K. C. (1993). *Belastung und Entlastung beim Problemlösen. Eine Theorie deklarativen Ver-einfachens*. Göttingen: Hogrefe.
- Klauser, K. C. (1995). Grundlagen der Problemlöseforschung. In B. Strauß & M. Kleinmann (Hrsg.), *Computersimulierte Szenarien in der Personalarbeit* (S. 17–42). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Kleist, H. von (1987). Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim Reden. In H. Sembdner (Hrsg.), *Sämtliche Werke und Briefe* (Bd. 2, S. 319–324). München: DTV.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.

- Krause, W. (2000). *Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht: Vereinfachung, Flexibilität und Invarianz in der menschlichen Informationsverarbeitung*. Göttingen: Hogrefe.
- Langner, T. (1991). Analyse von Einflussfaktoren beim rechnergestützten Konstruieren. In W. Beitz (Hrsg.), *Schriftenreihe Konstruktionstechnik TU Berlin*. Berlin: TU Berlin.
- Lauche, K. (2001). *Qualitätsbandeln in der Produktentwicklung* (Mensch-Technik-Organisation, Bd. 27). Zürich: vdf.
- Leinert, S., Römer, A. & Sachse, P. (1999). Externe Unterstützung der Problemanalyse bei entwerfenden Tätigkeiten. *Sprache & Kognition*, 18 (1/2), 30–38.
- Mai, C. (1998). *Effiziente Produktplanung mit Quality function deployment*. Berlin: Springer.
- Maier, N.R.F. (1931). Reasoning in humans. II. The solution of a problem and its appearance in consciousness. *Journal of Comparative Psychology*, 12, 181–194.
- March, J. G. (1978). Bounded rationality, ambiguity, and the engineering of choice. *The Bell Journal of Science*, 9, 587–608.
- McGown, A., Green, G. & Rodgers, P. A. (1998). Visible ideas: information patterns of conceptual sketch activity. *Design Studies*, 19, 431–453.
- Merz, F. (1969). Der Einfluss des Verbalisierens auf die Leistung bei Intelligenzaufgaben. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 16, 114–137.
- Miller, G. A., Galanter, E. & Pribram, K.-H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt.
- Müller, J. (1990). *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften. Systematik, Heuristik, Kreativität*. Berlin: Springer.
- Müller, J., Praß, P. & Beitz, W. (1992). Modelle beim Konstruieren. *Konstruktion*, 44, 319–324.
- Neubert, J. & Tomczyk, R. (1986). *Gruppenverfahren der Arbeitsanalyse und Arbeitsgestaltung*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Pahl, G. & Beitz, W. (1997). *Konstruktionslehre* (4. Auflage). Berlin: Springer.
- Purcell, A. T. & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process. *Design Studies*, 19, 389–430.
- Putz-Osteloh, W. (1983). Über Determinanten komplexer Problemlöseleistungen und Möglichkeiten zu ihrer Erfassung. *Sprache und Kognition*, 2, 100–116.
- Radcliffe, D. F. (1998). Event scales and social dimensions in design practice. In H. Birkhofer, P. Badke-Schaub & E. Frankenberger (Eds.), *Designers – The Key to Successful Product Development* (pp. 217–232). London: Springer.
- Richter, W. (1987). Gestalten nach dem Skizzierverfahren. *Konstruktion*, 39, 6, 227–237.
- Römer, A., Weißhahn, G., Hacker, W. & Pache, M. (2001). Aufwandsarmes Modellieren im Konstruktionsprozess – Ergebnisse einer Fragebogenstudie. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 3, 113–123.
- Rommelfanger, H. J. & Eickemeier, S. (2002). *Entscheidungstheorie: klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen*. Berlin: Springer.
- Roosenburg, N. & Dorst, K. (1998). Describing Design as a Reflective Practice: Observations on Schön's Theory of Practice. In E. Frankenberger, P. Badke-Schaub & H. Birkhofer (Eds.), *Designers – The Key to successful Product Development* (pp. 29–41). Berlin: Springer.
- Rubinstein, S. L. (1984). *Grundlagen der Allgemeinen Psychologie*. Berlin: Volk und Wissen.
- Rückert, C. (1997). Untersuchungen zur Konstruktionsmethodik – Ausbildung und Anwendung. *VDI Berichte, Nr. 293*. Düsseldorf: VDI.
- Rusch, C. W. (1970). The role of graphic activity in the design process. In G. T. Moore (Ed.), *Emerging methods in environmental design and planning*. Cambridge: MIT Press.
- Sachse, P. (1995). *Entwicklung und Bewertung einer computergestützten Entscheidungshilfe*. Frankfurt: Lang.
- Sachse, P. (1999). Unterstützung des entwerfenden Problemlösens im Konstruktionsprozess durch Prototyping. In P. Sachse & A. Specker (Hrsg.), *Design thinking: Analyse und Unterstützung konstruktiver Entwurfsfähigkeiten* (Mensch-Technik-Organisation, Bd. 22, S. 67–145). Zürich: vdf.
- Sachse, P. (2002). *Idea materialis: Entwurfsdenken und Darstellungshandeln. Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim Skizzieren und Modellieren*. Berlin: Logos.
- Sachse, P. & Hacker, W. (1997). Unterstützung des Denkens und Handelns beim Konstruieren durch Prototyping. *Konstruktion*, 49, 4, 12–16.
- Sachse, P., Hacker, W. & Leinert, S. (2004). 'Externes Denken' beim Problemlösen – unterstützt das Skizzieren auch die Problemanalyse? *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 48, 193–202.
- Sachse, P., Hacker, W., Leinert, S. & Riemer, S. (1999). Prototyping als Unterstützungsmöglichkeit des Denkens und Handelns beim Konstruieren. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 2, 71–82.
- Sachse, P. & Leinert, S. (1999). Early Rapid Prototyping. In E. Ulich (Hrsg.), *Optimierung der Produkt- und Prozessentwicklung* (S. 119–134). Zürich: vdf.
- Sachse, P., Leinert, S. & Hacker, W. (2001a). Unterstützung des Entwurfsdenkens. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 1, 24–31.
- Sachse, P., Leinert, S. & Hacker, W. (2001b). Designing with computer and sketches. *Swiss Journal of Psychology*, 60, 65–72.
- Scheele, B. & Groeben, N. (1988). *Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion Subjektiver Theorien*. Tübingen: Francke.
- Schön, D. A. (1988). Designing: Rules, types and worlds. *Design Studies*, 9, 181–190.
- Schön, D. A. (1996). *The reflective practitioner*. Aldershot: Arena.
- Schroda, F. (1999). Die Analyse der Anforderungsstruktur konstruktiv-schöpferischer Probleme. In P. Sachse & A. Specker (Hrsg.), *Design Thinking. Analyse und Unterstützung konstruktiver Entwurfsfähigkeiten* (S. 8–67). Zürich: ETH-Hochschulverlag.
- Schroda, F. & Hacker, W. (1998). „Über das Ende wird am Anfang entschieden“ – Die Analyse der Anforderungsstruktur schöpferischer konstruktiver Arbeitsaufgaben. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 52, 1–7.
- Schroda, F. & Sachse, P. (2000). Die Konstruktions-Landkarte. Planung, Dokumentation und Selbstreflexion des Konstruktionsprozesses. *Konstruktion*, 52, 3, 48–50.
- Schütze, M., Sachse, P. & Römer, A. (2003). Support value of sketching in the design process. *Research in Engineering Design*, 14, 2, 89–97.

- Smith, G. F. & Browne, G. J. (1993). Conceptual Foundations of Design Problem Solving. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 23, No. 5, 1209–1219.
- Sonntag, S. (1996). Experten in der Softwareentwicklung: Untersuchung hervorragender Leistungen im Kontext intellektueller Teamarbeit. *Habilitationsschrift, Fachbereich Psychologie, Justus-Liebig-Universität Gießen*.
- Stacey, M. K., Eckert, C. M. & McFadzean, J. (1999). Sketch interpretation in design communication. In U. Lindemann, H. Birkhofer, H. Meerkamm & S. Vajna (Eds.), *12th International Conference in Engineering Design (ICED 99)*, Munich, 2 (pp. 923–928).
- Stauffer, L. A. & Ullman, D. G. (1988). A comparison of the results of empirical studies into the mechanical design process. *Design Studies*, 9, 2, 107–114.
- Steiner, I. D. (1972). *Group processes and productivity*. New York: Academic Press.
- Stroebe, W. & Diehl, M. (1994). Why groups are less effective than their members: On productivity losses in idea generating groups. In W. Stroebe & W. Hewstone (Eds.), *European Review of Social Psychology*, Vol. 5 (pp. 271–303). London: Wiley.
- Suwa, M., Gero, J. S. & Purcell, T. (1998). The roles of sketches in early conceptual design processes. *Proceedings of Twentieth Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (pp. 1043–1048). Hillsdale: Erlbaum.
- Thalmaier, A. (1979). Zur kognitiven Bewältigung der optimalen Steuerung eines dynamischen Systems. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 26, 3, 388–421.
- Thomas, J. C. & Carroll, J. M. (1979). The psychological study of design. *Design Studies*, Vol. 1, 5–11.
- Tisdale, T. (1998). *Selbstreflexion, Bewusstsein und Handlungsregulation*. Weinheim: PVU.
- Tovey, M., Porter, S. & Newman, R. (2003). Sketching, concept development and automotive design. *Design Studies*, 24, 135–153.
- Tschan, F. (2000). *Produktivität in Kleingruppen*. Bern: Huber.
- Ullman, D. G., Dietterich, T. G. & Stauffer, L. A. (1988). A model of the mechanical design process based on empirical data: A summary. In J. S. Gero (Ed.), *Artificial Intelligence in Engineering Design*. Amsterdam: Elsevier.
- Valkenburg, R. & Dorst, K. (1998). The reflective practice of design teams. *Design Studies*, 19 (3), 249–271.
- VDI Richtlinien 2221 (1993). *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf: VDI.
- Viebahn, U. (1996). *Technisches Freihandzeichnen*. Berlin: Springer.
- Visser, W. (1994). Organisation of design activities: opportunistic, with hierarchical episodes. *Interacting with Computers*, 6, 3, 239–274.
- Vygotski, L. S. (1964). *Denken und Sprechen*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Vygotski, L. S. (1978). *Mind in Society. The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Weth, R. von der (1994). Konstruieren: Heuristische Kompetenz, Erfahrung und individuelles Vorgehen. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 38, 102–111.
- Weth, R. von der (2001). *Management der Komplexität. Ressourcenorientiertes Handeln in der Praxis*. Bern: Huber.
- Weth, R. von der & Weinert, S. (2002). Richtige Fragen sind die halbe Antwort auch beim Konstruieren – Fragensysteme als Hilfsmittel beim Konstruieren. In W. Hacker (Hrsg.), *Denken in der Produktentwicklung* (Mensch – Technik – Organisation, Band 33, S. 129–141). Zürich: vdf.
- Weinert, F. E. & Kluwe, R. H. (Hrsg.) (1984). *Metakognition, Motivation und Lernen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Weißhahn, G. & Rönsch, T. (2002). Unterstützung von Entscheidungen – computergestützte Entscheidungssysteme warum und wie? In W. Hacker (Hrsg.), *Denken in der Produktentwicklung* (Mensch – Technik – Organisation, Band 33, S. 111–128). Zürich: vdf.
- Weißhahn, G., Rönsch, T. & Sachse, P. (1999). Vorzüge und Grenzen computergestützter Entscheidungshilfen bei Individualentscheidungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 207, 263–279.
- Wertzstein, A., Jahn, F. & Hacker, W. (2003). Creating innovations in the work process through the exchange of heterogeneous knowledge – An overview of research on task-oriented information exchange (TIE). In F. Avallone, H. K. Sinargil & A. Caetano (Eds.), *Identity and diversity in organisations. Quaderni di Psicologia del Lavoro*, Vol. 11 (pp. 35–42).
- Wertzstein, A., Oberkirsch, S. & Schumann, K. (2003). Wissensbezogene Interaktionen in und zwischen Unternehmen und deren Zusammenhang zu Erfolg und Innovation. *Zeitschrift für Wirtschaftspsychologie*, 1, 34–36.
- Witte, E. M. (Hrsg.) (1998). *Sozialpsychologie der Gruppenleistung*. Lengerich: Pabst.
- Zysno, P. (1998). Von Seilzug bis Brainstorming. Die Effizienz der Gruppe. In H. Witte (Hrsg.), *Sozialpsychologie der Gruppenleistung* (S. 184–210). Lengerich: Pabst.