

WINFRIED HACKER, ANNEKATRIN WETZSTEIN UND ANNE RÖMER
INSTITUT FÜR PSYCHOLOGIE I, TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

GIBT ES VORGEHENSMERKMALE ERFOLGREICHEN ENTWERFENS VON PRODUKTEN?

· Problemlösen beim Entwurfsdenken · Strategien · Vorgehensmerkmale

ZUSAMMENFASSUNG

In drei Studien ($n_1 = 71$, $n_2 = 73$, $n_3 = 60$) werden Vorgehensmerkmale beim Entwerfen eines Alltagsgegenstands und deren Einfluss auf die Lösungsgüte des zeichnerischen Entwurfs bei Personen ohne Entwurfsausbildung untersucht.

In der Literatur sind bisher keine *vorherrschenden Strategien* des Entwerfens und keine Beziehungen zwischen bestimmten komplexen Strategien und *hoher Lösungsgüte* bekannt. Jedoch wurden in Fallstudien wiederholt *Einzelmerkmale* des Vorgehens erfolgreicher Konstrukteure berichtet. In experimentellen Studien mit naiven Entwerfern wurden einzelne Vorgehensmerkmale identifiziert (u. a. eingehende Aufgabenanalyse; Entwerfen von Lösungsalternativen; wiederholter Wechsel zwischen der Arbeit am Gesamtsystem und an Komponenten), die mit hoher Lösungsgüte in signifikanter Beziehung stehen. Das Vorschreiben komplexer „reiner“ Strategien (systematisch vs. opportunistisch) führt *nicht* zu unterschiedlicher Lösungsgüte; es gibt Hinweise auf Vorzüge *hybrider* Vorgehensweisen.

PRAKTISCHE RELEVANZ

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen tragen zu einem wichtigen Merkmal für die Konstruktions- bzw. Entwurfsausbildung zusammen, welche in einem didaktischen Konzept der Ausbildung berücksichtigt werden sollten. Zum anderen werden bedeutsame Faktoren für die tätigkeitsgerechte Auslegung von Arbeitsmitteln, z. B. die CAD-Software ermittelt.

Y A T-IL DES CARACTÉRISTIQUES PROPRES AU PROCESSUS LORS D'UNE ÉBAUCHE DE PRODUIT RÉUSSIE?

Solutions de problèmes lors de l'ébauche · stratégies · caractéristiques du processus

RESUME

Trois études ($n_1 = 71$, $n_2 = 73$, $n_3 = 60$) examinent les caractéristiques du processus lors de l'ébauche d'un objet quotidien et leur influence sur la qualité de la solution de l'ébauche dessinée auprès des personnes sans formation de création. Jusqu'à présent, ni des *stratégies prédominantes* pour un processus d'ébauche, ni une relation entre certaines stratégies complexes et une *qualité supérieure de la solution* n'ont été mentionnés dans la littérature spécialisée. Néanmoins, des caractéristiques *singulières* du processus sont régulièrement citées dans les études de cas concernant des constructeurs avec succès. Lors d'études expérimentales avec des constructeurs naïfs, on a identifié des caractéristiques singulières du processus (entre autres, l'analyse approfondie de la tâche, la recherche de solutions de rechange, l'alternance répétée entre le travail sur le projet entier et celui sur les détails) qui sont en étroite relation avec une meilleure qualité des solutions. L'application de stratégies complexes «pures» (de façon systématique versus opportuniste) ne mène pas à des solutions de qualités différentes; il y a des indices concernant les avantages d'un processus *hybride*.

IMPORTANCE PRATIQUE

Les résultats des recherches disponibles présentent une caractéristique importante pour la formation dans les secteurs de la construction et de l'ébauche qui devrait être prise en considération dans la conception didactique de cette formation.

DOES SUCCESSFUL PRODUCT DESIGN HAVE PARTICULAR PROCESS CHARACTERISTICS?

Design problem solving · design activity · characteristics of the design

SUMMARY

Innovative products are decisive for economic development. These products, whether machines, software or everyday objects, are designed by humans. However, little is known about the process of design and the possible characteristics of successful designing. Empirical investigations about the engineering design process have given heterogeneous results. Besides, explanations are missing as to why different procedures lead to solutions of comparable quality. Up till now no optimal strategy has been found, instead only single characteristics of successful design procedures in different investigations.

In analogy with epidemiological risk analysis, the aim of our study was to find those characteristics which are repeatedly found in connection with unsuccessful solutions, and those which can be observed in connection with successful solutions. We expected that the following process characteristics would occur more frequently with successful solutions than with unsuccessful solutions.

- ♦ a more extensive analysis of the work order,
- ♦ consideration of alternative solutions possibilities,
- ♦ starting work on the whole design and then continuing with parts of the design,
- ♦ multimodal, graphic and conceptual representation of solutions,
- ♦ more frequent changing between mental and external, e.g. graphic, steps,
- ♦ alternating between a systematic procedure, where the work order is decomposed into parts, and
- ♦ a nonsystematic (mixed) procedure

In our three studies the participants were volunteers without a design or engineering background and without knowledge of specific design problem solving strategies ($n_1 = 71$, $n_2 = 73$, $n_3 = 60$). They had to design and sketch a garden grill that had to meet several requirements. The quality of the solutions, the working time required, and the different characteristics of the procedure were recorded and analysed. The results of the first study concerning the quality of the designed object, the sequence of design, the design of alternatives and the form of design could be replicated and be shown more clearly in second study with a different sample: Three-quarters of the participants combined in their procedure at least one whole design with the design of subparts, and more than three quarters of the participants (80%) began with a rough sketch of the whole design and then switched to the design of subparts. Fewer than one fifth of the participants began locally

with the design of subparts. The working time increased with the frequency of the changes between the whole design and the design of subparts. Only one third of the persons submitted alternative solutions; in the first study this proportion was only one quarter. Almost 90% of the participants in addition described their design conceptually. A comparison of the extreme groups and an analysis of the times of the partial activities could show that there was a positive relationship between the solution quality and the total working time, the times interpreted as thinking time, the designing of subparts in addition to designing the whole, the frequency of changes between the whole design and the design of subparts, and the designing of alternative solutions possibilities.

In the third study we asked whether different strategy instructions (either systematic, opportunistic, or no strategy instruction) have an influence on the solution quality and which relations exist between the strategy instructions and the single characteristic of the procedure. The results showed that for the untrained, "naive" participants, the three strategies did not differ significantly in their solution quality. That means, the hypothetically optimal strategy of the systematic-decomposing procedure does not produce a higher solution quality than a free or opportunistic procedure.

Nevertheless, some single characteristics that were associated with a higher solution quality in the first two studies, e.g. production of alternatives, occurred more frequently and more pronouncedly with the systematic strategy than in the no strategy group. A rather unexpected result was that the systematic strategy was on the one hand experienced as hampering the search for solutions whilst on the other hand there was a higher satisfaction with the solution than with the opportunistic strategy.

Thus, we assume that some of the solution-favouring single characteristics tend to occur in a systematic-decomposing procedure. However, this procedure is not appropriate as the only strategy, and it seems that the flexible application of mixed procedures such as an opportunistic procedure with systematic episodes is likely to be more successful with regard to performance and experienced workload.

PRACTICAL RELEVANCE

The results of the studies presented here establish, firstly, important and necessary aspects of construction or design training, which should be considered in its didactical concept. Secondly, important factors for the activity-fair design of work tools, e.g. the CAD software, are also revealed.

1 EINFÜHRUNG

Für die Entwicklung von Wirtschaftsstandorten sind innovative Erzeugnisse ausschlaggebend. Diese – beispielsweise Maschinen, Software oder Gebrauchsgegenstände – werden von Menschen entworfen. Die psychologische Untersuchung von Entwurfsprozessen, des sogenannten „Design-Problem-Solving“, steht jedoch noch am Anfang. Wenig bekannt ist über das Vorgehen beim Entwerfen und über eventuelle Merkmale erfolgreichen Entwerfens, das heißt, eines Entwerfens, das am Ende die Anforderungen der Pflichtenhefte erfüllt. Dadurch fehlen

- kognitions- und handlungspsychologische Grundlagen für normative Empfehlungen zum Vorgehen, wie sie beispielsweise die DIN-Norm 2221 oder die Konstruktionsmethodik (beispielsweise Pahl & Beitz 1997) geben,
- Grundlagen für ein optimales didaktisches Konzipieren der Ausbildung entwerfender Tätigkeiten beispielsweise im Maschinenbau, im Bauwesen oder der Architektur, sowie
- Leitlinien für die tätigkeitgerechte Auslegung von Arbeitsmitteln für das Entwerfen, beispielsweise für CAD-Programme.

Die Mehrzahl der bisherigen Untersuchungen zum Entwerfen betrifft die Produktentwicklung im Maschinenbau, das Konstruieren.

Die empirischen Untersuchungen zum Vorgehen beim Konstruieren erbrachten heterogene Befunde. So weichen die darin berichteten Vorgehensweisen von den normativ empfohlenen deutlich ab. Verschiedene Konstrukteure nutzen in Abhängigkeit von ihren Erfahrungen unterschiedliche Vorgehensweisen. Es fehlen jedoch Erklärungskonzepte, wieso die verschiedenen Vorgehensweisen zu Lösungen vergleichbarer Güte führen. Einen aktuellen Überblick zu dieser Problematik gibt 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 wurden.

Im Einzelnen: Zahlreiche Laboruntersuchungen analysierten mit detaillierten Verhaltensprotokollen das Vorgehen von Konstrukteuren beim Entwerfen einer Wandhalterung nach einem identischen Pflichtenheft (beispielsweise Blessing 1994; Dylla 1991; Fricke 1993; 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“, Erfolg beim Entwerfen „ist auch ohne übergreifende Strategie möglich“ (von der Weth 2001, Seiten 83, 95, 103). Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass Konstrukteure selten ihre Aufträge systematisch zerlegen, sondern vorwissensgeleitet, „opportunistisch“ bei Teilen, für die sie Lösungen bereits kennen, beginnen und weiterarbeiten. Da aber verschiedene Menschen verschiedenes Vorwissen besitzen, resultiert ein unterschiedliches Vorgehen.

Einerseits ist also keine zu erfolgreichen Lösungen führende Strategie nachgewiesen, und erfolgreiche Lösungen erscheinen auch ohne eine reliabel identifizierbare Strategie des Vorgehens möglich zu sein. Andererseits gibt es aber keine überzeugenden Argumente dafür, dass erfolgreiche Lösungen mit *beliebigen* Vorgehensmerkmalen entstehen. Es ist wenig wahrscheinlich, dass beispielsweise das Ignorieren der Anforderungen des Auftrags, rigides Festhalten am anfänglich vermuteten Lösungsprinzip, Unterlassen von bewertenden Rückkoppelungen von Teillösungen an den Gesamtanforderungen oder ein Agieren ohne Zielbezug charakteristische Merkmale eines erfolgreichen Entwerfens sind.

Da allerdings angesichts der vielfältigen Merkmale und ihrer Wechselbeziehungen kaum effektstarke Zusammenhänge zwischen Einzelmerkmalen und der Lösungsgüte zu erwarten sind, könnte eine Untersuchung in Analogie zu der epidemiologischen Risikoanalyse (Koch 1995) vorerst weiterhelfen: Danach wären Merkmale zu suchen, die wiederholt im Zusammenhang mit unzureichenden Lösungen sowie andere, die im Gegensatz hierzu im Zusammenhang mit erfolgreichen Lösungen beobachtet werden. Im Falle der wiederholten Identifizierbarkeit dieser Merkmale wären sie innerhalb und zwischen den Lösungsgütegruppen mit gutem Grund weiter zu untersuchen.

Möglicherweise war also das Ziel der Suche nach einer einheitlichen Optimalstrategie zumindest vorerst zu hoch gesteckt. Ist doch eine Strategie ein heuristisches zielorientiertes Entscheidungsschema nach dem mehr oder weniger umfangreiche Handlungssequenzen in Abhängigkeit von Eingabegrößen und Prüfbedingungen ausgewählt werden (Clauß 1995).

Auf der Suche nach Einzelmerkmalen erfolgreichen Entwerfens finden sich in empirischen Untersuchungen bedenkenswerte Übereinstimmungen der Befunde (Dylla 1991; Fricke 1993; Görner 1994; Stauffer & Ullmann 1988, 1991; von der Weth 2001) sowie Analogien zu Ergebnissen der allgemeinspsychologischen Forschung zum Problemlösen (Krause 2000).

Die Merkmale erfolgreichen Entwerfens verschiedenartiger Objekte durch verschiedene Personen und die Merkmale des Vorgehens von als erfolgreich beziehungsweise als berufserfahren geltenden Konstrukteuren werden im folgenden hypothetisch zusammengefasst. Zu diesem hypothetischen Merkmalspool gehört nach bisherigen Ergebnissen:

- Das umfassendere *Analysieren der Anforderungen* und der Informationen über das zu entwerfende Objekt am Anfang und während des weiteren Vorgehens (Dylla 1991), wobei Erfolgreiche besonders die funktionsrelevanten Informationen, speziell bezüglich der Hauptfunktionen, berücksichtigen und diese Informationen 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 Entwerfens 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 entwerfenden Systems nacheinander im Detail bearbeitet. Es wird also *vom Arbeiten am Gesamtsystem zum detaillierten Arbeiten an Teilen* im Sinne eines „bereichsorientierten Vorgehens“ gewechselt (Fricke 1993).
- Es werden *verschiedene Lösungsprinzipien für die Gesamt- und die Teil-*

lösungen entworfen; es liegt eine generierende und nicht nur eine korrigierende Lösungserzeugung vor. Aus diesen Alternativen wird eine günstig erscheinende Alternative ausgewählt (divergentes und konvergentes Denken; Ehrlenspiel 1995).

- ♦ Beim Entwerfen wird sowohl skizziert, d. h. visuell wahrnehmbar dargestellt als auch begrifflich auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen operiert (*multimodale Lösungsentwicklung*; Dylla 1991; Eisentraut & Günther 1997).
- ♦ In wiederholten Rückgriffen auf die fixierten Anforderungen erfolgen *reflexive Bewertungen der Zwischenergebnisse und des eigenen Vorgehens*, und es werden dabei weitere erforderliche Arbeitsschritte festgelegt (Eisentraut & Günther 1997); das geschieht für das generelle Lösungsprinzip und für konkrete Einzellösungen (Görner 1994).

Unsere Absicht, in Analogie zur Risikoanalyse vorzugehen sowie die Übereinstimmung von Vorgehensmerkmalen bei verschiedenen Stichproben zu prüfen, erfordert eine ausreichende Anzahl an Untersuchungsteilnehmern. Diese ist mit den verfügbaren Mitteln derzeit nicht bei berufterfahrenen Maschinenbaukonstruktoren zu gewinnen. Angesichts von Zweifeln an der Begründetheit von Konstruktionsmethodiken und der Annahme, dass bestimmte Denk- und Problemlöseprozesse bei allen Menschen gleich ablaufen, wurde das Vorgehen von nicht entwurfs- bzw. konstruktionsmethodisch ausgebildeten, „naiven“ Entwerfern bei einem von diesen bewältigbaren Entwurfsauftrag untersucht. Damit erwarten wir zwar nicht, dass jedes der Merkmale, die bei berufterfahrenen und teilweise entwurfsmethodisch vertieft ausgebildeten Konstrukteuren beobachtet wurden, auch bei erfolgreichen naiven Entwerfern vorliegt. Dennoch wird erwartet, dass bei hoher Lösungsgüte folgende Vorgehensmerkmale häufiger auftreten als bei geringer Lösungsgüte:

- ♦ ausgeprägteres Analysieren des Auftrags,
- ♦ Darstellen alternativer Lösungsmöglichkeiten,
- ♦ Beginn des Arbeitens am Gesamtsystems und Fortsetzen an Systemteilen,

- ♦ multimodale, zeichnerische und begriffliche Darstellung von Lösungen,
- ♦ häufigeres Wechseln zwischen mentalen und externalen, z.B. zeichnerischen Vorgehenschritten,
- ♦ das Wechseln zwischen systematischen den Auftrag zerlegenden und abarbeitenden Vorgehensteilen mit nicht-systematischen (Mischvorgehen) sowie
- ♦ das rückkoppelnde, reflexive Bewerten der Ergebnisse.

Der letztgenannte Sachverhalt wird in einer anderen Publikation analysiert (Hacker & Wetzstein in Vorbereitung) und deshalb hier nicht verfolgt.

Aufgrund der Heterogenität der als Grundlage berücksichtigten Literaturquellen und deren Fallstudiencharakter wird in der ersten Studie zunächst noch kein hypothesentestendes Vorgehen genutzt.

2 STUDIE I

2.1 Spezielle Fragen

Die erste Studie hat zunächst deskriptiven Charakter. Anknüpfend an die dargestellten Befunde und Meinungen wird eingrenzend zunächst nach folgenden Vorgehensmerkmalen gefragt:

1. Was wird dargestellt, das Gesamtobjekt und/oder Teile? Liegt ein zerlegendes oder ganzheitliches Vorgehen vor und wie wird gegebenenfalls zerlegt? Ein Zerlegen kann vollständig in die Teile des zu entwerfenden Objekts erfolgen oder nur einige Teile betreffen, die neben dem Gesamtobjekt einzeln bearbeitet werden.
2. In welcher Reihenfolge wird entworfen? Denkbar ist der Start bei einem ganzheitlichen Objekt, das als Ganzes weiter ausgearbeitet wird, deutbar als globales Vorgehen, oder das in auszuarbeitende Teile dekompositorisch mehr oder weniger rational zerlegt wird. Weiter ist der Start bei einem Teil denkbar, dass als bereits bekannt erinnert wird, deutbar als ein lokales Vorgehen.

In Analogie zur denkpsychologischen Forschung an wissensarmen Problemen wie dem Turm von Hanoi ist nahegelegt, dass an Teilproblemen lokal begonnen und

erst später rational dekompositorisch weitergearbeitet wird.

3. Werden für die Gesamtlösung oder für Teile Alternativen erzeugt?
4. Sind beim Entwerfen von Gegenständen durch naive Entwerfer bildliches und sprachliches Darstellen verknüpft? Einerseits könnte die geringe Geübtheit im Zeichnen technischer Objekte und die Unkenntnis von Darstellungskonventionen zu verbalen Erläuterungen in der geforderten Zeichnung veranlassen. Andererseits könnte kombiniertes bildlich-anschauliches und abstrahierendes begriffliches Darlegen von Lösungen auf ausgeprägte multimodale Repräsentationen verweisen, die eine mögliche Grundlage eines erfolgreichen Vorgehens sein könnten.

Besonders interessiert des Weiteren, ob Beziehungen zwischen Vorgehensmerkmalen und der erzielten Güte der Entwürfe bestehen. Die eingangs skizzierten Aussagen in der Literatur legen nahe, zunächst folgenden Beziehungen nachzugehen:

5. Bestehen Beziehungen zwischen zerlegendem versus ganzheitlichem Vorgehen und der Lösungsgüte,
6. zwischen dem Wechseln zwischen der Arbeit am Gesamtobjekt und Teilen und der Lösungsgüte sowie
7. dem Erzeugen von Alternativen und der Lösungsgüte?

2.2 Methodik

Stichprobe: An der Untersuchung nahmen 71 freiwillige Personen ohne eine entwurfs- oder konstruktionsmethodische Ausbildung teil. Es handelt sich um Psychologiestudenten, davon sind 52 weiblich. Das Durchschnittsalter beträgt 22 ± 4.3 Jahre.

Aufgabe: In Anlehnung an Untersuchungen in Zusammenarbeit mit Maschinenbauern (Römer 2002) war ein Gartengrill in Freihandskizzen zu entwerfen, der mehreren Anforderungen zu genügen hat. Die Anforderungen beinhalteten (1.) die stufenlose und arretierbare Verstellbarkeit des Abstandes zwischen Rost und Kohlpfanne zwischen 5 und 25 cm ohne ein direktes Berühren dieser Teile, (2.) die leichte Entnehmbarkeit von Rost und Pfanne,

(3.) den stabilen Stand des Grills sowie (4.) den Verzicht auf elektrische Bauteile. Diese Anforderungen dienten einerseits der Definition von Kriterien der Lösungsgüte und sollten andererseits die Möglichkeit des Niederzeichnens eines kurzerhand erinnerten Grills weitgehend erschweren. Maßangaben und Materialfestlegungen waren nicht gefordert. Die Aufgabe mit der Anforderungsspezifikation lag schriftlich vor.

Vorgehen: Die Bearbeitung erfolgte in Einzelversuchen ohne Zeitbegrenzung.

Abhängige Variablen: Es wurden die objektive Lösungsgüte, die von der Person wahrgenommene Lösungsgüte sowie die erlebte Sicherheit der Aufgabenbewältigung ermittelt. Während die letzten beiden Sachverhalte mit Ratingeinstufungen ermittelt wurden, liegt der objektiven Lösungsgütebewertung ein von Konstrukteuren entwickeltes (vgl. Langner 1991; Römer 2002) und für die Laienpopulation reduziertes Bewertungsschema der Entwürfe mit 0 bis 30 Punkten zugrunde. Unter anderem wurden Merkmale, welche die Fertigung oder den Materialaufwand betreffen, nicht berücksichtigt.

Des Weiteren wurde die Dauer des Anfertigens des Entwurfs gemessen. Bezüglich des Vorgehens wurden anhand der Entwürfe, der Videoaufzeichnungen des Entwurfsvorgangs und einer absichernden anschließenden Befragung der Personen mit Nutzung der Strukturlegetechnik folgende Sachverhalte untersucht:

- die Art und Weise der Darstellung (als Skizze mit oder ohne Beschriftungen und mit oder ohne Symbolen)
- das Darstellen des Gesamtobjekts und/oder von Teilen
- die Reihenfolge der Darstellungen des Gesamtobjekts und/oder von Teilen sowie
- das Darstellen von unterschiedlichen Lösungen für Teile beziehungsweise für das gesamte Objekt (Alternativen).

Auswertung: Das Bewertungsschema der Lösungsgüte bewertet anhand von 10 Kriterien den Erfüllungsgrad der oben skizzierten Anforderungen der Aufgabe zwischen jeweils 0 Punkten (nicht vorhanden beziehungsweise nicht funktionsfähig) bis

3 Punkten (vollständig vorhanden beziehungsweise voll funktionsfähig). Die Bewertung der Lösungsgüte wurde trainiert sowie stichprobenartig durch drei Beurteiler mit anschließender Diskussion unterschiedlicher Zuordnungen kontrolliert. Zur Auswertung des Vorgehens wurden Kategorien definiert (beispielsweise Gesamtobjekt; Teile des Gesamtobjekts; Alternativen) und ausgezählt. Die Kategorienbildung sowie die anfänglichen Auszählungen erfolgten unabhängig durch drei Mitglieder der Forschungsgruppe und durch eine anschließende Diskussion abweichender Definitionen beziehungsweise Zuordnungen. Kontrolliert wurden außerdem die Personenvariablen Arbeitsgedächtniskapazität (geprüft mit dem Zahlen-Nachsprechen-Rückwärts nach dem HAWIE-Test; Tewes 1991), die Fähigkeit zum räumlichen Vorstellen (Gittler-Test; Gittler 1990) sowie die Motivation zur Bearbeitung der Aufgabe (Ratingskalen).

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS 10.0 mit den jeweils im Weiteren angegebenen Verfahren. Ergebnisse mit $p \leq .05$ werden als signifikant (*), solche mit $p \leq .01$ als hoch signifikant (***) bezeichnet.

2.3 Ergebnisse

Die Personenvariablen zeigten keinen Einfluss auf die Lösungsgüte bzw. auf die Vorgehensmerkmale. Daher werden sie in

den weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt.

Die Gesamtbearbeitungszeit betrug im Mittel 22.4 ± 1.5 Minuten, wobei eine sehr große Variationsbreite zwischen 5 und 65 Minuten vorliegt.

Bezüglich des *Darstellungsgegenstandes* wurde die Kombination einer Gesamtdarstellung mit bis zu vier Teildarstellungen bevorzugt (62% der Personen). Nur Teile stellten 6%, nur Gesamtdarstellungen 32% der Personen dar. Bei den Gesamtdarstellungen ohne Teile legte mehr als die Hälfte der zugehörigen Teilnehmer (TN) mehr als eine Gesamtdarstellung vor.

Bei der bevorzugten Kombination von Gesamt- und Teildarstellungen lieferten nur 6% eine Gesamtdarstellung nebst Darstellung aller Teile.

Inhaltlich wurde am häufigsten als Detail der Verstellmechanismus, d. h. das komplexeste und komplizierteste Teil dargestellt. Es dominiert mithin eine Kombination von ganzheitlichem und zerlegendem Darstellen.

Hinsichtlich der *Reihenfolge der Darstellung* beginnen drei Viertel der Personen mit der Skizze des Gesamtsystems (Bild 1). 65% der Probanden wechselt im weiteren Vorgehen zwischen dem Gesamtsystem und Teilen bzw. umgekehrt. Fast die Hälfte

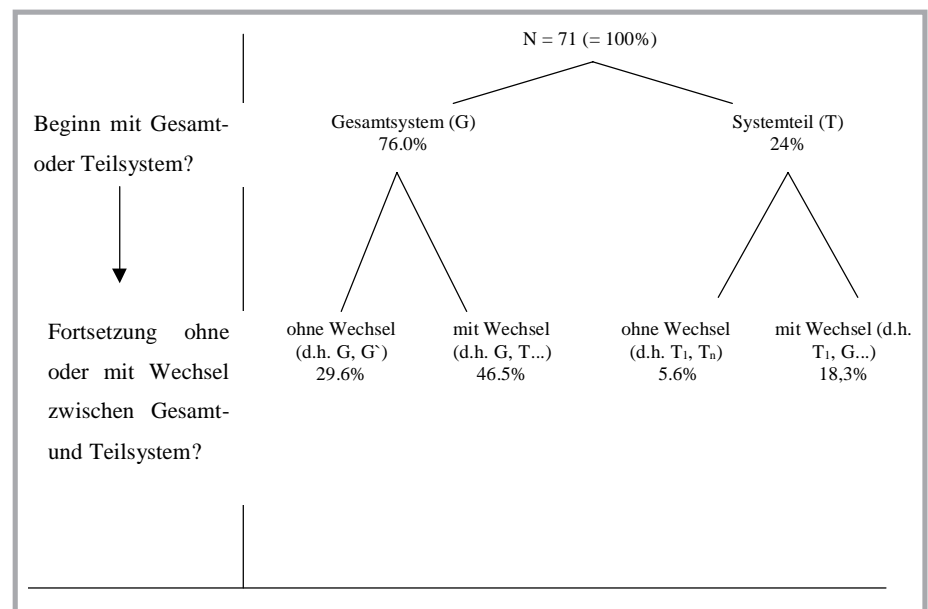


Bild 1: Ablauf des Entwurfens am Beispiel nicht ausgebildeter Personen (Studie 1). (Chi-Quadrat = 26.0 > Chi-Quadrat_{0,01;3} = 11.3 für Vergleich mit einer Gleichverteilung).

Figure 1: Design procedure by the example of untrained participants (study 1). (Chi-Quadrat = 26.0 > Chi-Quadrat_{0,01;3} = 11.3 for comparison with a uniform distribution).

Illustration 1: Exemple du déroulement d'une ébauche par des personnes non-formées (étude 1). (Chi au carré = 26.0 > Chi au carré_{0,01;3} = 11.3 pour la comparaison dans une distribution égale).

der wechselnden Personen (46%) beginnt mit einer vagen Gesamtskizze und wechselt dann zu Teilen. Einmalig und mehrfach wechselnde Personen sind gleich häufig vertreten.

Die zweitgrößte Gruppe, etwa ein Drittel, startet zwar gleichfalls mit Gesamtdarstellungen, bleibt jedoch dann bei solchen. Etwa gleiche Anteile davon ergänzen die Erstvariante beziehungsweise entwerfen eine andere Gesamtvariante.

Es dominiert mithin der Start mit einer noch vagen Gesamtdarstellung mit dem Übergang zur Weiterarbeit an herausgegriffenen Teilen. Dagegen liegt der Start mit dem Darstellen von Teilen nur bei weniger als einem Viertel der Teilnehmer vor. Ein Überwiegen einer anfänglichen Arbeit am Detail ist also nicht erkennbar.

Das Darstellen andersartiger Lösungen für das Gesamtobjekt oder für Teile, d.h. von *Alternativen*, war nur bei 25% der Teilnehmer feststellbar, wobei nur 7% mehr als eine Alternative darstellten. Mehrere unterschiedliche Lösungsideen werden also nur von einer Minorität der Personen dargestellt.

Im *Zeitbedarf* liegen Unterschiede zwischen den ermittelten Vorgehensweisen vor, die keine unerwarteten Einsichten erbringen: Personen, die neben der Gesamtskizze auch Teilskizzen anfertigen, benötigen längere Zeit als die, welche nur Gesamtskizzen lieferten. Beim Start mit einer Gesamtdarstellung und dem Wechseln zu Teilen wird mehr Zeit benötigt als ohne dieses Wechseln. Hingegen verfehlt der erhöhte Zeitbedarf beim Vorliegen von Lösungsalternativen knapp die Signifikanz. Vermutlich könnte eine Analyse von Teilzeiten mehr Information erbringen; sie soll deshalb in der zweiten Studie realisiert werden.

Hinsichtlich der *Darstellungsform* erläutern 99% der Teilnehmer ihre Zeichnungen durch Beschriftungen, selten auch durch Symbole. Die verbalen Erläuterungen betreffen fast gleich oft Teilebenennungen und Funktionserläuterungen.

Statistisch signifikante Konfigurationen aus mehreren Vorgehensmerkmalen liegen nicht vor.

Die einzelnen Vorgehensmerkmale stehen zwar tendenziell mit der *Lösungsgüte* in Beziehung, aber die Unterschiede sind

nicht auf dem geforderten Niveau ($p = .05$) signifikant: Beim Darstellungsgegenstand ist die Lösungsgüte bei einer Gesamtskizze nebst den Skizzen aller Teile wesentlich – um etwa eine Standardabweichung – höher als bei allen übrigen Varianten, jedoch ist der Unterschied insgesamt nicht signifikant (Varianzanalyse: $F_{(3,67)} = 2.5, p = .07$), sondern nur tendenziell $p < .10$. Bezüglich der Reihenfolge der Darstellungen ist die Lösungsgüte bei Varianten mit Wechseln zwischen Gesamt- und Detaildarstellungen größer als bei Varianten ohne diese Wechsel, jedoch besteht keine Signifikanz des Unterschieds ($F_{(3,67)} = 1.6, p = .19$). Auch beim Erzeugen von Alternativen liegt zwar eine höhere Lösungsgüte vor als ohne Alternativen, aber auch hier wird die Signifikanz nicht erreicht.

2.4 Diskussion

Im Vorgehen beim Entwerfen eines Gebrauchsgegenstandes durch nicht im Entwerfen und einer Entwurfsmethodik ausgebildete Personen zeichnen sich klare Häufungen einiger Vorgehensmerkmale ab: Es dominiert eine Kombination von ganzheitlichem und zerlegendem Darstellen. Hinsichtlich der Reihenfolge beginnen drei Viertel der Probanden beim Gesamtsystem und die Mehrheit dieser Personen setzt mit der Arbeit an Teilen fort und wechselt im weiteren Vorgehen zwischen Gesamt- und Teilsystemen. Die resultierende Häufigkeitszuordnung ist signifikant von einer Gleichverteilung verschieden. Ein Überwiegen eines Beginns mit Details – interpretierbar in Analogie zum lokalem Vorgehen beim Problemlösen im engeren Sinne – ist nicht erkennbar. Nur eine Minderheit von Teilnehmern stellt mehr als ein Lösungsprinzip für das Gesamtsystem oder Teile dar. Fast alle Personen erläutern die Skizzen auch begrifflich.

Es gibt also eindeutige Häufigkeitsschwerpunkte bei den untersuchten Einzelmerkmalen des Vorgehens und keine Hinweise auf eine Gleichverteilung, die als zufälliges Anfallen von Merkmalsausprägungen deutbar wäre. Nicht auffindbar sind statistisch signifikante Konfigurationen aus logisch unabhängigen Einzelmerkmalen.

Diese gehäuft beziehungsweise selten auftretenden Merkmale stehen mit der Lösungsgüte der Entwürfe in der eingangs skizzierten Richtung in Beziehung: Die Lösungsgüte ist tendenziell höher beim

Vorliegen einer Gesamtskizze nebst der Darstellungen aller Systemteile sowie beim Wechseln zwischen Gesamt- und Detaildarstellungen und beim Erzeugen von Lösungsalternativen. Jedoch erreichen die Unterschiede nicht das erforderliche Signifikanzniveau.

Diese Befunde lassen es aussichtsreich erscheinen, weiter zu fragen: Es wird untersucht, ob die bisher betrachteten Vorgehensmerkmale auch bei einer anderen Stichprobe ähnliche Häufungen aufweisen. Des Weiteren wird gefragt, ob weitere Vorgehensmerkmale, insbesondere zeitliche, sich in die bisherigen sachlogisch einordnen lassen, und schließlich, ob eine andere Vergleichsform Beziehungen zwischen der Lösungsgüte und den Vorgehensmerkmalen gesicherter zu identifizieren gestattet. Dabei soll nicht mehr beim Vorliegen versus Nicht-Vorliegen von Vorgehensmerkmalen nach signifikanten Lösungsgüteunterschieden gesucht werden, sondern für eine Personengruppe mit hoher versus eine Personengruppe mit niedriger Lösungsgüte nach signifikanten Häufigkeitsunterschieden im Vorliegen der Vorgehensmerkmale.

3 STUDIE II

3.1 Spezielle Fragen

Wir fragen in einer ersten Fragengruppe nach der Gesamtbearbeitungszeit und ihrer Streuung sowie den Zeitanteilen für beobachtbare Teiltätigkeiten und ihre Variabilität, weil für Teiltätigkeiten mit hoher interindividueller Variabilität im Weiteren die Unterschiede zwischen Teilnehmern mit der höchsten und der niedrigsten Lösungsgüte besonders aufschlussreich sein könnten.

Die zweite Fragengruppe umfasst die Fragen nach dem zerlegenden oder ganzheitlichen Vorgehen, der Reihenfolge der Arbeit am Gesamtsystem oder an Teilen, dem Erzeugen alternativer Lösungen sowie dem Verbinden bildlichen und sprachlichen Darstellens. Diese Fragen entsprechen denen in Studie I, um Hinweise auf eine Stichprobenunabhängigkeit der Ergebnisse zu den Vorgehensmerkmalen bei im Entwerfen nicht ausgebildeter Personen und damit zu deren Verallgemeinerbarkeit zu erlangen.

Die dritte Fragengruppe prüft, ob es signifikante Unterschiede in der Vorkommens-

häufigkeit beziehungsweise der Größe dieser Vorgehensmerkmale zwischen den zehn Teilnehmern mit der höchsten und den zehn mit der niedrigsten Lösungsgüte (von insgesamt 73 Teilnehmern) gibt. Wir erwarten signifikante Unterschiede entsprechend der in Studie I gefundenen Tendenzen.

3.2 Methodik

Stichprobe: An der Untersuchung nahmen 73 freiwillige Personen ohne entwerfsmethodische Ausbildung teil. Es handelt sich um Architekturstudenten, davon 46 weiblich, mit einem Durchschnittsalter von 21,5 Jahren. Die Stichprobe ermöglicht, starke bis mittlere Effekte zu sichern.

Aufgabe und Vorgehen: Die Festlegungen entsprechen denen bei Studie I.

Abhängige Variablen und Auswertung: Die Festlegungen hierzu entsprechen denen in der ersten Studie.

3.3 Ergebnisse

Die Gesamtbearbeitungszeit des Auftrags variiert wiederum stark, nämlich zwischen 4 und 67 Minuten, der Mittelwert ist 33.9 ± 1.9 Minuten.

Die relativen Zeitanteile für beobachtbare Teiltätigkeiten stellt die Tabelle 1 durchschnittsweise zusammen. Neben den externen Aktivitäten wie Lesen des Auftrags, Zeichnen und Schreiben treten mit knapp einem Fünftel der Gesamtzeit Teilzeiten auf, die als rein mentale Aktivitäten inter-

Tabelle 1: Relative Zeitanteile ausgewählter Teiltätigkeiten (Mittelwert, Standardabweichung und Variabilitätskoeffizient V ; $V = s / \bar{x}$)

Table 1: Relative allocated times of selected partial activities (average value, standard deviation and variability coefficient; $V = s / \bar{x}$)

Tableau 1: Temps relatif aux activités partielles choisies (moyenne, écart type, coefficient de variation V ; $V = s / \bar{x}$)

—	Teiltätigkeit	\bar{x}	s	V
o	Zeichnen	55.4%	13.6	0.25
o	Zeichnung betrachten	15.7%	8.5	0.54
o	Schreiben von Erläuterungen	13.9%	8.1	0.58
o	Lesen der Anforderungen	5.4%	6.3	1.17
o	zurückkehrende Weiterarbeit an früheren Skizzen	4.0%	5.3	1.33
o	Keine beobachtbare Aktivität („in die Luft schauen“)	2.0%	2.6	1.30

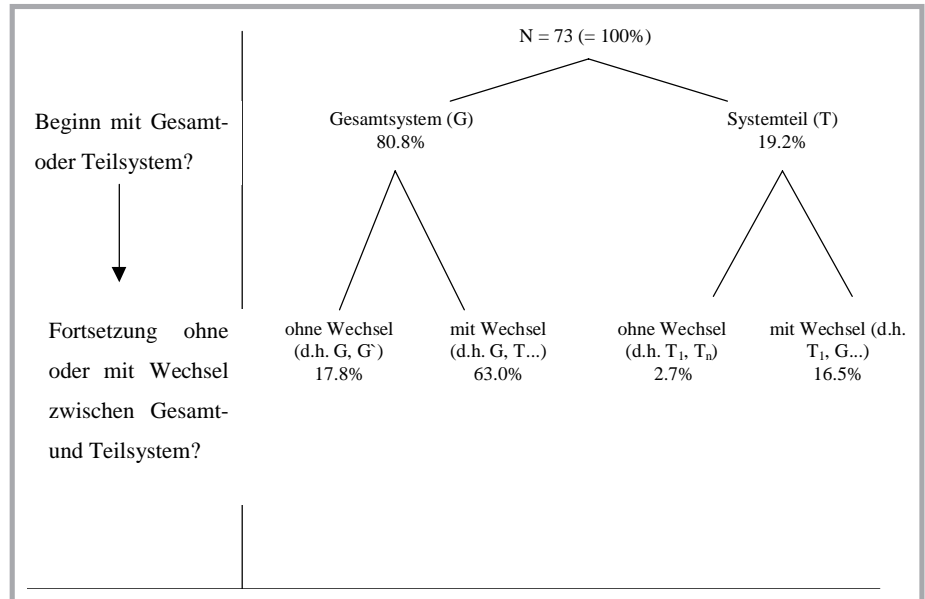


Bild 2: Ablauf des Entwerfens am Beispiel nicht ausgebildeter Personen (Studie 2). (Chi-Quadrat = 82.7 > Chi-Quadrat_{0,01;3} = 11.3 für Vergleich mit einer Gleichverteilung)

Figure 2: Design procedure by the example of untrained participants (study 2). (Chi-Quadrat = 82.7 > Chi-Quadrat_{0,01;3} = 11.3 for comparison with a uniform distribution)

Illustration 2: Exemple du déroulement d'une ébauche par des personnes non-formées (étude 2) (Chi au carré = 82.7 > Chi au carré_{0,01;3} = 11.3 pour la comparaison dans une distribution égale)

pretierbar sind (Betrachten der Zeichnungen; Zeitanteile ohne zuordenbare externe Verrichtungen). Externales und internales Vorgehen wechseln sich also beim Entwerfen Naiver miteinander ab (Tabelle 1).

Des Weiteren sind die hohen interindividuellen Variabilitäten (Variabilitätskoeffizient) beim Befassen mit dem Auftrag („Lesen“), bei der zurückkehrenden Weiterarbeit an früher ausgeführten Skizzen sowie dem Zeitanteil ohne zuordenbare externe Aktivität („in die Luft schauen“) hervorzuheben. Das sind Tätigkeiten vorbereitender und ergänzender bezie-

ungsweise korrigierender Art, die möglicherweise reflexive Inhalte im Sinne eines Befassens mit der eigenen Tätigkeit haben könnten.

Bezüglich des Darstellungsgegenstandes wurde auch von dieser Probandenstichprobe die Kombination einer Gesamtdarstellung mit der Darstellung von Systemteilen bevorzugt (79.5% der Teilnehmer). Nur in Teile zerlegend arbeiteten 2.7%, nur Gesamtdarstellungen lieferten 17.8%. Wiederum wurden am häufigsten als Detail Mechanismen zur stufenlosen Verstellung entworfen. Die Vielfalt der vorgeschlagenen Lösungen ist erheblich und deckt die Breite der technisch prinzipiell gegebenen Möglichkeiten so gut wie vollständig ab. Nur knapp sieben Prozent der Probanden legen keine erkennbaren Lösungen zur stufenlosen Verstellung vor. Die gewählten Lösungen umfassen Geradfürungen, Aufhängungen, Spindelantriebe, Zahnstangenantriebe, hydraulische und Scherenlösungen.

Bezüglich der Reihenfolge beginnen – wiederum wie bei der ersten Stichprobe – 80% der Probanden beim Gesamtsystem. Ebenfalls fast 80% (79.5%) wechseln im Verlaufe des Entwerfens zwischen Gesamtsystem und Teilen und umgekehrt (Bild 2).

Knapp ein Fünftel (19%) der Teilnehmer beginnt mit Teillösungen, wobei die Mehrheit davon danach zum Gesamtsystem

Tabelle 2: Vergleich von Vorgehensmerkmalen des Entwerfens für je 10 entwurfsmethodisch ungebildete Personen mit der höchsten versus niedrigsten Lösungsgüte (t-Tests für unabhängige Stichproben; Weber, 1961, S. 159)

Table 2: Comparison of design process features for the 10 untrained subjects with the highest versus lowest solution quality (t-Tests for independent samples; Weber, 1961, S. 159)

Tableau 2: Comparaison des caractéristiques du processus d'ébauche pour chaque 10 personnes qui n'ont pas été formées méthodologiquement en partant de la meilleure solution à la moins bonne (tests-T pour échantillons indépendants, Weber, 1961, S. 159)

Vorgehensmerkmale	höchste	niedrigste	Signifikanz der Unterschiede
	Lösungsgüte		
Gesamtzeitbedarf ($\bar{x} + s_x$; in min)	43.3 ± 5.1	21.3 ± 3.4	.01
Keine externen Operationen (Zeitanteil des „in die Luft schauens“ in %)	2.6 ± 0.8	0.6 ± 0.3	.05
Lesen der Anforderungen (Zeitanteil in %)	5.1 ± 1.8	4.0 ± 1.3	ns
Nur Gesamtdarstellungen (TN-Zahl)	1 (10%)	4 (40%)	.10
Mittlere Wechselhäufigkeit Gesamt-/Teildarstellungen	2.9	1.2	.05
Anzahl von Personen mit Wechseln	9 (90%)	6 (60%)	.10
Alternative Lösungen vorgelegt (TN-Zahl)	5 (50%)	0 (0%)	.05
Anregung durch erinnerten Grill ausgesagt	6 (60%)	9 (90%)	.10

übergeht und nachfolgend weiter wechselt. Ein Überwiegen einer Arbeit am Detail als Beginn im Sinne eines lokalen Vorgehens liegt also wiederum nicht vor. Die Verteilungen der Kategorien zum Ablauf des Entwerfens (Bilder 1 und 2) für die Stichprobe der ersten Studie und die Stichprobe dieser Untersuchung unterscheiden sich nicht ($\chi^2_{3;0.05} = 4.8 < \chi^2_{3;0.05} = 7.8$).

Der Gesamtzeitbedarf hängt wiederum mit der Häufigkeit des Wechsels zwischen Gesamt- und Teildarstellungen zusammen; er steigt mit ihr signifikant ($r = 0.38$; $p < .01$).

Das Darstellen alternativer Lösungen für das Gesamtsystem oder Teile ist nur bei einer Minorität, hier bei 31.5% der Probanden feststellbar.

Bezüglich der Darstellungsform erläutern 88% der Personen ihre Zeichnungen durch Beschriftungen. 45% geben zusätzlich zu Teilebenennungen auch Funktionserklärungen an.

Mit der Lösungsgüte korrelieren über die Gesamtstichprobe betrachtet signifikant die Gesamtbearbeitungszeit ($r = 0.32$; $p < .01$) und das Entwerfen mehrerer alternativer Lösungen ($r = 0.26$; $p < .05$).

In der Tabelle 2 werden die Vorkommenshäufigkeiten beziehungsweise Ausprägungen der dargestellten Merkmale für je zehn Teilnehmer mit der höchsten und der niedrigsten Lösungsgüte aus der Gesamtzahl der 73 Versuchsteilnehmer gegenübergestellt. (Merkmale ohne auch tendenziell deutliche Unterschiede, beispielsweise das zurückspringende Weiterarbeiten an früher dargestellten Teilen, werden aus Platzgründen ausgelassen).

Lässt man die nicht signifikanten und tendenziell signifikanten ($p < .10$) Unterschiede außer Betracht, so zeigt die Gegenüberstellung, dass eine höhere Lösungsgüte vorliegt bei: 1. längerer Bearbeitungsdauer, 2. einem höheren Zeitanteil ohne beobachtbare externe Aktivitäten, 3. einem häufigeren Wechsel zwischen Gesamt- und Teildarstellungen sowie 4. dem Erzeugen von mehr als einer Lösungsvariante auf dem Weg zur abschließenden, bewerteten Lösung. Weitere erwartete Unterschiede, etwa die Dauer der Befassung mit den Anforderungen, liegen vor, ohne die erforderliche Signifikanzgrenze zu erreichen.

Diese Befunde entsprechen den Ergebnissen der ersten Studie, die diesbezüglich nur Tendenzen erkennbar machte.

Bild 3 zeigt einige Skizzen einer sehr guten Probandin. Sie zeichnet zunächst eine grobe Gesamtskizze, stellt dann verschiedene Alternativen für den Verstellmechanismus zusammen und arbeitet eine dieser anschließend zur Lösung aus. Neben den hier dargestellten Skizzen, fertigt sie noch eine Reihe von Teilezeichnungen an. Es konnten häufige Wechsel zwischen Gesamt- und Teildarstellung (11) beobachtet werden.

3.4 Diskussion

Im Vorgehen der zweiten Stichprobe vonativen Entwerfern zeichnen sich ebenfalls klare Häufungen einiger Vorgehensmerkmale ab.

Die mittlere Gesamtbearbeitungszeit ist um etwa 50% länger als in der ersten Stichprobe

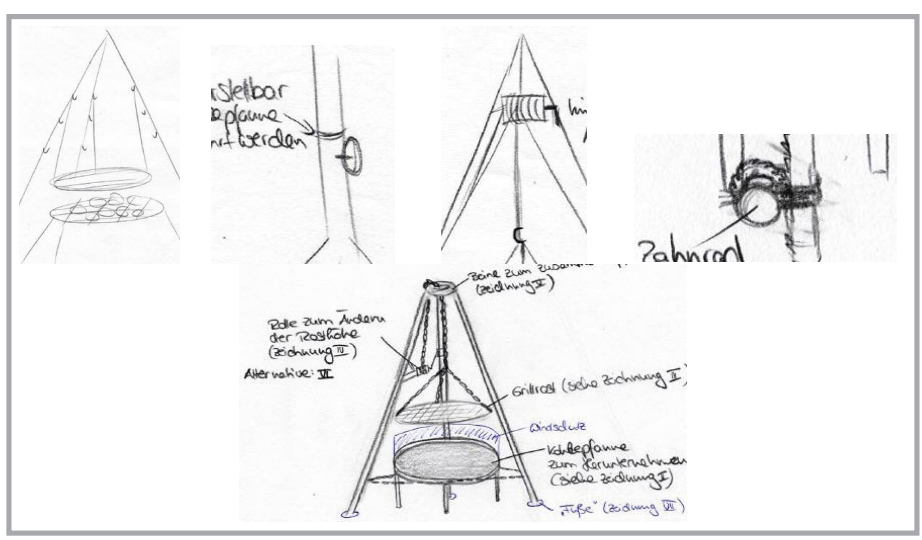


Bild 3: Entwurfsskizzen einer Teilnehmerin
Figure 3: Design sketches of a participant
Illustration 3 : Croquis de conception d'un participant

be; dieser Unterschied hängt mit der gewissermaßen darstellungsweisen in den Zeichnungen der Architektur- im Vergleich zu den Psychologiestudenten zusammen. Die Spannweite der Gesamtbearbeitungszeiten ist beinahe identisch mit der in der ersten Studie und wiederum sehr groß, so dass die Beziehung zur Lösungsgüte interessiert. Die interindividuelle Variation (Variabilitätskoeffizient; Weber 1961, S. 80) ist bei vorbereitenden und ergänzenden beziehungsweise korrigierenden Tätigkeitsanteilen vier mal so groß wie beim Zeichnen als darstellender Tätigkeit mit dem größten Zeitanteil und doppelt so groß wie beim schriftlichen Erläutern der Darstellungen. Damit interessiert auch die Beziehung dieser interindividuell hoch variierenden Teiltätigkeiten zur Lösungsgüte; wir kommen darauf zurück.

Die Befunde der ersten Studie bezüglich Darstellungsgegenstand, Darstellungsreihenfolge, Darstellen von Alternativen und Darstellungsform werden durch die zweite Untersuchung an einer anderen Stichprobe bestätigt. Sie geben verallgemeinerbare Merkmale des Vorgehens beim Entwerfen nicht ausgebildeter Personen wieder: Drei Viertel der Personen kombinieren in ihrem Vorgehen mindestens eine Gesamtdarstellung mit der Darstellung von Teilsystemen, mehr als drei Viertel der Personen (80%) beginnen bei einer Grobdarstellung des Gesamtsystems und wechseln danach zur Darstellung von Systemteilen. Ein lokales Beginnen mit der Arbeit an Systemteilen liegt nur bei weniger als einem Fünftel der Personen vor. Die Gesamtbearbeitungszeit steigt mit der Häufigkeit der Wechsel, so dass die Beziehung von Bearbeitungszeit sowie Wechselhäufigkeit und Lösungsgüte im Weiteren interessieren dürften. Alternative Lösungen legen nur ein Drittel der Probanden vor, in der ersten Studie betrug dieser Anteil ein Viertel. Wiederum erläutern fast 90% der Probanden ihre Darstellungen (trotz der besseren zeichnerischen Darstellungsweise bei diesen Architekturstudenten) begrifflich.

Die Lösungsgüte der Enddarstellung steigt für die gesamte zweite Stichprobe mit der Bearbeitungsdauer und der Darstellung alternativer Lösungsansätze im Verlaufe des Ausarbeitens. In dem hier genutzten Extremgruppenvergleich werden die tendenziellen, aber nicht-signifikanten Beziehungen der ersten Studie an einer weiteren Stichprobe signifikant bestätigt sowie durch weitere, logisch ein-

ordenbare Beziehungen ergänzt. Es gibt also im Entwerfen unausgebildeter, naiver Personen einige Vorgehensmerkmale, die mit der Güte der endgültigen Lösung in einer Beziehung stehen, welche durch eine Nachprüfungsuntersuchung an einer anderen Stichprobe als auch durch die Signifikanz der Unterschiede innerhalb einer Stichprobe belegbar ist. Übereinstimmend mit den aus der Literatur abgeleiteten Erwartungen betrifft dies neben der Gesamtbearbeitungsdauer und neben dem als Nachdenken interpretierbaren Zeitanteil, auch das Entwerfen von Detaildarstellungen zusätzlich zur Gesamtdarstellung, die Wechselhäufigkeit zwischen der Arbeit am Gesamtsystem sowie Systemteilen auch das Entwerfen von Lösungsalternativen vor deren endgültiger Ausarbeitung.

Hypothesengemäß ist es also möglich, Einzelmerkmale des Vorgehens auch bei unausgebildeten Personen zu identifizieren, die mit der Güte ihrer endgültigen Lösungen sowohl statistisch als auch in inhaltlich interpretierbarer Form in Beziehung stehen. Wenngleich die Anzahl dieser Merkmale zunächst begrenzt und – bei einigen Merkmalen – die statistische Prüfung fortsetzungsbedürftig ist, bekräftigen diese Befunde den Sinn und die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen: Ein methodischer Nihilismus im Sinne „alle beobachteten Vorgehensvarianten führen zu vergleichbaren Resultaten“ mit seinen möglichen negativen Folgen für die Ausbildung und die CAD-Software-Gestaltung erscheint unberechtigt.

Offen bleibt bisher allerdings, ob auch bei unausgebildeten Entwerfern verschiedenartige komplette Vorgehensweisen (Strategien) nicht zu stichhaltigen Güteunterschieden der Entwurfslösungen führen. Bei den in der Einführung referierten Untersuchungen an ausgebildeten Konstrukteuren waren keine Optimalstrategien, allgemeiner keine unterschiedlichen Strategienauswirkungen identifizierbar gewesen. Das könnte unter anderem dort eine Folge einer relativen Angleichung (trotz bleiben der Unterschiede im Detail) durch das Wissen um Normen, durch betriebliche Vorgaben oder Gepflogenheiten und andere angleichende Einflüsse wie beispielsweise den Zeitdruck bei Terminaufträgen sein.

Im nächsten Schritt wird daher experimentell gefragt, ob das Vorgeben und Erläutern ausgewählter Strategien bei naiven Entwerfern außerhalb wirtschaftlicher Sach-

zwänge im Vergleich zum Freistellen der Vorgehensweisen zu Unterschieden in der Lösungsgüte ihrer Entwürfe führt.

4 STUDIE III: EXPERIMENTELLE VARIATION VON STRATEGIEN

4.1 Spezielle Fragen

Wir fragen, ob bei unausgebildeten Personen Strategieninstruktionen, und zwar zum systematischen und zum „opportunistischen“ Vorgehen, zu anderer Lösungsgüte führen als das Freistellen der Vorgehensweisen.

In Anlehnung an die Beobachtungen bei Konstrukteuren erwarten wir auch bei Unausbildeten keine signifikanten Unterschiede in der Güte der Lösung beim Befolgen verschiedener Strategien. Aus Untersuchungen von Rückert et al. (1997) ist zudem bekannt, dass die Kenntnis komplexer Systeme von Vorgehensregeln zur Problembearbeitung keine hinreichende Grundlage für den leistungsförderlichen Nutzen bei der Tätigkeitsausführung ist, da sie die mentale Verarbeitungskapazität binden i.S. der trade-off- oder Konkurrenz- bzw. Doppeltätigkeitskonzepte.

Erwartet werden daher signifikante Bearbeitungszeitunterschiede zugunsten des freigestellten Vorgehens. Bei den beiden Instruktionen zum Vorgehen wird ein signifikant höherer Zeitbedarf beim systematischen, zerlegenden Vorgehen erwartet. Das wird damit begründet, dass bei Vorgehensvorschriften zusätzlich zum Lösen des Entwurfsproblems weitere mentale Anforderungen – nämlich zum Vorgehen – zu berücksichtigen sind. Das sollte den Zeitbedarf erhöhen. Des weiteren erfordert das streng systematische Vorgehen von Anfang an mehr Vorüberlegungen zum Ablauf, die im Falle eines „Gelegenheiten“, beispielsweise Assoziationen, aufgreifenden opportunistischen Vorgehens ohne zusätzlichen Zeitbedarf anfallen.

Schließlich wird die Hypothese verfolgt, dass beim systematischen Vorgehen von einem größeren Personenanteil Alternativen erzeugt werden als in der Kontrollgruppe ohne Strategienvorschrift. (Wegen des insgesamt sehr kleinen Anteils dieser Personen (vergleiche hierzu die Studien I und II) kann allerdings für die systematisch vorgehende Gruppe insgesamt keine signifikant höhere Lösungsgüte erwartet werden).

Des Weiteren werden Beziehungen zwischen den Strategieinstruktionen und Einzelmerkmalen des Vorgehens untersucht. Wir fragen, welche Einzelmerkmale bei welchem Strategietyp gehäuft auftreten. Erwartet werden könnte, dass bei der systematischen Vorgehensstrategie von einem größeren Personenanteil das gründliche Aufgabeklären, das Erzeugen von Alternativen, der Beginn mit einer zu zerlegenden Gesamtdarstellung und das Wechseln zwischen Gesamt- und Teildarstellungen realisiert wird. Schließlich werden einige Fragen bezüglich der Wahrnehmung des eigenen Vorgehens verfolgt.

4.2 Methodik

Stichprobe: An der Untersuchung nahmen 60 Personen teil. Es handelt sich um Studenten verschiedener Fachrichtungen ohne technische Ausbildung und ohne erlernte Kenntnisse über bestimmte Vorgehensweisen beim Entwerfen. Das mittlere Alter der Personen beträgt 21.6 ± 0.6 Jahre. 87 Prozent der Teilnehmer waren Frauen, 13 Prozent Männer.

Aufgabe und Vorgehen: Die Aufgabe entspricht der in den vorangehenden Experimenten. Es wurden folgende Kontrollvariablen erhoben: Zur Erfassung der Arbeitsgedächtnisspanne das Zahlen-nachsprechen rückwärts und zur Erfassung der Kreativität der Test zum schöpferischen Denken von Urban & Jellen (1995). **Untersuchungsplan und unabhängige Variablen:** Der Untersuchung lag ein faktorieller experimenteller (3x2)-Plan zugrunde. Es gab zwei *unabhängige Variablen*, die Vorgehensinstruktion und in einer 2. Untersuchungsphase eine Intervention, wobei hier nur die Vorgehensinstruktion für die erste Untersuchungsphase interessiert. Für die Variation der Vorgehensstrategie gibt es drei unterschiedliche Bedingungen:

In der ersten Bedingung erhielten die Teilnehmer die spezifische Aufgabenstellung *ohne eine zusätzliche Instruktion*, wie sie die Aufgabe zu bewältigen hatten (Kontrollgruppe).

In den Versuchsgruppen wurden neben der Aufgabenstellung genaue Instruktionen gegeben, in welcher Art und Weise die Teilnehmer die Aufgabe zu bearbeiten haben:

In der zweiten Bedingung sollte der Gegenstand mit Hilfe einer *streng systemati-*

schen Vorschrift entworfen werden. Diese Vorschrift wurde dabei an die VDI 2221 (1993) zur Konstruktionsmethodik angelehnt und erfordert nach dem Klären der Aufgabe eine Zerlegung des Problems in Teilprobleme, ein Suchen nach unterschiedlichen Teillösungen (Alternativen) und ein Zusammenfügen der Teillösungen zu Gesamtlösungen. Abschließend sollte die für die Aufgabenstellung als zielführend angesehenen Alternative dargestellt werden.

Für die dritte Bedingung wurde der Instruktion das Modell der *opportunistischen Vorgehens* zu Grunde gelegt, dem berufserfahrene Entwerfer (z. B. Konstrukteure) folgen (Günther & Ehrlenspiel 1998). Dabei kann ohne systematische Zerlegung bei einem lokalen Teilproblem begonnen werden, zu dem zuerst eine Lösung aufgrund von Vorwissen einfällt. Es werden „Gelegenheiten (opportunities)“ aufgegriffen. Sprünge zwischen verschiedenen Lösungen oder Teillösungen sowie zwischen Gesamt und Detail sind erlaubt.

Jeder Versuchsbedingung wurden 20 Personen so zugeordnet, dass gleichwertige Gruppen hinsichtlich der Kontrollvariablen vorliegen. In der ersten Versuchsphase bearbeiteten die Teilnehmer die Aufgabe entsprechend der Vorgehensinstruktion. Nur diese erste Phase interessiert hier.

Die Stichprobenaufteilung erlaubt ohne Zusammenfassung von Gruppen das Sichern starker Effekte.

Abhängige Variablen und Auswertung: Es wurden wie in den vorangehenden Experimenten die objektive Lösungsgüte, die selbst eingeschätzte Lösungsgüte und die Bearbeitungszeiten erfasst und ausgewer-

Tabelle 3: Mittlere Lösungsgüte der Gruppen und Standardfehler.

Table 3: Mean solution quality of the groups and standard errors.

Tableau 3: Qualité de solution moyenne des groupes et erreurs types

Vorgehensvorgabe	Mittlere Lösungsgüte und Standardfehler
keine	15.5 ± 1.1
systematisch	16.8 ± 1.2
opportunistisch	15.0 ± 0.9

tet. Bei der objektiven Lösungsgütebewertung wurde die Definition der Stufe 0 leicht modifiziert; dadurch erklärt sich die im Mittel niedrigere Gesamtpunktzahl der Lösungsgüte in diesem Experiment. Die Stufe 0 wurde hier bereits dann vergeben, wenn eine stark eingeschränkte Funktionsfähigkeit eines Elements erkennbar war.

Personen, die die Instruktion nicht befolgt haben, wurden nicht in die Stichprobe einbezogen.

4.3 Ergebnisse

In den Kontrollvariablen Kreativität und Arbeitsgedächtnisspanne ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Vorgehensgruppen finden. Da die Personen in diesen Merkmalen gleiche Ergebnisse erzielten, werden die beiden Variablen in der weiteren Berechnung nicht mehr berücksichtigt.

Die Tabelle 3 zeigt zunächst für die unterschiedlichen Vorgehensinstruktionen die mittlere Lösungsgüte und den Standardfehler.

Ein Vergleich der drei Vorgehensstrategien hinsichtlich der objektiven Lösungsgüte ergibt keinen signifikanten Unterschied ($F_{60;0.5} = 0.8$; $p = .46$) zwischen den Gruppen.

Personen, die instruiert wurden systematisch vorzugehen, haben signifikant länger an dem Entwurf eines Gartengrills gearbeitet als Personen mit der Instruktion zu opportunistischer Vorgehensweise. Diese bearbeiteten wiederum länger als die Kontrollgruppe ($F_{60;0.05} = 17.93$, $p = .00$; Bild 4).

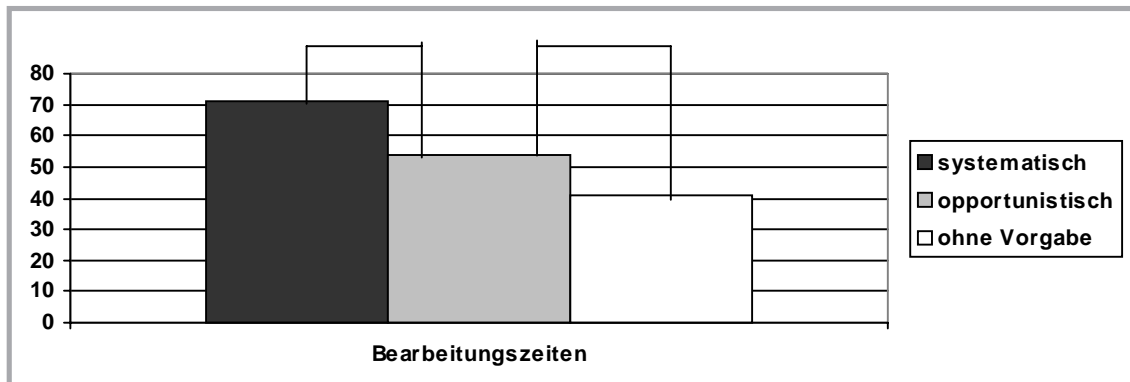
Die Analyse von Einzelmerkmalen des Vorgehens ergibt weitere Erkenntnisse: Gruppiert man zunächst über alle drei Instruktionsgruppen hinweg im Extremgruppenvergleich nach den zehn Teilnehmern mit der höchsten und den zehn mit der niedrigsten Lösungsgüte, so wird auch für die dritte Stichprobe eine frühere Erkenntnis bestätigt: Die Mehrheit, hier 70% der Teilnehmer mit der besten Lösungsgüte, aber nur 40% der mit der schlechtesten entwickelten zunächst Lösungsalternativen.

Bezüglich der Strategiegruppenzugehörigkeit ist auffällig, dass 70% der besten Personen zur Gruppe mit der systemati-

Bild 4:
Vergleich der Bearbeitungszeiten
zwischen den Strategien,
*** $p < .01$.

Figure 4:
Comparison of the working times
between the strategies,
*** $p < .01$.

Illustration 4:
Comparaison des délais de
traitement entre les
stratégies, *** $p < .01$



schen Strategie gehören; die 10 schlechtesten Personen hingegen verteilen sich gleichmäßig auf die drei Strategiegruppen (systematische Strategie 30%, opportunistische Strategie 40% und Kontrollgruppe ohne Vorgabe 30%).

Die Tabelle 4 stellt im oberen Teil Unterschiede von Einzelmerkmalen des Vorgehens in Abhängigkeit von der Strategievorgabe dar: Man erkennt, dass bei der Vorgabe systematischen Vorgehens alle Teilnehmer Notizen zu den Anforderungen machen im Vergleich zu 5% bei freigestellter Strategie ($p < .05$), 90% Alternativen entwickeln (versus 10%; $p < .01$), 20% der Personen mit Detaildarstellungen beginnen (versus 70%; nicht signifikant) und 100% zwischen der Arbeit am Gesamtsystem und Teilen wechseln (versus 80%; nicht signifikant). Zwischen der Vorschrift zum op-

portunistischen Vorgehen und dem Vorgehen ohne Vorgabe einer Strategie bestehen keine nennenswerten Unterschiede.

Offensichtlich sind die in den Studien I und II untersuchten Einzelmerkmale abhängig von umfassenderen Strategien und dabei unterscheiden sich die selbst gewählte Vorgehensweise und die opportunistische kaum, wohl aber beide von der systematischen Strategie.

Im unteren Teil von Tabelle 4 sind Häufigkeiten und Ausprägungen von Aussagen der Teilnehmer zu ihrem Vorgehen und Erleben dargestellt. Zunächst wird bestätigt, dass die Mehrheit der Teilnehmer der Gruppe mit der systematischen Strategie ihr Vorgehen auch selbst so bewertet, bei den beiden anderen Gruppen jedoch nur 10% beziehungsweise ein Drittel. Hervor-

zuheben sind folgende Unterschiede: Personen mit systematischer Vorgehensinstruktion sind im Vergleich zu Personen mit einer opportunistischen Vorgabe einerseits signifikant zufriedener mit ihrer erzielten Lösung der Aufgabe (U-Test: $Z_{60; 0.05} = 2.39, p = .02$), sie fühlten sich andererseits stärker behindert, vorläufige Ideen umzusetzen ($Z_{60; 0.05} = 3.55, p = .00$). Die Versuchsgruppe mit Instruktion zur systematischen Strategie fühlte sich signifikant stärker angeregt, Alternativen zu erzeugen als die Kontrollgruppe ($Z_{60; 0.05} = 2.15, p = .04$). Je stärker insgesamt die erlebte Anregung einer Vorschrift zum Erzeugen von Alternativen ist, als desto hinderlicher wird diese Vorschrift andererseits bei der Bearbeitung erlebt ($r = 0.44; p < .05$).

Weitere Unterschiede hinsichtlich der Bewertung des Vorgehens und der Bewältigung der Aufgabe in Abhängigkeit von der Strategieninstruktion konnten statistisch nicht gesichert werden.

Tabelle 4: Beobachtete Vorgehensmerkmale (oberer Tabellenteil) und vorgehensbezogene Aussagen (unterer Teil) in Abhängigkeit von Strategie-Instruktionen

Table 4: Observed process features (upper table section) and process-related statements (lower section) as a function of strategy instructions

Tableau 4: Caractéristiques du processus observées (partie supérieure du tableau) et constatations concernant le processus (partie inférieure du tableau) en fonction des instructions stratégiques

A. Beobachtete Merkmale des Vorgehens	Systematisch (n _{3,1} = 20)	Opportunistisch (n _{3,2} = 20)	keine Vorgabe (n _{3,3} = 20)
• Notizen zu den Anforderungen	100% der TN	10%	5%
• Beginn mit Gesamtdarstellung	20%	80%	70%
• Wechsel Gesamt-/Detaildarstellungen	100%	85%	80%
• Alternativenerzeugung	90%	30%	10%
B. Aussagen			
• Vorgehen selbst als systematisch bewertet	72%	37%	12%
• Instruiertes Vorgehen würde auch selbst gewählt	50%	84%	65%
• Vorgabe behindert vorläufige Ideen umzusetzen ($Z_{60; .05} = 3,6; p < .05$)	stärker	weniger	Keine Vorgabe
• Starke Anregung zum Verbalisieren durch Vorgabe	55%	42%	30%
• Zufriedenheit mit Lösung ($Z_{60; .05} = 2,4; p < .01$)	größer	geringer	
• Starke Beanspruchung ausgesagt	55%	47%	25%

4.4 Diskussion

Die Strategieinstruktionen wurden von den Teilnehmern übernommen. Damit kann experimentell gesichert werden, dass unterschiedliche Strategien auch im Entwerfen bei Naiven nicht zu signifikanten Lösungsgüteunterschieden führen. Auch die hypothetische Norm- beziehungsweise Optimalstrategie einer systematisch-zerlegenden Vorgehensweise erzeugt keine höhere Lösungsgüte als ein freigestelltes oder ein opportunistisches Vorgehen, wobei sich die beiden letztgenannten Vorgehensweisen in ihren Wirkungen kaum unterscheiden.

Einige der Einzelmerkmale, die in den Studien I und II bei höherer Lösungsgüte ausgeprägter waren, treten bei der systematischen Strategie häufiger beziehungsweise ausgeprägter auf als beim freigestellten

Vorgehen der Kontrollgruppe: Die Bearbeitungszeit ist signifikant länger, Notizen zur Aufgabenklärung – verstanden als Ausdruck einer hohen Bedeutungszumessung zu dieser Informationsgewinnung – erfolgen 20 mal häufiger, die Alternativen-erzeugung neun mal häufiger. Unerwartet ist, dass die systematische Strategie einerseits auch als behindernd für die Lösungssuche erlebt wird und andererseits mit höherer Zufriedenheit mit der Lösung als die opportunistische einher geht. Zu diesen uneinheitlichen Ergebnissen gehört schließlich, dass im Extremgruppenvergleich ein größerer Anteil (70%) der Teilnehmer mit den besten Lösungen aus der systematischen Strategiegruppe kommen, aber nur 30% der Teilnehmer mit der schlechtesten Lösungsgüte.

Eine noch weiter zu prüfende Interpretationsmöglichkeit dieser Befundlage könnte sein, dass einerseits einige der lösungsbegünstigenden Einzelmerkmale vorzugsweise in einem systematisch-zerlegenden Gesamtverfahren auftreten, andererseits aber dieses Vorgehen als eine reine, alleinige Gesamtstrategie nicht zweckmäßig ist: Die Personen würden sie selbst am seltensten wählen, die Mehrzahl der Personen nimmt sie deutlich als belastend und die Lösungssuche behindernd wahr. Das spräche für die in Fallstudien bei Konstrukteuren beschriebene Mischstrategie im Sinne eines opportunistischen Vorgehens mit einigen systematischen Episoden (Visser 1994). Diese Vorzüge derartigen Mischstrategien wurden für einen anderen Aufgabentyp experimentell belegt (Hacker 1989, a, b).

5 ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION

Im naiven Entwerfen unterscheiden sich die mittleren Lösungsgütwerte der meistgenannten Strategien, dass heißt der normativen systematischen und der opportunistischen Strategie, sowie des frei wählbaren Vorgehens nicht. Es gibt offenbar nicht „die Optimalstrategie“ des naiven Entwerfens. Das entspricht der Befundlage der Fallstudien bei professionellen Entwicklern.

Im Unterschied dazu gibt es Belege für eine Reihe von Einzelmerkmalen des Vorgehens, die stichprobenübergreifend mit Häufigkeiten auftreten, die von Zufallserwartungen abweichen. Ihr Auftreten in mehreren unabhängigen Stichproben ist ein deutlicher Hinweis auf ihr verallgemeinerbares

Vorliegen zumindest bei unausgebildeten Entwerfern.

Für die Mehrzahl der eingangs hypothetisch aus Fallstudien mit Konstrukteuren zusammengestellten Einzelmerkmale kann zunächst belegt werden, dass sie häufiger auftreten als zu erwarten: Das betrifft das Beginnen der Darstellungen mit dem Gesamtsystem, das Kombinieren von Gesamt- und Detaildarstellungen, das Beschränken auf das Entwerfen eines Lösungsprinzips ohne Alternativen und das multimodale, bildhafte und begriffliche Darstellen.

Wesentlicher ist, dass zwischen diesen häufigkeitsseitig hervorstechenden sowie einigen weiteren Einzelmerkmalen des Vorgehens und der Lösungsgüte der Entwürfe deutliche Beziehungen bestehen. Das sind überwiegend statistisch gesicherte, teilweise auch nur tendenzielle, aber bei verschiedenen Stichproben übereinstimmende Beziehungen. Dabei handelt es sich um die Vorgehensmerkmale der Bearbeitungsgesamtdauer, des Zeitanteils, der als mentale Vorbereitungszeit interpretierbar ist, das Darstellen des Gesamtsystems und einiger oder aller Systembestandteile und damit das Wechseln zwischen ihnen einschließlich der modifizierenden Weiterarbeit rückkehrend zu früheren Darstellungsteilen, das Darstellen von Lösungsalternativen sowie tendenziell auch der Zeitanteil der Aufgabenanalyse.

Wengleich also auch beim naiven Entwerfen keine Beziehungen zwischen komplexen reinen Strategien und der Lösungsgüte vorliegen, so gibt es auch hier Zusammenhänge zwischen Einzelmerkmalen des Vorgehens und der Lösungsgüte. Diese lösungsbegünstigenden Einzelmerkmale treten nicht gänzlich unabhängig von umfassenden Vorgehensstrategien auf. Es deutet sich an, dass die systematische Strategie (angelehnt an die VDI-Norm 2221) mehrere lösungsfördernde Einzelmerkmale häufiger als die opportunistische Strategie und das freigestellte Vorgehen enthält. Andererseits nehmen die Probanden bei der systematischen Vorgehensweise deutliche Nachteile wahr und sie würde im Falle der Möglichkeit auch seltener erneut gewählt als die anderen Vorgehensweisen. Das strenge Befolgen einer Strategie scheint dem bedingungsabhängig flexiblen Einsatz „gemischter Vorgehensweisen“ im Sinne eines opportunistischen Vorgehens mit systematischen Episoden leistungs- und beanspruchungsmäßig unterlegen. Das TEA- (task-episode-accu-

mulation) –Modell (Ullman, Dietrich & Stauffer 1988) beschreibt ein derartiges Mischvorgehen: Nach einer vorläufigen Dekomposition von Aufträgen (tasks) wird lokal, an Teilaufgaben (episodes) Alternativen entwerfend und prüfend entwickelt. Im Ergebnis davon werden die vorläufigen, zerlegten Ideen vom Gesamtprodukt akkumulativ weiter verbessert.

Diese Ergebnisse zum Vorgehen beim Entwerfen von Artefakten können einem Methodennihilismus entgegentreten und für das Gestalten der Ausbildung zum sowie der Unterstützungsmittel beim Entwerfen nützlich werden. Dazu müssten zunächst mehrere Einschränkungen überwunden werden, die für die hier dargestellte Untersuchungsreihe gelten: Die stellenweise tendenziellen Befunde sind durch effektstärkere zu ergänzen, der zu untersuchende Merkmalspool ist zu erweitern, die Erfassungs- und Kategorisierungsmethodik muss weiter entwickelt sowie die Übertragbarkeit der Befunde auf professionelles Entwerfen zumindest fallstudienartig gesichert werden.

LITERATUR

- Blessing, L. T. M.** *A Process-Based Approach to Computer-Supported Engineering Design*. Enschede: Thesis University of Twente 1994
- Clauß, G.** (Hrsg.). *Fachlexikon der Psychologie*. Thun: Deutsch-Verlag 1995
- Dylla, N.** Denkabläufe beim Konstruieren. In: *Konstruktionstechnik, Vol. 5*, München: Hanser 1991
- Ehrlenspiel, K.** *Integrierte Produktentwicklung*. München: Hanser 1995
- Eisentraut, R.; Günther, J.** Individual styles of problem solving and their relation to representations in the design process. In: *Design Studies, 18*, S. 369-383 1997
- Fricke, G.** *Konstruieren als flexibler Problemlöseprozeß – Empirische Untersuchung über erfolgreiche Strategien und methodischen Vorgehensweisen beim Konstruieren*. In: VDI-Forschungsberichte, Bd. 1: Konstruktionstechnik/Maschinenelemente. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993
- Gittler, B.** *3-D-Würfelttest. Verfahren zur Erfassung des räumlichen Vorstellungsvermögens*. Weinheim: Beltz 1990
- Görner, R.** Zur psychologischen Analyse von Konstrukteur- und Entwurfstätigkeiten. In: B.

Bergmann & P. Richter (Hrsg.). *Die Handlungsregulationstheorie*. S. 233-241. Göttingen: Hogrefe 1994

Günther, J.; Ehrlenspiel, K. How do designers from practise design? In: H. Birkhofer, P. Badke-Schaub & E. Frankenberger (Eds.). *Designers - the Key to Successful Product Development*. S. 85-97 London: Springer 1998

Hacker, W. How to feed the computer quickly? Pros and cons of hierarchical data organization. In: F. Klix, N. A. Streitz, Y. Waern and H. Wandke (Eds.), *Man-Computer Interaction Research*. S. 253-271. Amsterdam: North-Holland Publishers 1989a

Hacker, W. On the utility of procedural rules: Conditions of the use of rules in the production of operation sequences. In: *Ergonomics*, 32, S. 717-732 1989b

Hacker, W.; Wetzstein, A. Verbalisierende Reflexion und Lösungsgüte beim Entwurfsdenken. eingereicht bei Sprache & Kognition

Koch, R. Risikofaktoren. In: J. Margraf und H. Kunath (Hrsg.). *Methodische Ansätze in der Public Health-Forschung*. S. 71-91. Regensburg: Roderer 1995

Krause, W. *Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht*. Göttingen: Hogrefe 2000

Langner, T. Analyse von Einflussfaktoren beim rechnergestützten Konstruieren. In Schriftenreihe Konstruktionstechnik TU Berlin, Beitz W (eds.) 1991

Pahl, G.; Beitz, W. *Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung*. 4. Aufl., Berlin: Springer-Verlag 1997

Römer, A. *Unterstützung des Design Problem Solving: Einsatz und Nutzen einfacher externer Hilfsmittel in frühen Phasen des konstruktiven Entwurfsprozesses*. Technische Universität Dresden. Digitale Dissertation: <http://hsss.slub-dresden.de/hsss/servlet/hsss.urlmapping.MappingServlet?id=1023713239343-4873> 2002

Rückert, C.; Schroda, F.; Gaedeke, O. *Wirksamkeit und Erlernbarkeit der Konstruktionsmethodik*. In: *Konstruktion* 49. S. 26-31. Düsseldorf: Springer-VDI Verlag 1997

Stauffer, L. A.; Ullmann, D. G. A. Comparison of the Results of Empirical Studies into the Mechanical Design Process. In: *Design Studies*, Vol. 9, No. 2, S. 107-114 1988

Stauffer, L. A.; Ullmann, D. G. Fundamental Processes of Mechanical Designers Based on Empirical Data. In: *Journal of Engineering Design*, Vol. 23, No. 2, S. 113-125 1991

Tewes, U. *HAWIE-R-Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene-Revision*. Bern: Huber 1991

Ullmann, D. G.; Dietrich, J. G.; Stauffer, L. A. A model of the mechanical design process based on empirical data. In: *AI EDAM*, 2, S. 33-52 1988

Urban, K. K.; Jellen, H. G. *Test zum schöpferischen Denken - Zeichnerisch*. Frankfurt a. M.: Swets Test Services 1995

VDI 2221. *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1993

Visser, W. Organisation of design activities. In: *Interacting with Computers*, 6, S. 239-274 1994

Weber, E. Grundriß der biologischen Statistik. Jena: Fischer 1961

Weth, R. von der. Konstruieren: Heuristische Kompetenz, Erfahrung und individuelles Vorgehen. In: *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 38, 12, 3, S. 102-111 1994

Weth, R. von der. *Management der Komplexität. Ressourcenorientiertes Handeln in der Praxis*. Bern: Huber 2001

Anmerkung

Gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft; Förderkennzeichen: HA 2249 – 12/1. Die Untersuchungen I und II sind Teile der Diplomarbeiten von Christine Brückner und Arlette Kühne, denen wir für ihre engagierte Mitarbeit bei diesem Vorhaben zu Dank verpflichtet sind.

ANSCHRIFT DER VERFASSER

Prof. (em.) Dr. rer. nat. habil. Winfried Hacker
Dipl.-Psych. Annetrin Wetzstein
Dr. rer. nat. Anne Römer
Technische Universität Dresden
Institut für Psychologie I,
Arbeitsgruppe „Wissen-Denken-Handeln“
D-01062 Dresden
E-Mail: hacker@psychologie.tu-dresden.de

ERGONOMIE ONLINE

FIRMA	INTERNETADRESSE
Arbeits- und Umweltschutz	
Dirk Mehlhose Arbeits- und Umweltschutz	www.mehlhose.de
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und –medizin	www.baua.de
Arbeitsplatzgestaltung	
Sauer + Sauer Ergonomie GmbH & Co. KG	www.arbeitsplatzoptimierung.de
Arbeitsplatz- und Produktgestaltung	
ECN – Ergonomie Kompetenz Netzwerk	www.e-c-n.de

FIRMA	INTERNETADRESSE
Arbeitswissenschaft	
Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt	www.arbeitswissenschaft.de
Verlage	
ergonomia Verlag OHG	www.ergonomia.de
Gentner Verlag	www.gentnerverlag.de
Verlag Frank Nehring	www.officeabc.de
Zeitwirtschaft	
team3 Beratungsgesellschaft	www.team3-beratung.de