

Externe Unterstützung der Problemanalyse bei entwerfenden Tätigkeiten

Sven Leinert, Anne Römer und Pierre Sachse

Institut für Allgemeine Psychologie und Methoden der Psychologie, Technische Universität Dresden, Dresden

Zusammenfassung: Es werden am Beispiel des Skizzierens Unterstützungsmöglichkeiten des Analyseprozesses bei entwerfenden Tätigkeiten diskutiert und experimentell überprüft. Dabei wird insbesondere der Prozeß, also das Skizzieren, und das Produkt, die Skizze, in den Mittelpunkt der Betrachtungen gestellt. Bereits der Prozeß des Skizzierens fördert kurzfristig den Aufbau einer mentalen Repräsentation und damit die Problemanalyse. Die Speicherwirkung von Skizzen konnte in einem zweiten Telexperiment bestätigt werden.

Schlüsselwörter: Entwerfendes Problemlösen, Problemanalyse, externe Hilfsmittel

Summary: *External support of problem analysis in design problem solving.* By the example of sketching support possibilities of the analysis process in design problem solving are discussed and checked experimentally. In particular the process, sketching, and the product, the sketch, are thus placed into the focal point of interest. Already the process of sketching promotes at short notice the construction of a mental representation and thus the analysis of a problem. The memory supporting effect of sketches could be proved in a second experiment.

Key words: Design problem solving, problem analysis, external aids

Einleitung

Das Konstruieren wird in seinen wesentlichen Komponenten als anspruchsvolle und komplexe Denktätigkeit im Sinne eines schöpferisch-entwerfenden Problemlösens beschrieben. Im Mittelpunkt des Interesses stehen hierbei die frühen Phasen der Aufgabenklärung und der Konzipierung, da diese ergebnis- und kostenbestimmend sind (Ehrlenspiel, 1995). Untersucht wird der effiziente Einsatz von externen Unterstützungsformen (z.B. Skizzen und gegenständliche Modelle) als ein Potential bei der Produkterstellung, um eine Verringerung der Entwicklungskosten, eine Verkürzung der Entwicklungszeit und Qualitätsverbesserungen zu erreichen. Bereits abgeschlossene Studien konnten ferner zeigen, daß der Rück-

griff auf solche externen Unterstützungsformen insbesondere während der frühen Phasen des Konstruierens zu einer signifikant erfolgreicherer Problembearbeitung führt, die sich in einer höheren Lösungsgüte, einer Verringerung der Anzahl der benötigten Lösungsschritte und einer niedrigeren Einschätzung der erlebten Aufgabenschwierigkeit äußert. Die unterschiedlichen Unterstützungsformen werden dabei mit den Funktionen von Analyse-, Lösungsfindungs-, Bewertungs-, Speicher- sowie Kommunikationshilfen beschrieben (Sachse und Hacker, 1997; Sachse, Hacker, Leinert und Riemer, 1999).

Allerdings konnte bislang nicht der Anteil des Prozesses, also des Skizzierens und Modellierens, und des Produktes, der Skizze bzw. des Modells, bestimmt werden. Weiterführend soll deshalb eine differenzierte Betrachtung

tung der Unterstützungswirkung von Skizzen, Modellen und Prototypen erfolgen. Dabei wird davon ausgegangen, daß bereits der Prozeß des Skizzierens bzw. des Modellierens selbst unterstützend auf die Problemanalyse und den Aufbau der mentalen Repräsentationen vom Problem und seinen Bedingungen wirkt.

Problemlösen und Konstruieren

Ein Problem liegt vor, «wenn ein Subjekt an der Aufgaben-umwelt Eigenschaften wahrgenommen hat, sie in einem Problemraum intern repräsentiert und dabei erkennt, daß dieses innere Abbild eine oder mehrere unbefriedigende Lücken enthält. Der Problemlöser erlebt eine Barriere, die sich zwischen dem ihm bekannten Istzustand und dem angestrebten Ziel befindet» (Lüer und Spada, 1990, 256).

Das Entwickeln und Konstruieren kann in Anlehnung an klassische Problemlösedefinitionen zu ausschlaggebenden Teilen als Problemlöseprozeß aufgefaßt werden, da eine routinemäßige und erfahrungsgeleitete Bearbeitung oft nicht möglich ist. Sogenannte «design problems» sind meistens schwierige, schlecht definierte Probleme, bei deren Bewältigung die Aktivierung und Organisation einer großen Menge verschiedenen Wissens im Vordergrund steht (Dörner, 1976; Pahl, 1994; Kintsch und Ericsson, 1996; Sachse und Hacker, 1997; Hacker, 1998).

Gerade beim Problemlösen in nicht vertrauten Aufgabengebieten bzw. bei schwierigen und komplexen Anforderungen wird eine klare Trennung zwischen dem Verstehen des Problems und der späteren Produktion von Lösungen erwartet. Die Analyse des Problemzustandes, die Zerlegung des Problems in eine Sequenz von Teilproblemen sowie das Erfassen der Interaktionen zwischen ihnen sind leistungs- und ergebnisbestimmende Voraussetzungen für ein erfolgreiches Problemlösen beim Konstruieren. Erfolgt ein Übergehen oder ungenügendes Bearbeiten der Problemanalyse, ist das mit einem hohen Fehlerisiko und hoher Ergebnisunsicherheit verbunden (Hayes und Simon, 1974; Brown und Chandrasekaran, 1989; Ellis und Hunt, 1993; Ehrlenspiel, 1995; Kintsch und Ericsson, 1996; Hacker, 1998). Görner (1994) konnte signifikante Zusammenhänge zwischen der eingehenden Problemanalyse und einer hohen Lösungsgüte nachweisen.

Der Problemraum als subjektive Repräsentation der Aufgabenumwelt enthält das Wissen des Problemlösers über die Problemstellung, das Wissen über eine Menge von verfügbaren Handlungen (Operatoren) und das Abbild vom Problem selbst (Klix, 1971; Newell und Simon, 1972; Anderson, 1988; Kluwe, 1990).

«Soll eine kognitive Anforderung auf der Grundlage einer extern gegebenen Information bewältigt werden, muß

eine geeignete Repräsentation aufgebaut bzw. entsprechend modifiziert werden, die dann die Grundlage für die Anforderungsbewältigung bildet. Hiermit sind zwei Komponenten des Prozesses gekennzeichnet, der erforderlich ist, um eine kognitive Anforderung gezielt bewältigen zu können: der Prozeß der Erzeugung und Transformation einer mentalen Repräsentation ... und der Prozeß der Nutzung dieser mentalen Repräsentation für die Anforderungsbewältigung» (Sommerfeld, Krause und Schleißner, 1996, 139). Leistungsentscheidend ist, ob der Aufbau der gedanklichen Lösungsmöglichkeiten im Problemraum gelingt und ob diese Repräsentationen zutreffend und lösungsgünstig sind. Die Repräsentation der Aufgabenumwelt im Problemraum ist somit ein Schlüssel der erfolgreichen Lösung (Dörner, 1976; Brown und Chandrasekaran, 1989; Tergan, 1989; Ellis und Hunt, 1993; Dutke, 1994; Hacker, 1998).

Bei Untersuchungen zur Beschaffenheit und Wirkungsweise mentaler Repräsentationen in der Handlungsregulation konnten Leistungsverbesserungen und das Abnehmen der erlebten Schwierigkeit beim Bearbeiter durch die Entwicklung mentaler Repräsentationen festgestellt werden. Der Aufbau eines tätigkeitsregulierenden mentalen Modells verringerte den Zeitbedarf, die Fehlerquote und die erlebte Schwierigkeit (Hacker und Clauss, 1976; Matern, 1976; Hacker und Matern, 1979).

Je stärker die mentalen Ressourcen belastet werden, um so weniger erfolgreich wird das Problemlösen sein, da der Problemlöser der Belastung des «Arbeitsgedächtnisses» als die mentale Be- und Verarbeitungskapazität durch deklarative und prozedurale Vereinfachung entlastend entgegenwirkt. Es besteht allerdings die Gefahr, daß relevante Aspekte ausgeblendet oder übersehen werden können, denn das deklarative Vereinfachen ist Resultat eines unbeabsichtigten Informationsverlustes aus dem Arbeitsgedächtnis bei Überlastung und Interferenz der Prozesse des Verarbeitens und des Aktivierens sowie Behaltens. Als Folge dieser Vereinfachungen läßt sich ein weniger effizientes und weniger erfolgreiches Problemlösen sowie gleichzeitig das Auftreten «illegaler» Operationen bei der Problemlösung beobachten (Egan und Greeno, 1974; Dörner, 1974, 1989; Hussy, 1984; Anderson und Jeffries, 1985; Klauer, 1993, 1995).

Unterstützung des Problemlösens bei entwerfenden Tätigkeiten durch Skizzen und Modelle

Externe Unterstützungsformen, z. B. Handskizzen und gegenständliche Modelle, können zu einer differenzierteren Problemanalyse beitragen. In ihnen können Informatio-

nen extern abgelegt und damit die Prozesse zur Aktivierung dieser in ihrer Beanspruchung gemindert werden. Eine Überbelastung der mentalen Ressourcen und eine Interferenz der Verarbeitungsprozesse wird als Folge der Externalisierung von Informationen verhindert bzw. eingeschränkt. Die Skizzen und Modelle übernehmen die Funktion externer Speicher (Muthig und Schönplflug, 1981; Schönplflug, 1986; Sachse, Hacker, Leinert und Riemer, 1999).

Caroll, Thomas und Malhotra (1980) sehen den Unterstützungswert graphischer Repräsentationshilfen in einer leichteren Zugänglichkeit von Informationen. Damit unterstützen Skizzen und Modelle die Problemanalyse über eine einfache gedächtnisentlastende Wirkung hinaus durch die zusätzliche Hilfestellung beim Aufbau interner Problemrepräsentationen. Das Erstellen einer Skizze bzw. eines Modells trägt einerseits zur Vergegenständlichung der Lösungsvorstellungen bei, andererseits kann es zur Differenzierung, Kontrolle und Korrektur dieser Lösungsvorstellungen führen. Externe Repräsentationen sind somit wichtige Hilfsmittel für einen geordneten Denkverlauf (Mandl und Spada, 1988; Goel, 1995; Sachse und Hacker, 1997; Purcel und Gero, 1998; McGown, Green und Rodgers, 1998; Hacker, 1998).

Es kann ferner angenommen werden, daß neben dem Rückgriff auf eine Skizze oder ein Modell und der weiteren Bearbeitung des Problems an und mit der erstellten externen Unterstützungsform bereits der Prozeß des Skizzierens bzw. Modellierens unterstützend wirkt. Das Wechselspiel zwischen interner und externer Bearbeitung kann zu einer Entlastung der mentalen Be- und Verarbeitungskapazität und somit gleichzeitig zu einer Senkung der erlebten Beanspruchung der mentalen Ressourcen beim Problemlösen führen. Entscheidend ist, daß die Externalisierung nicht einfach einer Fixierung intern verfertigter Lösungen entspricht, sondern Lösungserzeugung ist (Klauer, 1993; Hacker, 1998, Radcliffe, 1998; Sachse et al., 1999).

Experimentelle Befunde zur Unterstützungswirkung des Skizzierens

Der Gegenstand dieser Studien war die Betrachtung des Einflusses des Skizzierens auf die Repräsentation der Ausgangszustände während der Analyse eines Problems. Insbesondere wurden folgende Fragen zu klären versucht (Leinert, 1997; Römer, 1998):

1. Fördert ein zur mentalen Analyse zusätzliches Skizzieren den Aufbau einer Problemrepräsentation, mit der im Vergleich zu einer ausschließlich mentalen Analyse mehr Sachverhalte und Relationen richtig erkannt und

angegeben werden können? Hierbei erfolgte das Operieren an und in der Repräsentation in Gestalt einer Befragung der Probanden zu Sachverhalten und Relationen der Ausgangsbedingungen von Problemen verschiedener Komplexität sofort nach deren Analyse (Experiment 1).

2. Fördert ein zur mentalen Analyse zusätzliches Skizzieren das Operieren an der aufgebauten Problemrepräsentation auch dann noch, wenn ein längerer Zeitraum zwischen der Phase des Aufbaus der Repräsentation und der Phase des Operierens an und in der Repräsentation liegt und die Skizze nicht als externer Speicher zur Verfügung steht (Experiment 2)?
3. Ferner wurde im Experiment 2 eine zusätzliche Versuchsbedingung einbezogen. Den Probanden wurde bei dieser Bedingung der Rückgriff auf die erstellten Skizzen ermöglicht. Damit sollte geklärt werden, ob die Operationen an der erworbenen Repräsentation von der Möglichkeit eines späteren Rückgriffes auf die erstellte Skizze im Sinne eines externen Speichers beeinflusst werden.

Methode

Versuchspersonen

Die Stichprobe setzte sich aus insgesamt 108 Studierenden verschiedener Fakultäten der TU Dresden zusammen. Das durchschnittliche Alter der 49 weiblichen und 11 männlichen Probanden des Experimentes 1 betrug 22.2 Jahre (SD = 2.0). An der zweiten Untersuchung nahmen 38 weibliche und 10 männliche Probanden teil, das durchschnittliche Alter dieser Stichprobe betrug 22.9 Jahre (SD = 3.8). Die Teilnahme an beiden Experimenten wurde mit 10 DM pro Stunde vergütet. Die Zuordnung zu den jeweiligen experimentellen Bedingungen erfolgte nach dem Zufallsprinzip.

Aufgabenstellung

Die Probanden erhielten in beiden Experimenten die Aufgabe, Problemstellungen derart zu analysieren, daß sie nach einer bestimmten Zeitspanne in der Lage waren, ohne Rückgriff auf die Versuchsmaterialien (Ausnahme: Skizzieren ohne Entzug) Fragen zu den Sachverhalten und Relationen zu beantworten. Den Probanden wurde dabei die schriftliche Beschreibung eines mechanischen Systems dargeboten, die sich an ein Demonstrationsbeispiel von Larkin und Simon (1987) anlehnt.

Beispiel einer Problemstellung (Problemstellung 3 in Experiment 1):

Das Seil x läuft über die feste Rolle A und unter der losen Rolle B.

Das rechte Ende des Seils ist an einem Träger befestigt, am linken Ende des Seils x hängt das Gewicht 1.

Das Gewicht 2 hängt mit einem Seil an der losen Rolle B.

Die feste Rolle A ist mit einem Seil am Träger befestigt.

Die Rolle A befindet sich links, die Rolle B rechts.

Bei der Analyse dieses Systems mußten die Versuchsteilnehmer einerseits den Aufbau (Sachverhalte) sowie die Beziehungen zwischen den Elementen und die Verhältnisse im Gesamtsystem (Relationen) erkennen. Im Anschluß an die Analyse beantworteten die Probanden für alle Problemstellungen identische Fragen. Die eine Fragenklasse betraf nur die Sachverhalte, ohne ihre Beziehungen untereinander zu berücksichtigen, während die andere verstärkt auf die Relationen zwischen den Sachverhalten einging.

Beispielfragen:

• zu den Sachverhalten:

Wieviele feste Rollen kommen zum Einsatz?

Wieviele Seile sind zur Konstruktion des Systems notwendig?

• zu den Relationen zwischen den Sachverhalten:

Befindet sich das System im Gleichgewicht, wenn alle Gewichte eine Masse von einem Kilogramm haben?

Welche Gewichte fallen zu Boden, wenn das rechte am Träger befestigte Seil durchtrennt wird?

Im Experiment 1 wurde neben der Bedingung der Analyse zusätzlich die Komplexität variiert. Die Untersu-

chung des Einflusses der Komplexität auf die Analyse und Repräsentation der Problemstellungen setzte deren Bestimmung voraus. Allgemein kann die Ermittlung der Komplexität nach der Anzahl der Elemente und ihrer Vernetztheit vorgenommen werden (Dörner, 1976). Zur Erstellung der Komplexitätsrangreihe der vier zu bearbeitenden Problemstellungen des ersten Experimentes und der sich daraus ergebenden Anforderungsunterschiede wurden daher die Elementanzahl und die Anzahl der zur Analyse sowie zur Beantwortung der Fragen notwendigen algorithmischen Schritte herangezogen (nach Larkin und Simon, 1987). Die Aufgabenstellung des zweiten Experimentes wurde ebenfalls nach diesen Kriterien hinsichtlich ihrer Komplexität untersucht.

Untersuchungsdesign und abhängige Variablen

Beide Experimente wurden in Einzelsitzungen durchgeführt. Die Darbietung der Aufgabenstellungen erfolgte ebenso wie die Beantwortung der Fragen zu den Sachverhalten und Bedingungen in schriftlicher Form.

Die Analyse während des Experimentes 1 fand unter den gruppenbildenden Versuchsbedingungen (1) Darbietung der Systembeschreibung sowie Analyse gering und hoch komplexer Problemstellungen mit ausdrücklicher Aufforderung zum Skizzieren der im System beschriebenen Sachverhalte und Relationen sowie (2) Darbietung der Systembeschreibung sowie ausschließlich mentale Analyse gering und hoch komplexer Problemstellungen statt. Im Anschluß an die Analyse des Systems beantworteten die Probanden 23 Fragen zu den beschriebenen Sachverhalten und Relationen, dazu wurden den Untersuchungsteilnehmern die Versuchsmaterialien entzogen. Die Probanden konnten sowohl die Zeit der Analyse als auch die der Beantwortung der Fragen frei bestimmen.

Da die Probanden des Experimentes 1 alle vier Problemstellungen bearbeiteten, muß bezüglich des Faktors *Komplexität* von einer Wiederholungsmessung ausgegangen werden. Die Möglichkeit des Auftretens von Sequenzeffekten wurde durch die Randomisierung der Abfolge der Problemstellungen für jede Versuchsperson ausgeglichen (vgl. Bortz, 1989).

Tabelle 1: Analyse der Komplexität der Problemstellungen

	Experiment 1 Problemstellungen				Experiment 2
	1	2	3	4	
Elementanzahl	6	8	11	13	16
Schritte zur Bestimmung von Sachverhalten	9	17	24	32	40
Schritte zur Bestimmung der Relationen	28	57	76	99	212

Tabelle 2: Untersuchungsdesign Experiment 1, 2x2-Design

Bedingungen der Analyse		Komplexität	
		niedrige Komplexität Problemstellungen: 1 und 2	hohe Komplexität Problemstellungen: 3 und 4
	Aufforderung zum Skizzieren der Sachverhalte und ihrer Relationen bei der Analyse		n = 30
	Aufforderung zur ausschließlich mentalen Analyse, Unterbindung des Skizzierens		n = 30

Im *Experiment 2* wurde den Probanden nur eine, im Vergleich zu *Experiment 1* komplexere Problemstellung vorgelegt. Die Analyse erfolgte unter drei gruppenbildenden Versuchsbedingungen (1) Darbietung der Systembeschreibung und Aufforderung zum Skizzieren der im System beschriebenen Sachverhalte und Relationen (Entzug der Beschreibung und der Skizze nach beendeter Analyse), (2) Darbietung der Systembeschreibung und Aufforderung zum Skizzieren der im System beschriebenen Sachverhalte und Relationen (Entzug der Beschreibung nach beendeter Analyse, kein Entzug der Skizze) und (3) Darbietung der Systembeschreibung sowie ausschließlich mentale Analyse (Entzug der Beschreibung nach beendeter Analyse).

Die Befragung erfolgte im Gegensatz zum *Experiment 1* verzögert. Die zeitliche Unterbrechung zwischen der Analyse des Problems und der Beantwortung der das Problem betreffenden Fragen betrug 20 Minuten, in denen ein Test zur Erfassung der Fähigkeit zur räumlichen Vorstellung durchgeführt wurde (Dreidimensionaler Würfeltest; Gittler, 1990). Die Zeit für die Analyse des Problems als auch die für die Beantwortung der Fragen konnten die Probanden wie bereits im *Experiment 1* frei bestimmen.

Als abhängige Variablen wurden in beiden Experimenten die Analysezeit, die Prozentanzahl richtig angegebener Relationen sowie richtig angegebener Sachverhalte und die subjektive Schwierigkeit der Aufgabenstellung erhoben. Die Operationalisierung der abhängigen Variablen ist in der Tabelle 4 dargestellt.

Ergebnisse

Experiment 1

Die 2-faktorielle Varianzanalyse ergab für die Kriterien *Prozentanzahl richtig angegebener Relationen* ($F = 70,91$

$> F_{3;53;0,01} = 4,20$) sowie Prozentanzahl richtig angegebener Sachverhalte ($F = 10,99 > F_{3;53;0,01} = 4,20$) hinsichtlich des Meßwiederholungsfaktors Komplexität signifikante Haupteffekte. Es konnten ebenfalls signifikante Haupteffekte des Faktors Bedingungen der Analyse auf die abhängigen Variablen *Prozentanzahl richtig angegebener Relationen* ($F = 11,83 > F_{1;55;0,01} = 7,12$) und *Prozentanzahl richtig angegebener Sachverhalte* ($F = 5,40 > F_{1;55;0,05} = 4,02$) nachgewiesen werden.

Zwischen beiden Faktoren existierte lediglich bei der Variable *Prozentanzahl richtig angegebener Relationen* ($F = 3,63 > F_{3;53;0,05} = 2,79$) eine signifikante Interaktion, alle übrigen Interaktionen waren nicht signifikant.

Erwartungsgemäß wurden bei Problemstellungen mit einer niedrigen Komplexität mehr Sachverhalte und Relationen richtig erkannt als bei Problemstellungen mit einer höheren Komplexität. Dabei erreichten Probanden, die ausdrücklich zum Skizzieren der gegebenen Sachverhalte und Relationen aufgefordert wurden, höhere Prozentanzahlen richtig erkannter Sachverhalte und Relationen.

Es bestanden weiterhin signifikante Haupteffekte der Faktoren *Komplexität* ($F = 37,69 > F_{3;54;0,01} = 4,29$) und *Bedingungen der Analyse* ($F = 11,41 > F_{1;56;0,01} = 7,12$) bei der Variable *Subjektive Schwierigkeit*. Die Interaktion zwischen beiden Faktoren war nicht signifikant. Das Skizzieren der Sachverhalte und Relationen ging mit einer niedrigeren erlebten Schwierigkeit einher.

Hinsichtlich der Analysezeit konnte nur ein Haupteffekt des Faktors *Komplexität* ($F = 29,93 > F_{3;53;0,01} = 4,20$) verzeichnet werden, der Effekt der Bedingungen der Analyse war nicht signifikant ($F = 1,31 < F_{1;55;0,05} = 4,02$), ebenso die Interaktion zwischen beiden Faktoren. Das Skizzieren verlängert folglich trotz eines Zeitmehraufwandes die Analysezeit nicht.

Tabelle 3: Untersuchungsdesign, Experiment 2, einfaktorieller Mehrstichprobenplan

Bedingungen der Analyse		
Aufforderung zum Skizzieren der Sachverhalte und ihrer Relationen bei der Analyse (mit Entzug der Skizze)	Aufforderung zum Skizzieren der Sachverhalte und ihrer Relationen bei der Analyse (ohne Entzug der Skizze)	Aufforderung zur ausschließlich mentalen Analyse, Unterbindung des Skizzierens
n = 16	n = 16	n = 16

Tabelle 4: Operationalisierung der abhängigen Variablen

Abhängige Variable	Operationalisierung
- Prozentanzahl richtig angegebener Sachverhalte	- Anzahl richtig angegebener Sachverhalte/Gesamtheit der Sachverhalte
- Prozentanzahl richtig angegebener Relationen	- Anzahl richtig angegebener Relationen/Gesamtheit der Relationen
- Analysezeit	- Zeit von der Aushändigung der Problemstellung bis zum frei gewählten Abgabezeitpunkt durch die Probanden
- subjektive Schwierigkeit	- Einschätzung durch die Probanden mittels stufenloser Ratingskala (7 cm)

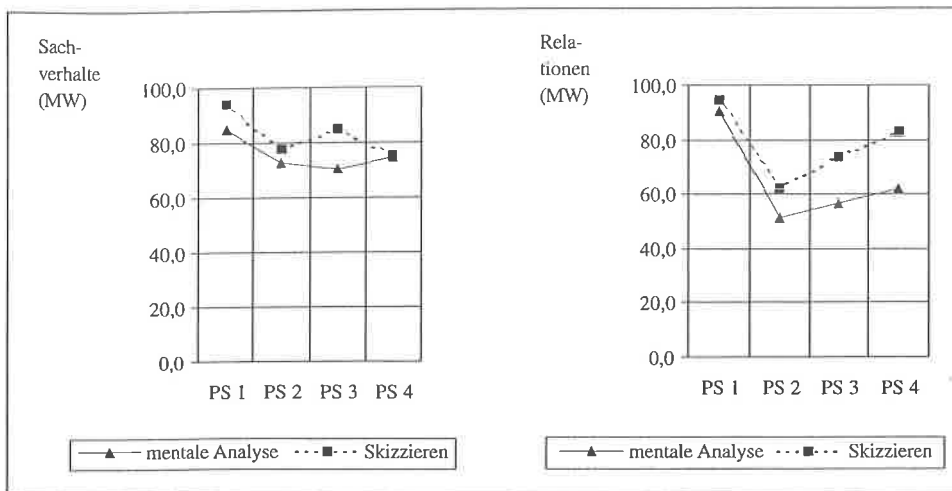


Abbildung 1: Prozentanzahlen richtig angegebener Sachverhalte und Relationen bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen (PS = Problemstellung).

Tabelle 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der dargestellten Variablen im Experiment 1

		Problemstellungen			
		1	2	3	4
		0	0	0	0
		(s)	(s)	(s)	(s)
Prozentanzahl richtig angegebener Sachverhalte (in %)	A	93,9 (10,95)	77,9 (14,80)	84,4 (19,03)	75,0 (20,90)
	B	84,4 (15,87)	72,5 (17,90)	70,3 (25,41)	74,7 (19,46)
Prozentanzahl richtig angegebener Relationen (in %)	A	94,1 (11,89)	61,8 (19,21)	73,5 (19,21)	82,5 (17,75)
	B	90,1 (11,78)	51,7 (18,43)	56,6 (21,11)	62,0 (21,37)
Analysezeit (in Minuten)	A	1,9 (1,28)	3,4 (1,83)	4,0 (1,78)	3,8 (1,76)
	B	1,9 (2,06)	2,7 (1,47)	3,6 (1,70)	3,5 (1,72)
erlebte Schwierigkeit 0... überhaupt nicht schwierig 7... vollkommen schwierig	A	1,2 (1,13)	2,5 (1,52)	3,1 (1,62)	3,3 (1,52)
	B	2,2 (1,81)	3,2 (1,67)	4,7 (1,60)	4,3 (1,86)

A... Aufforderung zum Skizzieren der gegebenen Sachverhalte und Relationen
 B... Bedingung der ausschließlich mentalen Bearbeitung

Experiment 2

Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) ergab für die Kriterien *Prozentanzahl richtig angegebener Relationen* ($F = 5,67 > F_{2;45;0,01} = 5,11$) sowie *richtig angegebener Sachverhalte* ($F = 7,78 > F_{2;45;0,01} = 5,11$) signifikante Effekte des Gruppenfaktors *Bedingungen der Analyse*.

Dabei zeigten die mittels Duncan-Prozedur erfolgten Einzelvergleiche, daß die Versuchsgruppe, die bei der Beantwortung der Fragen auf die Skizze als externer Speicher zurückgreifen konnte, signifikant mehr Sachverhalte und Relationen richtig erkannte als die beiden anderen

Versuchsgruppen. Die Gruppe von Probanden, der im Anschluß an die Analyse die Skizze entzogen wurde, unterschied sich in beiden Variablen nicht von der Gruppe von Untersuchungsteilnehmern, welche die Problemstellung ausschließlich mental und ohne jede externe Unterstützung analysierten.

Ein signifikanter Effekt des Faktors *Bedingungen der Analyse* konnten dagegen für die Variablen *Subjektive Schwierigkeit* ($F = 0,35 < F_{2;45;0,05} = 3,21$) nicht nachgewiesen werden.

Bei der *Analysezeit* ($F = 2,95 < F_{2;45;0,01} = 3,21$) bestand

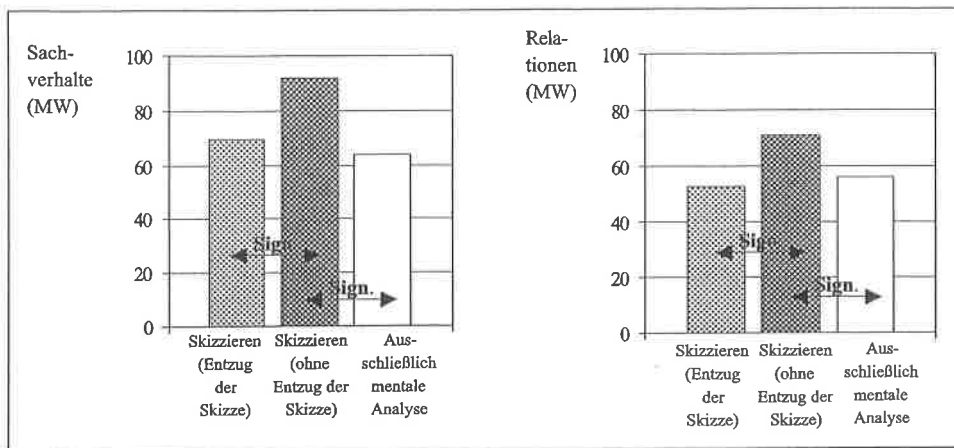


Abbildung 2: Prozentanzahlen richtig angegebener Sachverhalte und Relationen bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen.

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der dargestellten Variablen in Experiment 2

	Bedingungen der Analyse		
	A	B	C
	0	0	0
	(s)	(s)	(s)
Prozentanzahl richtig angegebener Sachverhalte (in %)	69,7 (21,94)	91,9 (14,1)	63,7 (25,90)
Prozentanzahl richtig angegebener Relationen (in %)	52,6 (14,37)	71,1 (19,60)	55,9 (14,99)
Analysezeit (in Minuten)	16,1 (5,98)	12,1 (5,30)	11,19 (6,41)
Erlebte Schwierigkeit	2,1	2,1	1,8
0... vollkommen schwierig	(1,39)	(1,26)	(1,16)
7... überhaupt nicht schwierig			

- A... Aufforderung zum Skizzieren der Sachverhalte und ihrer Relationen bei der Analyse (mit Entzug der Skizze)
 B... Aufforderung zum Skizzieren der Sachverhalte und ihrer Relationen bei der Analyse (ohne Entzug der Skizze)
 C... Aufforderung zur ausschließlich mentalen Analyse, Unterbindung des Skizzierens

ein signifikanter Effekt des Gruppenfaktors *Bedingungen der Analyse*.

Zusammenfassende Diskussion

Die Ergebnisse der vorgestellten Studien berechtigen den Schluß, daß die Komplexität der Probleme die Analyse eines Problems und seine Repräsentation entscheidend bestimmt. Dies entspricht dem gegenwärtigen psychologischen Forschungsstand. Je höher die Belastung mentaler Ressourcen bei der Analyse des gegebenen Problems ist, um so höher ist die Wahrscheinlichkeit einer ungeeigneten bzw. fehlerhaften Repräsentation sowie falscher Ope-

rationen an ihnen (Dörner, 1976, 1989; Anderson und Jeffries, 1985; Klauer, 1993).

Daher ist das Unterstützen der Bearbeiter gerade in diesen Phasen ein Schlüsselproblem. Die Unterstützungsformen sollten integrative Bestandteile des Wissenseinsatzes und des Problemlösens sein und die beiden Hauptkomponenten mentaler Aufgaben- und Problembearbeitung unterstützen: das Erhalten der Fülle der aktivierten Wissenssachverhalte und der aktuell aufgenommenen Informationen (Speicherhilfe) und das Bearbeiten dieser Daten einschließlich ihres fortwährenden Prüfens bei Bearbeitungszwischenergebnissen (Denkhilfe). In vorangegangenen Studien konnten Effektivitätsverbesserungen durch Skizzieren und Modellieren nachgewiesen werden. Es fanden sich Belege, daß nicht allein eine Gedächtnis-, sondern auch eine Denkhilfe vorliegt. Allerdings konnte der Anteil des Prozesses, also des Skizzierens oder Modellierens, und des Produktes, also der Skizze bzw. des Modells, nicht endgültig bestimmt werden (Sachse et al., 1999).

Die Ergebnisse des Experimentes 1 legen nahe, daß bereits der Prozeß des Skizzierens selbst den Aufbau einer mentalen Repräsentation und damit die Problemanalyse fördert. Die Probanden wurden hierbei sofort nach der Analyse zu den dargestellten Sachverhalten und Relationen befragt. Untersuchungsteilnehmer, erkannten weniger Sachverhalte und Relationen, berichteten zudem über eine höhere erlebte Schwierigkeit. Allerdings konnten diese Effekte im Experiment 2 bei einer zeitversetzten Befragung nicht bestätigt werden. Probanden, die die Problemstellungen ungestützt analysierten, unterschieden sich nicht von denen, die zusätzlich zur mentalen Analyse skizzierten. Lediglich die Versuchspersonen, denen der Rückgriff auf die erstellte Skizze während der Beantwortung ermöglicht wurde, unterschieden sich signifikant von den anderen Versuchsgruppen. Die bisherigen Annahmen

der externen Speicherwirkung von Skizzen können aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit bestätigt werden (Schulz und Steinmüller, 1978; Muthig und Schönplflug, 1981; Schönplflug, 1986; Dörner, 1994; Görner, 1994; Sachse et al., 1999).

Zwischen der Analyse der Problemstellung und der Bearbeitung der das Problem betreffenden Fragen lag eine Zeitspanne von 20 Minuten, in der ein Test zur Erfassung der Fähigkeit zur räumlichen Vorstellung (Dreidimensionaler Würfeltest; Gittler, 1990) durchgeführt wurde, so daß sich sowohl eine zeitliche als auch inhaltliche Unterbrechung ergab. Eine Ursache für die fehlende Unterstützungswirkung des Skizzierens kann damit aus der durch die Interferenz des Testes verringerte Erinnerungsleistung an die mentale Repräsentation der analysierten Problemstellung herrühren.

Das Skizzieren würde damit eher zu einer Unterstützung der Handlungsregulation beitragen. Die vollzogene Unterbrechung beinhaltet eine Störung der mentalen Bearbeitung des Problems. Dagegen ist effektives, geistiges Handeln auf unzerschnittene und unverzögert arbeitende Rückkopplungskreise angewiesen. Während der Ideenentwicklung stören Unterbrechungen und verzögerte Rückmeldungen den Bearbeitungsprozeß und unterbinden im schlimmsten Falle seinen Fortgang (Sachse et al., 1999). Die im Experiment 1 festgestellten Effekte des Skizzierens auf die Kriterien einer erfolgreichen Problemanalyse werden somit durch eine Unterbrechung des Prozesses eingeschränkt. Wenn eine längerfristige Speicherung einer mentalen Repräsentation notwendig wird, sollte die Skizze unbedingt als externer Speicher zur Verfügung stehen, da sie allein in ihrer Funktion als Analysehilfe ihre unterstützende Wirkung nicht entfalten kann.

Literatur

- Anderson, J.R. (1988). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Anderson, J.R.; Jeffries, R. (1985). Novice LIPS errors. Undetected losses of information from working memory. *Human-Computer Interaction*, 22, 403–423.
- Bortz, J. (1989). *Statistik*. Berlin u.a.: Springer.
- Brown, D. C.; Chandrasekaran, B. (1989). *Design Problem Solving*. London: Pitman.
- Carroll, J.M., Thomas, J.C.; Malhotra, A. (1980). Presentation and representation in design problem-solving. *British Journal of Psychology*, 71, 143–153.
- Dörner, D. (1974). *Die kognitive Organisation beim Problemlösen*. Bern: Huber.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Mißlingens*. Reinbeck: Rowohlt.
- Dörner, D. (1994). *Gedächtnis und Konstruieren*. In: Pahl, G. (Hrsg.): *Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren: Ergebnisse des Ladenburger Diskurses vom Mai 1992 bis Oktober 1993*, 150–160. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens*. Verlag für Angewandte Psychologie: Göttingen.
- Egan, D.E.; Greeno, J.G. (1974). Theory of rule induction: Knowledge acquired in concept learning, serial pattern learning and problem solving. In: Gregg, L.W. (Ed.): *Knowledge and Cognition* (pp. 43–103). New York: Wiley.
- Ehrlenspiel, K. (1995). *Integrierte Produktentwicklung. Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion*. München: Hanser.
- Ellis, H. C.; Hunt, R. R. (1993). *Fundamentals of Cognitive Psychology*. Madison: Brown und Beuchmark.
- Gittler, G. (1990). *Dreidimensionaler Würfeltest (3 DW)*. Weinheim: Beltz.
- Goel, V. (1995). *Sketches of thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Görner, R. (1994). *Zur psychologischen Analyse von Konstrukteur- und Entwurfstätigkeiten*. In: Bergmann B.; Richter, P. (Hrsg.): *Die Handlungsregulationstheorie. Von der Praxis einer Theorie* (S. 233–241).
- Hacker, W. (1998). *Allgemeine Arbeitspsychologie*. Bern: Huber.
- Hacker, W.; Clauss, G. (1976). *Kognitive Operationen, inneres Modell und Leistung bei einer Montagetätigkeit*. In: Hacker, W. (Hrsg.): *Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Hacker, W.; Matern, B. (1979). *Beschaffenheit und Wirkungsweise mentaler Repräsentationen in der Handlungsregulation*. *Zeitschrift für Psychologie*, 187, 141–156.
- Hayes, J.R.; Simon, H. A. (1974). *Understanding written problem instructions*. In: Gregg, L.W. (Ed.): *Knowledge and Cognition*. Potomac: Erlbaum.
- Hussy, W. (1984). *Denkpsychologie. Bd.1*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Kintsch, W.; Ericsson, A. (1996). *Die kognitive Funktion des Gedächtnisses*. In: Albert, D.; Stapf, K.H. (Hrsg.): *Kognition, Enzyklopädie der Psychologie, Bd. C/II/4*, 541–601. Göttingen: Hogrefe.
- Klauer, K. C. (1993). *Belastung und Entlastung beim Problemlösen. Eine Theorie deklarativen Vereinfachens*. Göttingen: Hogrefe.
- Klauer, K. C. (1995). *Grundlagen des Problemlösens*. In: Strauß, B.; Kleinmann, M. (Hrsg.): *Computersimulierte Szenarien der Personalarbeit*. Verlag für Angewandte Psychologie: Göttingen.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Kluwe, R. H. (1990). *Problemlösen, Entscheiden und Denkfehler*. In: Hoyos, C. G.; Zimolong, B. (Hrsg.): *Ingenieurpsychologie, Enzyklopädie der Psychologie, Bd. D/III/2*, 121–147. Göttingen: Hogrefe.
- Kluwe, R. H.; Haider, H. (1990). *Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. Sprache und Kognition*, 9, 4, 173–192.

- Larkin, J.H.; Simon, H.A. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 11, 65–99.
- Leinert, S. (1997). Unterstützung des Aufbaus von Problemrepräsentationen. Unveröffentlichte Diplomarbeit der TU Dresden.
- Lüer, G.; Spada, H. (1992). Denken und Problemlösen. In: Spada, H. (Hrsg.): *Allgemeine Psychologie*, 189–280. Bern u.a.: Huber.
- Mandl, H.; Spada, H. (1988). *Wissenspsychologie*. München: PVU.
- Matern, B. (1976). Mentale Repräsentationen in funktionellen Beziehungen: Beschaffenheit, Entstehung und Funktion. Dissertation, TU Dresden.
- McGown, A.; Green, G.; Rodgers, P.A. (1998). Visible ideas: information patterns of conceptual sketch activity. *Design Studies*, Vol. 19, N. 4, 431–453.
- Muthig, K.P.; Schönplflug, W. (1981). Externe Speicher und rekonstruktives Verhalten. In: Michaelis, W. (Hrsg.): *Bericht über den Kongreß der DGfP 1980 in Zürich*, Bd.1, 225–229. Göttingen: Hogrefe.
- Newell, A.; Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Pahl, G. (1994). Merkmale guter Problemlöser beim Konstruieren. In: Pahl, G. (Hrsg.): *Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren: Ergebnisse des Ladenburger Diskurses*, Mai 1992 bis Oktober 1993, 58–67. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Purcell, A.T.; Gero, J.S. (1998). Drawing and the design process. *Design Studies*, Vol. 19, N. 4, 389–430.
- Radcliffe, D.F. (1998). Event scales and social dimensions in design practice. In: Birkhofer, H.; Badke-Schaub, P.; Frankenberger, E. (Eds.): *Designers – The Key to Successful Product Development*. London: Springer.
- Römer, A. (1998). Externe Unterstützung der Problemanalyse beim Konstruieren. Unveröffentlichte Diplomarbeit der TU Dresden.
- Sachse, P.; Hacker (1997). Unterstützung des Denkens und Handelns beim Konstruieren durch Prototyping. *Konstruktion*, 4, 12–18.
- Sachse, P.; Hacker, W.; Leinert, S.; Riemer, S. (1999). Prototyping als Unterstützungsmöglichkeit des Denkens und Handelns beim Konstruieren. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie* 43, 2, 71–82.
- Schönplflug, W. (1986). The trade-off between internal and external storage. *Journal of Memory and Language*, 25, 657–675.
- Schulz, H.-J.; Steinmüller, H. (1978). Wirkung interner Repräsentationen bei Anwendung verschiedener Formen von Wissensspeichern in der Konstrukteurtätigkeit. Bericht aus dem Wissenschaftsbereich Psychologie der TU Dresden (als Manuskript gedruckt).
- Sommerfeld, E.; Krause, W.; Schlußner, C. (1995). Zur Messung des kognitiven Aufwands im Konstruktionsprozeß. In: Hacker, W.; Sachse, P. (Hrsg.): *Bild und Begriff III. Zur Rolle von Anschauung und Abstraktion im konstruktiven Entwurfsprozeß*. Bericht über das Werkstattgespräch, 131–167. TU Dresden.
- Tergan, S.O. (1989). Psychologische Grundlagen der Erfassung individueller Wissensrepräsentationen. Teil I: Grundlagen der Wissensmodulierung. *Sprache und Kognition*, 8 (4), 103–116.

Dr. rer. nat. Pierre Sachse

Technische Universität Dresden
 Institut für Allgemeine Psychologie und Methoden
 der Psychologie
 Mommsenstraße 13
 D-01062 Dresden
 E-mail: sachse@psy1.psych.tu-dresden.de