

Kurzbeitrag

„Externes Denken“ beim Problemlösen – unterstützt das Skizzieren auch die Problemanalyse?

Pierre Sachse, Winfried Hacker und Sven Leinert

Zusammenfassung. Bei technischen Entwurfstätigkeiten ist die Aufgabenanalyse leistungsbestimmend. Auch Experten nutzen dabei u. a. Freihandskizzen. Die experimentelle Studie ($N=60$ Studierende einer Technischen Universität) zeigt an Mechanikproblemen, dass Skizzieren während der Aufgabenanalyse das Identifizieren von Relationen, nicht von Komponenten der Systeme, ohne Verlängerung der Bearbeitungszeit verbessert. Die Ergebnisse können nicht allein durch Gedächtnisunterstützungen erklärt werden. Das Skizzieren unterstützt Denkprozesse. Es wird für die Wirksamkeit externer psychomotorischer Komponenten von Denkprozessen argumentiert. Praktische Konsequenzen werden angeführt.

Schlüsselwörter: technische Entwurfstätigkeiten, kreative geistige Arbeit, Skizzieren als externes Denken

“External thought” – does sketching assist problem analysis?

Abstract. Task analysis is crucial in engineering design. In this phase even experts often draw sketches by hand. The experimental study ($N=60$ students) revealed, on the basis of problems of mechanics: drawing sketches during task analysis significantly improves the identification of relationships within a system – but not of its elements – without increasing the time taken. The results can not be explained solely by the support of memory processes. Drawing sketches supports the thought processes. It is argued that there are effective external psycho-motor components of thinking. Practical consequences are considered.

Key words: design problem solving, sketching as external thought, engineering design

Für das Lösen von technischen Problemen im Arbeitsprozess hat bekanntlich der Aufbau zutreffender Problemrepräsentationen entscheidenden Einfluss. Wenn bereits die Repräsentation des Problems unzutreffend oder lückenhaft ist, kann keine korrekte Lösung erwartet werden.

Beobachtungen beim Problemlösen im Alltag legen nahe, dass externe Prozeduren zu Hilfe genommen werden, um zunächst das zu lösende Problem zutreffend darzustellen und sodann an diesen externen Darstellungen Lösungsschritte auszuführen. Dabei wird die externe Problemdarstellung in Richtung auf eine Lösung verändert.

Beobachtbare externe Operationen beim Problemlösen seien als externe Anteile des Denkens oder – stark verkürzt – als *externes Denken* bezeichnet. Solche externen Operationen führen zu externen Problemrepräsentationen

in der Form von Skizzen, Notizen oder rasch und einfach herstellbaren materiellen Modellen aus Gegenständen und Materialien, die weitestgehend jederzeit zur Hand sind (beispielsweise Bleistift, Papier, Karton, Büroklammern, Knetmasse oder Ähnliches). Auch ohne das Entstehen einer extern fixierten Problemrepräsentation wird über externe Prozesse beim Problemlösen berichtet, und zwar insbesondere als Sprechen oder Gestikulieren (Sachse, Leinert & Hacker, 2001a, 2001b).

Theoretisch wurde die Funktion externer Prozesse beim Problemlösen in der Denktheorie Rubinstains (1961, 1984) mit der Konzeption vom Denken im Handeln und durch das Handeln dargestellt. Das Zusammenwirken und der Wechsel interner, mentaler und externer, psychomotorischer Prozesse beim Bewältigen intellektueller Anforderungen beschreibt die Theorie geistigen Handelns mit dem Konzept der Interiorisation und Exteriorisation von Galperin (1966, 1967 a, b). In beiden Konzeptionen umfassen komplexe geistige Tätigkeiten bzw. Handlungen – im Unterschied zu einzelnen psychischen Prozessen – auch externe Operationen.

Dieser Beitrag wurde unter der geschäftsführenden Herausgeberschaft von Uwe Kleinbeck für die Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie begutachtet und zum Abdruck akzeptiert.

Derartige externe Bearbeitungsschritte wurden beim Konstruieren (Goel, 1995; Henderson, 1999; Purcell & Gero, 1998; Römer, Leinert & Sachse, 2000; Sachse 2002) und beim Planen von Arbeitsabläufen (Pascha, Schöppe & Hacker, 2001) beschrieben. Eine Befragung langjährig berufserfahrener Konstrukteure ergab beispielsweise, dass 55% dieser Konstrukteure zur Vorbereitung der Arbeit am Computer häufig bzw. immer Skizzen anfertigen und 36% auch während der CAD-Arbeit Skizzen zur Vorbereitung weiterer Schritte nutzen (Römer, Weißhahn, Hacker & Pache, 2001). Zudem konnte in Studien unter experimentell kontrollierten Bedingungen nachgewiesen werden, dass beim Konstruieren am Computer ein zusätzliches Freihandskizzieren während der Problemanalyse und der Ausformung der Lösungsideen mit einer signifikanten Verringerung der Gesamtbearbeitungszeit und der Gesamtschrittanzahl einhergeht. Dies ließ sich durch eine signifikant geringere Anzahl wiederholender, korrigierender und testender Schritte unter der Bedingung des Skizzierens erklären (Sachse, Leinert & Hacker, 2001a, b). Darüber hinaus wurde gezeigt, dass externe Komponenten des Problemlösens die Lösungsgüte bei den untersuchten Problemtypen signifikant verbessern, ohne die Bearbeitungszeit nennenswert zu verlängern (Sachse, Hacker, Leinert & Riemer, 1999; Schütze, Sachse & Römer, 2003).

Weniger geklärt ist hingegen, ob externe Komponenten in allen Phasen der Problembehandlung hilfreich sind. Dabei interessiert besonders, inwieweit die wichtige Anfangsphase, also die Problemanalyse und der Aufbau der Problemrepräsentation, unterstützt wird. Des Weiteren fehlen gesicherte Erklärungen für die ermittelte Verbesserung bei der Beteiligung externer Prozesse am Problemlösen.

Als Erklärungen, speziell beim Entwurfsdenken (design thinking), werden in der Literatur bisher in der Regel Entlastungen von Gedächtnisprozessen angeführt (Purcell & Gero, 1998). Daneben werden auch die Unterstützung der Lösungserzeugung (Görner, 1973), das Erkennen von Inkonsistenzen (Lippardt, 2000) sowie das Veranlassen zur Reflexion über erzeugte Lösungen (Wetzstein & Hacker, 2002) angeführt. Allerdings handelt es sich bei diesen Erklärungsversuchen vorwiegend um Mutmaßungen. Das beruht auch darauf, dass bei Fallstudien in der Praxis eindeutige Ursachenzuordnungen oftmals nicht gelingen.

Daher soll in der hier vorgestellten Studie an Problemstellungen aus der Mechanik untersucht werden, ob das Skizzieren als externe Komponente die Problemanalyse zum Zweck der Lösungsfindung unterstützt und wie dies gegebenenfalls erklärt werden kann. Insbesondere wird gefragt, ob das Skizzieren bei der Problemklärung lediglich zur Gedächtnisunterstützung beiträgt oder auch erforderliche Denkprozesse unterstützt. In einer vorangehenden Analyse (Leinert, Römer & Sachse, 1999) konnte

zwischen diesen Möglichkeiten nicht hinreichend unterschieden werden. Dazu wird ein Problemtyp gewählt, bei dem die Lösungsfindung hauptsächlich vom Aufbau und von der Analyse einer zutreffenden Problemrepräsentation abhängt, aber die eingehende Ausarbeitung von Lösungsvarianten von untergeordneter Bedeutung ist. Um das Verständnis der nachfolgend dargestellten Fragen zu erleichtern, muss das Problem zunächst im Vorgriff wenigstens angedeutet werden: Den Probanden werden schriftlich Darstellungen mechanischer Systeme vorgelegt. Sie sollen diese analysieren und sich einprägen, um nach dem Entzug dieser Beschreibungen Fragen nach Systembestandteilen sowie nach Relationen zwischen diesen Bestandteilen zu beantworten. Eine Probandengruppe durfte dabei skizzieren, die andere nicht. Wir nehmen an, dass bei dem eingesetzten Problemtyp wenigstens zum Ableiten der Beziehungen im System aus dem Text bildlich-räumliche Vorstellungen von beiden Untersuchungsgruppen entwickelt werden müssen.

Hypothesen

Anknüpfend an die erwähnten theoretischen Erwägungen wird erwartet:

Beim Vorgehen *mit* Skizzieren ist bei niedrig komplexen und hoch komplexen Problemen der Anteil richtig gelöster Problemkomponenten größer, und das gilt sowohl für die Systembestandteile als auch für die Relationen zwischen diesen (*Hypothese 1*).

Da Denkanforderungen hauptsächlich bei den intellektuell zu erschließenden Relationen zwischen den Systemkomponenten vorliegen, erwarten wir im Detail:

Durch das Skizzieren wird der Anteil richtiger Relationen stärker gesteigert als der Anteil richtiger Systembestandteile (*Hypothese 2*).

Die beiden Probleme unterschiedlicher Komplexität (niedrig vs. hoch) unterscheiden sich signifikant nur in den Anteilen richtig beantworteter Fragen nach den Relationen zwischen der Bearbeitung ohne und mit Skizzieren (*Hypothese 3*).

Der Komplexitätsbedingte Unterschied wird kleiner sein bei Systembestandteilen als bei Relationen zwischen diesen Bestandteilen (*Hypothese 4*).

Wir erwarten weiter, dass bei der gewählten Problemart der Gesamtzeitaufwand beim Bearbeiten mit Skizzieren sich nicht signifikant von der Bearbeitung ohne Skizzieren von Problemrepräsentationen unterscheidet (*Hypothese 5*). Folgende Gründe führen zu dieser Annahme: Das Skizzieren ist zeichnerisch unkompliziert und begleitet den mentalen Analyseprozess des Textes. Es fixiert bildlich-räumliche Vorstellungen des Systems, so dass eine eventuelle erneute Rekonstruktion mit wieder-

holenden und korrigierenden Bearbeitungsschritten entfallen kann. Gegen die Annahme eines gleichen Zeitbedarfs spricht, dass die skizzierten bildhaft-räumlichen Darstellungen nachträglich mögliche Fehler der Analyse erkennbar machen und dadurch zu korrigierenden Bearbeitungsschritten zeitverlängernd beitragen können. Eine längere Bearbeitungszeit sollte in diesem Fall beim Vorgehen mit Skizzieren mit einer höheren Lösungsgüte einhergehen (*Hypothese 6*).

Schließlich wird – zur Verifikation der beabsichtigten Stufung der Problemschwierigkeit – erwartet, dass der Anteil richtig gelöster Problemkomponenten (Bestandteile des Systems und Relationen zwischen ihnen) bei komplexen Problemen niedriger sein wird als bei weniger komplexen und dass dies für das Vorgehen mit und ohne Skizzieren gilt (*Hypothese 7*).

Wir begründen diese Annahmen zur Wirkung des Skizzierens wie folgt: Bei komplexeren Problemen sowie beim Identifizieren von Relationen – im Unterschied zu den Systembestandteilen – ist die Unterstützung durch das Skizzieren in höherem Maße erforderlich. Wir vermuten sowohl eine Unterstützung des Behaltens durch eine duale Informationsaufnahme aus Text und Skizze als auch eine Unterstützung des intellektuellen Analysierens und Schlussfolgerns durch die erwähnten Rückmeldungen über Lücken und Fehler bei der Analyse sowie durch das zusätzliche Ausarbeiten der externen bildhaft-räumlichen Repräsentation, der Skizzen. Diese selbsterzeugte bildhafte Darstellung dürfte das Entstehen und Behalten einer internen bildhaften Repräsentation zusätzlich zur konzeptuell-textlichen wahrscheinlicher machen, als das ohne Vorliegen von Skizzen der Fall wäre. Vereinfacht formuliert: Die Probanden dürften sich auch an ihre Skizzen und den Prozess ihres Skizzierens erinnern. Dazu tragen nicht nur das zusätzliche Wahrnehmen der bildhaften Vorlage neben der textlichen, sondern auch das Selbsterzeugen dieser Vorlage mit seinen Elaborationserfordernissen sowie seinen sensumotorischen Komponenten bei. Für das Skizzieren dürfte nämlich ein umfassenderes Elaborieren erforderlich werden, um den Text in eine Skizze – nicht allein in eine bildliche Vorstellung – zu übersetzen. Wir nehmen an, dass das Aufzeichnen von Beziehungen zwischen den Systembestandteilen zu einer eingehenderen Analyse veranlasst, als dies beim Bearbeiten ohne Aufzeichnen, also nur vorstellungsmäßig bzw. begrifflich, der Fall ist. Eine umfassendere Elaboration bedeutet auch ein umfänglicheres Enkodieren (vergleiche das Verarbeitungsebenenkonzept; Craik & Lockhart, 1972). Die Elaboration mit ihren möglichen Folgen für das Enkodieren dürfte umfassender sein, wenn Vorstellungen und – ausgeprägter noch – Skizzen die Relationen (z.B. Bewegungsrichtungen bei voneinander abhängigen Rollen) betreffen, als wenn sie nur Systembestandteile (beispielsweise eine feste Rolle) betreffen. Insofern sollten Relationen mehr vom Zeichnen profitieren als Systembestandteile.

Bei Problemen des gegebenen Typs begünstigen konzeptuelle und bildhafte Doppelrepräsentationen und/oder der Wechsel zwischen diesen die Problemlösung gegenüber unimodalen Repräsentationen (zusammenfassend Krause, 2000).

Bei skizzierendem Vorgehen wird schließlich erwartet, dass die wahrgenommene Schwierigkeit der Probleme niedriger (*Hypothese 8*) und die wahrgenommene Sicherheit bezüglich der Lösungen höher ist (*Hypothese 9*) als bei nichtskizzierendem Vorgehen.

Wir begründen diese Annahmen gleichfalls mit den für die voranstehenden Hypothesen angeführten Argumenten.

Die angenommene leistungsbegünstigende Wirkung des Skizzierens ist allerdings nicht selbstverständlich. Um das Problem *ohne* Skizzieren zu lösen, könnten höhere Anstrengungen erforderlich sein, könnten häufiger vergessene Arbeitsschritte wiederholt und gegebenenfalls dabei auch korrigiert werden, und die Anforderungen an das zeichnerische Darstellen würden entfallen. Diese Sachverhalte könnten die Leistung fördern und dadurch signifikante Unterschiede zum skizzierenden Vorgehen wenig wahrscheinlich erscheinen lassen.

Methode

Versuchspersonen

Die Stichprobe setzte sich aus insgesamt 60 Studierenden verschiedener Fakultäten der TU Dresden zusammen. Das durchschnittliche Alter der 49 weiblichen und 11 männlichen Probanden betrug 22 Jahre ($SD = 2.0$). Die Probanden wurden den jeweiligen experimentellen Bedingungen nach dem Zufallsprinzip zugeordnet.

Mittels der Rechenspanne zur Bestimmung der Arbeitsgedächtniskapazität der Probanden (Hacker & Siebler, 1997) wurden die Untersuchungsgruppen diesbezüglich auf ihre Gleichwertigkeit geprüft. Der t-Test für unabhängige Stichproben bestätigte, dass sich die Untersuchungsgruppen hinsichtlich dieses leistungsbestimmenden Merkmals nicht signifikant voneinander unterscheiden ($t_{(58)} = -1.588; p \leq .118$). Homogene Leistungs voraussetzungen der Gruppen können hierbei angenommen werden.

Aufgabenstellung und Untersuchungsmaterial

Die Probanden erhielten die Aufgabe, die Problemstellungen derart zu analysieren, dass sie nach einer selbst bestimmten Zeitspanne in der Lage wären, ohne Rück-

griff auf die Versuchsmaterialien, d. h. ohne gegebenenfalls angefertigte Skizzen und ohne die textliche Aufgabenstellung. Fragen zu den *Systembestandteilen und Relationen im System* zu beantworten. Den Probanden wurden dabei die schriftlichen Beschreibungen zweier mechanischer Systeme unterschiedlicher Komplexität dargeboten, die sich an ein Demonstrationsbeispiel von Larkin und Simon (1987) anlehnen. Ein Beispiel (Beschreibung der Problemstellung 2):

Das linke Ende des Seils x ist an einem Träger befestigt.

Es läuft unter der losen Rolle A, über die feste Rolle B und unter der losen Rolle C.

Das rechte Ende des Seils x ist ebenfalls am Träger befestigt.

An der losen Rolle A hängt mit einem Seil das Gewicht 1.

An der losen Rolle C hängt mit einem Seil die feste Rolle D.

Über diese feste Rolle D läuft ein Seil y.

Am linken Ende des Seils y hängt das Gewicht 2, am rechten das Gewicht 3.

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

Rolle A befindet sich ganz links, die Rolle C ganz rechts.

Die Abbildung 1 stellt für den Leser das textlich beschriebene System bildlich dar; den Probanden lag diese bildliche Darstellung *nicht* vor.

Bei der Analyse dieses Systems mussten die Versuchsteilnehmer einerseits den Aufbau (*Systembestandteile*) sowie andererseits die Beziehungen zwischen den Elementen und im Gesamtsystem (*Relationen*) erkennen. Im Anschluss an die Analyse beantworteten die Probanden – nachdem ihnen die Beschreibungen und gegebenenfalls ihre Skizzen entzogen wurden – für beide Problemstellungen identische Fragen. Die eine Fragenklasse betraf nur die Systembestandteile, ohne ihre Beziehungen untereinander zu berücksichtigen, während die andere ausschließlich auf die Relationen zwischen den Systembestandteilen Bezug nahm.

Die Fragen nach den Systembestandteilen – Anzahl der Rollen und ihre Art (feste und lose Rollen); Anzahl der Seile, die mit dem Träger direkt verbundenen Rollen und Seile – beziehen sich auf die Gedächtnisrepräsentation, da die Probanden die Informationen zur Beantwortung dieses Fragentyps direkt aus der Instruktion ablesen und ohne weitere Transformationsleistungen einprägen konnten. Dagegen erfordern die Fragen nach den Relationen zusätzliche Verarbeitungsprozesse. Über den Erwerb und das Behalten der Daten hinaus verlangt die Beantwortung der Fragen (zu den Relationen) Operationen an internen Repräsentationen. Es sind zwei Komponenten erforderlich: „der Prozess der Erzeugung und Trans-

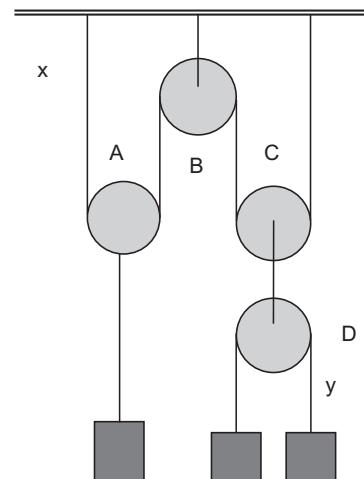


Abbildung 1. Beispiel einer Problemstellung

Tabelle 1. Komplexität der Problemstellungen

Problemstellungen	1	2
Gesamtzahl richtig anzugebender Systembestandteile	9	32
Gesamtzahl richtig anzugebender Relationen	28	99

formation einer mentalen Repräsentation und der Prozess der Nutzung dieser mentalen Repräsentation“ (Sommerfeld, Krause & Schleußner, 1995, S. 133).

Beispiele für die beiden Fragearten sind:

- zu den Systembestandteilen:
Wie viele feste Rollen kommen zum Einsatz?
Wie viele Seile sind zur Konstruktion des Systems notwendig?
- zu den Relationen zwischen den Systembestandteilen:
Befindet sich das System im Gleichgewicht, wenn alle Gewichte eine Masse von einem Kilogramm haben?
Welche Gewichte fallen zu Boden, wenn Seil y durchtrennt wird?

Zur Beantwortung der insgesamt 23 Fragen wurden den Untersuchungsteilnehmern die Versuchsmaterialien entzogen. Die Probanden konnten sowohl die Zeit der Analyse als auch die Zeit für die Beantwortung der Fragen frei bestimmen. Die benötigten Zeiten wurden registriert.

Die Komplexität der Problemstellungen wurde variiert. Die Untersuchung des Einflusses der Komplexität auf die Analyse und Repräsentation der Problemstellungen setzte deren Bestimmung voraus. Allgemein kann

Tabelle 2. Untersuchungsdesign (2 × 2 RW-Design)

Skizziermöglichkeit (R)	Komplexität der Probleme (W)	
	niedrige Komplexität (Problem 1)	hohe Komplexität (Problem 2)
Aufforderung zum Skizzieren der Systembestandteile und ihrer Relationen bei der Analyse		<i>n</i> = 30
Aufforderung zur ausschließlich mentalen Analyse mit Untersagung des Skizzierens		<i>n</i> = 30

Tabelle 3. Operationalisierung der abhängigen Variablen

Abhängige Variablen	Operationalisierung
<i>Prozentsatz richtig angegebener Systembestandteile</i>	Anteil richtig angegebener Systembestandteile an der Gesamtheit der Systembestandteile
<i>Prozentsatz richtig angegebener Relationen</i>	Anteil richtig angegebener Relationen an der Gesamtheit der Relationen
<i>Analysezeit</i>	Zeit von der Aushändigung der Problemstellung bis zur Beendigung der Analysen
<i>Lösungszeit</i>	Zeit von der Aushändigung der Fragen bis zum frei gewählten Abgabepunkt nach der Beantwortung durch die Probanden
<i>subjektive Schwierigkeit der Problemstellung</i>	Einschätzung durch die Probanden mittels stufenloser Ratingskala (mit den Polen 0 = überhaupt nicht schwierig, 7 = äußerst schwierig)
<i>subjektive Sicherheit bezüglich der Richtigkeit der gemachten Angaben</i>	Einschätzung durch die Probanden mittels stufenloser Ratingskala (mit den Polen 0 = überhaupt nicht sicher, 7 = vollkommen sicher)

die Ermittlung der Komplexität nach der Anzahl der Elemente und ihrer Vernetztheit vorgenommen werden (Dörner, 1976). Zur Ermittlung der Komplexität der zu bearbeitenden Problemstellungen und der sich daraus ergebenden Anforderungsunterschiede wurden daher die Elementanzahl und die Anzahl der zur Analyse sowie zur Beantwortung der Fragen notwendigen Schritte herangezogen (Larkin & Simon, 1987). Die Tabelle 1 stellt die Unterschiede der beiden Probleme dar.

Untersuchungsdesign

Die Untersuchung wurde als zweifaktorieller Plan mit den Faktoren *Problemkomplexität* (W) und *Skizziermöglichkeit* (R) durchgeführt. Beim zweistufigen Faktor *Komplexität* handelte es sich um eine Messwiederholung, der Faktor *Skizziermöglichkeit* ist ein gruppenbildender Faktor mit den zwei Stufen

- Darbietung der Systembeschreibung zur Analyse der Problemstellung mit ausdrücklicher *Aufforderung*

zum Skizzieren der im System beschriebenen Bestandteile und Relationen

- Darbietung der Systembeschreibung sowie ausschließlich mentale Analyse *ohne Skizziermöglichkeiten* (Tabelle 2).

Da die Probanden beide Problemstellungen bearbeiteten, lag bezüglich des Faktors *Komplexität* eine Wiederholungsmessung vor. Die Möglichkeit des Auftretens von Sequenzeffekten wurde deshalb durch die Balancierung der Abfolge der Problemstellungen für die Versuchspersonen ausgeglichen (Bortz, 1999). Zwischen den beiden Reihenfolgen besteht in den Ergebnissen kein signifikanter Unterschied.

Das Experiment wurde in Einzelsitzungen durchgeführt. Die Darbietung der Problemstellungen erfolgte ebenso wie die Beantwortung der Fragen zu den Systembestandteilen und Bedingungen in schriftlicher Form.

Tabelle 4. Mittelwerte und deren Standardfehler der abhängigen Variablen in Abhängigkeit von den Untersuchungsbedingungen

Abhängige Variablen	Analyse ohne Skizzieren						Analyse mit Skizzieren						Differenzen und Effektgrößen bezüglich Skizzereinfluss					
	einfaches Problem			komplexes Problem			einfaches Problem			komplexes Problem			einfaches Problem			komplexes Problem		
	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	Diff.	Sign.	Eff.-Größe*	Diff.	Sign.	Eff.-Größe*
Analysezeit (in Minuten)	1.9 ± 0.4	3.5 ± 0.3	1.9 ± 0.2	3.8 ± 0.3	0.0	—	—	—	0.0	—	0.3	—	—	—	—	—	—	—
Lösungszeit (in Minuten)	6.5 ± 0.4	7.7 ± 0.5	6.0 ± 0.4	7.7 ± 0.4	—0.5	—	—	—	0.0	—	0.0	—	—	—	—	—	—	—
Subjektive Sicherheit der Problemstellung	2.2 ± 0.3	4.3 ± 0.3	1.2 ± 0.2	3.3 ± 0.3	—1.0	0.5	0.60	—	—1.0	0.5	0.60	—	—1.0	.05	.57	—	—	—
Subjektive Sicherheit bei der Problemlösung	4.5 ± 0.3	3.2 ± 0.3	5.3 ± 0.3	4.1 ± 0.3	0.8	—	—	—	0.8	—	—	—	0.9	—	—	—	—	—
Gesamtzahl richtig angegebener Systembestandteile	7.6 ± 0.3	23.3 ± 1.2	8.4 ± 0.2	24.1 ± 1.2	0.8	—	—	—	0.8	—	—	—	0.8	—	—	—	—	—
Gesamtzahl richtig angegebener Relationen	25.4 ± 0.6	61.4 ± 3.9	26.3 ± 0.6	81.7 ± 3.3	0.9	—	—	—	0.9	—	—	—	20.3	.01	.93	—	—	—
Prozentsatz richtig angegebener Systembestandteile	84.4 ± 2.9	72.9 ± 3.7	93.6 ± 2.0	75.3 ± 3.9	9.5	—	—	—	9.5	—	—	—	2.4	—	—	20.5	.01	.93
Prozentsatz richtig angegebener Relationen	90.8 ± 2.1	62.0 ± 3.9	94.1 ± 2.2	82.5 ± 3.3	3.3	—	—	—	3.3	—	—	—	20.5	.01	.93	—	—	—

Ammerkungen. * Klassifikation der Effektgrößen: klein – 0.20; mittel – 0.50; groß – 0.80 (vgl. Bortz & Döring, 1995); für Zeilen ohne Signifikanzwerte liegen keine signifikanten Haupteffekte vor (siehe Text).

Abhängige Variablen

Als abhängige Variablen wurden die Analysezeit, die Lösungszeit, die Anzahl sowie der Prozentsatz richtig angegebener Systembestandteile sowie Relationen, die wahrgenommene Schwierigkeit der Problemstellung sowie die wahrgenommene Sicherheit von der Richtigkeit der Antworten erhoben. Die Operationalisierung der abhängigen Variablen ist in der Tabelle 3 dargestellt.

Die Angabe der Absolutzahlen und der Prozentsätze zur Lösungsgüte erfolgt zur Vertiefung der Aussagen. Beispielsweise könnte beim Vergleich der beiden Probleme unterschiedlicher Komplexität der Skizziereninfluss in Absolutzahlen ausgedrückt beim komplexen Problem größer sein als beim einfachen, prozentual jedoch geringer ausfallen.

Bei der Bewertung der Lösungsgüte ist des Weiteren zu beachten, dass richtige Antworten zu Systembestandteilen gegeben werden können, auch wenn Relationen nicht erkannt bzw. behalten wurden. Umgekehrt schließen jedoch zutreffende Antworten zu Relationen das zutreffende Reproduzieren (oder Rekonstruieren) der Systembestandteile als Grundlage für das Ableiten der Relationen zwischen diesen Bestandteilen ein.

Die Auswertung erfolgte mit zweifaktoriellen Varianzanalysen mit Messwiederholung nach Prüfung der Voraussetzungen mittels des Greenhouse-Geisser-Tests (Bortz, 1999).

Ergebnisse

Der Einfluss der Aufgabenkomplexität, die hier von sekundärem Interesse ist, entspricht den Erwartungen (Tabelle 4): Der Zeitbedarf für die Analyse ist bei der komplexeren Aufgabe höher (Haupteffekt $F = 11.24 > F_{1.56;0.01} = 7.12$). Für die Lösungszeit liegt kein signifikanter Unterschied vor (Haupteffekt $F = 2.32 < F_{1.56;0.05} = 4.02$). Die komplexere Aufgabe wird als schwieriger erlebt ($F = 16.76 > F_{1.57;0.01} = 7.12$) und die eingeschätzte Sicherheit bezüglich der Antwortkorrektheit ist niedriger ($F = 24.5 > F_{57;0.01} = 7.12$). Die Prozentsätze richtiger Antworten bezüglich der Systembestandteile und der Relationen sind bei der komplexeren Aufgabe jeweils niedriger ($F = 24.56 > F_{1.57;0.01} = 7.12$ bzw. $F = 61.00 > F_{1.57;0.01} = 7.12$).

Bei den signifikanten Haupteffekten gelten diese Befunde jeweils sowohl bei der Versuchsbedingung mit Skizzieren und ohne Skizzieren (mit Ausnahme der Anzahl richtiger Systembestandteile). Die beiden gewählten Probleme unterscheiden sich also, wie beabsichtigt, in ihrer Komplexität. Die Hypothesen 3, 4 und 7 werden verifiziert.

Bezüglich der Kernfrage nach dem Einfluss des Skizzierens existieren beim Zeitbedarf keine Unterschiede: Skizzieren führt weder zu einer längeren Analysezeit noch zu einer längeren Antwortzeit ($F = 0.58 < F_{1.56;0.05} = 4.02$ bzw. $F = 0.60 < F_{1.56;0.05} = 4.02$). Hypothese 5 ist damit bestätigt. In den Berichten der Versuchspersonen über die eingeschätzte Sicherheit ihrer Lösungen bestehen zwischen der Bedingung mit Skizzieren und der ohne Skizzieren keine signifikanten Unterschiede ($F = 2.75 < F_{1.57;0.05} = 4.02$). Die Hypothese 9 wird damit falsifiziert. Die erlebte Schwierigkeit ist jedoch bei der Möglichkeit zum Skizzieren signifikant geringer ($F = 4.13 > F_{1.57;0.05} = 4.02$); eine signifikante Interaktion zwischen dem Skizzieren und der Aufgabenkomplexität liegt nicht vor. Die Effektgrößen sind mittelstark. Hypothese 8 wird bestätigt.

Der Prozentsatz richtig benannter Bestandteile des Systems ist bei der Versuchsgruppe mit Skizzieren nicht signifikant höher als ohne Skizzieren ($F = 3.00 < F_{1.57;0.05} = 4.02$). Hingegen ist der Prozentsatz der richtig angegebenen Relationen beim Skizzieren signifikant größer als ohne Skizzieren ($F = 12.62 > F_{1.57;0.01} = 7.12$). Die Hypothese 1 wird nur für die Relationen bestätigt. Damit ist auch Hypothese 2 verifiziert. Für die Relationen existiert eine signifikante Wechselwirkung zwischen Skizzieren und Aufgabenkomplexität ($F = 11.15 > F_{1.57;0.01} = 7.12$); nur für das komplexere Problem ist beim Skizzieren der Unterschied bezüglich richtiger Relationen signifikant größer als ohne Skizzieren. Zur Illustration: Der Skizziereninfluss auf die Relationen ist bei dem komplexeren Problem sechsmal größer als beim einfacheren Problem.

Zwischen der Analysezeit bzw. der Antwortzeit und den Anteilen der richtigen Systembestandteile und der richtigen Relationen bestehen weder bei der Bedingung ohne Skizzieren noch bei der mit Skizzieren signifikante Beziehungen. Dies gilt beim einfachen und beim komplexen Problem (die Korrelation erreicht maximal $r = 0.30 < r_{28;0.05} = 0.37$). Die Hypothese 6 wird falsifiziert. Das könnte gegen eine erst nachträgliche, korrigierende Wirkung des Zeichnens sprechen.

Diskussion

Die Untersuchung knüpft an den Befund einer Befragung berufserfahrener Konstrukteure an, demzufolge mehr als die Hälfte der Befragten berichteten, auch während der CAD-Arbeit mit Nutzen Freihandskizzen anzufertigen. In experimentellen Studien konnten Effektivitätsverbesserungen durch das Skizzieren sowie auch durch das Modellieren nachgewiesen werden. Das Skizzieren und das Modellieren führten danach zu einer Verringerung der Gesamtschrittanzahl im konstruktiven Entwurfsprozess. Diese Reduktion ließ sich anhand der signifikant geringeren Anzahl wiederholender, korrigierender und testen-

der Schritte erklären. Erste praktische Hinweise für die Grundausbildung von Ingenieuren, für die Gestaltung von Konstruktionsprozessen sowie für die Entwicklung von Arbeitsweisen, die einfache und komplexe Unterstützungsformen des Konstruierens verbinden, wurden abgeleitet (Sachse, Leinert & Hacker, 2001b; Sachse, 2002).

Neben der erwiesenen Gedächtnisentlastung durch Skizzen finden sich in der Literatur und in den erwähnten eigenen Studien Hinweise, dass nicht allein eine Gedächtnisunterstützung, sondern auch eine Denkunterstützung durch das Skizzieren vorliegen könnte. Hier setzt die vorliegende Untersuchung an. Sie konzentriert sich dabei auf die Anfangsphase der Problemlösung, nämlich auf die Problemanalyse. Die Kernergebnisse dieser Studie sind:

Bei der Bearbeitung mit Skizzieren wird ein signifikant höherer Prozentsatz richtig angegebener Relationen erzielt. Das gilt besonders deutlich für die komplexe Problemstellung. Es liegt eine Wechselwirkung zwischen Problemkomplexität und Skizzierwirkung vor.

Zwischen den Gruppen mit und ohne Skizzieren gibt es dagegen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Prozentzahl richtig angegebener Systembestandteile, die lediglich zu erinnern waren. Das Skizzieren verlängert dabei weder die Dauer der Problemanalyse noch die Beantwortungszeit der Fragen. Die wahrgenommene Problemschwierigkeit ist beim Skizzieren geringer.

Sprechen diese Befunde hinausgehend über die Gedächtnisunterstützung auch für eine Denkunterstützung bei der Problemanalyse durch das Skizzieren?

Zunächst sei zusammengetragen, wodurch der Skizziereffekt *nicht* erklärt werden kann:

Das Skizzieren erfolgt nur während der Problemanalyse und die Skizze liegt gleichfalls nur während dieser Zeit, nicht aber beim Antworten, vor. Die Skizze wird mit den anderen Unterlagen in der Antwortphase entzogen. Das bedeutet, dass keine externen Gedächtnisunterstützungen für das Ableiten der Antworten genutzt werden können. Des Weiteren geht das Skizzieren nicht mit einer signifikant längeren Analysezeit einher und kann damit auch nicht durch eine längere Möglichkeit zum Einprägen erklärt werden.

Bei den nur zu behaltenden, nicht erst selbst zu erschließenden Systembestandteilen verbessert das Skizzieren die Leistung nicht. Zur Erklärung ist zunächst daran zu erinnern, dass das Phänomen nicht auf einen Deckeneffekt zurückführbar ist. Es bestehen durchaus weitere Verbesserungsmöglichkeiten auch bei den Antworten zu den Systembestandteilen. Damit muss nach anderen Erklärungsmöglichkeiten für den ausbleibenden Skizziereffekt bei den Systembestandteilen gesucht werden. Wir vermuten, dass die ohne das Erfordernis zum

Erschließen begrifflich benannten Systembestandteile auch beim Skizzieren keines Erschließens bedürfen und damit nicht gedächtniswirksam elaboriert werden müssen. Sollte diese Vermutung zutreffen, müsste bei den zunächst zu erschließenden und dann zu behaltenden Relationen eine deutliche Skizzierwirkung vorliegen. Eben das ist der Fall: Das Skizzieren verbessert signifikant den Anteil der richtig angegebenen Relationen, die zunächst erschlossen und dann behalten werden müssen.

Bei der Frage nach einer Erklärung für diese Verbesserung bei den Relationen könnte zunächst erwogen werden, dass das Skizzieren der gesuchten Relationen zu einer zusätzlichen visuellen Kodierung durch das Wahrnehmen des gezeichneten Bildes neben der in der Aufgabenstellung gegebenen begrifflichen Kodierung führen wird. Zudem könnte die taktil-kinästhetische Kodierung als Rückmeldung der sensumotorischen Skizzertätigkeit zur Erklärung herangezogen werden. Wir sehen jedoch in dieser Mehrfachkodierung visueller, begrifflicher und taktil-kinästhetischer Art deshalb keine Erklärung für die Leistungsverbesserung bei den Relationen durch das Zeichnen, weil auch die Systembestandteile, also beispielsweise die Rollen, skizziert werden müssen. Auch bei ihnen müsste die Mehrfachkodierung beim Skizzieren die Leistung verbessern. Wir hatten gesehen, dass dies nicht der Fall ist.

Welche Erklärungsmöglichkeiten sind dann zu erwägen? Zunächst entlastet das Skizzieren vom Behalten während der Problemanalyse und setzt damit im Sinne des Behalten-Bearbeiten-Tradeoffs mentale Kapazität für das intellektuelle Bearbeiten des Problems frei. Das Skizzieren dürfte damit zunächst mehr Kapazität für das Erschließen der Relationen freimachen.

Neben dieser kapazitiven Begründung kommen mehrere inhaltliche Erklärungsmöglichkeiten zusätzlich ins Spiel: Das Skizzieren zwingt zu einem Wechsel von der begrifflichen Darstellung der Aufgabe zur weitestgehend vollständigen bildlichen Darstellung in der Skizze. Ein Wechsel ist zwar auch ohne Skizzieren möglich, aber nicht im gleichen Ausmaß erzwungen. Wir nehmen an, dass der Wechsel weniger das Behalten der gegebenen Bestandteile (z.B. Rollen) als vielmehr das Erschließen und Behalten der gesuchten Relationen (beispielsweise der Bewegungsrichtungen) unterstützt: Der Modalitätswechsel stößt möglicherweise Reklassifizierungen und Inferenzen an, die für das Erkennen von Relationen hilfreich sein können (Bartl & Dörner, 1998; Krause, 2000).

Der Zwang zur bildlichen Darstellung kann weiterhin anschaulich Lücken oder Widersprüche in dem Schlussprozess erkennbar werden lassen. So könnte beispielsweise sichtbar werden, dass das linke Seilende an einem Träger – nicht an einer Rolle – befestigt ist.

Schließlich objektiviert das Skizzieren die Lösung. Die Person kann sie zum Gegenstand kritischer Nachprü-

fung, der Reflexion, machen. Wir unterstellen damit, dass die externe Darstellung einer Lösung, z. B. als Skizze, die kritische, reflexive Auseinandersetzung im Vergleich zur kritischen Auseinandersetzung mit einer nicht extern fixierten und deshalb flüchtigen und störbaren mentalen Repräsentation stärker herausfordert und erleichtert.

Bezüglich der Hauptfrage, ob beim Klären von Problemstellungen aus der Mechanik das skizzierende Vorgehen die Lösungserzeugung – und nicht lediglich das Behalten bearbeitungsrelevanter Sachverhalte – verbessert, besagen die diskutierten Argumente: Das Skizzieren fixiert nicht nur erdachte Lösungen besser, sondern vermag zum Erzeugen angemessener Problemlösungen beizutragen durch Wechsel der Repräsentationsmodalität, durch Veranlassen zur Reflexion und durch Offenbaren von Lösungsmängeln.

Zu prüfen bleibt die Übertragbarkeit der lösungsverbessernden Wirkung einer externen Aktivität auf andere Problemarten, insbesondere solche mit geringen Anforderungen an das räumliche Vorstellen (zu den Merkmalen dieser Anforderungsart vgl. Cooper, 1980, 1990; Günther, 1998).

Das Interpretieren der Beiträge des Skizzierens als externe Unterstützung oder externe Komponente des Denkens hängt von der Auffassung über das Denken ab. Wenn das Denken als einzelne innere, psychische Funktion bzw. als psychischer Prozess aufgefasst wird (beispielsweise Müsseler & Prinz, 2002, S. 643 und S. 646), liegt bestenfalls die Interpretation als externe Unterstützung dieses inneren Prozesses nahe. Wird hingegen das Denken als komplexe Denktätigkeit begriffen, liegt die Interpretation als externe Komponente des Denkens nahe.

Die Auffassung des Denkens als eines inneren Prozesses (micro-cognition; Hollnagel, 1998) hat geringen Wert für das Verstehen und Gestalten geistiger Leistungen außerhalb von Laborexperimenten, beispielsweise beim Arbeiten; dafür ist die Auffassung als geistige Tätigkeit resp. Denktätigkeit (macro-cognition) geeigneter (Rubinstein, 1984; Hollnagel, 1998).

Eine Bestätigung und gegebenenfalls Ausweitung der Befunde auf weitere psychomotorische Vorgänge wie das Sprechen und Schreiben oder das Anfertigen materieller Modelle könnte weitreichende theoretische und praktische Konsequenzen haben: In den aktuellen theoretischen Darlegungen zum Denken ist die Rolle des Sprechens und anderer psychomotorischer Prozesse nicht betrachtet worden, oder es bestehen kontroverse Auffassungen (vgl. Anderson, 1988, S. 298; Müsseler & Prinz, 2002, versus Bartl & Dörner, 1998; Klix, 1992; Krause, 2000; Rubinstein, 1984). Für die Lern- und Arbeitspro-

zesse des Alltags ergäben sich Hinweise auf die systematischere Nutzung wirkungsvoller Unterstützungsmöglichkeiten bei Denkanforderungen.

Literatur

- Anderson, J. R. (1988). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft.
- Bartl, C. & Dörner, D. (1998). Sprachlos beim Denken – Zum Einfluss von Sprache auf die Problemlöse- und Gedächtnisleistung bei der Bearbeitung eines nichtsprachlichen Problems. *Sprache und Kognition*, 17, 224–238.
- Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Cooper, L. A. (1980). Spatial information processing: Strategies for research. In R. E. Snow, P. Federico and E. Montague (eds.), *Aptitude, Learning and Instruction*, Vol. 1 (pp. 149–176). Hillsdale: Erlbaum.
- Cooper, L. A. (1990). Mental representation of three-dimensional objects in visual problem solving and recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 16, 1097–1106.
- Craik, F. I. M. & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671–684.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Galperin, P. J. (1966). Die geistige Handlung als Grundlage für die Bildung von Gedanken und Vorstellungen. In J. Lompscher (Hrsg.), *Probleme der Lerntheorie* (S. 33–49). Berlin: Volk und Wissen.
- Galperin, P. J. (1967a). Die Entwicklung der Untersuchungen über die Bildung geistiger Operationen. In H. Hiebsch, F. Klix & M. Vorwerg (Hrsg.), *Ergebnisse der sowjetischen Psychologie* (S. 367–405). Berlin: Akademie-Verlag.
- Galperin, P. J. (1967b). Die Psychologie des Denkens und die Lehre von den etappenweisen Ausbildung geistiger Handlungen. In E. A. Budilowa, E. W. Schorochowa, A. W. Bruslinski et al. (Hrsg.), *Untersuchungen des Denkens in der sowjetischen Psychologie* (S. 81–119). Berlin: Volk und Wissen.
- Goel, V. (1995). *Sketches of thought*. Cambridge: MIT Press.
- Görner, R. (1973). *Untersuchungen zur psychologischen Analyse des Konstruierens*. Unveröffentlichte Dissertation, TU Dresden.
- Günther, J. (1998). *Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess. Eine empirische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Konstrukteuren aus der Praxis*. Aachen: Shaker.
- Hacker, W. & Sieler, R. (1997). Arbeitsgedächtnis – einfache vs. komplexe Spannen als Prädiktoren des Textverständens. *Zeitschrift für Psychologie*, 205, 143–167.
- Henderson, K. (1999). *On line and on paper: visual representations, visual culture, and computer graphics in design engineering*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive reliability and error analysis method*. Oxford: Elsevier.
- Klix, F. (1992). *Die Natur des Verstandes*. Göttingen: Hogrefe.
- Krause, W. (2000). *Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht*. Göttingen: Hogrefe.

- Larkin, J. H. & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65–100.
- Leinert, S., Römer, A. & Sachse, P. (1999). Externe Unterstützung der Problemanalyse bei entwerfenden Tätigkeiten. *Sprache & Kognition*, 18, 30–38.
- Lippardt, S. (2000). Gezielte Förderung der Kreativität durch bildliche Produktmodelle. In *Fortschritt-Berichte VDI*, Bd. 325 (S. o. A.). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Müsseler, J. & Prinz, W. (2002). *Lehrbuch Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Pascha, A., Schöppe, B. & Hacker, W. (2001). Was macht Planen kompliziert? Zum Einfluss von Aufgabenmerkmalen auf die Schwierigkeit der Abfolgeplanung. *Zeitschrift für Psychologie*, 209, 245–276.
- Purcell, A. T. & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process. *Design Studies*, 19, 389–430.
- Römer, A., Leinert, S. & Sachse, P. (2000). External support of problem analysis in design problem solving. *Research in Engineering Design*, 12, 144–151.
- Römer, A., Weißhahn, G., Hacker, W. & Pache, M. (2001). Aufwandsarmes Modellieren im Konstruktionsprozess – Ergebnisse einer Fragebogenstudie. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 45, 113–123.
- Rubinstein, S. L. (1961). *Das Denken und die Wege seiner Erforschung*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Rubinstein, S. L. (1984). *Grundlagen der Allgemeinen Psychologie*. Berlin: Volk und Wissen.
- Sachse, P. (2002). *Idea materialis: Entwurfsdenken und Darstellungshandeln – Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim Skizzieren und Modellieren*. Berlin: Logos.
- Sachse, P., Hacker, W., Leinert, S. & Riemer, S. (1999). Prototyping als Unterstützungs möglichkeit des Denkens und Handelns beim Konstruieren. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 43, 71–82.
- Sachse, P., Leinert, S. & Hacker, W. (2001 a). Designing with computer and sketches. *Swiss Journal of Psychology*, 60, 65–72.
- Sachse, P., Leinert, S. & Hacker, W. (2001 b). Unterstützung des Entwurfsdenkens. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 55, 24–31.
- Schütze, M., Sachse, P. & Römer, A. (2003). Support value of sketching in the design process. *Research in Engineering Design*, 14, 89–97.
- Sommerfeld, E., Krause, W. & Schleußner, C. (1995). Zur Messung des kognitiven Aufwands im Konstruktionsprozess. In W. Hacker & P. Sachse (Hrsg.), *Bild und Begriff III: Zur Rolle von Anschauung und Abstraktion im konstruktiven Entwurfsprozess. Bericht über das Werkstattgespräch* (S. 131–167). Dresden: TU Dresden.
- Wetzstein, A. & Hacker, W. (2002). Sprachgestützte Reflexion verbessert die Entwurfsergebnisse unabhängig von ihrer Entstehungsstrategie. In W. Hacker (Hrsg.), *Denken in der Produktentwicklung (Mensch – Technik – Organisation*, Band 33; S. 143–153). Zürich: vdf.

Eingegangen: 24.06.2002

Revision eingegangen: 04.02.2003

Prof. Dr. Pierre Sachse

Leopold-Franzens-Universität Innsbruck
Institut für Psychologie
Innrain 52
6020 Innsbruck, Österreich
E-Mail: Pierre.Sachse@uibk.ac.at