

Entwurfsdenken und Darstellungshandeln beim Konstruieren

Pierre Sachse

Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und
Fabrikbetrieb, Magdeburg

1. Entwickeln mit CAD, Virtual Reality und Skizze

Der Erfolg des konstruktiven Entwicklungsprozesses im Hinblick auf die Eignung des Produktes, die Produktentwicklungszeit und die dafür aufgewendeten Kosten wird von einem schon frühzeitigen lösungsbegünstigenden Aufbau zutreffender und vollständiger Problemrepräsentationen determiniert. Hierbei sind u.a. Darstellungshandlungen – wie das materialisierende Skizzieren und Modellieren – von maßgeblicher Unterstützungsqualität (Purcell & Gero, 1998). Neben altbewährten Arbeitsmitteln werden im konstruktiven Entwicklungsprozess verstärkt digitale Arbeitsmittel verwendet. In einer Befragung von 106 langjährig berufserfahrenen Konstrukteuren gaben 78 % der Befragten an, zwei- bzw. dreidimensionale Systeme zu nutzen. 55 % der berufserfahrenen Konstrukteure fertigen jedoch zur Vorbereitung der Arbeit am Computer häufig bzw. immer Skizzen an und 36 % nutzen Skizzen noch während der Computerarbeit. Die Skizzen werden von den Konstrukteuren als eine Hilfestellung bei der Aufgabenklärung, Lösungskonzeptentwicklung sowie -konkretisierung, bei der Kommunikation sowie der Erinnerung an wichtige Einzeldetails interpretiert (Römer, Weißhahn, Hacker & Pache, 2001). Dieser kombinierten Nutzung von Handskizzen und CAD entsprechen auch die Beobachtungen von Designern und Konstruktionswissenschaftlern. „So haben wir hier den ... Widerspruch, dass die moderne Computertechnik, die sonst immer mehr manuelle Tätigkeiten überflüssig macht, selbst auf manuelle Technik angewiesen ist“ (Viebahn, 1995, 53).

Ausgehend von diesen Ergebnissen ist zu klären, welche nutzerbezogenen Merkmale der in den geläufigen digitalen Systemen integrierten Funktionen eine Unterstützung der Vorgehensweisen von Konstrukteuren gewährleisten bzw. welche – im ungünstigen Fall – die Bequemlichkeit und Effizienz des Freihandskizzierens nicht erreichen.

Dem Skizzieren bzw. dem späteren Arbeiten im Prozess mit und an der erstellten Skizze kommt nicht nur die in der Literatur anerkannte Speicher- und damit Entlastungswirkung des Arbeitsgedächtnisses durch die externe Vorgehensweise des Problemlösens zu (z. B. Dörner, 1994). Es kann vielmehr über die gedächtnisentlastende und Lösungen übernehmende Effekte hinaus eine lösungserzeugende Rolle im Sinne eines „externen“ Denkens angenommen werden. Das Skizzieren vermag insbesondere das Entwurfsdenken zu leiten bzw. zu fokussieren sowie die Kommunikation zwischen den Bearbeitern oder zwischen Bearbeitern und Kunden entscheidend zu erleichtern. Die Funktion der materialisierten Form geistigen Handelns zielt folglich nicht nur auf eine einfache Abbildung der mentalen Repräsentationen ab. So können diese beim Externalisieren weiter verfertigt, präzi-

siert und korrigiert werden (Hacker, 1998; Radcliffe, 1998; Sachse, 2002).

2. Studie: Konstruktion einer Antriebsvorrichtung

2.1 Fragestellung

Der Gegenstand dieser Studie ist die Untersuchung der Unterstützungswirkung des zusätzlich ausgeführten Skizzierens bei der Entwicklung einer Antriebsvorrichtung am Computer in einer CAD- bzw. Virtual-Reality-Umgebung (VR). Dabei wird in einem Experiment, das eine Entwurfstätigkeit nachbildet, der Prozess von der Problemanalyse bis zur Erstellung einer funktionsfähigen Lösung untersucht. Mit dieser Studie sollen die folgenden Fragen geklärt werden (Sachse, Leinert & Hacker, 2001):

- Kann ein zusätzlich ausgeführtes Skizzieren während der Problemanalyse und Lösungsentwicklung zu einer Leistungsverbesserung auch bei der Nutzung spezifischer CAD- und VR-Systeme führen?
- Welche Vorgehens- und Leistungsmerkmale werden durch das zusätzliche Skizzieren verändert?

Im Einzelnen wird erwartet:

Hypothese 1: Durch das Skizzieren vor bzw. während dem Entwerfen mit digitalen Arbeitsmitteln (CAD/ VR) wird eine geringere Bearbeitungszeit erreicht.

Hypothese 2: Das Skizzieren geht mit einer geringeren Anzahl von Bearbeitungsschritten einher. Insbesondere wird eine Verringerung wiederholender, probierender und korrigierender Schritte erwartet.

Hypothese 3: Das zusätzlich ausgeführte Skizzieren führt zu einer höheren Lösungsgüte.

2.2 Methodik

Die Stichprobe setzte sich aus 76 Studierenden vorwiegend ingenieurwissenschaftlicher Fachbereiche der TU Dresden, der Universität Stuttgart und der ETH Zürich zusammen.

Mit der Aufgabeninstruktion zur Entwicklung einer effizienten, funktionsfähigen Antriebsvorrichtung unter Nutzung der Programme „Caligari True Space“ (CAD- Animation) und „Lightning“ (VR) wurden den Probanden eindeutige Ausgangs- und Zielzustände in allen Untersuchungsbedingungen vorgegeben. Die verwandten Programme gewährleisteten, dass verschiedene Lösungswege zur Zielerreichung möglich waren.

Die Untersuchung folgt einem 2x2 faktoriellen Versuchsplan. Als gruppenbildende *unabhängige Variablen* bei der Konstruktion einer Antriebsvorrichtung fungierte der *Gebrauch digitaler Arbeitsmittel* (CAD bzw. VR) entweder *mit oder ohne Aufforderung zum vorherigen Skizzieren* der Lösungsideen.

Als *abhängige Variablen* wurden sowohl Prozess- als auch Ergebniskriterien erfasst. Die ausgewerteten Prozesskriterien sind die Gesamtlösungsschritte, die ein Proband bis zur

Realisierung einer funktionsfähigen Lösung benötigt, sowie die Arten dieser Schritte. Als Ergebniskriterien wurden die Lösungszeit sowie die Güte der Lösung erfasst. Die Prozess- und Ergebniskriterien wurden einer 2-faktoriellen Varianzanalyse mit je 2 Stufen in beiden Faktoren unterzogen (Faktor A: ohne/ mit Skizzieren; Faktor B: Konstruieren mit CAD/ VR).

2.3 Ergebnisse

Die 2-faktorielle Varianzanalyse ergab für die Gesamtanzahl der Lösungsschritte hinsichtlich des Faktors *Problemanalyse ohne/ mit Skizzieren* signifikante Haupteffekte [$F = 8,40 > F_{1; 72; 0,01} = 7,00$]. An der verminderten Schrittzahl beim Skizzieren ist die geringere Anzahl oftmals redundanter Wiederholungs- [$F = 28,56 > F_{1; 72; 0,01} = 7,00$], korrigierender (Verwerfungs- [$F = 11,81 > F_{1; 72; 0,01} = 7,00$]) und testender (prüfender Probier- [$F = 14,39 > F_{1; 72; 0,01} = 7,00$]) Schritte signifikant beteiligt. Die eher systemorganisationalen Bereitstellungs- [$F = 3,19 < F_{1; 72; 0,05} = 3,98$] und Positionierungsschritte [$F = 2,45 < F_{1; 72; 0,05} = 3,98$] unterschieden sich hierbei nicht signifikant voneinander.

Bei der Entwicklung der Antriebsvorrichtung in einer CAD- bzw. VR-Umgebung betrug der Zeitaufwand für das vorherige Skizzieren von Lösungsideen sogar durchschnittlich 30,3 % der Gesamtbearbeitungszeit, *ohne* jedoch insgesamt zu einer signifikant längeren Bearbeitungs- und Lösungszeit zu führen [$F = 0,73 < F_{1; 72; 0,05} = 3,98$].

Für das Ergebniskriterium der Lösungsgüte, die mittels der Anzahl der benötigten Objekte zum Herstellen einer funktionsfähigen Lösung bestimmt wurde, konnte zwischen den Gruppen der Skizzierer vs. Nichtskizzierer hingegen kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden [$F = 0,05 < F_{1; 72; 0,05} = 3,98$].

Die formulierten Hypothesen 1 und 2 zur unterstützenden Wirkung des frühen Skizzierens für das nachfolgende Entwerfen mit digitalen Arbeitsmitteln können mit Ausnahme der nicht zu sichernden Wirkung auf die Lösungsgüte (Hypothese 3) bestätigt werden.

Ferner wurden signifikante Haupteffekte des Faktors *Konstruieren mit CAD/ VR* auf die abhängigen Variablen Gesamtschrittzahl [$F = 37,46 > F_{1; 72; 0,01} = 7,00$] sowie für die Arten dieser Schritte (Bereitstellungs- [$F = 47,26 > F_{1; 72; 0,01} = 7,00$], Positionierungs- [$F = 17,10 > F_{1; 72; 0,01} = 7,00$], Verwerfungs- [$F = 72,81 > F_{1; 72; 0,01} = 7,00$], Probierschritte [$F = 27,38 > F_{1; 72; 0,01} = 7,00$]) nachgewiesen. Nur für die ohnehin grundsätzlich geringe Anzahl der benötigten Wiederholungsschritte wurde kein signifikanter Effekt belegt [$F = 2,94 < F_{1; 72; 0,05} = 3,98$].

Bei einer differenzierten Mittelwertbetrachtung wird deutlich, dass der VR- Gebrauch gegenüber der CAD-gestützten Problembearbeitung mit einer höheren Anzahl von Lösungsschritten und demzufolge auch mit signifikant höheren Zeitaufwendungen (2-faktorielle Varianzanalyse [$F = 6,69 > F_{1; 72; 0,05} = 3,98$]) verbunden ist. Dies blieb ohne signifikante Auswirkungen auf die Güte der Lösung [$F = 0,05 < F_{1; 72; 0,05} = 3,98$].

Zwischen den Faktoren (A: ohne/ mit Skizzieren; B: Konstruieren mit CAD/ VR) existierte lediglich für die Variable der Bereitstellungsschritte [$F = 6,96 > F_{1; 72; 0,05} = 3,98$] eine signifikante Interaktion, alle übrigen Wechselwirkungen waren nicht signifikant.

3. Resümee

Die unterstützenden Effekte des zusätzlichen Skizzierens betreffen in der dargestellten Studie maßgeblich die Vorgehensmerkmale, während die Leistungsmerkmale, also der Gesamtaufwand und die Güte der Lösung, nahezu unberührt blieben. Die geringere Anzahl von Probierschritten, nachbessernden Anpassungsschritten und Verwerfungsschritten kann somit auch als ein Beleg für Grenzen und Unzulänglichkeiten bei der Nutzung digitaler Systeme angesehen werden. Die nutzerbezogenen Merkmale der in den geläufigen digitalen Systemen integrierten Funktionen gewährleisten demnach nicht vollkommen eine Unterstützung der Vorgehensweisen von Konstrukteuren. Der in dieser Studie bestätigte positive Effekt auf die Vorgehensmerkmale legt nahe, dass das Skizzieren vornehmlich die Handlungsregulation der Konstrukteure im Entwurfsprozess unterstützt. Es besteht demnach die Möglichkeit, die Unzulänglichkeiten in der Nutzung digitaler Systeme durch eine Kombination dieser mit hochgradig vereinfachenden bzw. abstrahierenden Unterstützungsformen zu kompensieren. Somit können die für effektives Handeln, auch geistiges Handeln, notwendigen unzerschnittenen und unverzögert arbeitenden Rückkopplungskreise sichergestellt werden (vgl. hierzu die TOTE- bzw. VVR- Einheiten der Handlungsregulation, Hacker, 1998).

Die Betrachtung des Einflusses eines zusätzlichen Skizzierens auf die Vorgehensmerkmale unter Berücksichtigung der programmspezifischen Besonderheiten ergab ein differenzierteres Bild. So führte das Skizzieren bei gleichzeitiger Nutzung des CAD- Programms zu einer signifikanten Verringerung aller Vorgehensmerkmale. Bei der unter VR- Bedingungen konstruierenden Gruppe unterstützte das zusätzliche Skizzieren vor allem Schritte der Elaboration, der Informationssuche und -bearbeitung. Eher systemorganisationale Schritte blieben im Gegensatz zu der anderen Teilstichprobe von der Intervention unberührt.

Weiterhin wird die Entwicklung von Technologien für notwendig erachtet, die ein „mixed prototyping“, d.h. eine kombinierte Nutzung einfacher und komplexer Unterstützungsformen zulassen. So dürfte ein erhebliches Unterstützungspotential u.a. im Wechsel zwischen dem traditionellen Skizzieren/ Modellieren und der raschen digitalen Weiterverarbeitung der Geometrien enthalten sein – d.h., einem Skizzieren/ Modellieren sowohl ohne Erfahrungs- als auch ohne digitalen Datenverlust. Eine solche neue Unterstützungsmöglichkeit stellt beispielsweise das „Gegenständliche CAD (Tangible CAD)“ dar (vgl. hierzu den Beitrag von J. Wirth in diesem Band).

Literatur

1. Dörner, D. (1994): *Gedächtnis und Konstruktion*. In G. Pahl (Hrsg.), *Psychologische und pädagogische Fragen beim methodische Konstruieren: Ergebnisse des Ladenburger Diskurses vom Mai 1992 bis Oktober 1993* (S. 150-160). Köln: TÜV Rheinland.
2. Hacker, W. (1998): *Arbeitspsychologie – Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Huber.
3. Purcell, A. T. & Gero, J. S. (1998): *Drawings and the design process*. *Design Studies*, 19, 389-430.
4. Radcliffe, D. F. (1998): *Event scales and social dimensions in design practice*. In H. Birkhofer, P. Badke-Schaub & E. Frankenberger (Hrsg.), *Designers – The Key to Successful Product Development* (S. 217-232). London: Springer.
5. Römer, A., Weißhahn, G., Hacker, W. & Pache, M. (2001): *Aufwandsarmes Modellieren im Konstruktionsprozess – Ergebnisse einer Fragebogenstudie*. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 3, 113-123.
6. Sachse, P. (2002): *Idea materialis: Entwurfsdenken und Darstellungshandeln oder Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim Skizzieren und Modellieren*. Berlin: Logos.
7. Sachse, P., Leinert, S. & Hacker, W. (2001): *Unterstützung des Entwurfsdenkens*. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 1, 24-31.
8. Viebahn, U. (1995): *Technisch zeichnen kann jeder*. *DIE ZEIT*, Nr. 14, 31.3.1995, 530.

Wissensintegration in interdisziplinären Teams – Probleme und Lösungsansätze

Brigitte Steinheider¹, Petra Saskia Bayerl²

¹ Department of Psychology, University of Oklahoma, USA

² Justus-Liebig-Universität Gießen, BRD

Problemstellung: Wissensintegration in interdisziplinären Teams

Zur Bearbeitung komplexer Probleme werden zunehmend Teams von Experten unterschiedlicher Fachgebiete eingesetzt. Durch die Zusammenführung von Expertenwissen aus unterschiedlichen Domänen verspricht man sich synergetische Effekte und die bessere Nutzung der kreativen Potentiale (Denton, 1997; Schunn et al., 1998) – Teammitglieder klagen dagegen häufig über Verständnisprobleme, mangelnde Offenheit gegenüber ihren Ansichten und ineffektive Arbeit (Janssen & Goldsworthy, 1997; Defila & Di Giulio, 1996). Ursache dieser Verständnisprobleme ist häufig die Verwendung von Fachsprachen und die unterschiedlichen Ansätze der Fachgebiete bei der Lösung einer Aufgabe, die zu Nicht- bzw. Mißverstehen zwischen Vertretern unterschiedlicher Disziplinen führen und die Entwicklung einer übereinstimmenden Vorstellung von der gemeinsam zu lösenden Aufgabe verhindern können (Bromme, 2000). In mehreren fragebogengestützten Feldstudien (Steinheider & Burger, 2000; Steinheider, 2001) konnte gezeigt werden, dass interdisziplinäres Arbeiten häufig mit Problemen der Integration dieses verteilten Wissens und der Entwicklung eines „common ground“ (Clark, 1996) in Bezug auf die

Bearbeitung eines Projektes oder die Entwicklung eines gemeinsamen Produktes verbunden ist. Diese Probleme der Wissensintegration waren weiterhin mit (subjektiv beurteilten) Zeitverzögerungen, höheren Produktentwicklungskosten und Qualitätseinbußen korreliert; auf subjektiver Ebene klagten die Mitarbeiter über eine geringere Arbeitszufriedenheit sowie über vermehrten subjektiven Stress. Wissensintegration hätte demnach eine moderierende bzw. mediierende Funktion zwischen der fachlichen Heterogenität von Teams einerseits und dem Erfolg bzw. dem Wohlbefinden der Teammitglieder andererseits. Diese Annahme wird durch eine Studie an Managementteams gestützt, die den Einfluss der Heterogenität der Teamzusammensetzung auf den finanziellen Erfolg dieser Teams untersucht (Bunderson & Sutcliffe, im Druck). Diese Studie zeigt, dass Teams mit einem breiteren Erfahrungsbereich („Generalisten“) bessere Ergebnisse erbrachten als Teams mit eher hoch spezialisieren Experten („Funktionale Spezialisten“); dabei war der Austausch von Informationen eine Mediatorvariable. Die Autoren argumentieren, dass Experten mit breiterem Erfahrungsbereich besser abschätzen konnten, welche Informationen für die anderen Teammitglieder von Bedeutung waren und daher eher bereit waren, diese zu teilen. Auch eine Untersuchung an interdisziplinären Forschungsteams in Sonderforschungsbereichen der DFG (Scheffler & Antoni, 2002) unterstreicht die Bedeutung von Mediatorvariablen für die Effekte der Heterogenität von Teams: neben personalen und organisationalen Bedingungen waren es vor allem Prozesskriterien, wie die Reflexion über die gemeinsamen Aufgaben und Beziehungen, die die Zufriedenheit mit der Kooperation von SFB-Mitarbeitern beeinflussen. Diese Untersuchungen deuten darauf hin, dass nicht nur die Heterogenität des fachlichen Hintergrundes von Teams den Erfolg und die Zufriedenheit beeinflusst, sondern dass Moderator-/Mediatorvariablen diese Effekte vermitteln. Diese Studien beruhen vor allem auf Fragebogenangaben, während objektive Daten bisher kaum vorliegen, und geben zudem wenig Anhaltspunkte über Strategien, die eingesetzt werden können, um Probleme der Wissensintegration zu überwinden bzw. zu minimieren.

Hypothesen

In der vorliegenden Studie wurden daher die Zusammenhänge zwischen der Heterogenität von Teams in Bezug auf ihre Wissensdomänen, den verwendeten Strategien zur Wissensintegration, dem Ausmaß der Wissensintegration und dem Erfolg dieser Teams untersucht. Dabei sollte insbesondere analysiert werden, ob zunehmende Heterogenität von Teams mit vermehrten Problemen der Wissensintegration verbunden ist und ob dieser Zusammenhang durch Moderatorvariablen, wie den Umgang mit Miß- bzw. Nichtverstehen vermittelt wird. Weitere Fragestellungen bezogen sich auf den Zusammenhang zwischen Wissensintegration einerseits und der Anzahl der beobachteten Probleme bzw. dem Erfolg von Teams andererseits. Es wurde angenommen, dass in Teams mit schlechterer Wissensintegration auch mehr Probleme und Mißverständnisse beobachtet werden