

Jenseits von "Oberfläche" und "Tiefe": Zum Zusammenhang von Problemkategorisierungen und Arbeitskontext bei Fachleuten des Technischen Zeichnens

Rainer Bromme, Riklef Rambow und Rudolf Sträßer1

Einleitung

Für Fragen der beruflichen Ausbildung ist die empirische Analyse von Umfang und Organisation des Fachwissens erfahrener Praktiker von besonderem Interesse. Das Wissen sogenannter Experten für qualifizierte Tätigkeiten wird deshalb in jüngerer Zeit intensiv untersucht. Zwei Untersuchungsanordnungen waren dabei besonders stimulierend: Zum ersten das Erinnern von komplexen Schachstellungen, die kurz dargeboten wurden und danach von Schachmeistern deutlich besser reproduziert werden konnten als von weniger guten Spielern (Chase & Simon 1973; De Groot, 1965). Zum zweiten das Sortieren von Textaufgaben aus dem Bereich der Physik, wobei sich Unterschiede zwischen Experten und Anfängern zeigten, die als Wirkung des Wissens um physikalische Gesetze auf die Problemwahrnehmung gedeutet wurden (Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Chi, Glaser & Rees, 1982). Die Fähigkeit zur raschen und als intuitiv erlebten Einordnung einer bestimmten Problemstellung zeichnet Experten in vielen Berufen aus (Bromme, 1992; Dreyfus & Dreyfus, 1987; Gruber & Mandl, in Druck; Hacker, 1992; Volpert, 1992), daher ist es verständlich, daß Untersuchungen zum Zusammenhang von Problemwahrnehmung und Wissen auf breites Interesse stoßen. Beide Arten von Studien werden häufig als Beleg für die besondere Bedeutung des reichhaltigen und hochstrukturierten bereichsspezifischen Wissens für die Problemwahrnehmung angeführt.

Damit ist aber auch ein theoretisch-begriffliches Dilemma bei der Erklärung von Expertenleistungen verbunden. Einerseits kommt es gerade auf den Inhalt des jeweiligen Wissens an und man muß deshalb physikalische, schachtheoretische usw. Konzepte heranziehen, wenn man Leistungsunterschiede zwischen verschiedenen Probandengruppen erklären will. Andererseits geht es natürlich in einer psychologischen Untersuchung um Strukturmerkmale von Wissen, die relativ bereichsunabhängig beschreibbar sind, also um Konstrukte, die auf verschiedene Wissensbereiche anwendbar sind. Derartige Konstrukte entstehen meist als Meta-

Jenseits von "Oberfläche" und "Tiefe"

phern, die empirische Phänomene anschaulich deuten und im Zuge der weiteren empirischen Forschung dann präzisiert werden.

151

Chase und Simon (1973) haben den - durch Miller (1956) populären und an die Informationstheorie Shannons anknüpfenden - Begriff des *chunks* dafür gewählt und argumentiert, daß die Experten über umfangreichere Informationsbündel verfügen als die Anfänger. Chi et al. (1981) haben die - an Chomsky erinnernde - Metapher der Unterscheidung von Oberflächen- und Tiefenstruktur gewählt. Sie deuteten die Kategorisierungen und Kommentare ihrer Probanden dahingehend, daß sich die Experten an der Tiefenstruktur der wissenschaftlichen Gesetze (der Newtonschen Mechanik), die Anfänger dagegen an den eher zufälligen Oberflächenmerkmalen der Problemeinkleidungen (Ball, Rolle, schiefe Ebene) orientierten.

Beide Konstrukte über Wissen (Chunks und Tiefenstruktur) sind eine fruchtbare Heuristik und sehr populär geworden, vermutlich auch deshalb, weil sie gut zu Alltagsvorstellungen über das Wissen von Experten passen (Bromme, 1993). Aber es sind nur sehr vorläufige und grobe begriffliche Annäherungen an die Besonderheiten des Wissens von Experten.

Für den Chunk-Begriff wurde in Folgestudien (z. B. Gold & Opwis, 1992) und bei Übertragungen auf andere Könnensbereiche (Patel, Groen & Frederiksen, 1986) bald deutlich, daß eine differenziertere theoretisch-begriffliche Aufgliederung von Wissensmerkmalen gefunden werden muß, wenn man Leistungsunterschiede von Anfängern und Experten erklären will. So erwies es sich als notwendig, die Inhalte der Chunks genauer zu betrachten, ihre bloße Anzahl und Größe ist nicht erklärungskräftig genug.

Auch die Unterscheidung von Tiefen- und Oberflächenstruktur bedarf der weiteren Ausdifferenzierung. Die von Chi et al. (1981) gefundene Übereinstimmung der Expertenkonzepte mit wissenschaftlichen (Lehrbuch-)Theorien ist weitgehend durch Besonderheiten ihrer Probandengruppe erklärbar. Ähnliche Ergebnisse finden sich nur in den Studien, die mit Schülern, Studenten und Lehrern als Probanden durchgeführt wurden und bei denen es um Schulstoffe ging. So fanden Krutetskii (1976), Silver (1979) sowie Hinsley, Hayes und Simon (1977), daß bessere Schüler bei mathematischen Aufgaben eher die mathematische Struktur, schwächere Schüler dagegen solche Aspekte der Probleme wahrnehmen. die man als Oberflächenmerkmale zusammenfassen kann. Silver (1979) fand bei den schwächeren Problemlösern eine Orientierung an der Art der Fragen in der Aufgabe, dem thematischen Kontext und an Größen, die für die Problemlösung irrelevant sind, von den Schülern aber als mathematisch bedeutsam betrachtet werden. Auch die schwächeren Schüler in diesen Studien orientieren sich nicht einfach an zufälligen Oberflächenmerkmalen, sondern folgen offensichtlich bestimmten arbeitspraktischen Strategien zum Umgang mit Aufgaben im Unterrichtskontext. Dennoch kann man diese Befunde noch als übereinstimmend mit der Tiefenstruktur/Oberflächen-Hypothese von Chi et al. (1981) deuten.

Deutlich gegenläufige Befunde gibt es jedoch in einigen Studien, die mehrere Expertengruppen einbeziehen und bei denen der Wissensbereich nicht zum regulä-

¹ Wir danken C. Roth und H. Weide für Mitarbeit bei der Erhebung und Auswertung der Daten.

ren Schulcurriculum, sondern zur Arbeitswelt gehört. Hier berücksichtigen auch Experten die "Oberflächenphänomene", deren Beachtung von Chi et al. (1981) nur bei den Anfängern festgestellt wurde. Die Fachleute nutzen sie dann, wenn sie sie an ein ähnliches Problem erinnern, also um den Problemtyp zu erkennen (Medin & Ross, 1989). Weiser und Shertz (1983) fanden bei Ausbildern für Programmierung Problemkategorisierungen, die eher an Typen von Programmierern, die die Probleme bearbeiten sollten, als an den sachlogischen Typen von Programmieraufgaben orientiert waren. Smith (1992) ließ Studenten und Professoren einer Biologie-Fakultät und Berater für Humangenetik schriftliche Problembeschreibungen aus der Genetik sortieren. Dabei unterschieden sich die Lehrenden von den Studenten in ähnlicher Weise wie ihre Kollegen in der Untersuchung von Chi et al. (1981). d. h. sie orientierten sich an theoretischen Prinzipien (Tiefenstruktur), während die Studenten sich an der Unterscheidung von ihnen bekannten und ihnen unbekannten Größen orientierten. Die Berater ähnelten den Anfängern in dieser Hinsicht, orientierten sich jedoch außerdem an den notwendigen Lösungsprozeduren für die Probleme.

Fragestellung

Es ist also notwendig, weitere begrifflich-theoretische Kategorien zu entwickeln, um die grobe Unterscheidung von Oberfläche und Tiefe zu differenzieren. Wir gehen dafür von der Annahme aus, daß das Expertenwissen so organisiert ist, wie es für die praktischen Probleme gebraucht wird, die damit zu bearbeiten sind. Diese Annahme soll im folgenden am Beispiel von Problemkategorisierungen von berufserfahrenen Technischen Zeichnern (mit und ohne CAD am Arbeitsplatz) und - ergänzend - von Fachdidaktikern empirisch präzisiert werden.

Technisches Zeichnen ist ein interessanter Bereich für die Untersuchung beruflichen Wissens, weil dazu sowohl eine wissenschaftliche Grundlagendisziplin (Mathematik, insbesondere Geometrie), eine teilweise verwissenschaftlichte Praxis (nämlich das Fertigungswissen der Ingenieur- und Konstruktionslehre der technischen Hochschulen) wie auch Kenntnisse einer elaborierten Praxislehre (Normen und Regeln der Zeichnungserstellung) vonnöten sind (vgl. Geschke, 1994). Die mathematischen Grundlagen des Technischen Zeichnens umfassen sowohl die darstellende wie auch die analytische Geometrie. Des weiteren ist arithmetisches Wissen und Können unumgänglich, um Bemaßungen erstellen, ergänzen und überschlägig kontrollieren zu können. In diesem Sinne könnte man, ähnlich wie in den eingangs erwähnten Arbeiten zur Expertenforschung, von einer durch mathematische Konzepte gebildeten "Tiefenstruktur" des Technischen Zeichnens sprechen.

Die mathematischen Grundlagen bestimmen jedoch weder, wie eine Zeichnung konkret angefertigt werden muß, noch bestimmen sie, welche Informationen diese Zeichnung enthalten sollte. Dazu gibt es Regeln über die Gestaltung bestimmter Projektionsweisen (z. B. Tafelzeichnungen, Formen von Projektionen), in denen

die möglichen Darstellungsarten und deren Gebrauch für bestimmte Zwecke im Fertigungs- bzw. Distributionsprozeß des Produkts normiert sind, und es gibt handwerkliche Regeln darüber, welcher Gebrauchszweck (Fertigung, Verkauf usw.) welche Darstellungsart erfordert.

Während bei Chi et al. (1981) - bedingt durch den Instruktionskontext der Untersuchung - die Übereinstimmung von Tiefenstruktur und wissenschaftlichem Lehrbuchwissen das Expertenwissen kennzeichnet, fragen wir am Beispiel von Technischen Zeichnern nach dem Zusammenwirken von Grundlagenkonzepten und handwerklichen bzw. ingenieursspezifischen Konzepten im beruflichen Wissen.

Wenn es darum geht, die qualitativen Merkmale von professionellem Wissen besser zu verstehen, ist ein Vergleich zwischen Expertengruppen, die jeweils etwas andere berufliche Aufgaben haben, aber auf das gleiche Grundlagenwissen zurückgreifen müssen, geeigneter als ein Experten/Novizen-Vergleich. Wir haben deshalb zwei unterschiedliche Gruppen von Fachleuten des Technischen Zeichnens um Problemkategorisierungen gebeten. Einer Stichprobe von Technischen Zeichnern (TZ) und einer Gruppe von Fachdidaktikern (FD) aus der beruflichen Bildung, die u. a. mit Technischem Zeichnen befaßt sind, wurden Sortieraufgaben mit technischen Zeichnungen vorgelegt. Zur weiteren Variation des Arbeitskontextes wurde bei den Technischen Zeichnern zwischen zwei Teilstichproben unterschieden: eine Probandengruppe mit Computer Aided Design (CAD) am Arbeitsplatz und eine Gruppe, die ohne EDV-Unterstützung arbeitet.

Die Technischen Zeichnungen wurden so ausgewählt, daß sie sowohl auf eher mathematisch/geometrischen Dimensionen als auch auf eher berufspraktischen, zielbezogenen Dimensionen kategorisierbar sind. Durch die Klassifikation der Probanden, ihre Kommentare dazu, sowie durch zusätzliche Fragen soll präziser betrachtet werden, was bei Chi et al. (1981) noch global als Wissen um die Tiefenstruktur der Probleme bezeichnet wird. Technische Zeichnungen sind für alle hier einbezogenen Probandengruppen nicht einfach Abbildungen, der Umgang mit ihnen macht einen wesentlichen Teil ihrer Berufsaufgabe aus. Insoweit kann man hier auch von *Problem*kategorisierungen sprechen.

Es sollen also die folgenden Fragen beantwortet werden: (1) Welche Art von Konzepten liegt der Kategorisierung von Konstruktionszeichnungen zugrunde? (2) Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Verfügbarkeit von CAD am Arbeitsplatz und der Kategorisierung von Konstruktionszeichnungen bei den Technischen Zeichnern (TZ)? (3) Gibt es Unterschiede zwischen TZ und berufspädagogischen Mathematik-Fachdidaktikern (FD)?

Methode und Durchführung

Untersuchungsmaterial

Es wurden 16 Zeichnungen ausgewählt, die auf drei Dimensionen jeweils zweistufig variieren, nämlich Symmetrie (symmetrisch / unsymmetrisch), Bemaßung

(bemaßt / unbemaßt) und Projektion (orthogonale Tafelzeichnung / perspektivische Darstellung). (Allerdings sind unbemaßte, unsymmetrische Perspektivdarstellungen in der Praxis ungebräuchlich, deshalb wurde keine Zeichnung dieser Kombination, statt dessen wurden vier unbemaßte symmetrische Perspektiven einbezogen, um bei der Datenerhebung durch das Material nicht einen Eindruck von Praxisferne zu induzieren.)

Die Dimensionen Symmetrie, Bemaßung und Projektion sind unterschiedliche Formen der Verbindung von mathematischen Grundlagen und handwerklichen Konzepten. Symmetrie ist ein Beispiel für eine Eigenschaft, die bei bewußter Anwendung geometrischer Konzepte die Zeichenarbeit erheblich vereinfachen und erleichtern kann, insbesondere bei der Arbeit mit CAD-Software, die die praktische Ausnutzung von Symmetrien ermöglicht. Andererseits ist Symmetrie relativ fern von den klassischen handwerklichen Konzepten des Technischen Zeichnens. Der Umgang mit Bemaßungen erfordert Konzepte und Regeln der Arithmetik, ist jedoch auch stark durch handwerkliche Regeln strukturiert. Die unterschiedlichen Projektionsarten involvieren wiederum Konzepte der darstellenden Geometrie. Diese Dimension ist aber insoweit relativ mathematikfern, als hier ein umfassender Bestand an handwerklich-technischen Konzepten für Anlässe und Formen von zeichnerischen Darstellungen zur Verfügung steht und in der Ausbildung zum TZ auch vermittelt wird. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen Beispiele für das verwendete Material. Die Zeichnungen stammen (bis auf eine Ausnahme) aus Lehrbüchern bzw. Schulungsmaterial und wurden von den Probanden durchgängig als übliche Beispiele für Technische Zeichnungen akzeptiert.

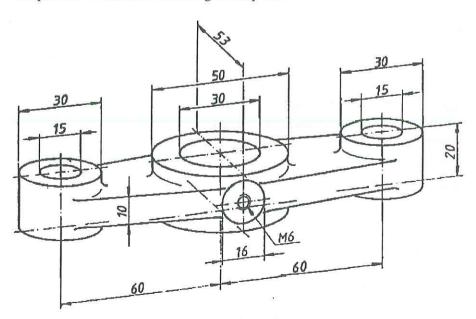


Abbildung 1. Beispiel für eine bemaßte, symmetrische Perspektivdarstellung.

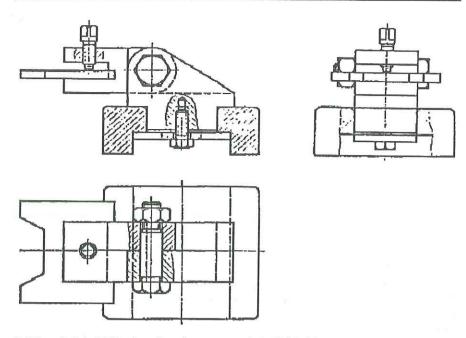


Abbildung 2. Beispiel für eine unbemaßte, unsymmetrische Tafelzeichnung.

Erhebungsmethode

In Einzelinterviews wurden die 16 Zeichnungen vorgelegt; zuerst wurde um eine freie Sortierung mit anschließender Kennzeichnung der so gebildeten Gruppen durch eine "Gruppenbezeichnung" gebeten.

Die Instruktion lautete: "Uns interessiert, welche Aspekte Sie bei einer Technischen Zeichnung wichtig finden, wenn Sie sie bearbeiten. Wir haben hier 16 verschiedene Technische Zeichnungen auf Karton aufgeklebt. Stellen Sie sich bitte vor, Sie selbst müßten diese Technischen Zeichnungen erstellen. Teilen Sie bitte die Karten in Gruppen auf je nachdem, welche Ihnen im Zusammenhang mit ihrer Erstellung *ähnlich* erscheinen. Legen sie die Karten in Häufchen hier auf den Tisch. Sie können so viele Gruppen bilden, wie Ihnen sinnvoll erscheint. [...] Bitte bezeichnen Sie jede der hier liegenden Gruppen mit einem Stichwort, das diese Gruppe kennzeichnet."

Nachdem diese Sortierung abgeschlossen und wieder aufgelöst worden war, wurde in einem anschließenden zweiten Durchgang von den Technischen Zeichnern eine "Binär-Sortierung" vorgenommen, d. h. die Zeichnungen waren so lange in jeweils zwei Gruppen zu teilen, bis jede Zeichnung einzeln lag. Weitere Fragen, die aus Raumgründen in Zusammenhang mit der Ergebnisdarstellung berichtet werden sollen, zur Rolle von Mathematik, CAD und der Berufserfahrung für das Technische Zeichnen ergänzten die Erhebung. Die Befragungen wurden an den

Arbeitsplätzen der Technischen Zeichner einzeln durchgeführt. Die Befragung der Fachdidaktiker fand am Rande einer Fachtagung statt, hier konnte nur die freie Sortierung durchgeführt werden.

Stichprobe

Insgesamt wurden 30 berufserfahrene (mindestens zwei Jahre Berufspraxis nach der Lehre, im Mittel 13.0 Jahre) Technische Zeichner befragt (24 weibliche und 6 männliche; mittleres Alter 33.7 Jahre). Von den Probanden arbeiteten 20 in einer mittleren Industriestadt in den alten Bundesländern, 10 wurden in einer größeren Stadt der neuen Bundesländer befragt. Dadurch konnten genügend Probanden gefunden werden, die zum Zeitpunkt der Befragung keine CAD-Ausrüstung an ihrem Arbeitsplatz hatten, um ungefähr ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Technischen Zeichnern, die nur an traditionellen Zeichenbrettern arbeiten (13), und solchen, die auch CAD-Geräte zur Verfügung haben (17), zu erreichen. (In den alten Bundesländern ist es bereits sehr schwierig, TZ ohne CAD am Arbeitsplatz zu finden.) Identifiziert man die Polytechnische Oberschule der DDR, Abschluß Klasse 8, mit der Hauptschule und den Abschluß der POS 10 mit der Realschule, so hatten 7 Probanden einen Hauptschul-, 21 einen Realschulabschluß und 2 Abitur. Alle hatten ihre Lehre abgeschlossen.

Außerdem wurden 8 Fachdidaktiker für Mathematik in der beruflichen Bildung, in deren Arbeitsbereich auch die mathematischen Grundlagen des Technischen Zeichnens fallen, befragt. Sie konnten allerdings nur für die freien Sortierungen gewonnen werden, ein zweiter Durchgang mit der Binärsortierung ließ sich hier nicht durchführen. Die Fachdidaktiker sind, bereits in der Grundgesamtheit, eine sehr kleine und spezialisierte Gruppe. Die mangelnde Bereitschaft, bei einer, vor allem methodenkritisch begründeten, wiederholten Datenerhebung mitzuwirken, ist für Studien mit derartigen hochqualifizierten Fachleuten durchaus typisch. Wir haben uns deshalb entschlossen, auf die Daten dieser Probandengruppe nicht zu verzichten, auch wenn sie deswegen und wegen der kleinen Probandenzahl nur eingeschränkt mit denen der Technischen Zeichner vergleichbar sind.

Ergebnisse

Die Beantwortung der Untersuchungsfragen soll im folgenden in 5 Schritten geschehen:

- (1) Zuerst wird gefragt, inwieweit die drei Dimensionen Symmetrie, Bemaßung und Projektion der freien Sortierung zugrunde lagen.
- (2) Das Ergebnis wird dann durch den Vergleich mit der Binärsortierung überprüft.

- (3) Die Binärdatenmatrix ermöglicht darüber hinaus auch die Suche nach weiteren Konzepten des beruflichen Wissens, die der Sortierung zugrunde gelegen haben könnten. Dazu wird eine Multidimensionale Skalierung durchgeführt.
- (4) Sofern dabei Gruppen auftreten, die sich nicht alleine durch die vorgegebenen Dimensionen erklären lassen, soll deren Deutung durch Vergleich mit den Gruppen der freien Sortierung und eine qualitative Betrachtung der Probandenstichworte (der "Gruppenbezeichnungen") vorgenommen werden.
 - (5) Es folgt eine Inhaltsanalyse dieser Gruppenbezeichnungen.

Die Bedeutung der Dimensionen bei den freien Sortierungen

Die TZ bildeten im Mittel 6 Gruppen, dabei ähnelten sie sich untereinander, nur 5 Probanden legten weniger als 5 und nur 3 Probanden mehr als 7 Gruppen. Die Fachdidaktiker (FD) bildeten durchschnittlich 6.6 Gruppen, unterschieden sich aber untereinander etwas mehr. In Anlehnung an ein Verfahren von Smith (1992, p. 191) wurde pro Person und Dimension je ein Kennwert errechnet, der die Bedeutung der Dimension für die Sortierungen bezeichnet. In einem ersten Schritt wurde für jede Person ermittelt, wie viele Paare von Zeichnungen bei der gegebenen Gruppeneinteilung des Probanden theoretisch möglich sind. Stellte eine bestimmte Dimension allein das Einteilungskriterium des betreffenden Probanden dar, so müßten alle theoretisch möglichen Paarungen bezüglich dieser Dimension übereinstimmen. In einem zweiten Schritt wurde jeweils für Proband und Dimension die Anzahl der tatsächlich übereinstimmenden Paarungen ermittelt und zur Anzahl der - bei gegebener Gruppenstruktur - theoretisch möglichen Paarungen in Beziehung gesetzt. Daraus ergeben sich pro Proband drei Prozentwerte, die das Maß der Bedeutung, die einer jeden Dimension bei der Einteilung zugemessen wurde, reflektieren (hier als Dimensionsgewicht bezeichnet).

In Tabelle 1 sind die Gewichte der drei Dimensionen für TZ mit und ohne CAD sowie FD getrennt dargestellt. Insgesamt haben die drei vorgegebenen Dimensionen für die FD ein höheres Gewicht als für die TZ, wobei die Werte dieser Dimensionen relativ großen interindividuellen Schwankungen unterliegen. Unmittelbar erkennbar ist, daß die Symmetrie bei den Sortierungen nur eine geringe Rolle spielt, bedeutsam ist dagegen bei allen drei Gruppen die Bemaßung und die Darstellungsart, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß.

Der Unterschied zwischen FD und TZ wird in der folgenden Analyse bestätigt, bei der es auch um die Frage geht, ob die Verfügbarkeit von CAD eine Auswirkung auf die Berücksichtigung der Dimensionen bei der Sortierung hat. Für jede Dimension wurden Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalysen berechnet; wegen der deutlich unterschiedlichen Gruppengröße wurde hier ein non-parametrisches Vorgehen gewählt. Dabei zeigt sich, daß sich die Gewichtung der Dimensionen Maßung und Symmetrie zwischen den drei Gruppen nicht unterscheidet, während sich bezüglich der Art der Projektion ein Effekt nachweisen läßt (H = 6.233;

p<.05). Die Rangsummen lassen erkennen, das dieser Unterschied vor allem auf die besondere Bedeutung der Projektionsart für die Fachdidaktiker zurückzuführen ist. Wie Tabelle 1 zeigt, hat diese Dimension für die TZ ohne CAD eine relativ geringe, für die TZ mit CAD eine etwas größere Bedeutung und für die FD ist es die wichtigste Dimension, nach der sie sortieren.

Tabelle 1 Mittelwerte (Standardabweichungen in Klammern) der Dimensionsgewichte (relativer Anteil von Problempaarungen gleicher dimensionaler Ausprägung an allen möglichen Paarungen in Prozent)

| Gruppe | N | Maßung | Projektion | Symmetrie | Dimensions- durchschnitt |
|---------------------|----|-------------|-------------|------------|-----------------------------|
| CAD | 17 | 77.7 (18.5) | 71.4 (20.2) | 50.3 (5.6) | 66.4 (9.6) |
| kein CAD | 13 | 79.6 (17.4) | 66.2 (21.3) | 49.8 (5.3) | 65.2 (10.9) |
| Fach- didaktiker | 8 | 83.5 (18.2) | 88.1 (18.6) | 51.6 (5.5) | 74.4 (9.1) |

Die Ergebnisse der Binärsortierung: Eine Überprüfung der freien Sortierung

Um die Übereinstimmung beider Verfahren zu überprüfen, wurden aus den 30 Binärsortierungen der TZ Distanzwerte für jedes der insgesamt möglichen 120 Zeichnungspaare ermittelt, indem die Zahl der Verbindungslinien in dem für jeden Probanden erstellten Baumdiagramm ausgezählt und über alle Probanden gemittelt wurde. (Der kleinste mögliche Distanzwert beträgt also 2, der größte mögliche 16; tatsächlich trat kein Wert größer 12 auf.) Mittelt man nun noch über alle bezüglich einer Dimension ausprägungsgleiche Paarungen, so erhält man einen Wert, der in seiner Aussage dem entsprechenden Dimensionsgewicht der freien Sortierungen ähnelt, allerdings deuten nun kleine Werte auf eine hohe Bedeutung der jeweiligen Dimension in den Sortierungen hin. Pearson-Korrelationen zwischen diesen Werten und den Dimensionsgewichten der freien Sortierung weisen zwar auf eine gewisse Übereinstimmung der Ergebnisse beider Verfahren hin, zeigen aber, daß darüber hinaus auch methodenspezifische Prozesse evoziert werden. Der Zusammenhang beträgt für Maßung r = -.5 (N = 30; p < .005) und für Projektion r = -.34; dieser Wert verfehlt das angestrebte Signifikanzniveau knapp. Bedingt durch die geringe Streuung der Werte ist der Zusammenhang bei Symmetrie von Signifikanz weit entfernt. Es läßt sich fest halten, daß das grobe Ergebnismuster der freien Sortierung durch die Binärsortierung repliziert wird: Bemaßung bildet

die dominante Dimension, Projektion ist weniger bedeutsam, spielt aber zweifellos eine Rolle, Symmetrie bleibt unbedeutend.

Gibt es einen Einfluß der Verfügbarkeit von CAD am Arbeitsplatz?

Betrachtet man die Gruppen der TZ mit und ohne CAD-Erfahrung getrennt (Tabelle 2), so zeigt sich, daß in der Bedeutung der dominanten Dimension Maßung und der irrelevanten Dimension Symmetrie keine Unterschiede nachweisbar sind. Anders bei der Dimension Projektion: Auf dieser Dimension übereinstimmende Zeichnungen werden von den CAD-erfahrenen Zeichnern signifikant näher einander zugeordnet als von Zeichnern, die noch klassisch am Zeichenbrett arbeiten. Dieses Ergebnis war tendenziell auch in den freien Sortierungen sichtbar, verfehlte dort aber statistische Signifikanz.

Tabelle 2 Mittelwerte (Standardabweichungen in Klammern) der durchschnittlichen Distanzen für ausprägungsgleiche Paarungen bei der Binärsortierung

| 2 | TZ mit CAD $(N = 17)$ | TZ ohne CAD $(N = 13)$ | |
|------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| Maßung | 5.85 (.58) | 5.59 (.58) | t = 1.22 (n.s.) |
| Projektion | 6.15 (.52) | 6.59 (.36) | t = -2.59 (p < .05) |
| Symmetrie | 6.79 (.15) | 6.77 (.25) | t = .27 (n.s.) |

Ergebnisse der Multidimensionalen Skalierung: Weitere Konzepte

Mit der Binärsortierung kann man auch nach weiteren Konzepten suchen, die der Problemkategorisierung zugrunde gelegen haben könnten. Dafür wurden die individuellen Distanzwerte über die Probanden gemittelt, so daß als Ausgangsdatensatz eine Dreiecksmatrix mit 120 Werten zur Verfügung stand. Die zweidimensionale euklidische MDS-Lösung brachte nach 13 Iterationen einen Stress-Wert von .078, eine dreidimensionale Lösung erreicht einen Stress-Wert von .056. Aufgrund des relativ niedrigen Gewinns an Anpassungsgüte durch die dreidimensionale Lösung wird im folgenden nur die zweidimensionale Lösung dargestellt (siehe Abbildung 3).

Die zweidimensionale MDS-Lösung bestätigt zuerst noch einmal die Bedeutung der beiden Dimensionen Maßung und Projektion. Man sieht aber auch, daß darüber hinaus noch feinere Unterteilungen wirksam sind; es lassen sich vier Gruppen von Zeichnungen gut abgrenzen, die man als gemeinsamen Kern der

Jenseits von "Oberfläche" und "Tiefe"

individuellen Sortierungen betrachten kann. Vergleicht man nämlich diese Dreierbzw. Vierergruppen mit den individuellen freien Sortierungen, dann zeigt sich, daß sie von 50-76% aller Probanden auch dort in eine Gruppe sortiert wurden, von 37-47% sogar in genau dieser Kombination. Dadurch war die Möglichkeit gegeben, die Stichwörter, mit denen diese Gruppen dort benannt worden waren, genauer zu untersuchen und sie zur Kennzeichnung der Gruppen, die bei der MDS sichtbar werden, zu nutzen.

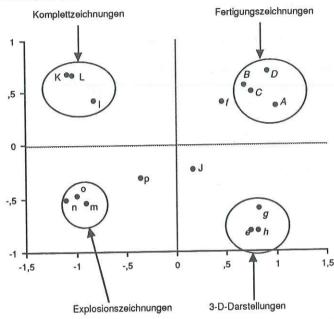


Abbildung 3. Konfiguration der Zeichnungen im MDS-Raum: Dargestellt ist eine zweidimensionale euklidische Lösung. Stresswert nach 13 Iterationen: 0.078. Bemaßte Zeichnungen sind durch Kursivbuchstaben, Tafelzeichnungen durch Großbuchstaben gekennzeichnet.

Betrachtet man diese Bezeichnungen, so ist augenfällig, daß es sich offensichtlich um Gruppierungen handelt, die jeweils einen bestimmten ähnlichen Verwendungszweck ermöglichen, etwa Montage, Fertigung oder Präsentation. (In einigen Stichworten wird dies auch explizit gemacht, wenn es zum Beispiel heißt: "Komplettzeichnung, wonach im Werkzeugbau montiert wird"). Sowohl die grobe zweidimensionale Struktur als auch die Feinstruktur mit den vier Zeichnungsgruppen bleiben stabil, wenn man die MDS nicht über die Daten aller 30 Probanden rechnet, sondern nach CAD-Nutzung differenziert und ebenso, wenn man nach Herkunft, also zwischen Zeichnern aus den neuen und den alten Bundesländern, unterscheidet.

Inhaltsanalyse der Gruppenbezeichnungen

Die MDS legt die Vermutung nahe, daß es vor allem zeichentechnische und fertigungstechnische Aspekte sind, die die Problemwahrnehmung der TZ bestimmen. Um diese Annahme systematischer zu überprüfen, wurden die Gruppenbezeichnungen der Probanden, die sie bei der freien Sortierung genannt hatten, in bezug auf fünf ex post konstruierte Kategorien beurteilt. Es wurde jeweils entschieden, welche der folgenden fünf Dimensionen thematisiert wurden (Mehrfachzuordnungen waren dabei möglich): (1) Verwendung und Fertigung (typische Beispiele für diese Kategorie sind Gruppenbezeichnungen wie "Blechteile", "Drehteile" oder "Fertigungszeichnung"); (2) Spezialbegriffe des Technischen Zeichnens (typische Beispiele: "Dimetrie", "Durchdringung", "Explosionszeichnung" oder "Skizze"); (3) Reichweite der Zeichnungen (typische Beispiele: "Einzelteile", "Komplettzeichnung"). Außerdem wurden (4) Darstellungsweise/Projektionund (5) Bemaßung einbezogen, die sich bereits als wichtig für die Sortierungen erwiesen hatten.

Von den 178 vorliegenden Gruppenbezeichnungen der TZ ließen sich nur 8, von den 49 der FD nur eine nicht diesen fünf Bereichen zuordnen. Für jeden Probanden wurden die relativen Anteile der fünf Themen in allen von ihm gewählten Gruppenbezeichnungen ermittelt. Abbildung 4 zeigt die über alle Probanden gemittelten Anteilswerte der so kategorisierten Gruppenbezeichnungen.

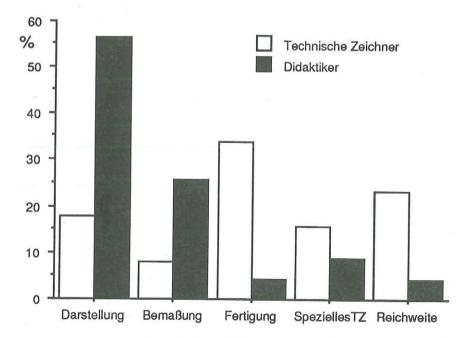


Abbildung 4. Prozentualer Anteil verschiedener Inhaltsbereiche an den Stichwortbelegungen der freien Sortierung.

Es zeigen sich einige systematische Unterschiede zwischen den Fachdidaktikern und den Technischen Zeichnern. (Die CAD-Nutzer und die traditionell arbeitenden

und den Technischen Zeichnern. (Die CAD-Nutzer und die traditionell arbeitenden Zeichner unterschieden sich nicht signifikant und werden deswegen im folgenden als eine Gruppe betrachtet.) Die Technischen Zeichner charakterisieren die gebildeten Gruppen stärker durch Bezug auf fertigungstechnische oder produktionsbezogene Aspekte (t(36) = 3.02, p < .005) und durch Hinweis auf die Reichweite der Zeichnungen (t(36) = -2.29, p < .05). Für die Technischen Zeichner sind also die auf den Zeichnungen dargestellten Gegenstände, ihre Herstellungsweise und die Verwendung der Zeichnungen im weiteren betrieblichen Ablauf ein wesentliches Sortierkriterium. Die Fachdidaktiker dagegen nutzen vor allem die Darstellungsweise (t(36) = 4.75, p < .0001) und die Bemaßung (t(36) = 2.08, p < .05) als Ordnungskriterien; lediglich in der Nutzung der Dimension "Spezielles zum Technischen Zeichnen" unterscheiden sich die Gruppen nicht.

Tabelle 3 Mittlere Rangfolge der Themen, die man "[...] eigentlich so richtig erst durch die Erfahrung im Betrieb beim Technischen Zeichnen lernt"

| Median der Ränge | Modalwert der Ränge | Themen des betrieblichen Erfahrungslernens |
|---------------------|------------------------|--|
| 1 | 1 | Verständnis des Zweckes und Funktionsprinzips der zu zeichnenden Objekte |
| 3 | 1 | Verständnis der geometrischen Zusammenhänge der Zeichnung |
| 3 | 2 | Verständnis der vorgegebenen Skizzen und Aufträge |
| 4 | 4 | Sonstiges (Anpassung an betriebsinterne Abläufe und Usancen; Fähigkeit, die Zeit einzuteilen usw.) |
| 5 | 6 und 7 | Verständnis der numerischen Zusammenhänge der Zeichnung |
| 5.5 | 5 | Exaktheit bei der Zeichnungserstellung |
| 6 | 7 | Umgang mit Kollegen bei gemeinsamer Arbeit im Zeichenbüro |
| 6 | 8 | Tempo bei der Zeichnungserstellung |

Bestätigt wird diese Orientierung der Technischen Zeichner am Gesamtzusammenhang der betrieblichen Fertigungsprozesse durch die Antworten auf eine Interview-

frage, die nach Beendigung der Sortieraufgaben bearbeitet wurde.

Dabei ging es darum, was man so richtig erst durch Berufserfahrung und nicht in der Ausbildung lernt. Die Probanden sollten acht Kärtchen mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten in eine Rangreihe bringen; Tabelle 3 zeigt die Antworten sortiert nach ihren mittleren Rangplätzen.

Fertigkeiten, die man üblicherweise mit durch Erfahrung erworbene "Routine" in Verbindung bringt, z. B. Exaktheit oder Tempo, sind für die TZ von untergeordneter Bedeutung. Statt dessen werden auch hier Fähigkeiten betont, die nicht nur ein Verständnis des *Wie*, sondern auch des *Wofür* einer Technischen Zeichnung ermöglichen.

Diskussion

Zur ersten Untersuchungsfrage ist festzustellen, daß die von uns vermuteten Dimensionen der Bemaßung und Projektion für die Wahrnehmung der Zeichnungen bedeutsam sind, nicht aber die Symmetrieeigenschaften, die aus einer geometrischen Perspektive interessant gewesen wären. Bei den TZ bilden Bemaßung und Projektion aber nicht das alleinige Kriterium. Ihre Sortierungen richten sich auch nach Konzepten, die sich auf die anschließende Verwendung der Zeichnungen (z. B. Teilefertigung versus Zusammenbau) und sogar auf Art bzw. Fertigungstechnik (Drehteil, gießen, fräsen) der gezeichneten Objekte, also auf Aspekte, die vom betrieblichen Arbeitsablauf her gesehen "hinter" der Erstellung der Technischen Zeichnung liegen, beziehen. Diese Aspekte und die beiden erstgenannten Dimensionen schließen sich dabei nicht aus.

Die Durchfärbung der von uns vorgegebenen Dimensionen Maßung und Projektion durch betriebliche Erfahrungen und fertigungstechnische Kenntnisse wird besonders deutlich durch die überraschende Aussage der Technischen Zeichner, daß sich selbst das Verständnis der geometrischen Zusammenhänge so richtig erst durch Berufserfahrung entwickelt. Diese Meinung ist unter den Probanden so einheitlich, daß man nicht Mängel einzelner Ausbildungsinstitutionen dafür verantwortlich machen kann. Es ist eher ein Hinweis darauf, daß die Konzepte, die der Problemwahrnehmung der TZ zugrunde liegen, zwar durchaus abstrakter Art sind (Bemaßung, Projektionsarten), daß ihre Bedeutung aber so richtig erst durch praktische Erfahrung mit ihrem Gebrauch erworben werden kann.

Interessant ist, daß offensichtlich auch das Verständnis der geometrischen Zusammenhänge, eigentlich ein zentraler Gegenstand des theoretischen Berufsschulunterrichts, durch professionelle Praxis noch weiter angereichert wird. Etwas pointiert gesagt: Es scheint einen qualitativen Unterschied zu machen, ob man den Zusammenhang von Umfang, Länge und Rauminhalt eines abstrakten Zylinders im

Geometrieunterricht der Berufsschule "versteht" oder ob derselbe Zusammenhang an einem tatsächlich herzustellenden und einer bestimmten Funktion dienenden Kolben zur Anwendung kommt. Zwar sind die mathematischen Begriffe zur Beschreibung dieser Zusammenhänge immer die gleichen, aber bereits die Auswahl der exemplarischen Objekte, mathematisch ausgedrückt: der betrachtete Wertebereich einer Funktion, hängt von der praktischen Anwendungssituation ab.

Zur zweiten Untersuchungsfrage nach dem Einfluß von CAD: In dem Gebrauch der Bemaßungsdimension und auch in bezug auf Symmetrie unterscheiden sich die TZ, die CAD am Arbeitsplatz zur Verfügung haben, nicht von denen, die nur am Zeichenbrett arbeiten. Dagegen ist die Dimension der Projektionsart für die TZ ohne CAD deutlich weniger wichtig als für die TZ mit CAD. Eine Erklärung dafür könnte sein, daß der durch CAD ermöglichte schnelle (spielerische) Wechsel zwischen verschiedenen Projektionsarten, wenn die Koordinaten des Werkstückes erst einmal eingegeben sind, den Blick für die Bedeutung der Darstellungsarten schärft. Während im traditionellen TZ die Projektionsart nur dann gewechselt wird, wenn es vom Arbeitsauftrag her erforderlich ist, weil ein Wechsel der Darstellungsweise mit großem (Zeit- und Arbeits-)Aufwand verbunden ist. kann man mit CAD das Objekt auch einmal "so nebenbei" in einer anderen Projektionsart darstellen. Weitere Unterschiede (bei den anderen Interviewfragen und bei der Inhaltsanalyse der Gruppenbezeichnungen) wurden nicht gefunden. Die überraschende Homogenität verweist auf eine Grenze des Erhebungsverfahrens (vgl. auch Putz-Osterloh, 1988), das hier gewählt wurde, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit der Studie von Chi et al. (1981) zu erhalten. Das Ordnen fertiger Zeichnungen aktiviert möglicherweise doch andere Gedächtnisinhalte als z. B. die praktische Erstellung selbst, so daß sich die unterschiedlichen Erfahrungen mit dem Werkzeug zur Zeichnungserstellung (Zeichenbrett versus CAD) nicht so stark auswirken. Dennoch sind auch die zur Gruppierung herangezogenen Konzepte auf die Erfahrungen am Arbeitsplatz bezogen, weil natürlich auch die Wahrnehmung und Gruppierung von Zeichnungen zum Arbeitsalltag gehört. Dies wird auch an den Unterschieden zu den Sortierungen und Gruppenbezeichnungen der Fachdidaktiker deutlich (dritte Untersuchungsfrage).

Zum einen war für die Fachdidaktiker die Bedeutung der von uns hypothetisch vermuteten Dimensionen stärker (erkennbar an einer insgesamt höheren Summe der Dimensionsgewichte), sie orientieren sich also stärker an den theorienäheren Dimensionen, die unserer systematischen Variation der Zeichnungen zugrunde lagen. Zum anderen zeigte sich bei ihren Gruppenbezeichnungen ein nur kleiner Anteil von Konzepten, die sich auf die produktionstechnische Verwendung und die Art der in den Zeichnungen dargestellten Werkstücke bezog. In anderen Worten: Die Technischen Zeichner sahen die ihnen vorgelegten Zeichnungen viel stärker auch - und einige von ihnen: vor allem - als Teil eines Fertigungs- und Verwertungsprozesses, während sich die Gruppierungen der Fachdidaktiker überwiegend auf Aspekte bezogen, die die Zeichnungen und ihre Erstellung betreffen. Dies ist nicht selbstverständlich, es wäre auch möglich gewesen, daß die Fachdidaktiker

Aspekte zur Kategorisierung heranziehen, die sich auf ihre Arbeit der Vermittlung der mathematischen Grundlagen beziehen.

Wodurch kann die Oberflächen/Tiefen-Metapher zur Kennzeichnung von Expertenwissen ergänzt oder ersetzt werden?

Die professionellen Konzepte der Technischen Zeichner und in etwas geringerem Maße selbst der Fachdidaktiker lassen - so kann man zusammenfassen - nur indirekt etwas von einer (mathematikbezogenen) Tiefenstruktur im Sinne von Chi et al. (1981) erkennen. Gleichwohl sind es keine Oberflächenkonzepte. Vielmehr sind es Konzepte, in denen anschauliche und zugleich für die Arbeit der Zeichnungserstellung wichtige Merkmale der Arbeitsobjekte mit handwerklichen und geometrischen Aspekten verknüpft werden. Die ursprünglich rein mathematische Bedeutung von "Projektion" wird mit spezifischen Inhalten aus der Handwerkslehre des Technischen Zeichnens und darüber hinaus mit Verweisen auf die konkreten Zwecke der anzufertigenden Zeichnungen in Beziehung gesetzt. Wir bezeichnen dies als Problemorientierte Konzeptintegration. Dieses Konstrukt ist u. E. besser als das der Tiefenstruktur geeignet, das Wissen von Fachleuten zu kennzeichnen. Praktische Probleme in vielen qualifizierten Berufen erfordern interdisziplinäres Wissen - ein Arzt muß auch psychologische, chemische oder juristische Sachverhalte berücksichtigen, ein klinischer Psychologe auch medizinische und biologische Fakten einbeziehen, ein Ingenieur physikalische, technische und mathematische Konzepte zusammenbringen. Deshalb sind die Konzepte im beruflichen Wissen interdisziplinär zusammengesetzt. In vielen Berufen stammt dieses Wissen nicht nur aus akademischen Forschungsdisziplinen, sondern auch aus eher technologischanwendungsorientierten Disziplinen und aus handwerklicher Erfahrungsbildung. Ein Teil der interdisziplinären Integration ist also bereits in dem in der Ausbildung des Praktikers vermittelten Wissenskanon vorweggenommen. Dies gilt auch für das Fachwissen von Technischen Zeichnern. So sind die mathematischen Grundlagen der Gruppierungsdimensionen Bemaßung und Projektion den Technischen Zeichnern oft gar nicht (mehr) bewußt (Sträßer, 1992). Die problemorientierte Konzeptintegration betrifft jedoch auch den speziellen Arbeitskontext, was in unserer Studie vor allem durch die betriebs- und fertigungsbezogenen Aspekte deutlich wurde, die nur die TZ für die Gruppierung nutzten.

Das von uns hier vorgeschlagene Konstrukt der *Problemorientierten Konzeptintegration* soll abschließend mit zwei anderen Konstrukten der gegenwärtigen Expertenforschung verglichen werden, nämlich "situatedness" des Wissens und "knowledge encapsulation". "Problemorientierte Konzeptintegration" ist eine Hypothese darüber, was mit dem Wissen von Experten geschieht, wenn es durch praktische Anwendungen mehr und mehr "kontextualisiert" (Mandl, Gruber & Renkl, 1993) wird. Mit "situatedness" wird u. a. die Abhängigkeit und zugleich Ausnutzung von situationsspezifischen Informationen bei dem Erwerb und bei der Anwendung abstrakten Wissens bezeichnet (Brown, Collins & Duguid, 1989).

Dabei handelt es sich - theoriegeschichtlich gesehen - um ein Holismus-Konzept, mit dem erklärt werden soll, daß die Leistung von Experten häufig gerade darin besteht, verschiedenste Aspekte spezieller Problemsituationen in ihrem Zusammenhang zu beachten und ihnen eine bestimmte lösungsdienliche Gestalt zu verleihen, während den Nichtexperten gerade derartige Strukturerzeugung weniger gut gelingt (Bromme, 1992). Mit dem Konstrukt der problemorientierten Konzeptintegration ist eine präzisere Annahme über die kognitiven Voraussetzungen derartiger Strukturerzeugung formuliert, die allerdings auch nur einen Teil dessen umfaßt, was mit "situatedness" gemeint ist (Lave, 1991).

Die problemorientierte Integration von Konzepten unterschiedlicher Herkunft (z. B. Physiologie, Biochemie) und unterschiedlichen Abstraktionsgrades haben Schmidt und Boshuizen (1992) als "knowledge encapsulation" beschrieben. Sie bezeichnen damit einen Lernprozeß, in dem eine Vielzahl von Detailinformationen unter einige wenige allgemeinere Konzepte subsumiert wird. Diese allgemeineren Konzepte erhalten dann einen stärkeren Erklärungswert für die beobachteten Phänomene (z. B. für vorliegende Krankheitsdaten); sie wirken integrierend für eine Vielzahl von Daten, jedoch wird die Vielfalt der unter ihnen subsumierten Detailinformationen im Regelfall gar nicht aktiviert. Damit ist also nicht einfach der Erwerb neuer abstrakter Schemata gemeint, sondern eine Veränderung bereits vorhandener Fachbegriffe: Sie werden abstrakter im Sinne einer Zunahme an intensionaler Bedeutung. In unserer Studie ist die Integration mathematischer und handwerklicher Aspekte in Konzepten wie "Projektion" und "Bemaßung" ein Beispiel für eine derartige "knowledge encapsulation". Gerade mathematische Konzepte finden sich in vielen Berufen als derartig "eingebettetes" Wissen (Bromme & Sträßer, 1991; Harris 1991). Jedoch läßt sich bei unserem Untersuchungsmaterial nicht entscheiden, wie die Einbettung des mathematischen Gehaltes in einen handwerklichen Kontext in der individuellen kognitiven Entwicklung unserer Probanden vollzogen wurde. (Damit wird auch eine Grenze unserer Untersuchungsanordnung deutlich. Hier war ein Sortierverfahren erforderlich, weil es um die Tiefenmetapher ging, deren Einführung in die Diskussion um Expertise mit diesem empirischen Erhebungsverfahren verbunden ist. Derartige Sortieraufgaben können nur jeweils einen bestimmten Stand des beruflichen Wissens dokumentieren.)

Die "problemorientierte Konzeptintegration" ist u. E. ein wichtiges qualitatives Kennzeichen jenes Wissens, das Fachleute zu erfolgreichem Handeln benötigen und das sich durch Berufserfahrung entwickelt. Die in der Tiefenmetapher mitschwingende Folgerung des "je tiefer, desto besser" birgt die Gefahr, diese Integrationsleistung durch Berufspraxis zu unterschätzen.

Literatur

- Bromme, R. (1992). Der Lehrer als Experte: Zur Psychologie des professionellen Wissens. Bern: Huber.
- Bromme, R. (1993). Können Lehrer Experten sein Können Experten Lehrer sein? Eine Studie zu subjektiven Konzepten über den Lehrer als Experten. In H. Bauersfeld & R. Bromme (Hrsg.), Bildung und Aufklärung Studien zur Rationalität des Lehrens und Lernens. Festschrift für Helmut Skowronek zum 60. Geburtstag (S. 33-58). Münster: Waxmann.
- Bromme, R. & Sträßer, R. (1991). Wissenstypen und professionelles Selbstverständnis. Eine empirische Untersuchung bei Berufsschullehrern. Zeitschrift für Pädagogik, 37, 769-785.
- Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. Educational Researcher, 18, 32-42.
- Chase, W. G. & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. Cognitive Psychology, 4, 55-81.
- Chi, M., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Chi, M., Glaser, R. & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.), Advances in the psychology of human intelligence (Vol. 1, pp. 7-76). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- De Groot, A. D. (1965). Thought and choice in chess. The Hague: Mouton.
- Dreyfus, M. L. & Dreyfus, S. E. (1987). Künstliche Intelligenz. Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition. Reinbek: Rowohlt.
- Geschke, H. W. (1994). Technisches Zeichnen (22. neubearb. u. erw. Aufl.). Stuttgart: Teubner.
- Gold, A. & Opwis, K. (1992). Methoden zur empirischen Analyse von Chunks beim Erinnern von Schachstellungen. Sprache & Kognition, 11, 1-13.
- Gruber, H. & Mandl, H. (in Druck). Das Entstehen von Expertise. In J. Hoffmann & W. Kintsch (Hrsg.), Enzyklopädie der Psychologie, Serie Kognition, Band Lernen. Göttingen: Hogrefe.
- Hacker, W. (1992). Expertenkönnen Erkennen und vermitteln. Göttingen: Hogrefe.
- Harris, M. (Ed.). (1991). Schools, mathematics and work. London: Falmer.
- Hinsley, D. A., Hayes, J. R. & Simon, H. A. (1977). From words to equations: Meaning and representation in algebra word problems. In M. Just & P. Carpenter (Eds.), Cognitive processes in comprehension (pp. 89-106). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Krutetskii, V. A. (1976). The psychology of mathematical abilities in school children. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Lave, J. (1991). Situating learning in communities of practice. In J. Resnick, J. M. Levine & S. D. Teasley (Eds.), Perspectives on socially shared cognition (pp. 63-82). Washington, DC: American Psychological Association.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1993). Kontextualisierung von Expertise. In H. Mandl, M. Dreher & H. J. Kornadt (Hrsg.), Entwicklung und Denken im kulturellen Kontext (S. 203-227). Göttingen: Hogrefe.
- Medin, D. L. & Ross, B. H. (1989). The specific character of abstract thought: Categorization, problem solving, and induction. In R. J. Sternberg (Ed.), Advances in the psychology of human intelligence (Vol. 5, pp. 189-223). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits of our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Patel, V. L., Groen, G. J. & Frederiksen, H. (1986). Differences between medical students and doctors in memory for clinical cases. *Medical Education*, 20, 3-9.
- Putz-Osterloh, W. (1988). Wissen und Problemlösen. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), Wissenspsychologie (S. 247-263). München: Psychologie Verlags Union.
- Schmidt, H. G. & Boshuizen, H. P. A. (1992). Encapsulation of biomedical knowledge. In D. Evans & V. Patel (Eds.), Advanced models of cognition for medical training and practice (pp. 265-282).
 Berlin: Springer
- Silver, E. A. (1979). Student perceptions of relatedness among mathematical verbal problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 10, 195-210.

- Smith, M. U. (1992). Expertise and the organization of knowledge: Unexpected differences among genetic counselors, faculty, and students on problem categorization tasks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 179-206.
- Sträßer, R. (1992). Beschreibung von Körpern im Technischen Zeichnen Aus einer laufenden Untersuchung. Beiträge zum Mathematikunterricht, 26, 463-466.
- Volpert, W. (1992). Wie wir handeln was wir können. Ein Disput als Einführung in die Handlungspsychologie. Heidelberg: Asanger.
- Weiser, M. & Shertz, J. (1983). Programming problem representation in novice and expert programmers. International Journal of Man-Machine Studies, 19, 391-398.