

SCHRIFTENREIHE DIDAKTIK DER MATHEMATIK BAND 21
Computer - Mensch - Mathematik
Verlag Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1991 - Verlag B.G.Teubner, Stuttgart

Günter Graumann, Bielefeld

Sept. 90

KÖNNEN COMPUTER SINNVOLL DEN GEOMETRIEUNTERRICHT BEREICHERN?

Einleitung

Im vergangenen Jahrzehnt ist die Verwendung von Computern im Mathematikunterricht vielfach gefordert worden und es sind auch eine ganze Reihe von Ideen (einschließlich Software) dafür entwickelt worden. Als Begründung dient oft nur der Hinweis auf das Eindringen des Computers in alle Lebensbereiche und die dadurch bedingte Veränderung unserer Welt sowie die neueren Möglichkeiten durch den Computer, die man auch in der Schule nicht versäumen darf. Diskutiert werden dann meist nur die Vor- und Nachteile bestimmter Computersprachen und Programme sowie deren Einsatzmöglichkeiten im Unterricht. *Sehr viel seltener findet sich eine Diskussion darüber, ob Computer den Unterricht und das Lernen überhaupt sinnvoll bereichern.* Angeregt durch den Arbeitskreis Geometrie der GDM auf der Bundestagung in Salzburg 1990 möchte ich nun hier einige wichtige Aspekte zu dieser Frage für die weitere Diskussion hervorheben.

Diskussionsplattform

Bevor ich einzelne Diskussionspunkte anspreche, möchte ich vorab als Diskussionsgrundlage drei Gesichtspunkte klären.

Erstens geht es um das "globale Lernen", wie Peter Bender es nennt. Gemeint ist die *Aufassung von Papert* das Lernen allein auf die intensive Beschäftigung mit dem Computer in der sog. Logoumwelt zu gründen. Eine ausführliche Kritik dieser "Logo-Philosophie" kann man bei BENDER (1987) nachlesen. Ich möchte eine Diskussion dieses Aspektes der Verwendung von Computern in der Schule aber hier nicht diskutieren, da in Deutschland und Österreich vermutlich niemand die extreme Position Paperts vertritt [vgl. auch BENDER, 1989b, S. 99/100]. Da es hier außerdem nicht um einen Informatikunterricht oder eine informationstechnische Bildung gehen soll, möchte ich die *Rolle des Computers im Geometrieunterricht* mit den folgenden Worten von Knöß/Schuppar beschreiben: „Der Computer hat im MU primär die Funktion eines Werkzeuges. In dieser Funktion ist er vergleichbar etwa mit Rechenschieber oder Zirkel und Lineal oder Taschenrechner. Die Betonung des Werkzeugcharakters mag vielleicht als Unterbewertung erscheinen, jedoch haben seit jeher auch mathematische Werkzeuge die Theorie stimuliert und den Unterricht bereichert.“ (KNÖSS/SCHUPPAR, 1987, S. 136) Der Begriff des Werkzeuges muß hierbei natürlich sehr weit gefaßt werden. So soll die Funktion des Computers als Demonstrationsmedium, vergleichbar mit dem "Werkzeug" Tafel und Kreide, oder als Informations- und Kontrollmedium, vergleichbar einem Schulbuch mit Lösungen, selbstverständlich mit einbegriffen sein. Inwieweit die nicht mehr unter dem Begriff "Werkzeug" faßbaren tutoriellen Systeme, die zeitweise die Funktion der Lehrenden ersetzen, noch in die Diskussion mit einbezogen werden sollen möchte ich hier offenlassen.

Zweitens hängt die Frage nach einem sinnvollen Einsatz von Computern wesentlich von der Altersstufe der Lernenden ab. Über die Ablehnung der Papertschen Konzeption hinaus meint Bender, daß ein sinnvoller Einsatz frühestens gegen Ende der Sekundarstufe I möglich

ist. [BENDER, 1989a, S. 89] Das wird so eng nicht von allen Didaktikern gesehen. Einigkeit aber herrscht wohl hier darüber, daß die Verwendung von Computern im Geometrieunterricht der Primarstufe nicht sinnvoll ist; zumindest sind mir keine deutschsprachigen Veröffentlichungen bekannt, die dieser Feststellung widersprechen würden.

Drittens ist für die Art der Verwendung des Computers im Geometrieunterricht die Konzeption des Geometrieunterrichts von Bedeutung. Mit Ausnahme weniger Vorschläge, in denen der Computer zur Verdeutlichung von Beweisen benutzt wird [vgl. etwa STÜBE, 1985], kommt in der Diskussion des Computerunterstützten Geometrieunterrichts eine Auffassung von Geometrieunterricht zutage, bei der ein allein an Fachsystematik und Beweisen orientierter Geometrieunterricht abgelehnt wird. Wenn auch keine klare alternative Konzeption vorherrscht, so kann man einen solchen Geometrieunterricht doch recht gut mit den Schlagwörtern "anwendungsorientiert" und/oder "problemorientiert" kennzeichnen. Ohne diese Vorstellungen genauer zu präzisieren, möchte ich eine solche Auffassung als Diskussionsplattform vorschlagen.

Allgemeinbildung oder der Sinn für den einzelnen Menschen

Im Zusammenhang mit der Konzeption des Geometrieunterrichts steht auch die Überlegung, welchen Sinn man für den Geometrieunterricht postuliert. Ich möchte hier die Auffassung vertreten, daß dieser Sinn allein aus Überlegungen heraus, *was für den lernenden Menschen gut ist*, festgestellt werden kann. Die Bedürfnisse der Gesellschaft kommen dabei insoweit zum Tragen, als sie für die Entwicklung einer integrierten Persönlichkeit, die im späteren Leben zurechtkommt, wichtig sind. Hiermit meine ich nicht etwas prinzipiell Neues, es kommt mir vielmehr auf die Akzentuierung an. Die Frage, ob der Computer den Geometrieunterricht sinnvoll bereichern kann, sollte unter dieser Akzentuierung diskutiert werden.

Welches wären aber nun die bildenden Aspekte eines Geometrieunterrichts, an denen der Sinn des Einsatzes von Computern gemessen werden könnte? Für die allgemeinbildenden Schulen (auf die ich mich hier beschränken möchte) findet man in der Literatur von Befürwortern wie Gegnern des Computereinsatzes weitgehend ähnliche Gesichtspunkte [vgl. etwa BENDER, 1983 und 1989a/b; GRAUMANN, 1988 und 1989; SCHUMANN, 1988 und 1989a sowie ANDELFINGER, 1978; KIRSCH, 1980; VOLLRATH, 1982; HOLLAND, 1988], die ohne Anspruch auf trennungsscharfe Klassifikation wie folgt formuliert werden können:

1. Besseres Verstehen der Welt (Strukturierung der Welt mittels geometrischer Begrifflichkeiten und Zusammenhänge, Einsichten in Sachzusammenhänge, Raumanschauung, konkrete und modellorientierte Vorstellungsfähigkeiten)
2. Nutzbarkeit im Alltag (Grundlegende Kenntnisse und kognitive Techniken für Beruf und Privatleben, Begriffsbildungen als Kommunikationshilfen)
3. Bedeutung für Lebensaspekte wie Ästhetik, Spiel und Spaß, Selbstvertrauen, Entdeckerfreude und philosophische Betrachtungen über die Welt und den Sinn des Lebens
4. Formale Fähigkeiten wie Problemlöseverhalten, Strukturierung von Denktätigkeiten, Argumentationsweisen und kausale Vorstellungskraft, heuristische Denkweisen, kreatives Verhalten, konkrete und formale Konstruktionsweisen und zeichnerische Fähigkeiten

5. Reflexion individueller und gesellschaftlicher Normen und Fakten insbesondere in Hinsicht auf kulturell-philosophische Wurzeln und die Grenzen der Mathematisierbarkeit von Umweltproblemen

Eine direkte Förderung der hier angedeuteten allgemeinbildenden Ziele des Geometrieunterrichts durch den Computereinsatz kann nur in einzelnen Punkten stattfinden: *Einmal für ein besseres Verstehen der Welt und für eine bessere Nutzbarkeit im Alltag durch die Entdeckung von Zusammenhängen, zum zweiten für die Entwicklung der Entdeckerfreude und die spielerische Verwendung von Mathematik sowie die Entwicklung heuristischer Denkweisen und kreativem Verhalten durch die vielfältigen Probiermöglichkeiten und das freie Arbeiten mit Regeln und Mustern. Weiterhin durch das Training der Erstellung von Konstruktions- und Zeichnungsplänen und durch die Reflexion der Grenzen eines Computereinsatzes.*

Eine indirekte Förderung kann jedoch an vielen anderen Punkten stattfinden, dadurch daß wir den Computer ja vornehmlich als Werkzeug verstehen. Dieses findet dadurch statt, daß bestimmte Aspekte der Geometrie besser oder überhaupt erst behandelt werden können und die allgemeinbildenden Gesichtspunkte besser vermittelt werden können. Es kann auch dadurch geschehen, daß die Lehrenden von bestimmten Routineaufgaben befreit werden oder durch tutorielle Systeme in der Lernprozeßanalyse unterstützt werden. Deshalb können auch die mehr stofflichen und unterrichtstechnologischen Beiträge des Computers möglicherweise einen sinnvollen Beitrag zur Bereicherung des Geometrieunterrichts darstellen.

Verschiedene Argumente für und gegen den computerunterstützten Geometrieunterricht

Ohne auf die Vor- und Nachteile einzelner Computersysteme eingehen zu können möchte ich nun einzelne, größtenteils in der Literatur schon genannte (vgl. insbesondere SCHUMANN, 1988/1989a und BENDER, 1989a/b) Argumente für und gegen den Einsatz von Computern im Geometrieunterricht gegenüberstellen.

1. Gegen einen Einsatz von Computern im Mathematikunterricht spricht das Argument der *Erfahrungsverarmung*. Es wird im Mathematikunterricht sowieso schon viel zuviel nur geredet. Die für Begriffsbildung und Erkenntnis von Funktion, Zusammenhänge und Sinn geometrischer Inhalte so wichtigen konkret-handelnden Erfahrungen (einschließlich per Hand durchgeführten Zeichnungen) müssen eher noch verstärkt werden, anstatt durch Tätigkeiten an Computer und Bildschirm ersetzt zu werden.

Umgekehrt spricht gegen eine Erfahrungsverarmung die Entlastung von unnützer Arbeit (langes Zeichnen, langwierige Rechnungen) und die Möglichkeit der größeren Wirklichkeitsnähe (realistische Daten, komplexere Objekte) sowie die umfangreicheren und besseren Darstellungsmöglichkeiten, so daß die Lernenden schneller zu den eigentlichen Fragen kommen und viel mehr Erfahrungen in mathematisch gehaltvollen und interessanten Bereichen machen können.

Erwähnt sei auch, daß für Behinderte verschiedener Behinderungsarten (wie etwa Körperbehinderung oder Sprachbehinderung) eine Erfahrungserweiterung durch die Arbeit am Computer sicherlich nicht zu leugnen ist.

2. Eine zweite Gruppe von Argumenten, die mit der ersten eng zusammenhängt, betrifft die *Art des Lernens*.

Für den Einsatz von Computern im Geometrieunterricht sprechen die (bisher kaum vorhandenen) Möglichkeiten des experimentellen und produktiven Lernens (vielseitiges Ausprobieren, induktives Entwickeln, Hinterfragen bekannter Begriffe durch ungewohnte Datengrenzen und Finden neuer Begrifflichkeiten und Sätze) sowie der systematischen Variation von Figuren und Konstruktionsgefügen durch die dynamischen Veränderungen bestimmter Daten oder Lagebeziehungen. Aufgrund der Lokalisierung eines Standortes in der Figur wird das "Sich-Hinein-Denken" in eine Figur durch den Umgang mit Computern gefördert, wodurch auch eine Dezentrierung der Egozentrizität der Geometrie des Kindes gefördert wird. Die besseren Möglichkeiten der Entwicklung von Selbstkonzepten und selbständigen Fehlerüberprüfungen sei ebenfalls erwähnt. Weiterhin wird für den Einsatz von Computern im Geometrieunterricht die Förderung des algorithmischen Denkens und modularen Arbeitens erwähnt.

Bezüglich des modularen Arbeitens und dessen Verinnerlichung gibt es aber auch Gegenargumente. Einerseits kann das zwar wichtige, aber relativ vordergründige Arbeitsprinzip des "Divide and conquer" an vielen Stellen im Mathematikunterricht gelernt werden und andererseits sollte gerade die durch Computerarbeit nicht geförderte Verbindung verschiedener "Denkmoduln" ein wichtiges Lernziel sein (vgl. dazu neuere kognitionspsychologische Erkenntnisse sowie RICHENHAGEN 1985). Ob außerdem die oben genannten Vorteile des Computers für das Lernen von Geometrie wirklich zum Tragen kommen, ist nicht sicher. Das Gegenargument lautet, daß einerseits Langzeitwirkungen noch nicht bekannt sind und andererseits die Reifung von Problemen bei der durch den Computer auftretenden Fülle von Informationen und Problemen gar nicht möglich ist, wodurch ein tiefergehendes Verständnis wiederum verhindert wird. Auch muß man vor der Überschätzung der Lernfähigkeit der Schüler und Schülerinnen (Didaktikerzentrismus) warnen.

3. Für den Einsatz von Computern wird drittens oft die Erzeugung von *Motivation* genannt und es ist wohl auch nicht zu leugnen, daß in den bislang bekannten Unterrichtsversuchen die Schüler und Schülerinnen mit hoher Motivation an die Arbeit gingen und teilweise sich auch gegenseitig zu interessanten Diskussionen und weiterführenden Fragen ange-regt haben.

Dagegen kann jedoch angeführt werden, daß eine Steigerung von Motivation und Leistung bei fast allen didaktischen Versuchen eintrat, insbesondere wenn neue Medien verwendet wurden. Dieser Effekt läßt sich in der Regel aber nach einiger Zeit nicht mehr beobachten, manchmal treten sogar Negativ-Motivationen nach dem Motto „Schon wieder ...“ auf. Und die schon oben erwähnte starke Beanspruchung durch zu viele Informationen und zu viele interessante Probleme kann sich auch bald negativ auf die Motivation auswirken; zum Beispiel empfinden Schüler und Schülerinnen ausführliche, langweilig erscheinende Beschreibungen (ohne Computerhilfe) oft als entlastende und entspannende Phase im Geometrieunterricht. Schließlich muß auch noch erwähnt werden, daß die computerbezogenen Probleme oft überhand nehmen und der Sinn des Unterrichts (etwa in Form von Überlegungen zu Zweckmäßigkeit und Funktion geometrischer Formen) dadurch eher verschüttet wird, was langfristig auch zur Minderung der Motivation beiträgt.

4. Ein vierter Gesichtspunkt ist die Behandlung *dreidimensionaler Gebilde*.

Einerseits werden bis heute vornehmlich zweidimensionale Figuren mit den Computern in der Schule behandelt und die Repräsentation ist in jedem Fall ja zweidimensional. Andererseits bieten die neueren Computer mit entsprechenden Software-Paketen bislang ungeahnte Möglichkeiten, sich in der Dreidimensionalität zu bewegen und entsprechende visuelle Ansichten zu erzeugen.

Ein Problem der Computer bei der Darstellung geometrischer Figuren liegt auch noch in der Rasterung und der teilweisen Verzerrung. Vorerfahrungen der Schüler und Schülerinnen mit konkreten Objekten und Darstellungen auf Papier mittels Zirkel und Geodreieck sind auf jeden Fall notwendig, um die Computerbilder richtig zu interpretieren.

5. In fast allen mir bekannten Vorschlägen zum computerunterstützten Geometrieunterricht finden sich keine Anregungen *die Notwendigkeit von Beweisen* gefundener oder benutzter Sätze zu verdeutlichen. Je nach erforderlicher Genauigkeit und Allgemeinheit der gewünschten Lösung eines Problems genügt eine Skizze oder eine einfache Zeichnung mit Zirkel und Geodreieck oder eine präzise Zeichnung mit klassischen Geräten von technischen Zeichnern oder auch eine Darstellung mit Hilfe eines Computers. Oft ist neben einer Verifikation über Beispiele in einer der genannten Darstellungsform aber noch der Beweis bezüglich der Allgemeinheit und bezogen auf die idealisierten euklidischen Objekte notwendig, etwas was auch im üblichen Geometrieunterricht manchmal übersehen wird. (vgl. etwa Schulbücher daraufhin, vgl. auch GRAUMANN 1984). Hiermit ist nicht die Fürsprache für einen Satz/Beweis-Aufbau, der sich an einer Axiomatik orientiert, gemeint. Der Unterschied zwischen beispielhafter Erkenntnis und allgemeiner Erkenntnis darf aber nicht verwischt werden. Die für das Finden von Sätzen vorzüglichen neueren Computerprogramme stehen hier in der Gefahr, durch die vielfältigen und genaueren Beispiele die Notwendigkeit allgemeiner Beweise zu vertuschen oder zumindest die Motivation dafür zu verringern.

Als weiteres Argument gegen die Verwendung von Computern im Geometrieunterricht wird in diesem Zusammenhang erwähnt, daß die Zeit für die Beschäftigung mit Beweisen einfach wesentlich weniger wird. Dieses Argument muß aber einerseits dadurch relativiert werden, daß durch den Computer bei der Routinearbeit auch wieder Zeit gewonnen wird. Und andererseits muß dieses Argument im Rahmen der gewünschten Konzeption (bei der Beweise möglicherweise gar nicht so viel Raum einnehmen sollen) diskutiert werden. Außerdem muß man fragen, ob bestimmte, teilweise noch zu entwickelnde Programme bei der Beweisfindung (Mäeutik) nicht doch recht hilfreich sein können.

6. Als *weitere Aspekte* für und gegen die Verwendung von Computern im Geometrieunterricht werden auf der einen Seite die schnelle Verfügbarkeit von komplexen Konstruktionen und Gebilden, die beliebige Reproduzierbarkeit und Korrigierbarkeit von Konstruktionen und Figuren und die guten Kompositionsmöglichkeiten für Konstruktionen genannt. Auf der anderen Seite ist der Verlust an routinemäßigem Umgang mit Zirkel und Geodreieck und die Verstärkung der Einzelarbeit mit Maschinen auf Kosten sozialer Beziehungen zu nennen. Auch ist zu fragen, inwieweit die Computerarbeit das Formulieren von Konstruktionsschritten und logischen Beziehungen fördert oder vernachlässigt sowie zu einer Überfrachtung von formalen Notationen führt.

Schließlich sei noch auf die indirekten Effekte des Einsatzes von Computern im Geo-

metrieunterricht hingewiesen, wie etwa die sich verbreiternde Diskussion über die Bedeutung des Geometrieunterrichts, die gezielte Hinterfragung einzelner didaktischer Gesichtspunkte des Geometrieunterrichts und die Beschäftigung mit neuen geometrischen Inhalten (auch in der Fachwelt).

Abschließend sei noch erwähnt, daß die Diskussion über einen sinnvollen Einsatz von Computern im Geometrieunterricht nicht unabhängig von den vorhandenen Medien (hier vor allem Hard- und Software) und der sonstigen Unterrichtskultur (insbesondere Unterrichtsstil und Kenntnisse der Lehrperson) abhängt. Letzteres signalisiert dann auch eine Aufgabe für die Lehrerbildung.

Literatur

- ANDELFINGER, B. (1978): Bericht über die Arbeitsgruppe Mathematik. In: 30. Gemener Kongress (Tagungsband), Bottrop 1978, S. 231-246
- BECKER, G. (1980): Geometrieunterricht, Bad Heilbrunn
- BENDER, P. (1983): Zentrale Ideen der Geometrie für den Unterricht der Sek. I. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1981, S. 8-17
- BENDER, P. (1985): Zur Überwindung der sog. Bildungskrise mit Samba-Schulen, Informationstechnik-Unterricht in der SI und Logo-Umgebungen. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1985, S. 67-70
- BENDER, P. (1987): Kritik der Logo-Philosophie. In: Journal für Mathematikdidaktik 8, Heft 1/2, S. 3-103
- BENDER, P. (1989a): Was nützt der Computer im Geometrieunterricht? In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1989, S. 89-92
- BENDER, P. (1989b): Was nützt der Computer im Geometrieunterricht? In: Research Report 74, Department of Teacher Education University Helsinki (Pehkonen(ed.)), Geometry Teaching - Geometrieunterricht) S. 97-106
- BIELIG-SCHULZ, G. / SCHULZ, C. (1987): 3D-Graphiken in PASCAL, Stuttgart
- BROCKMEYER, H. (1986): Schüler programmieren Graphiken in Basic - 95 Beispielprogramme in Applesoft-Basic und 106 Aufgaben. Paderborn
- FISCHER, R. / MALLE, G. / BÜRGER, H. (1985): Mensch und Mathematik, Mannheim-Wien-Zürich
- FISCHER, W.L. (1984): Der Einsatz von Computern im Geometrieunterricht. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1984, S. 122-125
- GRABOWSKI, R. (1985): Computer-Grafik mit dem Mikro-Computer, Stuttgart
- GRAUMANN, G. (1976): Praxisorientierter Geometrieunterricht. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1976, S. 98-101
- GRAUMANN, G. (1984): Sinn von Beweisen im Geometrieunterricht der SI. Vortrag auf der "Arbeitstagung: Didaktik der Geometrie" im Herbst 1984 in München. Kurzfassung in: Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik, Nr. 36, Jan. 1985, S. 12/13
- GRAUMANN, G. (1985): Computerunterstützter Geometrieunterricht (CUGU). In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1985, S. 119-123

- GRAUMANN, G. (1986): Computers and Geometry Teaching. In: Research Publication Series B/3 (Kupari (ed.), Mathematics Education Research in Finland, Yearbook 1985), Jyväskylä 1986, S. 61-79
- GRAUMANN, G. (1988): Geometrie im Alltag. In: mathematik lehren, Heft 29, S. 8-14
- GRAUMANN, G. (1989): Problem-Orientated Geometry Teaching With Consideration Of Computers. In: Research Report 74, Department of Teacher Education University of Helsinki (E. Pehkonen (ed.), Geometry Teaching – Geometrieunterricht) S. 141-150
- GRAUMANN, G. (1990): "Allgemeinbildung durch Mathematik" als Aufgabe der Lehrerbildung. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1990, S.
- HOLLAND, G. (1987a): Computersimulation des Rückwärtsverkettens beim Lösen geometrischer Beweisaufgaben. In: Der Mathematikunterricht Heft 1/87, S. 62-82
- HOLLAND, G. (1987b): Ein tutorielles System zum interaktiven Lösen geometrischer Konstruktionsaufgaben. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1987, S. 179-183
- HOLLAND, G. (1988): Geometrie in der Sekundarstufe, Mannheim-Wien-Zürich
- KIRSCH, A. (1980): Zur Mathematikausbildung der zukünftigen Lehrer – im Hinblick auf die Praxis des Geometrieunterrichts. In: Journal für Mathematikdidaktik 1, Heft 4, S. 229-256
- KNÖSS, P. / SCHUPPAR, B. (1987): Konzept eines Fortbildungskurses zum Computereinsatz im Mathematikunterricht für Lehrer der Sekundarstufe I. In: Journal für Mathematikdidaktik 8, Heft 1/2, S. 129-147
- KRAINER, K. (1990): Lebendige Geometrie – Überlegungen zu einem integrativen Verständnis von Geometrieunterricht anhand der Winkelbegriffe. Frankfurt-Bern-New York-Paris
- MAUVE, K. (1989): Mathematik mit COMAL-Grafik, Bonn
- MENZEL, K. / PROBST, G. / WERNER, W. (1986): Computereinsatz im Mathematikunterricht Bd 2, Stuttgart
- MÜLLER, K.P. (1984): Sind die Computer oder die Computerfachleute eine Gefahr für die Schule? In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1984, S. 251-254
- PAPAMASTORAKIS, E. (1988): Geometrische Konstruktionen mit LOGO. Problematik und Anwendungen. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1988, S. 240-242
- RICHENHAGEN, G. (1985): Kinder, Computer und eine neue Epistemologie? – Bemerkungen zu Seymour Paperts "Mindstorms". In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1984, S. 262-265
- SCHUMANN, H. (1986): Konzeptionelle Überlegungen zum Einsatz der Grafikkomponente von LOGO im Geometrieunterricht. In: LOG IN 6, Heft 4, S. 40-44
- SCHUMANN, H. (1988): Der Computer als Werkzeug zum Konstruieren im Geometrieunterricht. In: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik Heft 88/6, S. 248-263
- SCHUMANN, H. (1989a): Der Computer als Konstruktionswerkzeug im Geometrieunterricht. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1989, S. 334-337

- SCHUMANN, H. (1989b): Satzfindung durch kontinuierliches Variieren geometrischer Konfigurationen mit dem Computer als interaktivem Werkzeug. In: Der Mathematikunterricht Heft 4/89, S. 22-37
- SCHUMANN, H. (1989c): Ein erstes interaktives 2-D-Grafiksystem zum schulgeometrischen Konstruieren. In: LOG IN 9, Heft 4, S. 30-33
- SCHUMANN, H. (1990a): Interaktives Erzeugen von Ortslinien – ein Beitrag zum computerunterstützten Geometrieunterricht. In: mathematik lehren Heft 38, S. 10-18
- SCHUMANN, H. (1990b): Neue Möglichkeiten des Geometrielernens durch interaktives Konstruieren in Planimetrie. In: Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Unterricht 43, Heft 4, S. 230-240
- STRÄSSER, R. (1989): Computereinsatz in Geometrie und technischem Zeichnen. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1989, S. 362-365
- STÜBE, R. (1985): Farblich unterstützte Darstellung abbildungsgeometrischer Beweisführungen auf den Graphik-Schirmen eines Mikrocomputers. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1985, S. 313-317
- VOLLRATH, H.-J. (1982): Geometrie: Didaktische Materialien für die Hauptschule, Stuttgart
- ZIEGENBALG, J. (1983): Welchen allgemeinen Zielen des Mathematikunterrichts dient das Arbeiten mit Computern? In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1983, S. 360-363.