In: Werner Walsch (Hrsg.): Kleincomputer und Mathematikunterricht. Halle: Martin-Luther-Universität 1989, 124-135

DIE DIDAKTISCHEN UND PÄDAGOGISCHEN ERWARTUNGEN AN DEN COMPUTER KLEIN HALTEN!

Peter Bender (Universität-Gesamthochschule Paderborn)

Das Thema schränke ich ein auf den Einsatz von Kleincomputern (KC) im *Mathematik*unterricht (MU) der *allgemein*bildenden *Pflicht*schule (in der BRD: Sekundarstufe I (SI); Schüler im Alter bis zu 15, 16 Jahren); der Transfer auf die Belange anderer Fächer und Stufen ergibt sich jedoch leicht.

Gegen Ende der 70-er Jahre kamen KC in den Verfügungsbereich von Didaktikern und Lehrern, und deren Begeisterung für die (vorgängig inhaltlichen) Möglichkeiten war in der Folge ein wichtiges Vehikel für das Eindringen des KC in die Schulen, unbeschadet handfester merkantiler und politischer Interessen. In der Anfangszeit wurde von radikaleren Vertretern "der" MU in seiner derzeitigen Form im Ganzen in Frage gestellt mit folgenden drei Varianten von Ersatzvorstellungen:

1. Den existierenden MU stark reduzieren bzw. ganz abschaffen, da ja "zukünftig der C alles für uns ausrechnet".
2. Wie 1. und: Die Inhalte (Gebiete, Begriffe, Verfahren usw.) durch C-gemäßere ersetzen (z.B. Slesnick 1984).
3. Wie 2. und: Mit dieser didaktischen eine pädagogische Umwälzung verbinden: Das Prinzip "Schule", Lehrer, Curricula i.e.S. abschaffen (so insbesondere Papert 1980).

Der quer zu diesen Varianten liegende Ansatz, dem C Aufgaben des Lehrers zu übertragen (C als Tutor), ist zwar in der Ausbildung von Erwachsenen erfolgreich, besonders wenn der C i.w.S. selbst Lernstoff ist, scheint in der Schule aber nur für "niedere" Tätigkeiten (Drill u.ä.) in Frage zu kommen: Man hat schlechte Erinnerungen an die Versuche der 60-er Jahre; Verbesserungen seitdem sind noch nicht gut genug (vielleicht aus prinzipiellen Gründen?); Lehrer widersetzen sich dieser Konkurrenz; es bestehen grundsätzliche pädagogische Bedenken.

Inzwischen verfügt zwar so gut wie jede US-amerikanische

Schule über KC, aber die Nutzung ist (umfangs- und niveaumäßig) bescheiden (s. z.B. Becker 1986), jedenfalls im Vergleich zu den Vorschlägen, Wünschen und Prognosen in der Literatur und in Anbetracht von 1. - 3. Dafür gibt es zunächst *temporäre*, prinzipiell überwindbare Ursachen:

A. Die vorhandene Hard- und Software ist an Umfang und Niveau ungenügend.
B. Die meisten Lehrer sind unzureichend ausgebildet und haben keine hinreichend positive Einstellung.
C. Die verbindlichen Curricula ignorieren den KC weitgehend.

Allerdings meine ich auch, daß die *Erwartungen zu hoch* angesetzt sind:

D. So mancher C-Didaktiker neigt dazu, bei seiner Arbeit mit dem KC von seinen *eigenen Erfahrungen* (eventuell angereichert durch Erlebnisse mit hochspezialisierten Jugendlichen) auszugehen, zumal er selbst der Rolle des Novizen kaum entwachsen ist. Er übersieht dabei, daß der Hintergrund an verinnerlichtem mathematischen Wissen, professionellem Interesse, Einstellungen und überhaupt Lebenserfahrung bei "normalen" Schülern völlig anders ist.
E. Viele Vorschläge für den Einsatz des KC in der Schule sind von den *sächlichen Möglichkeiten bestimmt*, und *didaktische* Begründungen sind häufig *sekundär*, "da man ja bei den Aktivitäten mit dem C auf jeden Fall etwas lernt bzw. herkömmliche Inhalte mittels Programmieren, C-Veranschaulichungen usw. besser lernt". Wenn nicht der C die Überlegungen dominiert, dann das Fach, aber selten die Belange der Schüler.
F. Programmieren u.ä. ermöglicht *leichte, aber z.T. oberflächliche Erfolgserlebnisse* (dem Didaktiker wie dem Schüler). Der C-Einsatz reduziert sich oft auf einen Programmierkurs; Schüler "scheuen die Anstrengung des (mathematischen) Begriffs" und weichen auf C-Aktivitäten aus.
G. Das *schlechte Bild vom realen MU* in aller Welt, das manche C-Didaktiker zeichnen, mag tendenziell zutreffen: Einschleifen von Rechenverfahren, Auswendiglernen von Formeln, unverstandenes Anwenden derselben usw.
Der Schluß, daß heutzutage dank dem KC solche Fertigkeiten nicht mehr gebraucht werden, die Schule also von diesem

Ballast befreit und daher Zeit und kognitive Energie auf die Lösung höherer und sinnvollerer Probleme verwendet werden könne (z.B. Haefner 1982) - dieser Schluß ist mehrfach fehlerhaft:

a) Er *ignoriert die Bemühungen der M-Didaktik* um verständniserzeugenden, schüler-aktiven, anwendungsorientierten MU, wie sie auch in sämtlichen Lehrplänen und -büchern zu finden sind, sowie die *Existenz des Taschenrechners* (TR), der bereits das Potential zu einer starken Entlastung hat.

b) Für das *Verständnis "höherer" Probleme* und den Umgang i.w. S. mit ihnen sind eine ausgeprägte *"niedere" Begrifflichkeit* sowie solides Wissen und Können *Voraussetzung*. Wenn Sozialwissenschaftler u.a. ihre Signifi- kanzanalysen mit dem C durchführen, so kommen sie viel- leicht ohne genaues Verständnis des Begriffs "Signifikanz" aus, aber Prozentrechnung müssen sie begrifflich beherrschen, d.h. der MU könnte für deren Belange vielleicht auf die begriffliche Durchdringung von "Signifikanz", nicht aber von "Prozent" verzichten.

c) *Routine*-Aufgaben u.ä. haben eine *entlastende Funktion* für stärkere und schwächere Schüler, die überfordert wären, wenn sie pausenlos Probleme lösen müßten. Leider kommt das, wovon sie entlasten, in der Tat zu kurz, wofür sehr viele am U-Geschehen beteiligte Variablen (Lehrer, Schüler, Schulorganisation, Gesellschaft, Einstellungen usw.) und am wenigsten das Fehlen von KC verantwortlich sind. Auch mit dem KC wären entlastende Routinen nötig (und werden von ihm in Hülle und Fülle geboten) und würde in der Pauk-Schule Pauk-U stattfinden.

H. *Empirische Uberprüfungen* der didaktischen Leistungen des KC sind häufig *mangelhaft*: Meistens werden zwar (äußerliche) C-Aktivitäten dokumentiert, nicht aber kognitive Prozesse erforscht. Wichtige Variable werden nicht kontrolliert: Neuigkeitscharakter, Planungs- und Durchführungsaufwand, Einstellung der Forscher und Lehrer usw. Die Abhängigkeit der Ergebnisse innerhalb einer Lerngruppe wird ignoriert, und die Stichproben werden oft zu klein gewählt. Für Repräsentativität wird nicht gesorgt.

J. Die *Prognosen* über die Verbreitung des KC in den Schulen sind häufig *ungenügend begründet*, und ihr Eintreten stellt einen Pygmalion-Effekt dar. Wo sie in *gesellschaftliche Analysen* eingebettet sind (Papert, Haefner), da ist ihre Ableitung nicht zwingend, und die Analysen sind unzulänglich, indem etwa unterstellt wird, daß die Menschheit zukünftig aus der Mittelschicht der Industrieländer heutigen Zuschnitts besteht, daß die technische und wirtschaftliche Entwicklung weiter fortschreitet, daß ein nennenswerter Teil der Bevölkerung den C auf hohem geistigen und schöpferischen Niveau nutzen wird u.ä.

Fast alle diese Probleme treten in ähnlicher Form auch bei den etablierten Fachdidaktiken auf; und wenn ich im folgenden einige Details an einer kleinen Auswahl von Einsatzmöglichkeiten des KC im MU kritisiere, so wäre dies in ähnlicher Form auch bei herkömmlichen Vorschlägen für den MU möglich und nötig.

In den letzten Jahren scheint sich nun ein Trend der stärkeren Hinwendung von C-Didaktikern zum real existierenden MU abzuzeichnen, eine m.E. begrüßenswerte Entwicklung. Auch gewinnen die Beiträge an Qualität, und ich werde im folgenden die positiven Merkmale nicht besonders erwähnen, sondern verweise hiermit pauschal auf die jeweiligen Originalbeiträge.

I. *Arithmetik, speziell: Fortgeschrittene Zinsrechnung* (Ziegenbalg in (Graf 1988)): In der BRD sind die Banken durch Rechtsverordnung verpflichtet, den Privatkunden den effektiven Zinssatz von Darlehen anzugeben, der ja infolge von Gebühren, monatlicher Zahlweise u.ä. deutlich über dem nominalen Zinssatz liegen kann. Außerdem ist die Formel vorgegeben, mit der dabei zu rechnen ist. Diese geht zurück auf die klassische Gleichung

(1) $\quad Dy^n = R(y^{n-1}+y^{n-2}+\ldots+y+1)$,

wo D>0 das Darlehen, x>0 der (effektive) Zinssatz, y:=1+x der Zinsfaktor, n>0 die Laufzeit in Jahren und R>D/n die Rückzahlungsrate ist, die n-mal an jedem Jahresende gezahlt wird. Drei der vier Größen D, R, x und n bestimmen jeweils die vierte, wobei die *geschlossene* Angabe von n i.a. den Logarithmus erfoderlich macht und x, die interessanteste Größe,

als Polynom-Nullstelle für größere n i.a. nur iterativ ermittelt werden kann. Dies war in der Schulpraxis erst mit der Verbreitung des TR in vertretbarem Aufwand (unter Ersetzung der rechten Seite durch den Term $R(y^n-1)/(y-1)$ möglich.
Es war der TR, der das Potential des MU prinzipiell erweitert hat, und der KC wirkt im arithmetischen Bereich eher als perfektionierende Erweiterung. Er hilft, Tippfehler zu vermeiden, ist aber weniger flexibel in der Phase der Exploration. Sein Nutzen kommt (hier zum Beispiel) erst richtig zum Tragen, wenn sehr viele Zinssätze auszurechnen sind. Obwohl die Schule eine andere Funktion als die Bank hat, kann auch im MU die Berechnung vieler Zinssätze in Frage kommen, z.B. wenn man die Abhängigkeit des effektiven Zinssatzes von Ausgangsgrößen untersuchen will. Dies ist aber eine recht fortgeschrittene Aufgabe, die den KC an eine späte Stelle verweist. Für unabdingbar halte ich die (mehrfache) Durchführung von Iterationen "von Hand" mit dem TR mit Intervallhalbierung (deren genauen Ablauf mit dem KC zu programmieren sich "nicht lohnt" (Engel in (Graf 1988)), auch wenn die Auswertung an den Intervallgrenzen mit dem KC vorgenommen wird). Es ist genau diese (bei C-Didaktikern verpönte) "Knochen"arbeit, die den Lernenden mit den Inhalten vertraut macht und sie begrifflich in ihm reifen läßt, die der C-Didaktiker dem Schüler i.a. voraus hat und die er ihm vorenthält, wenn er ihn zu schnell auf den KC ansetzt. Nutzung des KC heißt darüber hinaus noch lange nicht, daß die Schüler ihn selbst zu programmieren hätten; noch ökonomischer wäre z.B., wenn sie eine fertige Nullstellen-Prozedur einsetzen würden.
Daß man den rechten Term in (1) auf dem KC mittels Iteration *direkt auswerten* kann und nicht die Abkürzung für die geometrische Reihe benötigt, ist m. E. keine echte Erleichterung, die die Thematik zugänglicher machen würde, da der Begriff des effektiven Zinssatzes schwierig genug ist. Auch wenn die Kenntnis solcher Formeln dank der Verfügbarkeit von KC nicht mehr unabdingbare Voraussetzung ist für die reine Ausrechnung irgendeiner Größe, so sind solche Formeln nach wie vor essentiell für die begriffliche Durchdringung inner- und außermathematischer Gegenstände. Allerdings sind heutzutage algorithmische Darstellungen sinnvollerweise in solche Begrifflichkeiten mit aufzunehmen (hier: Horner-Schema zur Auswer-

tung eines Polynoms), unabhängig von der Umsetzung auf dem TR oder KC.
Zurück zur Formel für den Zinssatz nach der Verordnung: Häufig werden Darlehen in monatlichen Raten Q (=R/12) zurückgezahlt. Die Verordnung berücksichtigt diese Verfrühung (Zinszeitpunkte finden ja immer nur nach vollen Jahren statt), indem sie die *einfache Verzinsung* bis zum Ablauf des Jahres vorschreibt, d.h. wenn eine Zahlung Q um t Jahre ($0<t<1$) vor dem Jahresende stattfindet, so wird sie behandelt wie die Zahlung $Q(1+tx)$ zum Jahresende, bzw. wegen $Q(1+tx)=tQ(1+x)+(1-t)Q$ so, als ob der Teil tQ am Ende des Vorjahres und $(1-t)Q$ zum Jahresende geleistet worden wäre (bei dieser Auffassung ist x eliminiert!). 12 Zahlungen von Q immer am Monatsende sind dann gleichwertig zu 5,5 Q am Vorjahresende und $6{,}5 \cdot Q$ am Jahresende, und Gleichung (1) wird zu
(1′) $(D-5{,}5Q)y^n = 12Q(y^{n-1}+...+1)-5{,}5Q$
Diese schöne und einsicht-fördernde Form findet man natürlich nicht, wenn man allzu zielstrebig auf die Algorithmisierung zusteuert; und die Autoren der Formel in der Verordnung haben sie auch prompt nicht gefunden - sie haben sie schon gar nicht gesucht.

II. Simulation: Die Gründe, warum in den Natur- (und anderen) Wissenschaften mit Hilfe von Simluationen geforscht wird (Ökonomie, Zugänglichkeit, Manipulierbarkeit u.ä.), rechtfertigen deren Verwendung in der Schule (SI) nicht direkt; die Berufung auf das Prinzip der Orientierung an der Wissenschaft ist hier allzu naiv. Die Gefahr ist, daß Lehrer und Schüler einen weiteren Vorwand haben, der (zugegeben: mühsamen) direkten Erforschung der Natur aus dem Weg zu gehen. Meiner Meinung nach sollen aber die Schüler die *Natur* kennenlernen und nicht, was sich ein Programmierer ausgedacht hat, und da gibt es im Laufe der wenigen Schuljahre viel zu tun. Zwar werden dabei auch Meßgeräte undurchschaut verwendet, aber deren Funktion ist dann jeweils nicht die Essenz; oder: es wird auch Wissen aus Büchern usw. geschöpft, der vermittelnde Charakter ist dabei jedoch klar. Besonders jüngere Kinder sind bei der C-Simulation in der Gefahr, diese für das Eigentliche zu halten und die Willkürlichkeit nicht zu erkennen.

Zum sinnvollen Einsatz von Simulationen gehört m.E. der Prozeß der Modellbildung wesentlich dazu, und diese setzt eine solide Begrifflichkeit, Kenntnisse und Erfahrungen voraus, so daß wieder ein recht langer fachlicher Vorlauf und erfahrungsgemäß intensive Lehrerhilfe erforderlich sind (s. z.B. Stein, Preprint 1055, TH Darmstadt 1987). Zu befürchten ist dann noch, daß der fachliche (Modelle zu primitiv, Parametersetzung usw. auf der rein rechnerischen Ebene ohne Verankerung im Inhaltlichen) und der mathematische Ertrag (Systeme können nur oberflächlich untersucht werden) gering bleiben.

Der MU ist zunächst über die Stochastik von dieser Problematik betroffen, allerdings in besonderer Weise, da ja Zufall normalerweise nicht als Naturphänomen, sondern als von Geräten erzeugt erfahren wird. Warum dann nicht gleich von *Anfang an* den C dafür verwenden? - Dagegen spricht weniger die Tatsache, daß er (selbstwidersprüchlich) nur algorithmische Pseudozufallsziffernfolgen erzeugt, sondern daß er den Zufallsbegriff noch geheimnisvoller macht, als er so schon ist, und suggeriert, daß er für diesen wesentlich sei. Mit einem Würfel o.ä. mag die Ziffernfolge "schlechter" sein, die prinzipielle Zufälligkeit kann aber besser einsehbar gemacht werden (wohlgemerkt: diese Argumentation bezieht sich auf den Einstieg).

III. Geometrie: In einem Geometrie- (G-) Curriculum nach meinen Vorstellungen sind auf allen Niveaus Dreidimensionalität, Anwendungen und stetige Operationen enthalten, womit der Bezug des GU zur räumlichen Umwelt vertieft werden soll. Diesen Prinzipien läuft ein GU auf dem C eher zuwider, ist doch der Bildschirm von der räumlichen Umwelt noch weiter entfernt als etwa das Zeichenblatt, das man z.B. wenigstens noch falten kann. Es ist auch zu beachten, daß die sog. Aktivitäten der Schüler am Bildschirm arg reduziert sind, nicht nur weil sie infolge kostenbedingter mangelhafter Ausstattung mit leistungsfähiger Hard- und Software zu selten stattfinden, sondern weil sie keine *genuin* geometrische Tätigkeiten wie Zeichnen, Messen oder gar Bauen usw. sind.
Nicht nur in der Geometrie, aber doch besonders im graphischen Bereich birgt die Software die Gefahr, die Schüler zu-

nächst einmal vordergründig zu *beeindrucken*. Auf diesen Effekt spekulieren Software-Entwickler sehr wohl (wogegen nichts einzuwenden ist); der erklärte Zweck besteht häufig darin, reichhaltiges und anregendes Material bereitzustellen als Grundlage für die eigentliche Begriffsbildung (etwa auch in der Analysis). Lehrer und Schüler müssen hierbei erkennen, daß die gedankliche Arbeit nach dem "Betrachten" der vom C erzeugten Phänomene erst richtig anfängt, und es besteht die Gefahr, daß dies nur unzulänglich geleistet wird.

Solche Erscheinungen sind aus dem herkömmlichen GU wohlbekannt: Wenn gewisse Sachverhalte allzu variantenreich dargelegt werden (etwa um vielerlei Beweisideen zu präfigurieren), wird das Beweisbedürfnis geradezu erstickt. In diese Falle ist auch Schwartz mit seinem viel gelobten und in den USA weit verbreiteten "Geometric Supposer" unbekümmert getappt: Wenn nämlich Schüler mit einfachen menü-gesteuerten Befehlsfolgen in kurzer Zeit viele Dreiecke auf dem Bildschirm hervorbringen, sich jedesmal die Winkelmaßsumme ausgeben lassen und dabei immer exakt 180° erhalten, so entstehen da weder Vermutungen, noch ein Beweisbedürfnis, noch gar Beweisansätze. Die Figuren, die da hintereinander erzeugt werden, haben nichts miteinander zu tun, so daß der eventuell angezielte Zweck der Förderung der Variablenauffassung wohl so gut und so schlecht eintritt wie im herkömmlichen U. Der "Cabri-Géomètre" (J.M.Laborde) ist für diesen Zweck weit besser geeignet, weil er *kontinuierliche* Veränderungen zuläßt. Allerdings sind die relevanten Beziehungen durchweg doch statisch zu analysieren; und dies wird möglicherweise eher dadurch gefördert, daß die Veränderung *in der Vorstellung* stattfindet, wobei diese eher günstiger durch eine Aneinanderreihung von Momentaufnahmen unterstützt wird.

Die Funktion des *Bildschirms als komfortables Zeichenblatt* mit genauer Schnittpunktbestimmung, Angaben von Koordinaten und Maßen usw. wird, wie andere C-Talente, erst im fortgeschrittenen Curriculum sinnvoll, nämlich wenn die Schüler das Zeichen- und Meß*handwerk* beherrschen oder wenn sehr *viel* zu zeichnen bzw. zu messen ist, z.B. bei funktionalen Betrachtungen (für die die existierende Software (vgl. die Untersu-

chungen von Schumann 1988) jedoch m.E. viel zu unflexibel
ist). Solche funktionalen Betrachtungen haben in der G-
Didaktik zwar eine lange Tradition, wurden aber immer wieder
verschüttet, sei es vor einem statischen kongruenz- oder ab-
bildungsgeometrischem Hintergrund. Ein Beispiel für solche
Betrachtungen ist die Wanderung in der mit den Faßkreisen zu
zwei festen Punkten überdeckten Ebene (ein Vorschlag von mir;
detaillierter ausgearbeitet von Schuppar in (Graf 1988)), für
die jedoch der KC zwar nützlich, aber nicht unerläßlich ist.

Der Bildschirm stellt zwar eine geeignete Metapher für die
Punktmengenauffassung von der Ebene dar: Es bewegen sich
nicht Punkte, sondern ihre Eigenschaft gefärbt zu sein, d.h.
betrachtet zu werden; anders als beim Zeichenblatt lassen
sich problemlos beliebige Mengen manipulieren; und Relationen
zwischen Mengen können leicht ohne stetige Übergänge herge-
stellt werden. Alles dies unterstützt jedoch die Zeichen-
blatt-G und nicht Bezüge zu räumlichen Umwelt.

Von Papert (1980) wurde gefordert, daß schon sehr junge Kin-
der an den KC gesetzt werden und am Bildschirm G treiben, und
zwar hat er dafür eine eigene G entwickelt, die sog. *Igel-G*.
Diese frühe und stark vereinnahmende Konfrontation mit dem C
ist wegen grundsätzlicher pädagogischer Bedenken von vielen
Pädagogen z.T. scharf abgelehnt worden (s. Bender 1987; wei-
tere Literatur dort). Aber auch für SI-Schüler ist die Igel-G
(i.e.S.) aus fachdidaktischer Sicht *ungeeignet*:
Es handelt sich dabei um ebene Streckenzug-G, und zwar sind
regelmäßige Polygone und Polygon-Spiralen als Spuren eines
Dreiecks ("Igel") zu programmieren, das gradlinig verschoben
und um seinen Schwerpunkt gedreht werden kann. Auf den
Selbstaufruf von Prozeduren (rekursives Programmieren) wird
Wert gelegt, und die Idee des Differentials soll präfiguriert
werden; z.B. wird der Kreis durch 360-malige Wiederholung des
Befehls "Gehe 1 LE vorwärts, drehe dich um 1° nach rechts"
als verschmiertes 360-Eck erzeugt, wobei globale Sachverhalte
wie die Schließung dieses Streckenzuges, der Mittelpunkt o.ä.
nicht in den Blick kommen. Für den differentialgeometrisch
Versierten lassen sich mit der Igel-G interessante Sachver-
halte darstellen; für Schüler bleibt die lokale Betrachtungs-

weise nichtssagend oder präfiguriert gar Fehlvorstellungen über Grenzwert, Stetigkeit usw.

Auch die Rekursion wirft (unabhängig vom Programmieren) bekanntlich grundsätzliche Verstehensschwierigkeiten mathematischer Art auf, zu deren Beseitigung das (undurchschaute) rekursive Programmieren allein m.E. nicht beiträgt, ebensowenig aber auch der Versuch, den technischen Abarbeitungs-Prozeß nachzuvollziehen, zumal dies, bei nicht-endständiger Rekursion, nur wenigen Probanden gelingt. Auf diesen Nachvollzug kommt es den Befürwortern aber gar nicht an (s. z.B. Löthe in (Graf 1988)), sondern auf die Verwendung einer wirkungsvollen Programmiertechnik. Da fragt sich natürlich, warum die Schüler nicht gleich noch komfortabler vorgehen und höhere Software einsetzen oder, umgekehrt, (verständig) iterativ programmieren sollen, was den für den MU der SI geeigneten Problemen sowieso angemessen ist.

Der den Schülern erschließbare mathematische Gehalt der Igel-G ist sehr eng. Es ist mir lediglich ein bemerkenswerter Satz bekannt geworden: Beim Durchlaufen eines ebenen einfachen geschlossenen Streckenzuges macht der Igel eine Volldrehung.
Auf dieses Sandhäufchen baut Papert eine *Bildungsutopie* auf, in der Kinder ohne Schule, ohne Lehrer selbständig Mikrowelten erforschen, die ihnen der KC primär mit der Igel-G bereitstellt, und dabei gedanklich Leistungen vollbringen, die heutzutage Universitätsniveau darstellen. Viele Anhänger dieser Utopie sind inzwischen auf Grund von Erprobungen stark ernüchtert, insbesondere die Lehrerlosigkeit hat sich als verfehlt herausgestellt, und man beruft sich auf pädagogischem Gebiet nur noch auf Versatzstücke des Papertschen Ansatzes.
Konzeptionell und technisch wurde die Igel-G mehrfach aufgepäppelt (Peil-G, Raum-Igel, Achsen-Igel u.a.m.). Ein wichtiges Paradigma ist und bleibt dabei, daß die Schüler die Zeichnungen selbst programmieren unter Benutzung vorgefertigter und vor allem selbst entwickelter Prozeduren, die als Abstraktionen und als Handlungsanweisungen für die Zeichungen fungieren sollen. Diesem Paradigma geht allerdings der operative Charakter im Sinne von Bender/Schreiber (Operative Ge-

nese der Geometrie, Wien 1985) ab: Es fehlt nämlich der Umweltbezug und die Sinnhaftigkeit, d.h. die Verankerung und Begründung in der Sphäre menschlicher Bedürfnisse. Außerdem sind die sog. Handlungen einer geometrischen Herstellpraxis total entfremdet: Es werden ja nur Bewegungskommandos per Tastendruck gegeben.

Immerhin läßt sich *mit solchen Prozeduren mental operieren* anhand von Fragen wie: Wann sind zwei Prozeduren äquivalent? Was passiert, wenn man links/rechts (vor-/rückwärts; beides) vertauscht? Kann man mit der Quadratprozedur beliebige Rechtecke erzeugen? Und umgekehrt? Usw. Außerdem sind solche Prozeduren als geometrische Objekte handfester denn mathematische Definitionen oder algebraische Charakterisierungen (durch Symmetriegruppen) geometrischer Formen. Allerdings ist die Menge sinnvoller mentaler Operationen offenbar nicht allzu umfangreich, und wie gut sie mathematische Sachverhalte (wie die Mengeninklusion) unterstützen, sei dahingestellt. Schließlich ist nicht zu verhindern, daß die Schüler doch dazu neigen, mit dem optischen Eindruck zu argumentieren, und dies wird in didaktischen Entwürfen verständlicherweise ausgenutzt, z.B. von Paetzold/Pilz (in Graf 1988): Die Schüler erkennen das allgemeine Parallelogramm als nicht spiegelsymmetrisch, weil sie es nicht mit dem "Achsen-Igel" (eine Verdoppelung des Igels, mit der ausschließlich spiegelsymmetrische Bilder erzeugt werden) zeichnen können.
Allerdings ist die Berufung auf *einen* Zeichen-Versuch eigentlich ungenügend, und selbst wenn es mit *mehreren* besonderen Lagen der Spiegelachse versucht worden wäre, müßte immer noch begründet werden, wieso andere Lagen nicht in Betracht kommen, und bei jedem Versuch wäre eine verbale Erläuterung für die Abweichung der Konstruktion vom vorgegebenen Parallelogramm erforderlich. Diese Argumentation auf der Programm-Ebene durchzuführen, ist m.E. (nicht nur im vorliegenden Fall) hochgradig schwierig. Außerdem dürfte der C-GU hier das Schicksal des herkömmlichen GU teilen, nämlich: der einmalige Fehlversuch wirkt so überzeugend, daß er das Bedürfnis nach weiterer Begründung erstickt.

Wiederholt ist nun eine gewisse Tragik der C-Didaktik zutage

getreten: Wo sie meint, mit ihren Mitteln gewisse Mangelsymptome im MU abstellen zu können, stellt sich oft heraus, daß die Mängel tiefer oder woanders als gedacht liegen, daß neue Mängel auftreten, alte perpetuiert werden, die M-Didaktik bereits über manche Konzeptionen schon hinweg ist usw. Dies ist nicht ganz zufällig, bringt doch der C gewisse Fehlentwicklungen der M-Didaktik auf den Punkt: Vordergründige Ausrichtung am Stoff, naive Adaption von Erkenntnistheorie, -psychologie u.a., oberflächliche Übernahme pädagogischer Ideen usw.

Ich meine, daß der KC im MU im 10., eventuell schon im 9.Schuljahr sinnvoll verwendet werden kann; es bedarf aber sehr sorgfältiger didaktischer und methodischer Analysen, wie sie derzeit noch selten vorliegen. Gegen Ende der Pflichtschulzeit wachsen die Möglichkeiten zum KC-Einsatz zwar sprunghaft an, und man mag es bedauern, daß viele davon aus zeitlichen Gründen nicht realisiert werden können; es wäre aber verfehlt, sie in frühere Jahre vorzuziehen. Man sollte sich auch vor Augen halten, daß für die überwältigende Mehrheit der Bürger die Nutzung des C im Berufs- und Privatleben in ausgesprochen simpler Form stattfinden wird.

Literatur:

Bender, P.: Kritik der Logo-Philosophie. In: JMD 8, 3-103 (1987); (dort einige der o.a. Quellen genauer)

Graf, K.-D. (Hrsg.): Computer in der Schule 2. Stuttgart: Teubner 1988