

Peter Bender

Kritik der Logo-Philosophie

Summary: The Logo philosophy is an educational utopia containing far-reaching pedagogical aims as well as the claim that these aims could be reached if only every child were to become acquainted with the computer early on, work with it extensively, and use the programming language 'Logo' in the 'right' way. This utopia is criticized in this paper: When setting the aims and presenting the means, decisive aspects of a pedagogical, psychological, anthropological, sociological, economical etc. nature are not or only insufficiently considered. Instead, the concept conforms one-sidedly to the needs and possibilities of the medium 'computer' and the programming language 'Logo'. The benefits as claimed for the learning of mathematics and other subjects, for cognitive abilities, for the development of the mind in general, for attitudes, social behaviour etc. are neither substantiated by theoretical reasoning nor verified in practical projects sufficiently.

(Für ergiebige Diskussionen und wertvolle Hinweise möchte ich mich bei K. Heidenreich, Reutlingen, H. Köhler, Urbach, H. Löthe, Ludwigsburg, R. Powarzynsky, Koblenz, G. Richenhagen, Paderborn, und H. Spiegel, Paderborn, sowie bei den Gutachtern und den Herausgebern des JMD bedanken.)

Inhalts-Verzeichnis

0. Methodologische Vorbemerkungen	4
1. Der erziehungspolitische Ort der Logo-Philosophie	8
2. Der Primat der Mathematik	13
3. Die Pädagogik der Logo-Philosophie	20
4. Die Erkenntnismittel der Logo-Philosophie	29
4.1 Programmieren als Form des Denkens	29
4.2 Zur didaktischen Relevanz informatischer Charakteristika von Logo	37
4.3 Zum Transfer der programmierend erworbenen Denk-Prozeduren	56
5. Die Bezüge der Logo-Philosophie zu Politik, Ökonomie, Gesellschaft	74
6. Die bisherige Praxis der Logo-Philosophie	80
7. Methodologische Kritik der Logo-Philosophie	86
Literatur	94

0. Methodologische Vorbemerkungen

Zum Wesen wissenschaftlicher Betätigung gehört die Auseinandersetzung mit den Positionen anderer Teilnehmer am Wissenschaftsbetrieb. Unterschiedliche Positionen können sich aus unterschiedlichen Voraussetzungen, Zielen, Begriffsauffassungen usw. ergeben. In einer Disziplin mit einer kaum formalisierten Sprache, wie sie die Pädagogik ist, kommen Mißverständnisse und unüberbrückbare Gegensätze verbreitet vor. Diesen Kommunikations- und Begriffs-Schwierigkeiten in der Pädagogik mittels einer Formalisierung ihrer Sprache in Verbindung mit einer Objektivierung ihrer Begriffe grundsätzlich beikommen zu wollen, halte ich für im Ansatz verfehlt: der Gegenstand der Pädagogik ist dafür zu komplex, vielschichtig und vieldeutig. Er selbst, und nicht erst seine Behandlung, birgt die Probleme.

Insbesondere auf dem Gebiet der Pädagogik arbeitende Formalwissenschaftler (Mathematiker, Informatiker) neigen dazu, sich mit dieser Zustandsbeschreibung nicht abzufinden und sich um Abhilfe zu bemühen, zumindest partiell. Auftrieb haben diese Bemühungen durch die AI-Forschung (Artificial Intelligence; Künstliche Intelligenz) erhalten, so daß sie gegenwärtig eng an die Möglichkeiten des Computers gekoppelt sind. Natürlicherweise richtet sich die AI-Forschung auch auf die Pädagogik (da künstliche nicht getrennt von natürlicher Intelligenz untersucht werden kann), aber eben nur auf einen Teilbereich, den man mit 'die menschliche Erkenntnis(-fähigkeit) betreffend' umreißen könnte. Diese pädagogischen Ambitionen artikulieren sich in sehr formaler Weise: So werden der Mensch in seiner Eigenschaft als Problemlöser, aber auch in seinem Menschsein schlechthin (Simon 1969:25), einerseits und die Maschine andererseits gleichermaßen als informations-verarbeitendes System aufgefaßt (Newell/Simon 1971/1972:870).

Weit über ihr ursprüngliches Arbeitsgebiet hinausgehend äußern sich einige AI-Forscher, z.B. der Mathematiker Seymour Papert, zu allgemeinen und speziellen pädagogischen Fragen in verschiedensten Bereichen. In seinem Buch "Mindstorms. Children, Computers, and Powerful Ideas" hat Papert 1980 eine umfassende Bildungs-Utopie entworfen, die sog. Logo-Philosophie ('Philosophie' ist hier nicht so schwergewichtig gemeint, wie es für uns Deutsche klingt; es bedeutet eher: Grundsätze). Das Buch, das ich im folgenden in der Ausgabe von Basic Books nur mit der jeweiligen Seitenzahl ohne jeden Zusatz zitiere (zur Unterscheidung sind Verweise innerhalb meines Aufsatzes immer mit der Kürzel 'S.' versehen), ist in einer nicht-formalisierten Sprache geschrieben. Dieser Um-

stand gibt Papert Gelegenheit, seine rhetorische Begabung einzusetzen, negative Erscheinungen des gegenwärtigen Erziehungswesens pointiert zu beschreiben, seine Vorstellungen mit geschickt gewählten Beispielen zu unterstützen, aber auch vielen Behauptungen, Vermutungen und Ankündigungen einen Anstrich des Zwingenden zu verleihen. Nach meiner Einschätzung ist die Suggestionskraft der Sprache Paperts ein entscheidender Faktor für eine breite, teilweise sehr wohlwollende Aufnahme seiner Vorstellungen beim pädagogischen Publikum.

Kapitel-Übersicht

Diese Vorstellungen sollen nun im folgenden eingehend analysiert werden, natürlich nicht losgelöst von der allgemeinen Diskussion über die Nutzung des Computers im Bildungswesen. Zunächst gebe ich in Kap.1 eine kurze Einführung in die Logo-Philosophie. In Kap.2 untersuche ich die Rolle der Mathematik in der Logo-Philosophie: In ihrer Anfangszeit (um 1970) war diese fast ausschließlich, und auch heute noch ist sie wesentlich auf das Lernen von Mathematik gerichtet. Zugleich ist ihr Kernstück, die Turtle-Geometrie, unter fachinhaltlichen, anwendungspraktischen und lebenswelt-bezogenen Aspekten zu wenig relevant. Dann versuche ich in Kap.3 eine Rekonstruktion der pädagogischen Grundannahmen der Logo-Philosophie, die Bussmann/Heymann (1985:78; im folgenden mit Bu/He zitiert) treffend als "rousseauistisch" charakterisiert haben. Im zentralen 4. Kapitel gehe ich der Frage nach, wie und was (außer Programmieren) eigentlich beim Programmieren mit Logo gelernt werden soll. Wegen seines Umfangs ist dieses Kapitel in drei Abschnitte eingeteilt: In 4.1 erörtere ich das Konzept des Computers als "tutee", den zu 'unterrichten' den Programmierer zum Versprachlichen und damit zum Reflektieren und schließlich zum Lernen bringen soll. In 4.2 überprüfe ich die didaktische Eignung gewisser informatischer Merkmale, die in der Literatur in Verbindung mit der Programmiersprache 'Logo' diskutiert werden: Interaktivität, Rekursivität, Modularität und Debugging. Und in 4.3 gehe ich dann auf die für die Logo-Philosophie beanspruchten Wirkungen in diversen Bereichen der Wissenschaft und des Alltags außerhalb der Mathematik ein. Im 5. Kapitel wird der Bezugsbereich nochmals ausgeweitet, und zwar geht es nun um politische, ökonomische und soziale Aspekte. Allerdings sind die Betrachtungen dazu recht kurz, da in der Logo-Philosophie selbst diese Fragen so gut wie ignoriert werden. Danach wird im 6. Kapitel die Analyse auf die Praxis der Logo-Philosophie ausgedehnt, wie sie sich bis jetzt darstellt. Im 7. Kapitel schließlich wird die in "Mindstorms" niedergelegte Methodologie der Logo-Philosophie einer zusammenhängenden Kritik unterzogen.

Sprechweisen

Auch wenn Papert ein ganz anderer Typ von Lern-Organisation vorschwebt als die Regelschule in der Ersten, Zweiten oder Dritten Welt, kann man seine Vorstellungen nicht losgelöst vom real existierenden Bildungswesen diskutieren; denn er wendet sich ja an Mitglieder eben dieses Systems, und diese sprechen sich, wenn sie der Logo-Philosophie überhaupt etwas abgewinnen können, meist dann doch nur für eine Anbindung an den herkömmlichen Unterricht aus. Vertreter dieser Position werde ich im folgenden LiU-Befürworter (Logo im Unterricht) o.ä. nennen, die wiederum Teil einer großen, heterogenen CiU-Bewegung (Computer im Unterricht) sind. 'CiU-Bewegung' ist nicht so zu verstehen, daß automatisch jeder, der dem CiU etwas Positives abgewinnen kann, dazu gehört; es bedarf vielmehr eines Elements der aktiven Befürwortung oder in didaktischen Analysen u.ä. eines gewissen Primats computer- bzw. informatik-bezogener Gesichtspunkte gegenüber herkömmlichen Bildungsinhalten. Keinesfalls sollen die verwendeten Sprechweisen eine exakte Klassen-Einteilung suggerieren. - Von den LiU-Freunden aus kommt man mit fließenden Übergängen zur Logo-Gemeinde, die aus den Anhängern der Logo-Philosophie i.e.S. besteht und natürlich auch nicht homogen ist.

Es ist eigentlich verfehlt, im Zusammenhang mit dieser von 'Schule', 'Unterricht' u.ä. zu reden. Andererseits sind diese Ausdrücke doch am Platz, wenn es um die Relevanz der Logo-Philosophie für das real existierende Bildungswesen geht. In dieser ganzen Auseinandersetzung interessiere ich mich nur für die Belange der Allgemeinbildung in der Pflichtschule; in der BRD betrifft das den Bereich der Primar- und Sekundarstufe I (den ich im folgenden mit 'Schule' meine), also Kinder und Jugendliche bis zum Alter von etwa 16 Jahren (auch die oben eingeführte Rede von CiU und LiU bezieht sich nur auf diesen Bereich). - Einen allgemeinbildenden Anspruch hat auch die Logo-Philosophie; allerdings will sie diesen auf eine vom bestehenden Bildungssystem gänzlich abweichende Art und Weise einlösen. Es scheint daher angebracht, bei ihr allgemeiner von Lern-Ort, -Situation, -Umgebung u.ä. und von Lernenden zu reden (bzw. von jungen Lernenden, wenn es um die Altersgruppe geht, deren Intelligenz im herkömmlichen Sinn gerade erst bzw. noch nicht voll entwickelt ist, also in der gegenwärtigen Situation die bis zu 16-Jährigen).

Zielbereich und Inhalt der Kritik

So mancher Kritikpunkt entspringt keineswegs 'besserem Wissen' meinerseits, sondern besteht eventuell nur im Hinweis auf fehlende Schlüssigkeit, im Zwei-

fel am Zutreffen einer Behauptung oder im Kenntlichmachen einer mehr oder weniger verborgenen, häufig pädagogisch-normativen, Voraus-Setzung usw. Es handelt sich also um eine Art Vertiefung von Paschens (1985, 1986) Analyse computer-didaktischer Arbeiten, konzentriert auf die Logo-Philosophie. Trotz seinem konsequent rasterhaften Vorgehen gelingt es übrigens auch Paschen nicht, strikte 'Neutralität' zu wahren (unbeschadet der Frage, ob er dies überhaupt will), auch wenn er nicht nur CiU-Anhängern, sondern auch -Gegnern Argumentationsmängel vorhält (1986:40f).

Wo es um eine derart weitgehende Veränderung des Erziehungswesens wie die Computerisierung geht (jedenfalls insoweit sie so einschneidend sein soll, wie in der Logo-Philosophie vorgesehen), sind die Aufgaben der Disputanten nicht so gleichgewichtig verteilt wie vielleicht bei einem dialogischen mathematischen Beweis (im Sinne Lorenzens, 1962). An die Überzeugungsarbeit, die die Proponenten der Veränderung (z.B. die Logo-Gemeinde) zu leisten haben, sind nach meinem Dafürhalten höhere Anforderungen zu stellen als an die Einwände des Zweifels und der Befürchtungen der Opponenten.

Die meisten Streitfragen, insbesondere die wesentlichen, lassen sich auch nicht mit empirischen Untersuchungen entscheiden. Fallstudien etwa setzen nämlich eine breite Basis des Konsens voraus und sind ungeeignet, bei grundsätzlichen Differenzen den Ausschlag zu geben. Und statistischen Massen-Untersuchungen wird zwar (besonders in Amerika) eine gewisse Beweiskraft zugesprochen, aber - und darin bin ich mir mit der Logo-Gemeinde einig - die Fragen, die damit auf dem Gebiet der Pädagogik erledigt werden können, tragen zur grundsätzlichen Diskussion zunächst nicht allzu viel bei, obwohl sie aber einen hohen Aufwand erfordern. An verschiedenen Stellen, insbesondere im 6. Kapitel, werde ich den Problembereich der Empirie noch streifen. Zur möglichen Beweiskraft hier nur so viel:

Nehmen wir einmal die Frage, ob iteratives oder rekursives Programmieren besser geeignet sei, eine Frage mit dem Vorzug, daß ihr bereits ein breiter Konsens über den CiU unterliegt (auf die ich auf S.48ff noch ausführlicher eingehe). Wieviel von ihrem Wesen bei einer Operationalisierung (was heißt überhaupt 'geeignet?') erhalten bleibt, sei dahingestellt. Fraglich ist auch, ob das Merkmal 'Kontrollstruktur' einerseits schon differenziert genug ist und andererseits überhaupt inhaltlich von anderen isoliert werden kann. Zur Ausschaltung des Einflusses einer Menge sonstiger dominanter Variablen (Lehrperson, soziale Schichtung usw. usf.) ist eine viel breitere Stichprobe erforderlich als das übliche Dutzend (Schulklassen), und vor allem wäre auch eine Un-

tersuchung langfristiger Wirkungen wichtig. Am Schluß käme man dann womöglich zu dem Ergebnis, daß keine signifikanten Unterschiede vorliegen.

Die Schwierigkeiten der Proponenten der Veränderung werden noch dadurch verschärft, daß der, auch nur experimentellen, Realisierung ihrer Vorstellungen durch das bestehende System ein enger Rahmen gesetzt ist. Und schließlich könnten die Bedenken der Opponenten so stark sein, daß ihr (subjektives) Verantwortungsbewußtsein ihnen gebietet, ihre wissenschaftlichen Interessen hintanzustellen und Versuche auch mit kleinen Populationen abzulehnen. Diese ethische Frage stellt sich hier lange nicht so existentiell wie bei der Atom-, der Gen- oder der AI-Forschung, aber so ganz harmlos wird die Logo-Philosophie von manchen Kritikern nicht gesehen.

Nun ist die Existenz des Computers in der Schule inzwischen (so gut wie) ein Faktum; und es ist wohl nicht bestreitbar, daß eine gewisse gemäßigte Verwendung (etwa im Sinne Brophys, 1985; vgl. auch GDM 1986 u.a.) durchaus von pädagogischem bzw. didaktischem Nutzen sein kann. Selbstredend ist mit dem Einsatz des Computers in der Schule die Frage nach der Berechtigung und Notwendigkeit von einschlägigen empirischen Untersuchungen entschieden, und zwar positiv. Daß der aktuelle Stand in sich den Keim für eine zwingende Entwicklung auf eine Systemveränderung à la Logo-Philosophie hin birgt, ist jedoch nicht ersichtlich, und schon gar nicht, daß er eine Legitimation für entsprechende Experimente liefert.

1. Der erziehungspolitische Ort der Logo-Philosophie

Firma XYZ "will Mädchen Computern lehren ... und mit gezielten Förderprogrammen ... dazu beitragen, daß sich auch auf diesem Gebiet keine 'Rollenbilder verfestigen'." Nachrichten dieser Art (aus dem Wirtschaftsteil der Mainzer Allgemeinen vom 31.08.1985) müßten eigentlich auch dem gutgläubigsten und computer-freundlichsten Pädagogen die Augen für die handfesten Interessen öffnen, die hinter so manchem Plädoyer für eine extensive Nutzung des Computers in der Schule stehen. Dies könnte seine Fähigkeit zur Wahrnehmung von Kurz-, Trug-, Zirkelschlüssen u.ä. in solchen Plädoyers und seine Bereitschaft zur Kritik daran fördern und ihn auf weitere sekundäre Motive stoßen lassen:

Mögliche sekundäre Motive von CiU-Befürwortern

- a) Die Schule ist ein nicht zu vernachlässigender Markt für Hersteller und Vertreter von Computer-Hardware, -Software und -Zubehör (z.B. Schulbücher) mit einer auf die Computer-Marke prägenden Funktion.
- b) Es ist im Sinne von Militär, Industrie und Verwaltung, wenn Schüler und -zunächst noch notwendig - mit ihnen ihre Eltern an die Allgegenwart des Computers herangeführt und gewöhnt werden, insbesondere auch im Hinblick auf eine spätere Vernetzung.
- c) Für die Wissenschaft 'Informatik' bedeutet es insgesamt eine Stärkung, wenn sie als Fach in der Schule verankert ist; sie kann u.a. ihren Nachwuchs leichter rekrutieren und erhält Arbeitsplätze für potentiell arbeitslose Informatiker als Lehrer zur Verfügung.
- d) Die AI-Forschung hat ein imperialistisches Wesen (wie sich Weizenbaum, 1976/1977:337ff, Turkle, 1984:310ff, u.a. ausdrücken) und neigt zur Vereinnahmung von Humanwissenschaften wie Philosophie, Psychologie und Pädagogik, was zum einen in der Sache begründet ist, zum anderen zum Nachweis ihrer Existenzberechtigung beiträgt.
- e) Für zahlreiche Lehrer und Didaktiker wird das Steckenpferd der Computerei auf einmal zu einer berufs-relevanten Tätigkeit aufgewertet.

Anders als diese Zusammenstellung vielleicht suggeriert, sind die wenigsten dieser Beweggründe von vorneherein verwerflich; man hat sie sich aber als extrinsische Einflußgrößen für die Diskussion über den Computer in der Schule bewußt zu machen (s.a. Prah 1981). Außerdem müssen sich auch die Vertreter der etablierten Schulfächer ähnliche Interessen zurechnen lassen, z.B. für den Mathematik-Unterricht: Der Sputnik-Schock hat in den USA nach 1957 (und später auch in der BRD) eine gewaltige Förderung dieses Faches ausgelöst (Motiv b). Ein Beispiel für Motiv c) ist die Einflußnahme des Mathematikers Klein auf die deutsche Mathematik-Didaktik zur Stärkung seines Universitäts-Faches Anfang des 20. Jhdts. (nach Mehtens 1982:76ff). Mit AI (und ihrem Imperialismus) ist Mathematik eng verbunden (Motiv d). Die Liebe des Lehrers zum eigenen Fach schließlich ist eine wichtige Voraussetzung für guten Unterricht; allerdings kommen dabei so manches Mal schüler-bezogene Motive zu kurz (e). Es sind eigentlich hauptsächlich Vorgängigkeit und Ausmaß der kommerziellen Interessen (Motiv a), durch die sich die Diskussion um den Computer von den Rechtfertigungsbemühungen für andere Themen abhebt.

Welche Situation findet die CiU-Bewegung vor?

So wenig also mit der Nennung dieser sekundären Motive von CiU-Befürwortern gemeint sein soll, daß im herkömmlichen Schulsystem keine solche Motive vorhanden wären, so wenig drückt die Ablehnung einer extensiven Computerisierung der Schule Zufriedenheit mit den bestehenden Verhältnissen aus. In der Tat trifft Paperts Kritik besonders an der US-amerikanischen Spielart des Erziehungssystems (sagen wir, der westlichen Welt), in vielen Punkten zu (ist allerdings keineswegs neu). Aber nach Sardello (1984) ist das, womit da dieses System gerettet, verbessert oder umgewälzt werden soll, die Komplettierung genau seiner Mängel, nämlich seiner Technokratisierung und Weltbild-Mechanisierung, und der Erfolg einer gewissen Propaganda, die "enthusiastische und unkritische" (Davy 1984:549) Annahme des Computers durch viele Pädagogen, geradezu ein Symptom dieser Mängel. Sloan (1984) hält die ganze Diskussion insofern für heilsam, als sie Erziehungswissenschaftler, Didaktiker und Lehrer zur Auseinandersetzung mit Fragen zwingt, die unabhängig vom Computer schon längst hätten gestellt werden müssen.

Vom Einzug des Computers in den Unterricht verspricht sich Cuffaro (1984:565f) Offenheit und Fortschritt in der pädagogischen und didaktischen Diskussion überhaupt, weil wir ja alle Anfänger seien (ähnlich Papert 115). Diesen Optimismus teile ich nicht ganz, da sich auf dem Gebiet 'CiU' sehr wohl schon ein Establishment herausgebildet hat, das sich über das Ausgewiesensein durch einschlägige (in der Regel stoffdidaktische i.e.S.) Arbeiten definiert und unterschiedlich entsprechende Anforderungen an potentielle Diskussionsteilnehmer stellt.

Zum Glück halten sich inzwischen manche sogenannte Computer-Laien nicht daran und weisen auf dringende Probleme hin, die in der 'Fach'-Literatur nicht gesehen, geschweige denn gelöst werden. Z.B. weiß man nach wie vor wenig über die Auswirkungen von Computer-Unterricht auf Schüler, und das Wenige widerspricht sich teilweise auch noch: s. etwa Kulik/Bangert/Williams (1983), Sheingold/Kane/Endreweit (1983:431), Slesnick (1984), Lehmann/Lauterbach (1985); bemerkenswerterweise gab es auch z.B. null Vorträge darüber auf der 4. Weltkonferenz über Computer im Unterricht (Duncan/Harris 1985).

Mein eigener Standort in dieser Diskussion ist der des Didaktikers und Mathematikers mit über 20-jähriger aktiver Computer-Nutzung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung und ausgesprochener Hochschätzung des Computers als Werkzeug ("tool").

Kurzfassung der Logo-Philosophie

Das ist allerdings nicht gerade die Verwendungsart, auf die sich die Logo-Philosophie gründet, die von Seymour Papert, Professor für Mathematik am Massachusetts Institute of Technology (MIT), entwickelt und 1980 in "Mindstorms" niedergelegt wurde. Dieses Buch ist nach wie vor das grundlegende Werk über die Logo-Philosophie und hat sich bei einer inzwischen westlichen-welt-weiten Logo-Gemeinde zu einer Art Kultbuch entwickelt, mit Papert als 'Meister', den es auszulegen gilt und der sich manchmal sogar noch selbst äußert und die Richtung weist.

Die Logo-Philosophie besagt, daß das derzeitige US-amerikanische Erziehungssystem als Produkt der Prä-Computer-Kultur verrottet sei und daß es mit Hilfe des Computers revolutionär zu verbessern sei, und zwar nicht durch den Einsatz des Computers im 'Unterricht' schlechthin, sondern durch einen ganz besonderen Gebrauch: Die Schüler sollen ihn als "tutee" (d.h. 'zu Unterrichtenden') benutzen, indem sie ihn programmieren (d.h. ihm den Lernstoff beibringen) und dadurch gezwungen sind, ihre Gedanken zu verbalisieren und über ihr Denken nachzudenken. Dabei lernen sie Inhalte (vorwiegend mathematische) und Denken. Es darf aber nicht eine beliebige Programmiersprache (besonders nicht Basic, 33ff; s.a. Goldenberg 1984:81) verwendet werden, sondern nur Logo, ein Dialekt der Lisp-Programmiersprachen-Familie, der am MIT unter wesentlicher Mitwirkung Paperts entstanden ist. Eigentlich ist es sogar nur das Logo-Teilsystem 'Turtle-Geometrie' (bzw. noch zu entwickelnde Nachfolge-Systeme), das, zusammen mit der Organisation der Lern-Umgebung wie brasilianische Samba-Schulen, die Umwälzung des Schulsystems hervorbringt und zwar konkret: die Diskrepanz zwischen Natur- und Kulturwissenschaften beseitigt und die Institution 'Schule' in ihrer derzeitigen Form überhaupt verschwinden läßt. Bu/He (80) haben über zehn pädagogische und didaktische Einzelleistungen aufgelistet, die Papert über das Buch verteilt der Programmiersprache 'Logo' zuschreibt (vgl. a. Kap.7).

Zur Geschichte der Kritik

Kritik an der Logo-Philosophie scheint es von Anfang an immer wieder gegeben zu haben, so daß Papert sich bemüßigt fühlte, Skeptiker und Kritiker aufzufordern, sich doch auch mal schriftlich zu äußern (219). Trotzdem (oder deswegen?) dauerte es noch einige Jahre, bis die ersten Arbeiten erschienen, die sich mit Computer-Unterricht überhaupt und der Logo-Philosophie im besonderen anders als willkommenheißend befaßten. Anscheinend hatte man die Kraft der

CiU-Bewegung und ihrer Speerspitze 'Papert' unterschätzt oder gehofft, daß man die Auseinandersetzung den am Computer besonders interessierten Kollegen überlassen könnte bzw. daß das Bildungssystem hinreichend träge und resistent sei. Mit die erste kritische Veröffentlichung war eine Art Rezension von "Mindstorms" durch S. Brown (1982/1984); dann wurde ein ganzes Heft des Teachers College Record (1984) der Kritik an der CiU-Bewegung gewidmet, wobei sich einige der Aufsätze mehr oder weniger explizit mit der Logo-Philosophie befaßten; es folgten mehrere Beiträge deutscher Mathematik-Didaktiker (Müller 1984, Radatz 1984, Bauersfeld, 1984/1985, 1985, Röttel 1985, und insbesondere Köhler 1985), darunter einige wieder speziell auf "Mindstorms" bezogen (Bu/He 1985, Richenhagen 1985 und Bender 1985).

In Diskussionen und beim Entstehen der vorliegenden Arbeit wurde ich immer wieder auf die informatischen Vorzüge der Programmiersprache 'Logo' einerseits und ihre Motivationswirkung auf Kinder andererseits hingewiesen und (sinngemäß) gemahnt: "Und wo bleibt das Positive?" - Es ist anzuerkennen, daß Logo für einen Informatik-Unterricht mit Zielen, die über eine informations-technische Grundbildung deutlich hinausgehen, oder für einen Mathematik-Unterricht, der sich mit einschlägigen Spezialfragen befaßt, bestimmt eine Bereicherung ist und eine aufwendige didaktische Diskussion hierfür wohl entbehrlich ist.

Aber die Logo-Philosophie richtet sich ja auf das ganze Erziehungssystem und gemäßigte Spielarten immer noch auf die geistige Entwicklung aller Kinder. Auch mit diesen Ansprüchen müßte man sich vielleicht nicht auseinandersetzen, wenn die LiU-Bewegung nicht eine beachtliche Verbreitung gefunden hätte (vielleicht weniger im alltäglichen Unterricht, aber in Publikationen). Die meisten LiU-Anhänger (von Logo-Fachleuten bis hin zu -Laien) distanzieren sich zwar von dem usurpatorischen und radikalen Charakter der Logo-Philosophie, stützen sich aber doch wohl oder übel, mehr oder weniger explizit, eventuell nur partiell auf diese und fördern damit objektiv deren Popularität. Ein typisches Beispiel sind die - durchweg nicht substantiierten - Verweise auf die Möglichkeiten von Logo im Tagungsband des 5. Internationalen Kongresses über Mathematik-Unterricht (Carss 1986:68f, 103, 131, 173, 363).

Von dieser Popularität ist der Primar- und Sekundar-I-Bereich in der allgemeinbildenden Schule zumindest mittelbar sehr wohl betroffen. Die Belange dieses Bereichs, zugespitzt auf die Frage "Soll das Programmieren in Logo Teil der Allgemeinbildung für jeden sein?", bilden den Hintergrund für die nun folgende Analyse. Viele der zu erörternden Kritikpunkte beschränken sich keineswegs ausschließlich auf die LiU-Problematik, vielmehr sind über weite Strecken

die CiU-Diskussion allgemein und die herkömmliche (computer-lose) Erziehungs-Theorie und -Praxis gleichermaßen betroffen. Die Logo-Philosophie bietet dabei allerdings den 'Vorzug', gewisse (von mir so gesehene) Fehlerscheinungen auf den Punkt zu bringen.

2. Der Primat der Mathematik

Während Freunde der Programmiersprache 'Logo' (etwa Hoppe 1984:22ff, Ziegenbalg 1984, Löthe 1985a u.a.) deren Vollwertigkeit und Überlegenheit gegenüber anderen Programmiersprachen unter verschiedenen Gesichtspunkten betonen, erklärt Papert, daß Logo eigens erfunden worden sei, um Kindern besser Mathematik beibringen zu können (1972:253, s.a. 53). Es erscheint zunächst merkwürdig, welch schmalen Sektor der Mathematik er dabei meint, nämlich die mathematische Erfassung von physikalischen Bewegungen. Arithmetik und Algebra hält er zum Einstieg in die Mathematik für weniger geeignet (1972:251 und 65); dagegen hat er viel für den Differentialkalkül übrig (67, 161). Die Anwendungsbeispiele entstammen diesem Bereich: Laufen, Balancieren, Radfahren, Jonglieren usw. (1972 und 1980; s.a. Eyferth u.a. 1974:73f). Die Objekte der Turtle-Geometrie, dem zentralen mathematischen Stoff schlechthin (1972 und 51ff u.a.), sind Bewegungs-Spuren eines 'gerichteten Punktes'. Dieser 'Punkt', heutzutage ein gleichschenkliges, nicht-gleichseitiges, kleines Dreieck auf einem Bildschirm, war ursprünglich eine von einem primitiven Roboter auf ebener, waagerechter Unterlage bewegte Schreibspitze (dieser Roboter ist auf dem Umschlag der englischen und der deutschen Hardcover-Ausgabe abgebildet: eine Halbkugel, die entfernt einer Schildkröte - engl. "turtle" - ähnelt und so dem ganzen Unternehmen den Namen besorgt hat).

Offenbar hat die Robotik, ein Teilgebiet der AI-Forschung, hier mit Pate gestanden (explizit erwähnt: 1972), unbeschadet der Tatsache, daß die ersten Schul-Experimente mit Logo sich nur auf das Listenverarbeitungs-Konzept bezogen (Moller 1984, nach Crawford 1985:143). Jedoch ist die Mathematik-Didaktik, die erste Station des o.a. AI-Imperialismus, inzwischen zum beherrschenden Anliegen geworden.

Selbst wenn mittlerweile weitere Stationen angepeilt sind, wie die Kulturwissenschaften, Kunst, Sport, die Denkweise der Kinder und das Schulsystem insgesamt, so hat die Mathematik für Papert 1980 noch dieselbe überragende Bedeutung, auch wenn er einmal relativierend feststellt, daß man, um über das Den-

ken nachdenken zu können, nun mal ein Objekt für dieses Denken brauche, wofür er halt die Mathematik wähle (10).

In seinen allgemeinen Ausführungen über Mathematik und das Lernen von Mathematik nimmt Papert oft gar nicht konkret Bezug auf den Stoff – ein einfaches Mittel, den Geltungsbereich dieser Ausführungen über die Mathematik hinaus offenzuhalten und zugleich das Wesentliche der Logo-Philosophie ohne ausdrückliche Erwähnung ihrer mathematischen Wurzeln darzustellen (s. meine eigene Zusammenfassung auf S.11) – für manche Pädagogen eine wichtige Voraussetzung dafür, ihr überhaupt näherzutreten zu können.

Trotzdem ist, wie gesagt, die Mathematik vorrangig: Turtle-Geometrie ist pure Mathematik; die "Mikrowelten" (welch vielversprechende Bezeichnung!) stellen sich als kleine mathematische Theorien heraus, die die Kinder durch Variierung der Axiome u.ä. erforschen sollen (z.B. 125). Der Erfolg, den Papert bei mehreren Kindern mit Leistungs- bzw. Motivations-Schwäche durch die Anwendung der Logo-Philosophie erzielt, drückt sich dann oft in Neigung zu Mathematik aus (45f, 65, 68, 151). Lernen (und überhaupt Denken) ist für ihn eine Fortsetzung von Mathematik. Diese zentrale Botschaft wird besonders augenfällig durch die Verwendung des Begriffs "mathetisch" für 'das Lernen i.w.S. betreffend' (39ff) und gar "Mathophobie" für die Angst vor dem Lernen und die Angst vor der Mathematik zugleich (38ff). Oder: Die Bourbakische Theorie der Mutterstrukturen sei eine Lerntheorie (160). Und: Wenn man nur einmal sehe, wie der Computer das Mathematik-Lernen verbessern kann, würde man erkennen, wie er auch für das Lernen in anderen Bereichen (z.B. des Alltags) Fortschritte bringt (47).

Der "Sinn" des Mathematik-Treibens

Mit einigen treffenden Bemerkungen zur Schul-Mathematik kann Papert durchaus Mathematik-Didaktiker und -Skeptiker für sich einnehmen (R. Fischer 1984 u.a.): Mathematik sollte getrieben und nicht gewußt werden (1972:249); Psychologen einerseits und Mathematiker andererseits berauben die Schul-Mathematik ihres die Kreativität anregenden Charakters (1972:250); man sollte sie entdeckend lernen und nicht dem Lehrer auf den Leim gehen (1972:250); Mathematik soll Bedeutung haben (47); die Neue Mathematik war eine "Trivialisierung von Mathematiker-Mathematik" (53); Mathematik soll anhand kraftvoller Ideen (m.E. bessere Übersetzung von "powerful ideas" als "mächtige Ideen") gelernt werden (76).

Während aber R. Fischers Aufsatz wirklich vom Geiste einer Befreiung von der Fach-Gebundenheit durchweht ist, steht Papert voll in der Tradition klassischer und Neuer Universitäts- und Schul-Mathematik, auch wenn er diese äußerlich ablehnt: Weder ist er von irgendwelchen Legitimationszweifeln angerührt, noch stellt er seine Mathematik in einen wirklich bedeutungsvollen Kontext. Legitimation und Kontext werden auch nicht durch den Computer oder die Epistemologen-Tätigkeit geliefert, da diese ihrerseits nicht hinterfragt werden (oder aber wiederum mit dem Lernen von Mathematik gerechtfertigt werden).

Gewiß, Paperts Mathematik hat Wurzeln in physikalischen Problemen, und die Turtle-Geometrie und ihre "Mikrowelten" sind physikalisch interpretierbar. Aber das ist genau die wohlbekannteste Sorte 'Angewandter Mathematik', wo die Anwendungen nicht relevant sind, und zwar insbesondere der Stoff, der für die Haupt-Zielgruppe, nämlich die jüngeren Kinder bis ca. 10 Jahre (notgedrungen) vorgesehen ist. Über den mathematischen Gehalt dieses Stoffes erfährt man wiederum wenig Handfestes. An einer Stelle nennt Papert das Theorem, daß man sich beim Durchlaufen einer Jordankurve um 360° dreht (76). Für ihn ist dieser Satz das Muster einer kraftvollen Idee, bei deren Handhabung man dann die Kraft kraftvoller Ideen erfahren kann (76). Mehr mathematische Beispiele nennt er nicht, und dieses eine ist so stark inhaltsbezogen, daß ihm die Weite (im Sinne Schreibers, 1983) fehlt und seine Kraft im Vergleich zu den Halmosschen "Elementen" (Halmos 1981) recht schwach wirkt. Die Bedeutung ("meaning") der Mathematik für die Schüler schließlich zieht Papert aus ausgesprochenen Oberflächlichkeiten: Sie entsteht einmal dadurch, daß bald in jeder Wohnung ein 'Mathematik sprechendes' Wesen, nämlich ein Computer, stehe (47, 53f) und daß es den Kindern beim Umgang mit Turtle-Geometrie ein persönliches Bedürfnis sei, eine Spirale zu machen (74, ähnlich 63).

"Körper-Geometrie"

Eine weitere Quelle für den "Sinn" der Mathematik ist die "Körper-Syntonizität" der Turtle, der Papert an mehreren Stellen besondere Bedeutung zumißt (63ff, 105 u.a.). Syntonizität bedeutet ungefähr 'Harmonie mit'. Trivialerweise können die mit der Turtle gezeichneten Figuren auch 'erlaufen' werden, ebenso wie sie mit Bleistift zu Papier gebracht werden können. Diese von Papert so genannte "Körper-Geometrie" (56, 183) ist jedoch nicht geeignet, der unterliegenden Turtle-Geometrie Bedeutung einzuflößen; sie ist so bedeutungsvoll oder -los wie diese bzw. wohl noch bedeutungsloser: Was soll die Lauferei im Kreis oder in sonstigen Figuren? Man sieht diese nachzubildenden Figuren nicht; sie wären zu groß, um richtig überschaut werden zu können; es fehlt die

Distanz zu ihnen; die Empfindungen des Körpers beim Laufen haben wenig mit dem geometrischen Gehalt der Figuren zu tun.

Bei der Behandlung von Autismus mag die Turtle zu Bewegungen anregen (s. jedoch die Diskussion auf S.74). Ansonsten erscheint mir diese ganze "Körper-Geometrie" als Kindertümelei, die auf Erwachsene auf den ersten Blick ansprechend wirkt (wie auch die Abbildung auf dem Buchumschlag, die zwei Kinder zeigt, die mit der schon längst überholten Roboter-Turtle spielen, statt, wie inzwischen üblich, sich auf einen Bildschirm konzentrieren), aber bei den Kindern kaum tiefergehende Motivation erzeugen kann. Die Papertsche "Körper-Geometrie" steht in der Tradition der Dieneschen Permutations-'Spiele' und ähnlicher sinn-ärmer Tätigkeiten aus der Zeit der Neuen Mathematik. Das ehrenwertere Motiv für solche Aktivitäten ist zwar die umfassende Beteiligung der Schüler am Unterricht, und da liegt es auf der Hand, ihre Person selbst einzubeziehen. Aber was in der Sozialerziehung als Rollenspiel durchaus mit Erfolg praktiziert wird, braucht im Mathematik-Unterricht als Mathematik-'Spiel' noch lange nicht zu funktionieren und hat auch nicht funktioniert (s.a. Cuffaro 1984:564).

Die Schüler sollen also mit ihrem Körper die Turtle simulieren (oder umgekehrt). Turtle-Geometrie ist ebene Streckenzug-Geometrie, die später als Differentialgeometrie uminterpretiert wird, wobei ein zentraler Inhalt die Geometrisierung von Differentialgleichungssystemen (58, 66) ist. Abelson/diSessa (1981/1982) zeigen an geeigneten Beispielen die Möglichkeiten dieses lokalen Ansatzes auf und vermitteln aus einer manchmal ungewohnten Perspektive dem Kenner interessante Einsichten. Diese lassen sich oft recht einfach formulieren, so daß Papert glaubt, Inhalte der Universitäts-Mathematik schon mit Kindern behandeln zu können (161).

Die Beziehung zur Schul- und zur Alltags-Geometrie

Im Elementarbereich hat Turtle-Geometrie wenig mehr zu bieten als das Zeichnen konkreter oder abstrakter, symmetrischer oder unsymmetrischer Figuren; jedenfalls gehen die Vorschläge Paperts und anderer darüber nicht hinaus. Nach meiner Einschätzung kann Turtle-Geometrie die Ausbildung des Winkelbegriffs unterstützen, aber was den Schülern an geraden Linien vorgeführt wird, gibt zu Begriffsmißbildungen Anlaß: Geraden sind in der Turtle-Geometrie Abfolgen von Rechtecken, deren Länge von der Geraden-Neigung gegen den Bildschirmrand abhängt. Außerdem haben eine vertikale und eine horizontale Strecke verschiedene Längen, wenn sie gleichlang programmiert sind. Zwar können diese Mängel mit

verbesserter Grafik unsichtbar gemacht und damit beseitigt werden. Z.Z. und in absehbarer Zukunft stört sich die LiU-Bewegung aber nicht an ihnen.

Natürlich erfordern auch Geraden, die mit oder ohne Lineal auf Papier gezeichnet sind, eine Idealisierungs-Leistung beim Schüler. Diese Leistung hervorzurufen, ist bereits da eine schwierige didaktische Aufgabe, obwohl die Voraussetzungen wesentlich günstiger sind: Das Aussehen einer Geraden ist von ihrer Richtung unabhängig; bei der Herstellung etwa mit dem Lineal geht ihre Homogenität wesentlich ein; Geraden treten in unterschiedlichen Qualitätsstufen auf, deren Zweck diskutiert werden kann. - Alle diese Erfahrungen sind m.E. notwendige Voraussetzungen für einen angemessenen Umgang mit Geraden in Form von Treppenfiguren auf Bildschirmen.

Wesentlich tiefergehende Bedenken treffen jedoch Definition und Darstellung von krummen Kurven: Die Turtle-Geometrie läßt nichts anderes zu, als Streckenzüge herzunehmen und deren Bild zu 'verschmieren', d.h. die Streckenlängen so klein zu machen, daß dieses Bild wie die gewünschte Kurve aussieht. Hier handelt es sich um eine anti-didaktische Inversion ersten Ranges. Wer mit solchen geometrischen Objekten eine Zeitlang synthetisch umgegangen ist, einige ihrer Eigenschaften kennengelernt hat, vielleicht auch endliche Teile betrachtet hat, kann irgendwann einmal zu einer analytischen Behandlung übergehen; diese ist dann immer noch schwierig genug. Aber man kann sie doch nicht guten didaktischen Gewissens an den Anfang der Begriffsbildung setzen! Papert möchte wohl nicht mit Grundschulern Grenzübergänge mathematisch sauber behandeln; aber dann behindert sein Ansatz eine begrifflich scharfe Unterscheidung etwa zwischen Polygon und Kreis. Natürlich wird ein Schüler bei einer vorgelegten Figur entscheiden können, ob sie wie das eine oder wie das andere aussieht, wenn man einmal den Einfluß der Sehschärfe u.ä. vernachlässigt. Aber der Kreisbegriff der Turtle-Geometrie ergibt gerade infolge der begriffserzeugenden Vorstellungen und Handlungen keine vollständig homogene Figur, selbst wenn sie so "aussieht". (Einige dieser und weitere Aspekte der Diskrepanz zwischen Turtle- und Euklidischer Geometrie, besonders in ihrer Wirkung auf einen Erstlernenden, sind auch von Struve, 1986, dargestellt; mit der Eignung der Turtle-Geometrie zur Verkörperung klassischer Konstruktionen setzt sich Papamastorakis, 1986, kritisch auseinander.)

Die Berufung auf die "Körper-Geometrie" stellt übrigens einen Zirkelschluß dar oder erfordert einiges an Geometrie-Unterricht vor der Turtle-Geometrie: Wer im Kreis gehen will, muß bereits über den Kreisbegriff verfügen. Oder hat man schon jemals jemand 360-mal (o.ä.) ein Stückchen vorwärts gehen und sich etwas

nach rechts drehen sehen, jedesmal mit denselben Maßen, und zwar ohne die Gesamtfigur im Sinn zu haben? Aber selbst wenn der Kreisbegriff vorhanden ist, besteht eigentlich kein Anlaß, in einem (exakten) Kreis zu gehen, und praktisch möglich ist dies sowieso nur, wenn der Weg irgendwie vorgegeben ist. Hiermit will ich keineswegs dagegen plädieren, den Kreisbegriff auf lokale Weise zu behandeln, - im Gegenteil: seit Jahren propagieren Schreiber und ich die Aufnahme solcher lokalen Aspekte in den Unterricht im Zusammenhang mit der zentralen Idee der Homogenität. Allerdings haben unsere didaktischen Analysen ergeben, daß die lokale Sichtweise nicht die primäre oder gar einzige Erfahrung mit dem Kreis sein sollte. Zum einen ist der lernpsychologische Primat der Ganzheit wohlbekannt, zum anderen ist die Verankerung im Alltag vor allem ganzheitlicher Natur (vgl. dazu Bender/Schreiber 1985).

Um geometrische Formen auf Zweckmäßigkeit, Funktionieren usw. zu analysieren, schon um ein Dreieck (anders als aus dem Maß eines Winkels und der Länge der beiden anliegenden Seiten) zu konstruieren oder um beim Turtle-Kreis festzustellen, ob er sich schließt, einen Mittelpunkt hat und wo dieser ist, greift die lokale Betrachtungsweise zu kurz (und die Turtle-Geometrie muß um die sog. Peil-Geometrie erweitert werden; s. Hoppe 1984:158ff). Dieses Problemfeld hat Richenhagen (1985) gründlich analysiert: Man kann noch so sehr dem konstruktiven Gedanken in der Mathematik anhängen, ohne mathematisches Wissen, das den Keim axiomatischen, deduktiven Denkens birgt, geht es nicht. Auf der Ebene des Lernprozesses bedeutet das, daß die von Papert gepriesene Spontaneität (156) ohne Reflexionsphasen blinder Aktionismus ist; es fehlt die intellektuelle Distanz, die ihrerseits die räumliche Distanz, die bei der "Körper-Geometrie" nicht vorhanden ist, voraussetzt.

Papert gibt nirgends zu erkennen, daß er in der Geometrie irgendetwas außer der Turtle-Geometrie für lehrenswert hält, geschweige denn, wie die Inhalte außer- und innerhalb dieser aufeinander zu beziehen sind. Sein ganzer, ausschließlich auf den Computer ausgerichteter Entwurf, seine Kritik an Bruner (95ff), die sinngemäß darauf hinausläuft, daß das enaktive Stadium in der Aneignung eines Begriffs durch das Programmieren an Bedeutung verliert, oder seine Geringschätzung der sog. Papier-und-Bleistift-Mathematik (52) lassen jedenfalls den Schluß zu, daß die Turtle-Geometrie umfassend sein soll.

Zum einen beinhaltet aber Geometrie viel mehr als das, was mit dem Computer, aber auch mit Papier und Bleistift, möglich ist (s. etwa Bender 1983 u.v.a.m.). All die Erfahrungen mit Geometrie in der realen Welt, also insbesondere dreidimensionaler Art, werden in der Turtle-Geometrie den Kindern vor-

enthalten (s.a. Abschnitt 4.3), wobei die (m.E. läppische) "Körper-Geometrie" keinen Ersatz darstellt. Zum anderen ist das Medium 'Papier und Bleistift' für jegliche Art von Wissenserwerb und Kommunikation auch im Computer-Zeitalter viel leistungsfähiger, als Papert meint, auch und gerade auf dem Gebiet der Geometrie (s.a. Jahnke 1983:98f).

Papert hält dem herkömmlichen Mathematik-Kanon vor, seine Zusammensetzung den Vorgaben dieses Mediums zu verdanken (52). Dieser Vorwurf fällt mit seiner ganzen Härte auf ihn selbst zurück mit seiner einseitigen Computer-Propaganda. Und vergleicht man einmal Dreiecks-Geometrie auf dem Papier mit dem Zeichnen von Streckenzug-Spiralen auf dem Bildschirm, beides vordergründig 'trockene' Aktivitäten, so ist erstere wenigstens in einen Zusammenhang eingebettet und bietet Möglichkeiten zu Anwendungen, während letztere im Unverbindlichen verbleibt.

Selbstverständlich läßt die Turtle-Geometrie auch eine dreidimensionale Interpretation zu (s. z.B. Löthe/Wölpert/Wolpers 1985). Allerdings ist zu beachten, daß für die Arbeit mit der dreidimensionalen Turtle ein intensiver konventioneller Geometrie-Unterricht Voraussetzung ist und daß umfangreiche Vorgaben durch den Lehrer eingehen. Auch technisch ist dieses 'Hochfrisieren' der Turtle-Geometrie nicht optimal, und es gibt besser geeignete Grafik-Systeme: In der Turtle-Geometrie wird die zugrundeliegende Koordinaten-Geometrie bewußt verborgen; für die Programmierung der Raum-Software müssen die Koordinaten explizit benutzt und für die Schüler dann wieder verborgen werden (um sich nicht ganz und gar von der eigentlichen Turtle-Geometrie zu entfernen). Ähnliche Einwände treffen die Peil-Geometrie, wo zudem die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Programmiersprache mit einer deutlichen Verwässerung der originalen didaktischen Absichten erkauft werden muß.

So wie die Turtle-Geometrie ihre Ausgestaltung allerlei mathematik- und unterrichts-fremden Bedingungen, insbesondere dem Medium 'Computer', mit verdankt, ist auch die in "Mindstorms" vertretene Auffassung der mathematischen Grundbegriffe 'Funktion' und 'Variable' eine auf den Computer passende und damit reduzierte (Funktion als "Verarbeitungsmechanismus", Variable als buchstäbliche "Leerstelle"; vgl. die entsprechende Analyse Richenhagens, 1985:297ff). Die durch den Computer und einen bestimmten Gebrauch favorisierte Sichtweise von mathematischen Begriffen und Gebieten ist zwar Teil der Mathematik, aber sie reicht nicht für einen Unterricht in brauchbarer und notwendiger Mathematik, wie sie z.Z. - und 'trotz' der zunehmenden Verbreitung des Computers vermut-

lich auch in Zukunft - von Mathematik-Didaktikern und Mathematikern mehrheitlich eingeschätzt wird.

3. Die Pädagogik der Logo-Philosophie

"Rousseauismus"

Anlässlich ihrer Rezension von "Mindstorms" haben sich Bussmann/Heymann (1985) der Mühe unterzogen, den Papertschen Bildungsbegriff und dessen theoretische Grundlagen aus vielen über das Buch verstreuten Haupt- und Nebenbemerkungen herauszupräparieren: "Die Papertsche Bildungstheorie (trägt) rousseauistische Züge (und) ist angereichert mit Ideen formaler Bildungstheorien und beinhaltet antiautoritäre wie antipädagogische Komponenten" (Bu/He 78; s.a. meine Definition der Logo-Philosophie auf S.11). Mit Recht bemängeln sie, daß die in der Schule zweifellos stattfindende Entfremdung der Schüler von Natur und Kultur ausgerechnet durch den Computer beseitigt werden soll (Bu/He 16), der die Dinge doch erst recht verfremdet und außerdem einen erheblichen Fremdeingriff in die Auseinandersetzung der Schüler mit ihrer Umwelt darstellt.

Papert (1972:250) weist selbst darauf hin, daß eine Implementierung seiner Vorstellungen intensiver Arbeit erwachsener Mathematiker bedarf, und in "Mindstorms" bezeichnet er sich als Interventionist (161). Es sei dahingestellt, ob er den fundamentalen Widerspruch zu seiner ihm so am Herzen liegenden "Antipädagogik" nicht merkt. Dafür spricht die verräterische Schilderung eines angeblich häufig auftretenden Dialogs im Anschluß an vergebliche Debugging-Versuche: "Du weißt, was du zu tun hast!" Das Kind, manchmal triumphierend, manchmal schüchtern: "Ich soll wohl das Programm in Unterprogramme auflösen?" (104; sinngemäß). Hier liegt genau eines der Erarbeitungsprozeß-Muster im Sinne Voigts (1984:128ff) vor, in dem eine Belehrung stattfindet, bei der der Schüler zu erraten hat, was der Lehrer wohl meint. Cuffaro (1984:560) u.a. führen überhaupt die gemeldeten sog. Erfolge von "Logo-Projekten" wesentlich auf den intensiven Einsatz der Lehrer und speziell auf deren Gespräche mit den Lernenden zurück, und sogar die Logo-Gemeinde selbst nimmt die Lehrer-Rolle bei der Arbeit mit Logo zunehmend wichtig (s. S.82).

Aber, wie gesagt, schon in ihrer Anlage baut die Logo-Philosophie auf fremdbestimmtes Lernen, und darin liegt automatisch ein Keim der Verfremdung des Umgangs mit dem Computer für die Kinder. Das Ausmaß dieser Verfremdung wird noch

erheblich dadurch gesteigert, daß mit der zunehmenden Verbreitung des Computers eine drastische Vereinfachung der Handhabung verbunden ist, so daß er, wenn überhaupt, in einer Form Teil unserer Kultur werden wird, der die anwendungs-ferne, unbequeme, umständliche maschinen-orientierte Technik der Logo-Programmierung aus den 60-er und 70-er Jahren (vgl. 182, Haefner 1983 oder Harvey 1985:57) nicht adäquat ist. Die von Papert behauptete "Kultur-Syntoni-zität" der Turtle-Geometrie (68) wird wohl zu keinem Zeitpunkt bestehen. Daß sie in der Gegenwart nicht existiert, scheint er selbst einzusehen; denn er räumt ein, daß zu ihrer Herstellung wohl auch den Erwachsenen erst einmal Logo nahe gebracht werden müßte (54). Über die Probleme dieses hochinteressanten Vorhabens schweigt er sich allerdings aus.

Die Adaption Piagets

Der ganze unlösbare Widerspruch zeigt sich auch in Paperts eigenwilliger Piaget-Adaption, mit der sich Bu/He ebenfalls intensiv auseinandersetzen (Fundstellen siehe dort). Zwar hat Papert in der Zeit zwischen 1958 und 1963 in Genf im Institut Piagets gearbeitet; aber 1972, als Logo bereits voll entwickelt war, erwähnt er Piaget mit keinem Wort, und erst 1980 beruft er sich ausgiebig auf ihn und renommiert mit seiner eigenen Anwesenheit in Genf (19, 208, Klappentext der deutschen Ausgabe u.a.). Er teilt die verbreitete, von Piaget pointierte Sichtweise der Intelligenz-Entwicklung als Äquilibrations-Prozeß, den die Kinder aktiv gestalten. Desweiteren hängt er der in der Didaktik populären Interpretation dieser Sichtweise als Lerntheorie an (dagegen sehen Bu/He, 78, diese Äquilibration lediglich als Voraussetzung für das Lernen) und gründet darauf seinen "rousseauistischen" Ansatz.

In einen substantiellen Gegensatz zu Piaget und die sich auf diesen stützende Didaktik gerät Papert allerdings mit seinen Auffassungen über den Verlauf und die Beeinflußbarkeit der Intelligenz-Entwicklung (4, 157) sowie ihre Gründung auf Handlungen: Er meint - anders als Piaget -, diese Entwicklung sei erheblich zu beschleunigen und ihre Stufen-Abfolge sei nicht starr (21, 174ff), speziell das formal-operative Stadium sei wesentlich vorzuziehen.

In diesem Zusammenhang bezeichnet er sich - in krasser Absetzung von Piaget - als Interventionist (161, auch 32), der die Kinder wie Erwachsene agieren sehen möchte (31, 97), eine Zielsetzung, die in der Literatur wiederholt kritisiert wird, z.B. von Davy (1984:553). Für Miller (1985) ist jedenfalls gerade die Reduktion des Unterschieds zwischen Erwachsenem und Kind das entscheidende Merkmal, in dem Papert sich von Piaget unterscheidet. Und Postman, der in

einem nicht weiter fundierten kurzen Ausblick den Optimismus äußert, daß der Computer den insbesondere vom Fernsehen verursachten Niedergang der Institution 'Kindheit' aufhalten könne (1982/1983:167f), kann sich im Papertschen Ansatz jedenfalls nicht wiederfinden.

Die Genese des Denkens als Verinnerlichung konkreter Handlungen spielt bei Papert faktisch überhaupt keine Rolle. Handlungen werden durch den 'richtigen' Umgang mit dem Computer weitgehend ersetzt, und was er dann doch noch an Handlungsbezug ("Körper-Geometrie") und für den Äquilibrations-Prozeß an 'Umwelt'-Reizen (die "Mikrowelten" der Turtle-Geometrie) anbietet, ist doch offensichtlich ungenügend (vgl. S.15ff, S.56ff).

Es geht hier nicht darum, die reine Lehre Piagets zu verteidigen. In Anbetracht der weltweiten Kritik an Theorie-Ansatz, Methoden und Ergebnissen Piagets wäre das auch kaum möglich (s. z.B. die über 50 Aufsätze von Experten in Steiner 1978). Papert läßt jedoch nicht erkennen, daß er diese Kritik aufgearbeitet oder wie sonst er seine Überzeugungen gewonnen hat. Jedenfalls entspricht die Vereinnahmung mit dem Schlagwort "Piagetsches Lernen" (7, 31f, 42, 174, 187) Paperts Standpunkt in substantiellen Merkmalen nicht. Aber Piaget ist nach wie vor populär, und diese Popularität hat Papert sich zunutze gemacht.

Als Lern-Umgebung für dieses "Piagetsche Lernen" sollen die "Logo-Umgebungen" dienen (11, 19, 28f, 61f, 74, 114f, 134, 179ff). Der unvoreingenommene Leser assoziiert damit möglicherweise freundlich eingerichtete Räume, wie man sie aus der jüngeren anglo-amerikanischen Tradition kennt (s. z.B. Garlichs 1979: 225f), mit allerlei Material, darunter vielleicht auch einem Computer, zur Anregung von selbständigen Schüler-Aktivitäten; in den Berichten von Morris u.a. (1985) z.B. spielt genau dieses Design eine entscheidende Rolle. Tatsächlich ist eine Logo-Umgebung eine Computer-Hard- und Software-Konfiguration, in der man mit Logo programmieren kann; insbesondere ersetzt dabei die "Interaktion" mit dem Bildschirm die körperlichen Bewegungen, mit denen junge Kinder üblicherweise mit ihrer Umgebung interagieren (Cuffaro 1984:562), bzw. soziales Verhalten. 'Logo-Umgebung' ist also ein Fachbegriff der Informatik, der sich auch nicht unter Berufung auf medien-didaktische Grundsätze, wie Hoppe (1984: 81ff) es unternimmt, mir nichts, dir nichts, pädagogisch benutzen läßt. Ohne die geringste Problematisierung verwendet Papert diesen Begriff genau so und hat vermutlich nichts gegen die erwähnten Assoziationen einzuwenden; denn für ihn ist der Computer mehr als ein Äquivalent für solche herkömmliche Lern-Umgebungen. Aber man muß sich ganz klar machen, daß der Computer diese nicht er-

gänzen, sondern ersetzen soll! Entsprechend will auch ich jetzt unter "Logo-Umgebung" einen Raum mit einem Computer mit einer Logo-Umgebung im Sinne der Informatik verstehen.

Diese unbekümmerte Verwendung fachinhaltlicher, in ihrer Bedeutung eigentlich festgelegter, Ausdrücke als pädagogische Kategorien (s.a. S.28) zeigt sich besonders kraß in der Etikettierung der Theorie der Bourbakischen Mutterstrukturen als Lerntheorie (160). Diese ist nämlich weder begründet noch motiviert. Man sieht nicht, was diese Auffassung bedeuten soll, und schon gar nicht, was sie eigentlich mit der Logo-Philosophie zu tun hat (s.a. Bu/He 83, und Davy 1984:556). In der Sprache der Informatik: Sie wirkt wie ein niemals durchlaufener Modul in einem Computer-Programm. Man muß Papert zugute halten, daß die Piaget-Rezeption in der Didaktik in den 60-er Jahren einherging mit einer Bourbakisierung der Schul-Mathematik, die wiederum eine ihrer Wurzeln in einem vordergründigen Verständnis der Epistemologie Piagets hatte, wozu dieser mit seiner expliziten und extensiven Verarbeitung (pseudo-)mathematischer Strukturen mit Anlaß gegeben hatte.

Ähnlich kurzatmig setzt sich Papert auch mit anderen pädagogischen Themen auseinander. So empfiehlt er nachdrücklich und durchaus mit guten Gründen die Projekt-Methode (76ff, 1972:251), ignoriert jedoch ganz deren vielschichtige Schwierigkeiten. Für diese Art der Auseinandersetzung hat er sich in gewisser Weise selbst legitimiert, indem er viele Schwierigkeiten als zur Prä-Computer-Kultur gehörig erklärt (20ff, 157, 1972:252 u.a.), die ja durch die Logo-Philosophie überwunden werden wird.

Das Paradigma der formalen Bildung

Wie viele Computer-Didaktiker beschwört auch Papert die große Motivations-Leistung des Computers. Abgesehen davon, daß diese positiven Erfahrungen durchweg auf recht kurzen Versuchen mit extrem günstigen Voraussetzungen beruhen und darüber hinaus keine Erkenntnisse über Langzeit-Wirkungen vorliegen, bleibt die Frage nach dem Zweck dieser Motivation, wie sie Sloan (1984:547) aufgeworfen hat, offen bzw. wird mehr oder weniger pauschal und fast schon zirkulär mit 'Computer-Aktivitäten' beantwortet: bei Papert z.B. "Erforschen von Mikrowelten", in zahlreichen Berichten über Logo-Projekte (bzw. Computer-Projekte überhaupt) die Ausdauer, mit der die Schüler am Computer sitzen, oder der Gedanken-Austausch anläßlich des Programmierens.

Gewiß, nicht wenige Lehrer wären froh, könnten sie in ihren Klassen eine solche 'Arbeits'-Haltung erzielen. Aber selbst wenn diese vielerorts, besonders wohl in den USA, einen Fortschritt gegenüber dem Status quo darstellt, so käme eine Beschränkung des Anspruchs an die Schule auf ihre Funktion als Bewahr- und Beschäftigungs-Anstalt doch einer Bankrott-Erklärung unseres Erziehungssystems gleich. Diesen Bankrott sieht Papert in der Tat als eingetreten (8f, 37, 50, 181 u.v.a.), und diese Einschätzung ist partiell sicher zutreffend.

Eine der Begleiterscheinungen dieser Misere ist z.B. (was Sardello, 1984:633, betont) die Beliebtheit der Inhalte (s.a. Cuffaro 1984:560) und die Reduktion auf die Methoden, ihrerseits wiederum in engem Zusammenhang mit dem Übergewicht einer psychologisierenden Methodik in der Lehrerbildung. In seiner einseitigen Ablehnung geht Sardello gewiß zu weit; und wenn er das Auswendig-Lernen ("learn by heart") empfiehlt, weil das "durchs Herz" ginge, so macht er sich mit diesem - in anderen Sprachen als Englisch gar nicht möglichen - Argument auch wieder angreifbar wie Papert mit seiner Metaphorik. Gegenüber einem Bild von Schule als Nürnberger Trichter zur Anhäufung enzyklopädischen Wissens ist nämlich die Akzentuierung von Methoden (Heuristik, Algorithmik usw.), Meta-Inhalten (zentrale Ideen usw.) bestimmt auch notwendig, aber gerade infolge der CiU-Bewegung schlägt das Pendel womöglich wieder zu weit aus.

Da herrscht oft ein platter Pragmatismus ("Truth is what can be made to work, the end is the means." Davy 1984:555): In der Literatur und in Diskussionen werden Lernziele sozialer (Zusammenarbeit der Schüler), kognitiver (Ausbildung von Strategien, Arbeitsmethoden) und fachlicher Art bemüht (die Maxime 'jede Stunde eine Deutschstunde' wird nicht als Appell zur Sprachpflege, sondern als Beschreibung eines, auch noch wertvoll gesehenen, Zustands von Computer-Unterricht verstanden). Und schließlich kann man sich auch noch darauf zurückziehen, daß die Kinder programmieren lernen. In diesem Sinne ist die Logo-Philosophie ein Muster an Funktionalismus: Welche Geometrie zu lernen ist, ist im Prinzip egal; "powerful ideas" sind, bis auf eine Ausnahme, nicht inhaltlicher Art; nicht die "Mikrowelten" sind wesentlich, sondern deren Erforschung, usw. Und schließlich ist der epistemologische Ansatz Paperts wesentlich funktionalistisch, indem der Erkenntnis-Prozeß zum Erkenntnis-Inhalt erklärt wird.

Gewissermaßen übernimmt die Logo-Philosophie das Paradigma der Neuen Mathematik von vor 20 Jahren. Das ist nicht weiter verwunderlich, da ihre geistigen Wurzeln ja in dieser Zeit liegen. Im Zusammenhang mit seiner ganzen Piaget-Adaption, seiner Einschätzung der Bourbakischen Mutterstrukturen als Lerntheorie und seinem Festhalten an jenem Ideal formaler (Aus-)Bildung zusammen mit

dem Leugnen der Transfer-Problematik (1972:250f, s.a. S.57ff) fehlt eine Auseinandersetzung mit didaktischen Entwicklungen seitdem. Und die Parallelität mit dem Dienesschen Ansatz ist wirklich frappant (s. Bauersfeld 1983:46ff).

Folgerichtig werden Lernformen wie "drill and practice" (Einschleifen und Üben), auch wenn sie vordergründig in das oben skizzierte funktionalistische Bild passen, von Papert (als geistlos) abgelehnt (33, 36, auch 29, 52, 65, 95, 139), und er möchte den Computer nicht zu ihrer Unterstützung 'mißbraucht' haben. Dagegen halten Dreyfus/Dreyfus (1984:587, fortan mit Dr/Dr abgekürzt), daß sie gegebenenfalls aufgrund einer didaktischen Analyse sehr wohl sinnvoll sein können und daß dann der Computer häufig genau das richtige Arbeitsmittel sei. Außerdem hat etwa die Mathematik-Didaktik ausgesprochen intelligente Formen des Übens entwickelt, und zwar nicht nur zum Zwecke der Motivation, sondern aus der Auffassung heraus, daß Üben ein genuiner Bestandteil von Begriffsbildungs-Prozessen (u.a.) ist (s. z.B. Winter 1984).

Vor dem Hintergrund gewisser moderner Strömungen in der Pädagogik (die bestimmt nicht unbeeinflußt von den Auswirkungen des Computers auf die Gesellschaft sind) erscheint ein Festhalten am Wert des Wissens, des Übens oder gar Auswendig-Lernens altmodisch (vgl. jedoch Richenhagen 1985 u.a.). Die Logo-Philosophie dagegen favorisiert (womöglich aus der Not eine Tugend machend) den Verzicht auf ein irgendwie festgelegtes Curriculum (9, 31, 177ff u.a.; kritisiert von Hoppe 1984:48) und stattdessen moderne Paradigmen wie "Kreativität" (1972), "Spontaneität" (156), "Intuition" (144, 154) u.a., macht allerdings einen recht grobschlächtigen Gebrauch von diesen - darin durchaus die Mathematik-Didaktik perpetuierend. Schon Freudenthal (1974) hat auf die Relativierungs-Bedürftigkeit des Kreativitätsbegriffs etwa bezüglich der vorhandenen direkten inhaltlichen Voraussetzungen für eine Problemlösung hingewiesen. Vereinfacht ausgedrückt, enthalten Schüler-Aktivitäten umso stärker ein kreatives Element, je weniger Wissen und Können diese Schüler haben. Dem kommt die Turtle-Geometrie, jedenfalls so wie sie in "Mindstorms" und in den Projekten mit jüngeren Kindern praktiziert wird, mit ihrer Unverbindlichkeit und der Abwesenheit eines Curriculums entgegen. Die Hauptsache dabei ist, daß die Schüler etwas 'gemacht' haben (und zwar hier speziell: mit dem Computer), das sie für wichtig und individuell halten (74, 97, s.a. Watt 1982b).

Ein Beispiel außerhalb der Turtle-Geometrie ist das seltsame computer-erzeugte Gedicht "insane retard makes because sweet snoopy screams / sexy wolf loves thats why the sexy lady hates / ugly man loves because ugly dog hates / mad wolf hates because insane wolf skips / sexy retard screams thats why the sexy

retard hates / thin snoopy runs because fat wolf hops / sweet foginy skips a fat lady runs" (49) der 13-jährigen Jenny. Über Geschmack läßt sich bekanntlich streiten (s. z.B. Sardello 1984:635). Aber zur Ausbildung von Geschmack und allgemeiner zum Erwerb von Maßstäben reicht das Programmieren mit Logo und das Empfinden eigener Wichtigkeit nicht. Dies bedarf vielmehr Anleitung und Erziehung (ein Punkt, der Sardello besonders wichtig ist) und einer breiten Bildung mit einer ausgeprägten Wissens-Komponente. Diese wiederum ist durchweg neben eingeübten Fertigkeiten eine Voraussetzung für echt kreatives Verhalten und für erfolgreiche Intuition. Wie weit der Kreativitätsbegriff der Mathematik, Naturwissenschaften und ihrer Didaktiken der Literatur, der Musik oder den Künsten gerecht wird, sei dahingestellt. Eschers Arbeiten z.B. (die ich persönlich sehr gerne ansehe und analysiere) werden nirgends so geschätzt wie gerade in der Mathematik und ihrer Didaktik sowie verwandten Bereichen.

Schließlich zur Spontaneität: Sie ist zwar eine Verhaltensweise, mit der - vor allem Anfang der 70-er Jahre - gesellschaftliche, familiäre, kommunikative und psychologische Zwänge zu überwinden waren und - heute - noch sind, sie ist aber kein Wert an sich. (Mein Anliegen hier ist nicht der Vergleich pädagogischer Standpunkte, sondern die Kritik an der naiven Verwendung pädagogischer Begriffe in der Logo-Philosophie, die man zwar auch aus herkömmlichen fachdidaktischen Entwürfen kennt, die aber normalerweise dank einer stärkeren ex- oder impliziten Einbindung in das real existierende Schulsystem nivelliert werden.)

Die 'Berücksichtigung' der affektiven Komponente

Vordergründig kann man der Logo-Philosophie nicht vorwerfen, sie würde sich - wie in der CIU-Bewegung verbreitet - nur um den Intellekt der Schüler kümmern, und Davys (1984:554) dahingehende Kritik ist, in erster Annäherung, nicht berechtigt. Papert seinerseits konstatiert nämlich Piagets Konzentration auf die kognitive Seite des Menschen (vii) und setzt sich davon ab. Die Logo-Philosophie stellt vielmehr umfassende Ansprüche an die Gesamtpersönlichkeit eines Jeden, und in der Tat ist an vielen Stellen von Liebe (viii, zu Getriebenen, zum Computer; 68, zu Zahlen), von Wärme (54, von der Umwelt der Schüler auf die Mathematik zu übertragen), von Angst (38ff), aber auch Befriedigung, Stolz, Erregung, Genuß und Respekt, die die Schüler entwickeln sollen bzw. werden (54, 63, 74), u.v.a.m. die Rede. Im Amerikanischen werden diese Begriffe in einer banaleren Bedeutung gebraucht als im Deutschen, und die Ausführungen sind bestimmt weniger schwülstig gemeint, als sie für uns vielleicht klingen. Trotzdem ist zu fragen, woher Papert seinen Optimismus nimmt, daß Kinder diese

Gefühle gegenüber solchen technischen bzw. abstrakten Gegenständen wie Computer und Mathematik entwickeln, und tiefergehend, ob der Aufbau solcher Emotionen überhaupt wünschenswert ist. Nebenbei bemerkt, weist Cuffaro (1984:567) auf den Widerspruch zwischen diesem Ziel der Emotionalität und der Empfehlung des Computers als einer (im Vergleich zu einem menschlichen Lehrer) neutralen, vorurteilsfreien Institution hin.

Gewiß, als Mathematik-Didaktiker hält man es vielleicht für erstrebenswert, daß alle Menschen die Mathematik "lieben", und hat dabei die Vorstellung von einer rationalen positiven Einstellung. Es ist zweifelhaft, ob eine solche gerade durch den Computer vermittelt wird. Alle Erfahrungen deuten darauf hin, daß dieser als materialisierte Maschine mit der dominanten Möglichkeit zu unverbindlicher Beschäftigung und den technischen Finessen das affektive (und kognitive) Potential eher für sich selbst in Anspruch nimmt. Das fängt an bei Vorschul-Kindern (s. z.B. Morris u.a. 1985), geht über Jugendliche (Burgheim/Rieß 1985, Krummheuer 1985, Pacena 1986) bis hin zu Erwachsenen (s. etwa Weizenbaum 1976/1977:160f) und umfaßt Video-Spiele, die hohe Kunst des Hackertums, Programmieren unter didaktischem Anspruch u.ä. (s.a. Turkle 1984).

Eines der eingesetzten Mittel, die Logo-Philosophie für Schüler und Lehrer ansprechend zu machen, ist eine anthropomorphisierende Sprache. Der Grundgedanke, daß der Computer ein zu Belehrender ("tutee"; Taylor 1980) und ein "Mathematik sprechendes Wesen" (47) sein soll, findet sich wieder z.B. in Wendungen im deutschsprachigen Logo wie "mag 'Eingabe' nicht" für eine fehlerhafte Eingabe "Eingabe" oder "'Programm' gelernt", falls ein Programm 'Programm' geladen worden ist. Allerdings ist hier m.E. die Grenze zwischen Kindgemäßheit und Kindertümelei überschritten.

Die Vermischung von Informatik und Pädagogik

Gleichwohl befindet sich dieser Sprachgebrauch in Einklang mit dem der Computer-Technik und -Wissenschaft. Dort mußten ja, wie in anderen in der Neuzeit entstandenen Wissensbereichen auch, völlig neuartige Begriffe, Phänomene usw. mit Wörtern und Vorstellungen belegt werden; noch mehr als in anderen Gebieten lag dabei die Verwendung von Anthropomorphismen i.w.S. nahe, besonders auch in der AI-Forschung. Diese haben sich durchaus bewährt (man denke an das 'Abarbeiten einer Folge von Befehlen' beim Programmieren und bei der Fehlersuche oder die 'Bewegung der Turtle' beim Zeichnen in der Turtle-Geometrie u.v.a.m.), sie bringen jedoch auch (vom Standpunkt eines humanistischen Menschen- und Gesellschaftsbildes aus) unerwünschte Effekte mit sich.

Die Begriffe der Informatik werden aufgrund von Wort-Gleichheiten, deren triviale Ursache aus dem Blick geraten ist und die deshalb als merkwürdig erscheinen, wiederum in alltäglichen, pädagogischen, psychologischen usw. Kontexten benutzt. Dieses Phänomen trifft man bei vielen CiU-Anhängern und speziell auch bei Papert, z.B. mit der oben bereits kritisierten Identifikation von "Logo-Umgebung" mit 'Lern-Umgebung' oder seinem Gebrauch von Handlungsbegriffen wie 'Sprache', 'Lernen', 'Interaktion' usw., wo es keine Rolle spielt, ob eines der Subjekte ein Computer ist oder nicht. Es sei dahingestellt, ob dabei eine Reduktion des Menschenbilds vorliegt, oder ob den Begriffen, die da einmal unter erheblichem Bedeutungs-Verlust für die Informatik präzisiert wurden, nun unter Beibehaltung ihres Flairs von Präzision wieder Bedeutungskraft verliehen werden soll. Jedenfalls ist das entsprechende Forschungsziel der Erkenntnistheorie, nämlich die Schaffung eines formalen Begriffssystems zur Beschreibung menschlicher kognitiver Strukturen bzw. allgemein menschlichen Verhaltens, so einfach nicht zu realisieren (s.a. Dreyfus 1972/1979:134f).

Daß diese Identifikation solcher Begriffsbereiche so leicht von der Hand geht und akzeptiert wird, ist m.E. ein Auswuchs des im Abendland dominierenden Cartesianischen Weltbilds (s. die Diskussion auf S.62ff). In bemerkenswerter Übereinstimmung übernimmt der Computer heute die Rolle, die mechanische Uhrwerke zu Beginn der Neuzeit beim Aufbau des mechanistischen Weltbilds spielten: Dahinter stehen die Anthropomorphisierung des Computers und die Reduktion des Menschen auf ein "informations-verarbeitendes System" (s. S.4) als zwei Aspekte eines zentralen modernen Forschungs-Paradigmas, nämlich dem der Schaffung von künstlicher Intelligenz. Gerade wegen dieser Computerisierung ihres Bilds vom Menschen und der damit verbundenen Methoden und Ziele, aber auch wegen der Diskrepanz zwischen den vollmundigen Prognosen einiger ihrer Vertreter und den tatsächlich erzielten Ergebnissen, erfährt die kognitionstheoretische Richtung der AI-Forschung und mit ihr ihr Abkömmling 'Logo-Philosophie' z.T. heftige Kritik (Weizenbaum 1976/1977, Dreyfus 1972/1979, Dr/Dr 579; s.a. Turkle 1984, Coy 1984:8f u.a.).

4. Die Erkenntnismittel der Logo-Philosophie

4.1 Programmieren als Form des Denkens

Die Logo-Philosophie gründet sich im wesentlichen auf folgenden Mechanismus: Die Kinder sollen den Computer programmieren. Wenn sie dabei die Programmiersprache 'Logo' verwenden (bzw. Turtle-Geometrie treiben), dann ist das nach Papert so aufzufassen, daß sie dem Computer (bzw. der Turtle) etwas beibringen, d.h. ihn als "tutee" gebrauchen (12, 19, 28, 59f). Durch diese (so gesehene) Belehrung des Computers sollen die Kinder selbst etwas lernen, wofür zwei eng zusammenhängende Aspekte dieser 'Lehr'-Tätigkeit verantwortlich sind: Einmal eine gewisse Objektivierung eigener Denkvorgänge durch die Existenz eines zu belehrenden Gegenübers, zum anderen deren Versprachlichung durch das Programmieren. Jedenfalls werden diese so der eigenen Reflexion zugänglich (145), das Kind denkt über das Denken nach (19), es redet über das Denken (27), es nimmt also den Standpunkt eines Epistemologen ein (19, 23, 27f, 98), lernt dabei Mathematik (55ff u.a., Hoppe 1984:49ff, Löthe 1985b usw.), Problemlösen (64ff, 120 u.a., Hoppe 1984:10ff) und das Lernen (38ff u.a.).

Programmieren im Verein mit Formalisieren

Zunächst einmal stützt sich dieser Ansatz auf das Axiom 'X verstehen bedeutet X programmieren können' (die prägnante Formulierung Weizenbaums, 1976/1977: 211, ist hier noch etwas gekürzt), das seine Anhänger hat, bezogen auf primitivste informations-technische Grund-Aktivitäten bis hin zur AI-Forschung. In der Mathematik-Didaktik kennt man ein ähnliches Axiom, nämlich daß ein Begriff (ein Verfahren, eine Regel ...) besser 'verstanden' werde, wenn er formal aufgeschrieben wird, d.h. zumeist in einem Gleichungssystem, sei dieses algorithmisiert oder nicht.

Es kommt hier natürlich auf den Begriff von Verstehen an: Das Axiom ist trivialerweise erfüllt, wenn man darunter das formale Aufschreiben subsumiert, und die weithin verbreitete Anlage des Mathematik-Unterrichts, besonders oberhalb der Primarstufe, sowie die üblichen Formen der 'Leistungskontrolle', favorisieren eine solche Subsumierung, oft sogar: Identifikation. Allerdings stellt der pragmatische Umgang mit Formeln u.ä. häufig einen Ersatz für das Verständnis zugrundeliegender mathematischer Ideen dar und täuscht Lernende und Lehrende über den Verständnismangel hinweg oder wird sogar von Lehrenden

bewußt eingesetzt, um auch den 'verständnis'-schwachen Schülern einen, wie auch immer gearteten, Erfolg zu ermöglichen. (Man kann dieses Vorgehen für noch so absurd halten; es ist verbreitete Realität vom Gymnasium- bis zum Hauptschul-Niveau - und hat aus pädagogischer und humanitärer Sicht durchaus auch etwas für sich.)

Für den Teil des Mathematik-Unterrichts, den man in einem weiten Sinn mit 'Formalisierung' umschreiben könnte, existieren vielerlei didaktische Begründungen: Denkschulung, Vermittlung eines angemessenen Bilds von Mathematik, Aufbereitung von Begriffen für Kalküle und eben Erwerb von Begriffen. Ob es jedoch das Formalisieren an sich ist, das da eventuell die Begriffsbildung unterstützt, oder der damit einhergehende Perspektivenwechsel verbunden mit einer intensiveren Behandlung, ist ungeklärt bzw. wird meist gar nicht als fragwürdig gesehen.

In der Computer-Didaktik, modifiziert auch bei Papert, wird die eh schon spekulative Legitimierung des Formalisierens für den Mathematik-Unterricht unbekümmert auf das Programmieren übertragen. Mit Programmieren ist hier weder das einfache Kodieren eines Programms gemeint, noch das Algorithmieren schlechthin, sondern das Entwickeln eines Algorithmus im Hinblick auf die Umsetzung in ein lauffähiges Programm und die Erstellung desselben. Diese Begriffsbestimmung weicht zwar etwas von der in der Informatik üblichen ab, wie sie etwa in Wirth (1972/1975:13) niedergelegt ist; sie ist aber didaktischen Fragestellungen angemessener: Algorithmen spielen z.B. in der Mathematik und ihrem Unterricht schon seit langem eine ausschlaggebende Rolle (vgl. z.B. Klein 1908/1968:85ff): Schriftliche Rechenverfahren, geometrische Konstruktionen, Ableitungsregeln usw. Die Frage lautet nun, ob das Programmieren in dem eben erklärten Sinne über das Formalisieren hinaus (möge dieses algorithmisiert sein oder nicht) noch einen bedeutsamen Beitrag zum Mathematik-Lernen leistet.

Gefahr der Ablenkung von der Mathematik durch den Computer

In den Fällen, wo diese Frage bejaht wird, werden zunächst einmal ähnliche Mechanismen unterstellt, wie ich sie oben als Legitimation für das Formalisierungs-Effekte und das Konkretisieren abstrakter Sachverhalte (21, 64, 145, 157f u.v.a.; Hoppe 1984:216ff u.a.) genannt. Dagegen gelten dann auch sämtliche oben ausgedrückten Bedenken, und darüber hinaus geht die spezifische Motivierungs- und Konkretisierungswirkung des Computers eher zu Lasten mathematischer Begriffsbildung. In den Berichten über "Logo-Projekte" wird zwar immer

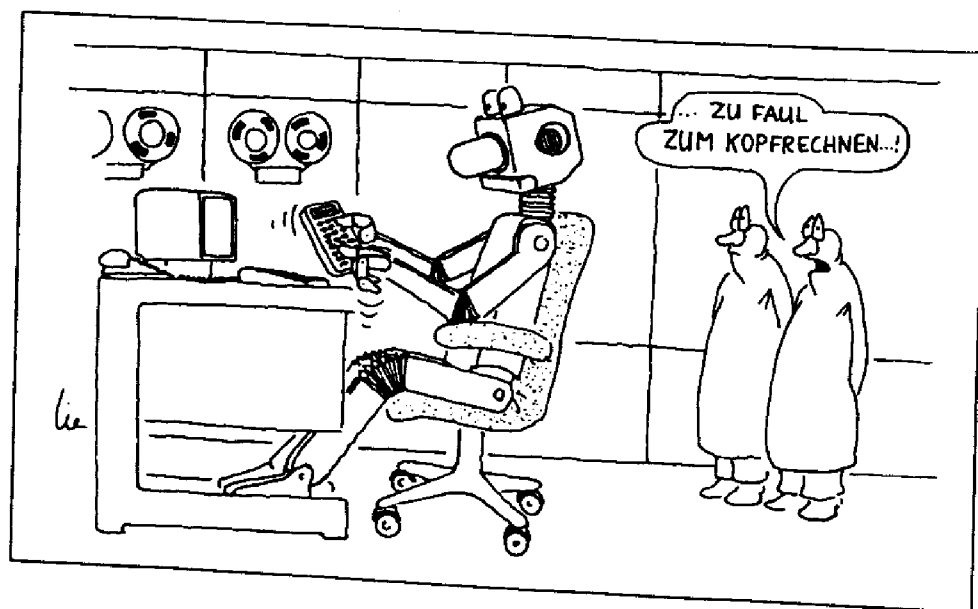
wieder die Ausdauer erwähnt, mit der die Schüler am Computer arbeiten; aber selten erfolgen inhaltliche Lernzuwächse, außer natürlich auf dem Gebiet des Programmierens, und wenn doch (z.B. Weber 1986:27), dann werden sie augenscheinlich unter starker Einwirkung des Lehrers erzielt. Die Schüler treiben lieber Computer-Spiele und (die m.E. offenbar als ähnlich unverbindlich empfundene) Turtle-Geometrie statt Prozentrechnung mit dem Computer (so ein wesentlicher Punkt eines Projekt-Kurzberichts von U. Beck, Flensburg, in Oberwolfach 1985; ähnlich Pacena 1986).

Aber auch da, wo mathematische Begriffsbildung zielstrebig durch den Lehrenden geleitet wird und (vielleicht mit dem Argument, allzu planlosem Herumprobieren vorzubeugen) eine nicht-interaktive Programmiersprache verwendet wird, besteht die Gefahr, daß der überwiegende Teil des Zeit- und intellektuellen Aufwands beim Programmieren in den Entwurf, die Umsetzung und Korrektur von Programmier-Strategien, -Taktiken und -Finessen geht (erst recht übrigens bei nicht-mathematischen Stoffen). Diesen Sachverhalt habe ich in den Numerik-Praktika in der Hochschule beobachtet, SII-Lehrer berichten ihn aus ihren Informatik-Kursen, und selbstverständlich trifft man ihn bei jüngeren Schülern. Aber auch so mancher Kollege (mich eingeschlossen) muß einräumen, daß beim Umgang mit dem Computer oftmals eine erhebliche Verschiebung des Interesses und Energie-Einsatzes von mathematischen Fragen hin zu Programmier-Problemen stattfindet. Du Boulay/Howe (1982:77) haben für ihre Ausbildung von Primarstufen-Lehrern daraus den Schluß gezogen, ihre Studenten weniger programmieren zu lassen und ihnen fertige (Logo-)Programme vorzugeben. In der Logo-Philosophie wird das Programmieren zwar zur Belehrung eines "tutees" hochstilisiert, aber faktisch ist das, was nach ihr der Lernende an Turtle-Geometrie treiben (soll), zunächst ebenfalls nichts anderes als 'Programmier-Taktiken Erwerben'.

Der fragliche Wert der "tutee"-Metapher

Weder die praktischen Erfahrungen, noch theoretische Überlegungen unterstützen die These, daß das Verstehen mathematischer Begriffe durch das Programmieren spezifisch gefördert wird, und zwar so viel, daß sich der Aufwand lohnen würde, den der Computer zumindest im Unterricht dabei und in großem Stil auch schon vorher erfordert. Die Metapher vom Computer als "tutee" ist eben nur eine Metapher: Menschen einen (mathematischen) Sachverhalt Beibringen ist etwas so wesentlich anderes als einen Computer Programmieren, daß eine Übertragung von irgendwelchen Beobachtungen höchst fragwürdig ist (etwa die Erfahrung vieler Lehrenden, daß sie ein Gebiet selbst noch einmal besser kennen lernen durch die Aufgabe, es anderen zugänglich zu machen).

Informations-technisch gesehen mag Menschen Unterrichten sich wenig von Computer Programmieren unterscheiden, aber informations-technisch ist die gerade beschriebene Erfahrung gar nicht faßbar, so daß sie auch hier nicht als Legitimation für das Programmieren erhalten kann, wie überhaupt die informations-technische Sichtweise praktischen pädagogischen und didaktischen Fragen nicht gerecht wird. Sollte umgekehrt die AI-Forschung einmal so weit kommen, daß sie Computer-"tutees" zur Verfügung stellt, mit denen echte Lehr-Erfahrungen möglich wären, dann träten für den Lernenden wieder die wohlbekannten (m.E. unüberwindlichen; s. auf S.34ff die Diskussion über die Epistemologen-Tätigkeit der Schüler) Schwierigkeiten auf, die er auch heute hätte, wenn er den Lernstoff beim Lernen sogleich jemand anderem beibringen wollte (auf keinen Fall wäre dabei übrigens Logo, oder eine 'Sprache' ähnlichen Niveaus relevant). Dazu treffend die Frankfurter Rundschau vom 09.08.1986 (man beachte die Verdoppelung der Pointe durch die Verdreifachung der Erscheinungsform des Computers):



Nun wird die Legitimation des Programmierens mit Logo oder anderen Programmiersprachen im Unterricht nach verschiedenen Richtungen ausgeweitet: Einmal durch die Erweiterung des Inhaltsbereichs über die Mathematik hinaus (1), dann - wie schon angedeutet - durch die Überwindung der Inhaltsgebundenheit mit dem Erwerb allgemeiner kognitiver Strategien (2) und schließlich durch den Übergang zu human-sozialen Begründungen (3). Auf diese gehe ich in der Reihenfolge (1), (3), (2) ein.

Die Vereinnahmung mathematik-fernerer Anwendungsbereiche

Zu (1): Hier ist nicht an Inhalte zu denken, die - auch wenn separatistische Strömungen in der Informatik das verneinen - bequem unter Mathematik subsumiert werden können (z.B. Sortier-Algorithmen), auch nicht an die Naturwissenschaften, in denen mathematische Methoden altbewährt sind, sondern an AI im weiteren Sinne (mit Problemen wie Linguistik, Strategie-Spiele usw.), deren Begrifflichkeit eng mit ihrer Computerisierung ausgebildet wurde. Zu beachten ist hier allerdings, daß das Programmieren zwar Motiv und Anlaß für die Bildung gewisser Begriffe war und ist, daß diese selbst aber doch wieder Formalisierungen bzw. Mathematisierungen darstellen, so daß für den Nutzen des Programmierens wieder dieselben Überlegungen gelten wie oben, S.29f, bei mathematischen Begriffen selbst. Darüber hinaus ist höchst fraglich, ob AI überhaupt sinnvoll in den Kanon der Unterrichts-Inhalte aufgenommen werden kann und soll (daß Papert, 158, dies bejaht, ist nicht verwunderlich) und, wenn man gewissen Gebieten, z.B. Linguistik, einen Bildungswert zuerkennt, ob es gerade die hoch spezialisierten, mathematisierten bzw. computerisierten Forschungs-Ansätze sein sollen, mit denen sich Schüler auf allgemeinbildenden Schulen zu beschäftigen haben.

Wer kontrolliert wen?

Zu (3): Ein Standard-Schluß der CiU-Bewegung lautet: Weil der Computer in der Zivilisation eine zunehmend bedeutende Rolle spielt, müssen sich die Heranwachsenden in der Schule mit ihm beschäftigen (z.B. Haefner 1982, Peters 1984:13 u.v.a.). Auf diesen Fragenkomplex gehe ich in Kap.5 kurz ein; hier interessiert lediglich das Zusatz-Teilargument, daß das Programmieren, speziell in Logo, dem Kind (das Gefühl von) Kontrolle über den Computer gebe (5, 19, 27). Allerdings geht es auch nicht um den deutlich werdenden didaktischen Individualismus und Illusionismus (s. S.23ff, S.46), sondern um den Begriff des Kontrollierens (s.a. Cuffaro 1984:559, Davy 1984:553, Dr/Dr 592 u.a.). Insbesondere mit der Turtle-Geometrie sei der Computer unter der Kontrolle des Kindes, weil ja seine Reaktionen auf die Eingaben unmittelbar und sichtbar erfolgen. Da stellt sich aber sofort die alte Frage, ob der Programmierer den Computer programmiert oder umgekehrt. In ihrer Analyse über den "Logo-Kult" kommen Rezanson/Dawson (1985) zu dem Ergebnis, daß die "Kultfigur 'Turtle'" sich Abhängige schafft und sie kontrolliert, auch wenn der Kult seinerseits wieder um dieser Abhängigen bedarf. Feuerstein (1985:11) stellt ein "verdecktes Leistungsprinzip" und trotz aller Individualisierung einen Trend zum Streben nach

"äußerer Anerkennung" fest. Und für Cuffaro (1984:564) sind es die Erwachsenen, die mit dem Computer dem Kind ihre Welt aufpfropfen.

In der Tat ist der Rahmen, den der Computer dem Kind mit der Logo-Umgebung vorgibt und innerhalb dessen er von diesem 'kontrolliert' wird, ausgesprochen eng, und zwar sowohl was die Möglichkeiten und die überwiegende Praxis des Computers zur Zeit und erst recht zukünftig betrifft, als auch bezüglich des Erforschens der Umwelt oder gar der Realisierung eigener Bedürfnisse (wobei jetzt nicht an solche durch Logo erst geweckte "Bedürfnisse" gedacht ist wie das Herstellen einer Polygon-Spirale). Auch die Bewußtmachung der Metapher vom Computer als "tutee" bringt das Kind nicht in die kontrollierende Position, und beim Debugging wird es offenbar: der Computer kontrolliert den Programmierer und zwingt diesen unbarmherzig zur Anpassung.

Die Unvereinbarkeit von Lern- und Epistemologen-Modus

Der Rest von Abschnitt 4.1 ist den erkenntnistheoretischen Fragen (2) gewidmet, die sowohl in der Logo-Philosophie, als auch bei ihren Kritikern eine zentrale Rolle spielen.

Zunächst einmal stört sich S. Brown (1982/1984:44f) an der Simultaneität von Lern-Modus (etwa mit der Mathematik als Gegenstandsbereich) und Epistemologen-Modus (mit dem eigenen Denken - z.B. über die Mathematik - als Gegenstandsbereich). Für Brown sind diese beiden Modi unvereinbar, da sie eben völlig verschiedene Gegenstandsbereiche haben, die entsprechend völlig verschiedene Arbeitsmethoden erfordern. Erschwerend kommt hinzu, daß die beiden Modi, oberflächlich gesehen, eng zusammen gehören, daß es Kinder mit ihren geringen Lern-Erfahrungen sind, die da mit ihnen im Prinzip gleichzeitig umgehen sollen, und daß sie das auch noch ohne gezielte Führung, ohne Gelegenheit zur Distanz, sondern allein auf der Basis ihrer 'intuitions'-geleiteten Computer-Aktivitäten leisten sollen.

Bestimmt kann der AI-Forscher Papert gut mit den beiden Modi umgehen, und man kann ihm in der Annahme folgen, daß so gut wie alle Menschen, insbesondere noch unverbildete Kinder, mit geeigneten Mitteln viel mehr lernen könnten als im real existierenden Schulsystem. Aber wie funktioniert denn diese Epistemologen-Tätigkeit eigentlich praktisch, und welches sind die Mechanismen, mit denen das Programmieren, und zwar in Logo, diese fördert? Besonders konkret oder gar erschöpfend sind Paperts Auslassungen dazu nicht; man findet den Hinweis auf das Debugging als Keim für die Epistemologie (23, 180) und zum ande-

ren die Behauptung von der Vermittlung zwischen formalem und konkretem Denken, die der Computer leiste (21, 23).

Die Schranken zwischen konkretem und formalem Denken

Bei dieser Vermittlungs-Leistung handelt es sich offenbar nicht um das Zusammenspiel zwischen dem Logo-Programm im symbolischen Repräsentations-Modus (im Sinne Bruners) und der Turtle-Geometrie im ikonischen Modus (denn schon für diesen ist der Computer prinzipiell nicht besser geeignet als das herkömmliche Medium 'Papier und Bleistift', und gegenüber der Berücksichtigung des dritten, enaktiven, Modus erweist er sich sogar als ausgesprochen störrisch); vielmehr geht es erklärtermaßen um Piagets Kategorien zur Einteilung der Intelligenz-Entwicklung in Stadien (21).

Die Schranken zwischen formalem und konkretem Denken sollen durch das Programmieren beseitigt werden, das in der Logo-Philosophie als "Externalisierung" (145, Hoppe 1984:216) und damit "Konkretisierung" von Gedanken aufgefaßt wird, die in der Form zwar auch ohne den Computer vorkommt (z.B. Konstruktions- oder Versuchs-Beschreibungen), aber dann meist nicht essentiell ist. Diese an den Grad der Internalisierung gebundene Unterscheidung von formalem und konkretem Denken kann eigentlich nicht im Sinne Piagets gemeint sein: Dann enthielte sie nämlich die abwegige Unterstellung, daß die internen Denk-Operationen formal (also ohne Bezug auf einen Gegenstandsbereich) ablaufen und im Moment der Umsetzung in ein Programm an konkrete Gegenstände gebunden werden. Außerdem würde sie davon ausgehen, daß das programmierende Kind das formal-operative Stadium bereits erreicht hat - ein Fortschritt in seiner Intelligenz-Entwicklung, der ja nach Papert (4, 157, 176) gerade durch das Programmieren beschleunigt und nicht für dieses vorausgesetzt werden soll. Für die umgekehrte Interpretation, nämlich daß aus dem konkret-operativen Denken heraus das Programmieren das formale Denken anregt oder gar selbst darstellt, läßt jedoch Paperts Ausdrucksweise, nach der z.B. das Programmieren "concrete computer models" (23) erzeuge u.ä., auch keinen Raum. Mit dieser noch am ehesten einleuchtenden Interpretation wäre man übrigens wieder beim Mathematisieren bzw. Formalisieren (u.a. in der Mathematik) angelangt, das ich oben bereits diskutiert habe (S.29f).

In dem Beispiel vom kombinatorischen Denken (21f) findet man tatsächlich einen Übergang von (mathematisch) formalem zu konkretem Denken, nämlich: von einer Betrachtung der möglichen Zustände eines endlichen Systems einerseits - zu der Aufgabe, etwa alle Zweierkombinationen von fünf Farben zu finden, und deren

Lösung durch Programmieren andererseits. Die Grenze liegt zwischen dem 'einer-' und dem 'andererseits' und nicht zwischen der computer-unabhängig formulierten Aufgabe über die Farbkombinationen und der Computer-Lösung. Mit seiner Behandlung dieses Beispiels verwechselt Papert seine eigene Perspektive als Mathematiker und Vermittler von Mathematik mit der der Schüler - womit er in der Didaktik keineswegs alleine steht. Diese Verwechslung wird auch nicht dadurch gerechtfertigt, daß sie zur Absicht erklärt wird; denn noch nicht einmal zur konsequent verwendeten "tutee"-Metapher gehört die Benutzung formalisierter Begriffe logisch vor das Lernen dieser Begriffe mit Hilfe des Programmierens; wie sollte diese vorgängige Nutzung auch vor sich gehen?

Also bedeutet Konkretisieren des Denkens bei Papert tatsächlich 'Niederlegen im ikonischen Repräsentations-Modus'. Das Programm als Ergebnis ist dann ein "konkretes Computermodell zum Nachdenken über das Denken" (23). In diesem Sinn ist wohl jede schriftliche Bearbeitung eines Problems ein solches konkretes Modell, und Kontrolle, Korrektur oder Erläuterungen können der Ausgangspunkt für die Epistemologen-Tätigkeit sein. Sie stellen selbst aber noch keine solche dar, sondern wirken faktisch komplett im Objektbereich (eventuell auf höherer Ebene), und der Übergang zur Reflexion des eigenen Denkens, zum Erwerb von Lern-Strategien o.ä. bedarf i.a. intensiven Einsatzes einer Lehrperson, gleichgültig, ob es um ein Computer-Programm oder eine sonstige schriftliche Leistung des Schülers geht.

Epistemologie für Kinder

So wenig Papert an der Erreichbarkeit dieses Ziels, Kinder zu Epistemologen zu machen, zweifelt, so wenig stellt er dessen Erfordernis oder Wünschbarkeit in Frage. Es gibt gewiß viele Forschungs-, Wissens- oder allgemein Arbeitsgebiete, in denen sich (einigermaßen) auszukennen es sich lohnen kann, z.B. die Geschichte der italienischen Oper, das Maurerhandwerk, Astronomie, Buchführung, Informatik usw. Die jeweiligen Experten halten in der Regel ihr Gebiet mit guten Gründen für besonders bedeutsam, und wo sich eine hinreichende Nähe zur Schule ausmachen läßt, wird auch die Forderung nach Aufnahme in den Unterrichts-Kanon erhoben.

Auf den ersten Blick erscheint es sinnvoll, wenn sich jeder Mensch mit Erkenntnistheorie beschäftigt. Aber es bedarf wohl doch einer ausführlicheren Diskussion darüber, ob der spezielle Ausschnitt von Pädagogik, Psychologie und Philosophie, den die Erkenntnistheorie darstellt, genügend Bildungswert hat. Insbesondere wäre die Frage zu erörtern, ob die Reflexion (eigener) Erkennt-

nis-Prozesse eben diese Prozesse fördert oder nicht gar stört (vgl. z.B. S. Brown 1982/1984:44), auch wenn Papert nicht müde wird, die Störung zu verneinen (28, 95ff, 135ff, 1972:251, 262). Diese Diskussion könnte jedoch nicht losgelöst von dem Problem der Erreichbarkeit dieser Reflexion geführt werden. Papert widerspricht auch hier sämtlichen Zweifeln (28, 95ff, 169f, 1972:251, 1980b:162f), aber eine nachvollziehbare Begründung seiner Überzeugung fehlt, wie gesagt. Und in der Metakognitions-Forschung ist man auch noch weit entfernt von gesicherten Erkenntnissen, insbesondere Kinder betreffend (s. den Übersichtsartikel von A.L. Brown, 1983).

In Diskussionen wurde schon gemutmaßt, daß mit der Epistemologen-Tätigkeit bei Papert im wesentlichen nur das Debugging gemeint sei, weil dieses so bedeutend sei (beim Korrigieren der Intuitionen, 144ff; beim Entwickeln einer Sprache zum Kommunizieren über Programme, 180) und andererseits die Metapher vom "mathland" so fundamental sei, in dem die Kinder Mathematik wie eine Muttersprache lernen (6f, 16, 39, 46f), also gerade ohne Reflexion ihres Lernens. In der Tat würde sich dann ein großer Teil der obigen Bedenken erübrigen. Aber die Epistemologisierung der Kinder ist doch ein derart zentrales Anliegen Paperts, daß die Debugging-Interpretation m.E. eine unzulängliche Bagatellisierung und die Metapher vom Muttersprachen-Lernen eine falsche Analogie (s. S. Brown 1982/1984:44) darstellen.

Schließlich muß sich der Befürworter dieser Epistemologisierung der Kinder entgegen halten lassen, daß sie die übergewichtig "analytische" Weltsicht (28), die die Computerisierung der Schulen so schon mit sich bringt, noch verstärkt. Diesen Gesichtspunkt behandle ich noch ausführlicher in Abschnitt 4.3.

4.2 Zur didaktischen Relevanz informatischer Charakteristika von Logo

Logo ist ein einfacher, leicht zu erlernender Dialekt der Programmiersprachen-Familie 'Lisp', deren Konzept das Prinzip der Listenverarbeitung umfaßt. Mit seinen diversen Merkmalen steht Lisp jeweils nicht einzig da, und Algorithmen, die in Lisp programmierbar sind, können prinzipiell auch in anderen Programmiersprachen wie Basic, Pascal usw. dargestellt werden. Allerdings sind die verschiedenen Programmiersprachen für verschiedene Typen von Problemen verschieden gut geeignet. Z.B. scheint für die Modellierung der in der AI-Forschung untersuchten kognitiven Prozesse Lisp günstig zu sein; jedenfalls ist der überwiegende Teil der dort entwickelten Programme in Lisp geschrieben

(Allan/Davis 1984:105). Aus dieser Tatsache zieht die Logo-Philosophie den scheinbar plausiblen Schluß, daß das Lernen (etwa von Mathematik) günstigerweise durch Programmieren in Logo stattfindet (156ff, s.a. Hoppe 1984:22).

Dieser Schluß von der AI-Forschung auf schulisches Lernen ist so jedoch keineswegs zwingend: Er unterstellt nämlich, daß Logo-Programme (etwa) mathematischen Inhalts zugleich sinnvolle Modelle kognitiver Prozesse seien, daß die Schüler selbst diese auch so auffassen würden und daß diese Auffassung das Lernen der mathematischen Inhalte so gut unterstützen würde, daß der Aufwand sich lohnt. In der praktischen Datenverarbeitung kommt Logo nicht vor, da einerseits sein Komfort bei den Aufgaben dort meist nicht gebraucht wird und das Durchschauen der Programme dann sogar behindert werden kann, andererseits das Programmieren und Durchführen von Ein- und Ausgabe umständlicher ist und vor allem die Verarbeitung im Vergleich zu anderen Sprachen recht langsam ist (s. z.B. Ziegenbalg 1984). Zu Zeiten, als bei den Computern noch der Speicherplatz knapp war, hätte das aufwendige Logo-System häufig gar nicht installiert werden können; und die Dominanz von Basic bei Kleincomputern z.B. hat sich von daher bis heute erhalten (218, 33ff).

Im folgenden geht es nun aber nicht um mögliche Einsatzgebiete für Logo, sondern um eine Analyse einiger informatischer Merkmale von Logo, denen in der Logo-Philosophie didaktische Relevanz zugeschrieben wird: Interaktivität, Rekursivität, Modularität und Debugging. Diese Auswahl stützt sich auf die Arbeiten einiger deutscher Didaktiker (Ziegenbalg 1984, Löthe 1985a und besonders Hoppe 1984), ist aber i.w. schon in "Mindstorms" enthalten.

Genau genommen ist nicht die Programmiersprache 'Logo' interaktiv, sondern (üblicherweise) die Logo-Umgebung, und für viele andere Programmiersprachen, die ursprünglich vielleicht nicht darauf ausgelegt waren, gibt es inzwischen auch interaktive Implementierungen. Das Element der Rekursivität existiert mittlerweile ebenfalls in anderen geläufigen Programmiersprachen, z.B. in gewissen Pascal-Versionen. Modularität und besonders das Debugging sind Kategorien, die von vorneherein nicht an Logo bzw. überhaupt an den Computer gebunden sind, aber dennoch von LiU-Anhängern für den Umgang mit Logo bzw. das Programmieren allgemein reklamiert werden.

Interaktivität

Bis weit in die siebziger Jahre mußten Eingaben für Computer mittels Lochkarten(-Stapeln) erfolgen. Handelte es sich dabei um ein Programm, wurde dieses

gelesen und, falls es keine syntaktischen Fehler enthielt, in ein lauffähiges Maschinen-Programm umgewandelt (kompiliert). So oft es noch mit Fehlern (auch semantischen) behaftet war, mußten die entsprechenden Lochkarten korrigiert und die gesamte Prozedur des Einlesens und Umwandelns wiederholt werden. Hatte der Programmierer keinen direkten Zugang zum Gerät, mußte sich die Nutzung mit anderen teilen, und waren die Zeiten der Ab- und Rückgabe nicht kontinuierlich möglich (z.B. nur im Zweistunden-Takt), dann wurde die Prozedur noch viel zeitraubender. Für das Debugging von Programmen mußte ein erheblich größerer Zeitaufwand veranschlagt werden als etwa heutzutage, und ein fundamentales Prinzip war die Minimierung von Fehlern bei der Programmierung und bei jeder Korrektur. Die Wichtigkeit dieses Prinzips der Apriori-Fehlerminimierung beruhte allerdings auch noch auf dem, wieder mit heute verglichen, viel höheren Preis der einzelnen Computer-Leistung (hohe Investitions-, Personal- und Betriebskosten; niedrige Verarbeitungsgeschwindigkeit und geringer Speicherplatzbedarf).

Mit der Einführung von Bildschirm-Terminals verbesserte sich die Situation für die Programmierer schlagartig. Es war nun möglich, im Betriebssystem vom Stapel- zum interaktiven Modus überzugehen, d.h. es so zu organisieren, daß Betriebs-Kommandos einzeln ohne Vor- und Nachspann verarbeitet werden konnten. Allerdings mußte ein Programm immer noch nach jeder Änderung (bei erhöhten Ansprüchen immer noch zeitraubend) komplett eingelesen und umgewandelt werden. Auch das wurde durch Entwicklung neuer interaktiver Programmier-Umgebungen (Basic, Logo usw.) seit den sechziger Jahren verbessert: Nach der Korrektur eines einzigen Befehls kann ohne erneute Kompilierung ein neuer Programmauf gestartet werden (Interpretation statt Kompilierung).

Der Interaktivität scheint unerschwellig automatisch ein didaktischer Wert unterstellt zu werden, und zwar werden mit diesem informatischen Begriff pädagogische Ziele wie intelligente Kommunikation des Kindes mit einem Gegenüber und damit Menschlichkeit und Intelligenz dieses Gegenübers, des Computers, assoziiert. (Bei aller Personalisierung des Computers scheint Papert selbst allerdings den Ausdruck 'Interaktion' für Menschen zu reservieren: 180). Zugleich wird ihr besondere Eignung für das Problemlösen zugesprochen (Hoppe 1984, Ziegenbalg 1984, Löthe 1985a).

Der schon in der herkömmlichen Mathematik-Didaktik unscharf verwendete und m.E. unergiebigste Begriff des Problemlösens wird in der Computer-Didaktik nirgends geklärt. Besonders merkwürdig mutet die Übersetzung von "problem solving" als "interaktives Programmieren" durch Hoppe (1984:9) an, der dabei Ey-

ferth u.a. (1974:60) mißversteht, die die Rede vom interaktiven Programmieren im deutschen Sprachraum eingeführt haben sollen (und dies in einem engen Zusammenhang mit dem "problem solving" gestellt haben). Dieser Zusammenhang liefert einen Hinweis auf das Problem-Verständnis der Computer-Didaktik. Eine bestimmte Auffassung von "problems" in der anglo-amerikanischen Mathematik-Didaktik bedeutet: kleine Rechen- bzw. allgemein mathematische Aufgaben, vorzugsweise in Textform, aber durchweg kontextfrei gegeben, von unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad, zum Üben oder zum Knobeln. Ein analoges Verständnis scheint in der Computer-Didaktik vorzuherrschen: Dort sind es eben Programmier-Aufgaben über mathematische Inhalte, linguistische Regeln, Strategie-Spiele usw. Etwas überzeichnet ausgedrückt: Mit dem Computer werden Probleme gelöst, die infolge seiner Existenz entstehen. Solche Probleme findet man in fast jeder Beispiel-Sammlung für Computer-Aktivitäten. Legitimiert wird deren Behandlung auch wieder mit dem Übungs- und Knobel- (Denkschulungs-)Argument, wobei - zumindest bei ersterem - stillschweigend die Legitimation des Programmierens vorausgesetzt ist. Besonders die für eine Programmierung mit Logo vorgesehenen Probleme haben oft wenig (im herkömmlichen Sinne) praktische Relevanz (Papert sieht dies allerdings eher als einen Mangel der herkömmlichen Praxis und nicht von Logo; 51, 54).

Wenn man sich einmal auf einen gewissen diffusen Problem-Begriff einläßt, und unterstellt, daß das Lösen solcher Probleme mit dem Computer einen Beitrag zum Lernen über das Programmieren hinaus leisten soll und kann, dann ist immer noch fraglich, ob dabei die Interaktivität ein nennenswerter Vorteil ist. Dies ist vielleicht zu bejahen für fortgeschrittene Programmierer, die bei umfangreichen Programmen an kleinen Ausschnitten Änderungen vornehmen, deren Auswirkungen eher intuitiv abzusehen sind. Bei ihnen könnte sich die wiederholte, zeitaufwendige Programm-Kompilierung wirklich störend auf ihren Arbeitsprozeß auswirken. Sie haben aber auch genügend Programmier-Erfahrung, um viele Fehler von vorneherein zu vermeiden, und fachliche Erfahrung, die ihrem intuitiven Vorgehen Erfolgsaussichten verleiht.

Nach der Logo-Philosophie soll das gerade Beschriebene aber nicht nur eine Beschäftigung für Spezialisten, sondern zukünftig prinzipiell für jedermann sein. Allerdings ist selbst dann nicht einsichtig, wieso es für Anfänger schon wichtig sein soll, interaktiv zu programmieren; denn daß dies ihre Intuition fördert, ist nicht belegt (es wird von Papert auch nicht expressis verbis behauptet; 145f, 154f) und auch gar nicht plausibel. Intuition halte ich durchaus für förderbar, aber - anders als gewisse andere Begabungen, Fähigkeiten usw. vielleicht - nicht einfach dadurch, daß man sie fordert.

So bleibt denn schließlich das Argument, interaktives Programmieren sei mit experimentellem Problemlösen besonders in der Mathematik verbunden (Ziegenbalg 1984, Hoppe 1984:10, 65, 178, 219), und die triviale Aussage: "unter der Annahme eines Lerntransfers ist der Schluß zulässig, daß der Schüler ... entsprechende Fähigkeiten erwirbt und in anderem Zusammenhang anwenden kann" (Hoppe 1984:12; Unterstreichung von mir). Diese Wertschätzung experimentellen Vorgehens beim Problemlösen in der computer-orientierten Mathematik-Didaktik entspringt verschiedenen Quellen didaktischer, wissenschaftstheoretischer und fachlicher Art: Da gibt es einmal die Prinzipien, die in der modernen Mathematik-Didaktik weitgehend akzeptiert sind, wie "entdeckendes Lernen" (bei uns vor allem von Winter ausgearbeitet; s.a. Hoppe 1984:13) und "Mathematik lernen durch Mathematik treiben" (bei uns z.B. von Wittmann vertreten und in der Lehrerbildung verwirklicht; auch von Papert schon 1972 gefordert), die gezielt gegen einen verbreiteten dozierenden Lehrstil gesetzt sind.

Vorbilder für das Mathematik-Treiben liefern die Berufs-Mathematiker, die ihre Ergebnisse nicht aus ihrem aktuellen Wissensstand einfach deduzieren (das könnte ja jeder und wäre jeweils schon längst geschehen), sondern entdecken; sie müssen probieren, (Gedanken-)Experimente machen, dabei gewisse Gegebenheiten variieren, andere konstant halten und die Wirkung betrachten. Jedenfalls arbeiten die Mathematiker an 'Wahrheiten', die nicht einem anderen schon bekannt sind, der sie bei ihren Entdeckungen irgendwie leiten könnte (vgl. die Diskussion von Expertentum auf S.76f). Mathematische Forschung enthält da durchaus einen Unsicherheitsfaktor. Der Computer schließlich hat die Mathematik um Lösungsmöglichkeiten (z.B. der bis heute suspekten Beweis des Vierfarb-Satzes von Appel und Haaken von 1976 oder das Finden großer Primzahlen), Fragestellungen (Numerik, aber auch ganz andere Gebiete wie etwa 'Attraktoren' u.v.a.m.) und Arbeitsweisen bereichert: Durch Bereitstellung umfangreichen Materials, das ohne ihn praktisch nicht erzeugt werden könnte, gibt er Gelegenheit zum Erkennen von Mustern, zur Entdeckung mathematischer Strukturen u.ä.

Ähnliche Wirkungen hat der Computer auf die Elementar-Mathematik: Manches endliche Problem erfordert keine 'mathematische Anstrengung' mehr, sondern wird einfach 'erschlagen', indem man den Computer alle Möglichkeiten durchrechnen läßt, besonders wenn die Rechenzeit praktisch nichts kostet und es daher auf die Effizienz des Algorithmus nicht ankommt. Oder: Mit dem Computer lassen sich lange Zahlenfolgen bereitstellen und so Gesetzmäßigkeiten erkennen. Allerdings gibt es Beispiele, wo der Computer-Einsatz versagt oder doch 'mathematische Anstrengung' erfordert, in Hülle und Fülle. Und: Für Schüler ist es z.B. schwieriger als für Mathematiker, die Zulässigkeit des Computer-Einsatzes

und die Zulässigkeit der Schlüsse zu problematisieren. Aus diesen (und weiteren fundamentalen) Erwägungen heraus halte ich die Forderung nach einer gründlichen Umgestaltung des Mathematik-Unterrichts zugunsten von Computer-Aktivitäten, wie sie extrem z.B. von Slesnick (1984) aufgestellt wird, für nicht haltbar.

Alle diese Gesichtspunkte (bis auf die kritischen zuletzt) scheinen, im Verein mit Pólyas Problemlöse-Strategien (denen Papert sehr anhängt: 64f), zur Hochschätzung eines experimentellen Stils beim Mathematik-Treiben beizutragen. Streibel (1983:478f) befürchtet allerdings, daß das durch das Fernsehen sowie so dominante "Niveau des Visuellen" beim Experimentieren in "Logo-Umgebungen" beherrschend wird und abstraktere Begriffsbildungen unterbleiben. Und vor allem: Was ist das für ein Experimentier-Stil, der durch die Interaktivität der Programmiersprache besonders gefördert wird? Wesentliche Bestandteile des wissenschaftlichen Experiments sind doch Planung und Auswertung, und zwar aus inhaltlichen Gründen, und auch dann, wenn kein Zwang zur sächlichen Ökonomie (Rechenzeit, Materialverbrauch u.ä.) besteht. Gleichgültig, welche Ziele die Lernenden nun beim 'Experimentieren' mit Hilfe des Computers erreichen sollen, - sei es das Erlernen einer Programmiersprache, eines Fachinhalts, der wissenschaftlichen Methode des Experiments, eines bestimmten Denkstils, das Lösen eines Problems, das Problemlösen -, die beiden genannten Bestandteile 'Planung' und 'Auswertung' müßten sich wiederfinden. Dies wird aber durch die Interaktivität der Programmiersprache eher behindert: Dem bekannten Bully-Effekt (Ausdruck geprägt von Hiltz/Turoff 1978: durch das Blinken des Markierungs-Zeichens, einen Text oder einfach 'Inaktivität' auf dem Bildschirm fühlt sich der Programmierer einer 'Erwartungshaltung' des Computers ausgesetzt und läßt sich zu raschen, unüberlegten Eingaben hinreißen) dürften junge Lernende in besonderem Maße unterliegen.

Krummheuer (1985) beschreibt, wie Schüler zur Lösung von 'Problemen' willkürliche (Rechen-)Operationen programmieren und damit so lange herumprobieren, bis das Programm anscheinend das Gewünschte leistet, und dabei gar nicht selten erfolgreich sind, weil (und so lange) die Zahl der Varianten klein ist (von ähnlichen Erfahrungen berichten: Burgheim/Rieß, 1985; speziell mit Logo: Burns 1983, Pacena 1986). Daß zur Rechtfertigung des Computer-Einsatzes in der Schule solche Erfolgserlebnisse herangezogen werden, habe ich bereits auf S.23f kritisiert. Dieser Umgang mit dem Computer setzt einen verbreiteten schlechten Unterrichts-Stil fort, bei dem die Schüler weniger inhaltlich an der Lösung eines Problems arbeiten, sondern erraten (müssen), was der Lehrer wohl hören will, und ihm so lange Antworten anbieten, bis er sich auf eine

stürzt ("sag's laut, Michaela") und diese damit zur tendenziell richtigen erklärt (Erarbeitungsprozeß-Muster im Sinne Voigts, 1984:128ff). Hier ist allerdings die Verteidigung möglich, daß das unerwünschte Verhalten der Schüler seine Ursachen in deren Unterrichts-Sozialisation und in der Wahl der falschen Programmiersprache (Basic statt Logo) bzw. in dem unangemessenen Einsatz des Computers habe.

Jedoch: Ein früherer und intensiverer Computer-Einsatz (etwa auf Kosten der Bedeutung des Lehrers) würde so umfangreiche Verschiebungen in der Sozialisation der Schüler mit sich bringen (oder auch nicht!), daß sich über eine etwaige Veränderung dieses Rate-Verhaltens und deren direkte Ursachen nur spekulieren ließe. Insbesondere ist ein Vorteil von Logo in dieser Frage gegenüber Basic nicht plausibel. Eine solche Spekulation wäre z.B.: Die Verwendung einer nicht-interaktiven Programmiersprache könnte für den Unterricht i.a. folgenden Vorteil bringen: Die Notwendigkeit, ein Programm bzw. Unterprogramm jeweils komplett zu kompilieren, zusammen mit der Verwendung von Bleistift und Papier beim Skizzieren und Modifizieren, eventuell sogar mit Ausdrucken von Programm und Programmlauf, könnten beim Lernenden eine distanzierte Haltung zu seiner Programmier-Tätigkeit und dabei ein planvolleres Vorgehen hervorrufen. Da würde vielleicht so manches für den Computer-Unterricht vorgesehene Problem im wesentlichen auf dem Papier gelöst und der Computer dabei auf gewisse Hilfsfunktionen reduziert, die womöglich ein Taschenrechner genauso gut oder gar besser erfüllt.

Debugging

Ein wesentlicher Bestandteil des Programmierens ist das Debugging, d.h. die Beseitigung von Fehlern im Entwurf eines Programms. Wird zum Lösen eines Problems das Programmieren eingesetzt, dann ist Debugging Teil des Problemlöse-Prozesses, und die obige Diskussion von Begriffen wie Problemlösen, Experiment, Intuition, interaktive Programmiersprache erstreckt sich automatisch auch auf das Debugging.

Papert preist es als eigene didaktische Kategorie (60ff), die wir dem Computer zu verdanken hätten und deren Leistung ein lohnender Umgang mit Fehlern sei (22f, 61f). Dies kontrastiert er an mehreren Stellen mit dem seiner Meinung nach in der Schule üblichen Verhältnis zu Fehlern: Eine falsche Antwort werde so schnell wie möglich vergessen (61), und im Mathematik-Unterricht würden die Schüler lernen, daß sie etwas entweder nur richtig oder nur falsch gemacht haben (23, 101, 114). Diese Erscheinungen werden dem zu überwindenden didakti-

schen Paradigma der Mathematik als Fertigfabrikat zugeordnet im Gegensatz zum Debugging, das eher Teil eines aktiven Umgangs mit Mathematik sei - und dessen Aufwertung in der Fachdidaktik durchaus begrüßt (z.B. Jahnke, 1983:93, u.v.a.) und der Logo-Philosophie zugerechnet wird (vgl. a. Otte 1982 mit anderem Begründungszusammenhang).

Es ist eine elementare menschliche Erfahrung, daß bei der Erstellung eines Werkes Mängel auftreten, sei es beim Verfassen eines Textes, Herstellen eines Gebrauchsgegenstands, Lösen einer Rechenaufgabe, Aufbau einer Organisation, Spielen eines Theaterstücks, Programmieren usw. Vom Zwecke des Werkes hängt die Kennzeichnung eines Mangels als solchen und auch die Entscheidung darüber ab, ob er in Kauf genommen werden kann oder beseitigt werden muß. Je nach Kontext kann es sich z.B. bei einem unästhetischen Druckbild oder der niedrigen Geschwindigkeit eines Algorithmus um gar keinen, einen läßlichen oder einen korrekturbedürftigen Mangel handeln. Für die mir wichtigen Analyse-Gesichtspunkte ist es unwesentlich, ob man das Debugging auf beide oder nur die letzte Mängel-Kategorie bezieht. Wo der ökonomische Druck fehlt, etwa in Schule und Freizeit, richten sich Debugging-Aktivitäten keineswegs nur auf ernste Mängel, sondern in umfangreichem Maß auch auf läßliche: Den Wagen nicht nur waschen, sondern polieren; im Schach den Gegner auf elegante Weise matt setzen; einen Text mit Sternchen einrahmen; usw. Der sich hier ausdrückende Hang zur Perfektion enthält oft eine ästhetische Komponente.

Diese Art von Aktivitäten hat den Vorzug der Unverbindlichkeit und ermöglicht - noch stärker als das Aufspüren ernster Fehler - unmittelbare Erfolgserlebnisse. Sie sind zwar vor allem im ökonomie-freien Raum möglich, aber diesen kann und soll die Schule sehr wohl auch liefern; allerdings wird damit das pragmatische Argument der CiU-Anhänger relativiert. Negativ zu bewerten sind die genannten Aktivitäten, wenn sie zur Vermeidung von (anstrengenden) Auseinandersetzungen mit 'ernsthaften' Inhalten führen oder dem Lehrer oder gar dem Schüler eine solche Auseinandersetzung vortäuschen, also Teil des auf S.46f erörterten Illusionismus sind.

Betrachtet man einmal die grundsätzlichen Mechanismen bei der Entdeckung und Beseitigung von Fehlern, so erweisen sich Computer-Programme als ganz normaler Typ von Werken, bei denen das Debugging nicht anders vor sich geht als in anderen uns wohlvertrauten Bereichen auch, was Papert auch selbst konzediert: Entweder ist ein Werk gelungen oder nicht (die Auto-Reparatur erfolgreich oder nicht, die Lösung einer Mathematik-Aufgabe richtig oder falsch, ein Computer-Programm richtig oder falsch). Man kennt allerlei Vorrichtungen zur frühzeiti-

gen Verhinderung bzw. Entdeckung von Fehlern (Checkliste, akustisches o.ä. Signal, Plausibilitäts-Überlegung, Mehrfachtest, geometrische Gestaltung von Steckkontakten, gegenseitige Durchdringung der Wörter beim Kreuzworträtsel, Fehlermeldung beim Umwandeln eines Programms usw.). Viele Fehler werden erst bei der Benutzung des Werks entdeckt, manche sogar nie.

Die Entdeckung bzw. Beseitigung von Fehlern kann von den Schöpfern eines Werks selbst geleistet werden, mit mehr oder weniger Unterstützung durch Fehlerkontrollen der beschriebenen Art oder durch mehr oder weniger direkte Hinweise anderer Personen, die in verschiedenen Verhältnissen zum Werk und zu den Schöpfern stehen können (Ausbilder, Schüler, Kollege, Benutzer usw.). Das Debugging kann aber auch von solchen Personen unmittelbar selbst geleistet werden; es kann auch unterbleiben. Ob ein fehlerhaftes Werk in den Einzelteilen repariert wird oder (zerstört und) gänzlich neu geschaffen wird, hängt in der Regel von einer Prüfung auf Ökonomie ab (Bauwerk, Lösung einer Mathematik-Aufgabe, Computer-Programm). In gewissen Phasen der Erstellung eines Werks kann es zweckmäßig sein, sich um bestimmte Details nicht zu kümmern und dabei Mängel in Kauf zu nehmen, die später extra beseitigt werden müssen (ungefähre Zitate in einer wissenschaftlichen Arbeit, ungenaue Befehle in einem Programm). Noch nicht einmal dabei ist der eigentlich triviale Grundsatz aufgehoben, daß Fehler von vorneherein zu vermeiden sind, denn man hat diejenigen, auf die man sich einläßt, sozusagen im Griff.

Wegen der Unzahl von Debugging-Varianten und der überwältigenden Dominanz der Umstände des Einzelfalls bei der Festlegung der Variante hat der Anspruch, aus der Behandlung eines Typs von Werken, nämlich von Programmen, Debugging-Regeln zu gewinnen und diese auf andere Typen zu übertragen, keine inhaltlicher Grundlage (s.a. die Kritik der Lisp-Vertreter Allan/Davis 1985:103).

Außer sie zu vermeiden und zu beseitigen, kann man mit Fehlern auch noch den Umgang pflegen, daß man aus ihnen lernt. Lernen bedeutet dabei zunächst einmal, daß man den Fehler als solchen erkennt und nicht mehr macht und sich damit auf den Stand dessen bringt, der ihn von vorneherein vermieden hat. Möglicherweise beschäftigt man sich im Zuge eines Debuggings mit gewissen Inhalten zusätzlich, intensiver, motivierter oder ausdauernder. Man lernt jedenfalls die Sache, bei der der Fehler aufgetreten ist (Autofahren, Rechnen, Programmieren), besser.

Zu allen Zeiten haben Pädagogen Fehler in diesem Sinn genutzt, mögen sie von ihnen selbst absichtlich oder unabsichtlich oder von den Lernenden hergerührt

haben. Das ignorante Verhalten der Lehrer, wie Papert sie sieht, entspricht zwar nicht diesen Idealvorstellungen und ist in der Schulwirklichkeit, besonders in den USA, bestimmt weit verbreitet. Bei einer Realisierung der Logophilosophie würden aber doch analoge Defekte auftreten: Die Lernenden verstehen eine 'Aufgabe' falsch; sie merken nicht, daß sie sie falsch gelöst haben; sie merken es zwar, sind aber nicht zur Korrektur fähig; usw. Und falls doch Lehrer beteiligt sind, sind wieder genau die klassischen Reaktionen möglich. Der Einwand, die Lernenden könnten die Aufgabe deshalb nicht falsch verstehen (oder gar lösen), weil sie so, wie sie sie verstehen (lösen), ihre Aufgaben seien; - dieser Einwand basiert auf einer doppelten Illusion: Zum einen (beim Pädagogen), daß das curriculum-freie Lernen beliebig weit getrieben werden könne, zum anderen (beim Lernenden), daß Aktivitäten schon dadurch einen Wert darstellen, daß sie von ihm selbst ausgehen (Illusionismus; s.a. S.25f).

Teil dieses Illusionismus ist auch das Ziel, beim Lernenden eine sog. positive Einstellung zu Fehlern aufzubauen. Der Beitrag des Computers zu diesem Ziel ist ganz vordergründig die ungeheure Erweiterung der Möglichkeiten, erst einmal Fehler zu begehen und sie dann zu beseitigen. Je mehr Fehler vorher gemacht werden, desto größer ist das Erfolgserlebnis beim Debugging, jedenfalls wenn es dem Lernenden vollständig gelingt. Selbstredend stehen Programmierfehler nicht nur im Dienste des Illusionismus, sondern, wie schon erwähnt, sie sollen auch das Programmieren-Lernen befördern. Um der latenten Zirkularität dieser Argumentation zu entgehen (das Debugging erscheint ja als einer der Legitimationsgründe für das Programmieren) und nicht ganz im Illusionismus stecken zu bleiben, muß man Auswirkungen auf andere Bereiche unterstellen. Die Übertragbarkeit der am Computer zu gewinnenden Erfahrungen und Lernfortschritte wird, wie gesagt, das Kernthema von Abschnitt 4.3 sein.

Bezüglich des Debuggings hier nur so viel: Es ist nirgends konkretisiert, wie Programm-Debugging-Techniken bei Werken anderer Art erfolgsbringend verwendet werden (können). Simplifiziert, aber typisch werden die Probleme an den Beispielen zum Debugging in der Turtle-Geometrie deutlich, die man in jeder Einführung in diese findet, so auch in "Mindstorms" (61f): Die zunächst unsinnige Zeichnung eines Hauses auf dem Bildschirm kann leicht, spurenlos und ohne ökonomische Verluste korrigiert werden. Bei einer Zeichnung mit Bleistift auf Papir würde dieser Fehler (das Giebel-Dreieck befindet sich im Innern des Quadrats, das den Korpus des Hauses darstellt, und seine Spitze zeigt nach rechts statt nach oben) gar nicht auftreten; aber wenn er aufträte, wäre er nur mit einiger Mühe mit Radieren abzustellen. Und die Beseitigung von Mängeln bei

einem realen Haus (oder auch nur einem Bretterverschlag) ist eben i.a. noch viel aufwendiger.

Man könnte auch noch an eine zeitliche, statt einer inhaltlichen Übertragung denken: Der Umgang mit Fehlern in einigermaßen harmlosen Situationen soll dazu beitragen, das Auftreten dieser Fehler in ernstesten Situationen zu verhindern (Simulationen aller Art, wie Armee-Manöver, Theaterprobe, Experimente im Windkanal, usw.). Die Schule hat mit dieser Antizipation von Fehlern schon immer schier unüberwindliche Schwierigkeiten gehabt, einfach weil sie aus den verschiedensten Gründen Real-Situationen so stark verfremden muß, daß der antizipatorische Charakter ihrer 'Übungs'-Situation gar nicht mehr gegeben ist. Dieser Konflikt wird durch die Computerisierung nur verschärft und betrifft die Lern-Umgebungen Papertscher Provenienz nicht minder. Man könnte noch an das Programmieren als Real-Situation denken; aber davon ist nur eine verschwindende Minderheit der Bevölkerung berührt, deren Ausbildung außerdem in Spezialkursen ergiebiger wäre als in der Schule.

Ein letzter Versuch, dem Programm-Debugging als besondere pädagogische Kategorie etwas abzugewinnen: Wie kann es die allgemeine Fähigkeit zum Problemlösen durch Entwicklung von Problemlöse-Strategien im Sinne Pólyas (1945/1967) fördern? - Erneut will ich hier den Problembegriff unhinterfragt verwenden und auch den Zweifeln an der Lehrbarkeit dieser Strategien im allgemeinen nicht nachgehen, deren Wert ich eher in der Beschreibung als in der Konstituierung von Problemlöse-Prozessen sehe. Jedenfalls existiert - auch in der Logo-Philosophie - kein Ansatz, wie das Debugging für die Entwicklung solcher Strategien in der Schule konkret fruchtbar gemacht werden soll. Eine sehr wirksame, aber häufig aufwendige Strategie zu Fehlerbekämpfung ist das schrittweise Durchgehen von Programmstücken und Verfolgung der Zustände der beteiligten Variablen. Diese hat allerdings den Nachteil, daß sie eben nicht allgemeiner Art, sondern speziell auf das Programmieren zugeschnitten ist.

Wenn man nun noch bedenkt, daß hier das Debugging als Lösen von Problemen aufgefaßt wird, die beim Programmieren entstehen, welches ja seinerseits schon ein Lösen von Problemen darstellt, dann hat man mit seiner unmittelbaren Rechtfertigung doch Mühe.

Rekursivität

Iteration (i.w.S.) ist ein mathematischer (bzw. informatischer) Begriff, dem genügend Weite (logische Allgemeinheit), Fülle (vielfältige Anwendbarkeit und

Relevanz) und Sinn (Verankerung im Alltagsdenken, lebensweltliche Bedeutung) zukommt, so daß er im Sinne Schreibers (1983) eine universelle Idee der Mathematik (gewiß auch der Informatik) ist. Die Analyse Schreibers ist deswegen hier von Interesse, weil ihr eine didaktische Absicht zugrunde liegt, nämlich: solche Ideen zu identifizieren, an denen sich der Mathematik-Unterricht inhaltlich orientieren kann. Das konkrete Erscheinungsbild einer universellen Idee im Unterricht ist dabei überhaupt noch nicht festgelegt; diese Konkretisierung bedarf vielmehr der Berücksichtigung jeweils einer breiten Palette von unterrichts-relevanten Aspekten.

Die Frage, ob der Iterations-Gedanke durch die geläufigen Beispiele aus der Mathematik wie Multiplikation als fortgesetzte Addition, Zinseszinsrechnung, das Messen, Infinitesimalrechnung usw. im Schul-Unterricht bereits angemessen repräsentiert ist oder nicht noch eine Darstellung in entsprechenden Computer-Programmen erforderlich ist, diese Frage ist keineswegs abschließend geklärt. Für das Folgende unterstelle ich aber einmal eine Entscheidung für das Programmieren in der Schule, und zwar selbstredend in einer höheren Programmiersprache. Was spricht dann dafür, die Idee der Iteration gerade in der Technik des rekursiven Selbst-Aufrufs von Unterprogrammen zu verkörpern, wie sie für Logo charakteristisch ist, und nicht etwa in Iterations-Schleifen, wie sie in vielen geläufigen Programmiersprachen vorkommen? Diese beiden Alternativen sollen nun diskutiert werden, wobei ich die Prädikate 'rekursiv' und 'iterativ' entsprechend verwende, obwohl diese als mathematische Begriffe eigentlich inkompatibel sind (vgl. a. Kilpatrick 1986:9). Angesichts vieler grundsätzlicher pädagogischer Fragen bei der Computerisierung der Schule erscheint diese Alternativen-Abwägung eigentlich als technisches Problem minderer Bedeutung; aber LIU-Anhänger (auch hier Papert wieder zurückhaltender) heben immer wieder den besonderen didaktischen Wert der Rekursion hervor (71, 74, Hoppe 1984:102, 135, 137, Ziegenbalg 1984, Löthe 1985b:198 u.v.a.).

Ähnlich wie oben bei dem Stichwort 'Interaktivität' ist auch jetzt einzuräumen, daß das Erreichen einer gewissen Stufe der Programmier-Fertigkeit in Verbindung mit dem Übergang zu bestimmten Problemklassen die Verwendung der Rekursion nahelegen kann. Bei Hoppe (1984:100ff) findet man Beispiele und auch eine programmier-technische Beschreibung des Rekursions-Konzepts bei Logo. Zwar läßt sich jede Rekursion auch als Iteration programmieren (umgekehrt so wieso), aber schon die Abarbeitung einer nicht allzu primitiven Baumstruktur mit Hilfe von Iterations-Schleifen kann sehr aufwendig, fehleranfällig und debugging-feindlich werden. Von der Logo-Philosophie her mit ihrer Orientierung an der AI-Forschung ist die Rekursion wohl eine für den fortgeschrittenen Pro-

grammierer geeignete Technik, jedenfalls bei Zugrundelegung einer Programmiersprachen-Konzeption, wie sie bis in die siebziger Jahre dominierte. Für einen Schul-Unterricht, der eher an herkömmlichen Ausbildungs-Vorstellungen ausgerichtet ist (wie er für die überwältigende Mehrheit der CiU-Anhänger, auch der gemäßigeren LiU-Anhänger, den Rahmen ihrer Überlegungen bildet), für diesen Unterricht schätze ich, auch bei stärkerer Einbeziehung des Computers, die Rekursion als weniger relevant ein:

Für die Beispiele, in denen sie einen echten Programmier-Vorteil darstellt, fehlt es an einigermaßen überzeugenden didaktischen Analysen, aus denen sich eine Rechtfertigung zur Aufnahme in den Stoff-Kanon der allgemeinbildenden Schule ableiten ließe. Daß das Programmieren solcher Beispiele (Turm von Hanoi, Fibonacci-Folge, Aufschreiben aller Permutationen von n Elementen, Zeichnen von Baum-Diagrammen, Spiralen, der von Kochschen Kurve usw.) eine Form von Problemlösen ist, an der man die Rekursions-Technik lernen kann, ist wieder ein partiell zirkelhaftes Argument und reicht m.E. nicht für die breite Mehrheit der Schüler eines Jahrgangs.

Für Hoppe (1984:102) und Lötke (1985b:198 u.a.) ist rekursives Programmieren "mathematiknah" und trägt zur Überwindung des "von Neumannschen Arbeitsprinzips" der herkömmlichen Computer mit ihrem linear-sequentiellen Durchlaufen der Befehlsfolgen bei. Dieser Einschätzung liegt eine Art Komfortabilitäts-skala für Programmiersprachen zugrunde: Auf der einen Seite vielleicht Assembler-Sprachen, wo eine elementare Rechenoperation aus mehreren Einzelbefehlen zusammengesetzt werden muß, bis hin auf der anderen Seite vielleicht zu Lisp, wo ein rekursiver Ausdruck direkt hingeschrieben werden kann. Diese Skala läßt sich allerdings verlängern bis hin zu Programmiersprachen(-Systemen), mit denen z.B. Polynomgleichungen nach Aufstellung automatisch gelöst werden, die also in diesem Sinn noch viel "mathematiknäher" sind. Wieso soll gerade Logo auf dieser Skala als Schulsprache, auch noch als erste (und einzige), ausgewählt werden?

Keine Programmiersprache scheint mir besser als andere geeignet zu sein, der psychischen Gefahr zu begegnen, die vom Computer ausgeht, wenn er unfehlbar, von keinen Zweifeln geplagt, von keinen Emotionen gerührt, Befehl nach Befehl ausführt und die Denkweise des Programmierers usurpiert und ihn zu "computerhaftem, linearem" Denken verleitet. Der mögliche Beitrag der Rekursions-Technik zur Abwendung dieser Gefahr wirkt doch sehr bescheiden, zumal - und das gilt für alle diese Programmier-Feinheiten - was man vielleicht an Programmier-Aufwand spart, muß man als Mühe beim Durchschauen wieder einsetzen. Für

den versierten Programmierer mag diese Mühe gering und sowieso überflüssig sein, für den Anfänger ist sie lange Zeit wichtig, z.B. ganz pragmatisch im Hinblick auf das Debugging, aber auch aus grundsätzlichen Erwägungen. Ohne diesen Anspruch des Durchschauens ließe sich nicht rechtfertigen, warum Schüler (Lernende) überhaupt programmieren sollen und nicht gleich fertige Programme bzw. Anwender-Software benutzen.

Und auch den Beitrag des Programmierens zur (etwa mathematischen) Begriffsbildung als dritte Phase nach dem verständigen Umgehen mit einem Begriff und seiner Formalisierung (s. S.29f) halte ich mit einer "mathematiknahen" Programmiersprache für weniger gegeben als gerade mit einer, die den Schüler zwingt, sich die lineare Abarbeitung eines Algorithmus Schritt für Schritt klar zu machen. Anthropomorphisierend und übertrieben ausgedrückt: Mit einer "mathematiknahen" Programmiersprache ist der "tutee" 'Computer' zu intelligent und verlangt dem Schüler zu wenig Erklärens-Leistung ab.

Rekursive Prozedur-Aufrufe können den Rechenablauf verschleiern (so schon Oberschelp 1977:45) - das ist geradezu ihre Funktion; denn sie sollen den Programmierer davon entlasten, diesen Ablauf austüfteln zu müssen. Diese ihre Funktion weist sie insofern als anti-didaktisch aus, jedenfalls in bezug auf den Programmier-Novizen, also in einem weiten Bereich der Schule. Man sollte sich vor Augen führen, daß Logo zwar eigens für Kinder entwickelt wurde, aber nicht etwa aus 'interaktiven' Sprachen heraus durch dezidierten Einbau der Rekursions-Technik, sondern als Vereinfachung der sowieso 'rekursions-haltigen' Programmiersprache 'Lisp'.

Es wird wohl von niemanden bestritten, daß die Rekursions-Auffassung eines Terms schwieriger zu durchschauen ist als die Iterations-Auffassung, wobei die Auffassungen in folgendem Sinn gemeint sind: Es sei der Ausdruck $a_n = f(a_{n-1})$ (mit $n \in \mathbb{N}$) gegeben. Ihn iterativ auffassen heißt, sich den Gesamtaufbau so vorstellen: $a_0, a_1 = f(a_0), a_2 = f(a_1), \dots, a_n = f(a_{n-1}), \dots$. Dagegen bedeutet die rekursive Auffassung: Für jedes n gilt $a_n = f(a_{n-1}) = f^2(a_{n-2}) = \dots = f^n(a_0)$, und dann $a_1 = f(a_0), a_2 = f(a_1), \dots, a_n = f(a_{n-1})$. Iterativ vorgehen heißt also, von einem bekannten Wert ausgehend mit der Operation f einen zweiten Wert, danach einen dritten usw. ermitteln; rekursiv vorgehen bedeutet, einen gesuchten, unbekanntem Wert als dadurch gegeben zu betrachten, daß er aus einem anderen, allerdings ebenfalls unbekanntem Wert durch die Operation f hervorgeht. Während sich für den Iterierer - mit Recht - gar nicht erst die Frage stellt, ob er an sein Ziel kommt, wundert sich der Rekurrierer, jedenfalls wenn er mathematisch weniger versiert ist, wieso ein unbekannter Wert

durch Rückführung auf einen anderen, ebenfalls unbekanntem, nun (im Prinzip) bekannt sein soll. Er muß in der Vorstellung Schicht für Schicht diese Rückführung weitertreiben und befindet sich dauernd auf scheinbar schwankendem Boden. Während der Iterierer nach jedem Schritt die alten Ergebnisse vergessen kann, muß sich der Rekurrierer die ganze Rückführungskette merken, da er, sobald er auf einen wirklich bekannten Wert stößt, von diesem aus wieder vorwärts die anderen bestimmen muß.

Genau so sieht die Befehlsfolge aus, in die der Interpretierer eine rekursive Kontrollstruktur verwandelt. Trivialerweise kommt man an der linear-sequentiellen Arbeitsweise des Computers doch nicht vorbei, wenn man die Rekursions-Technik durchschauen will. Außerdem ist immer noch eine Iteration involviert; diese wird aber nicht als Schleife abgearbeitet, sondern intern ist ja jeder Befehl extra aufgeführt, was übrigens bei einer großen Zahl von Aufrufen zu einem immensen Speicherbedarf führt. Die endständige Rekursion (LL; "last line"; der Selbst-Aufruf der Prozedur erfolgt als ihr letzter Befehl) erfordert allerdings gar nicht die rekursive Auffassung in diesem Sinn; denn bei ihr werden ja alle Befehle in der Prozedur direkt durchlaufen, ehe diese, i.a. mit anderen Parametern, neu aufgerufen wird. Man braucht sich also keinen zusätzlichen Aufbau einer Befehlssequenz mit anschließender Abarbeitung vorzustellen, sondern für eine solche Prozedur ist die iterative Auffassung angemessen.

Es ist jedoch nicht alles endständige Rekursion, was so aussieht: sie liegt z.B. immer dann nicht vor, wenn in der Anweisung, in der der Selbst-Aufruf der Prozedur erfolgt, nach diesem noch eine weitere Operation durchgeführt wird, z.B. die Multiplikation in 'RÜCKGABE :N * FAK :N-1' bei der Berechnung der Fakultäten mit einer Prozedur 'FAK'.

Es wird immer wieder berichtet, daß Lernende (zumindest) mit der (endständigen) Rekursion umgehen können (Hanninger 1982:35, Lavallade 1985:59, Treadaway 1985:47 u.a.), während Kurland/Pea (1983; nach Tetenbaum/Mulkeen, 1984:18, oder Haussmann 1985:148; s.a. Pea/Kurland 1984) bei ihren Untersuchungen mit 8- bis 12-Jährigen zu dem Ergebnis kommen, daß diese das Rekursions-Prinzip nicht durchschauen, auch wenn sie es benutzen. Und von Erfolgen bei nicht-endständiger Rekursion hört man gar nichts. Diese Befunde sprechen eher für die Kraft der iterativen Auffassung, zumal Anzai/Uesato (1982; nach Haussmann 1985:147) feststellen, daß Lernende rekursive Formulierungen besser verstehen, wenn sie mit iterativen Strukturen vertraut sind. Insgesamt halte ich die statistische Basis jedoch für viel zu schmal, und es müßte überprüft werden, was

die jeweiligen Autoren überhaupt unter Erfolg bzw. Mißerfolg verstehen. Aber was spricht eigentlich nach obiger Schwierigkeits-Analyse und den empirischen 'Befunden' dagegen, in der allgemeinbildenden Schule, wenn überhaupt, mit einer iterativen Programmiersprache zu arbeiten, womit mathematischen und informatischen Ansprüchen an den Unterricht m.E. vollauf Genüge getan wäre, oder, wenn man unbedingt essentielle Rekursion behandeln will, diese erst später einsetzen läßt (dagegen: Löthe 1985b:198)?

LiU-Anhänger, auch gemäßigte, befürchten - mit Recht -, daß der Übergang zu ihrer Programmiersprache dann häufig genug ganz entfallen würde. In der Tat: mit fortschreitender Schulzeit werden die Inhalte, die das rekursive Programmieren wirklich nahelegen, wegen ihrer Austauschbarkeit, Isoliertheit und Unverbindlichkeit bei Lehrern und Schülern zunehmend fragwürdig. Im Bereich der Grundschule lassen sich solche Inhalte etwa mit dem Ziel des Erwerbs kognitiver Strategien leichter rechtfertigen. Etwas anderes wäre es, wenn die kulturelle Bedeutung der Mathematik und der Informatik (als Hauptquellen von Problemen, die mit Hilfe von Logo-Programmen zu lösen wären) erheblich gesteigert würde. Diese Idylle einer Mathematik und Informatik treibenden Jugend halte ich für eine irrealer Projektion der Vorlieben von manchen Mathematik-Didaktikern und CiU-Anhängern. Aber sie wäre eine notwendige Voraussetzung für ein gewisses Niveau, auf dem sich Unterschiede in Programmier-Stilen überhaupt erst auf die Inhalte (Auswahl, Art der Behandlung ohne Vorgaben durch den Lehrer!) oder gar Denkstile spürbar auswirken können.

So sehen G. Fischer (1977:73) und Hoppe (1984:116f) die Rekursion als Spezialfall der allgemeinen Strategie, ein Problem auf einfachere Teilprobleme zurückzuführen und diese zu lösen (Reduktions-Strategie), wobei sie zwar akzeptieren, daß das Problem als solches nach dem Rekursions-Schritt dasselbe ist, sie es aber einfacher nennen, weil es der Abbruchbedingung näher ist. Tatsächlich spielt die Einfachheit des Teilproblems aber keine Rolle, da es ja gar nicht gelöst, sondern im Gegenteil wohlweislich als "black box" (Hoppe 1984:117) behandelt wird. Vielmehr ist es die Beziehung des Teilproblems zum Ausgangsproblem, die die Lösung im wesentlichen liefert. Nicht Problem-Reduktion, sondern Einführung einer Relation mit dem Rekursions-Schritt ist die Strategie, vergleichbar mit folgender Herleitung der Formel für die endliche geometrische Reihe: Gegeben ist die Reihe $1+q+\dots+q^n$ mit $q \neq -1$, $n \in \mathbb{N}$; man multipliziere sie mit q und bilde die Differenz zwischen der neuen und der alten Reihe: $(q-1)(1+q+\dots+q^n) = q+q^2+\dots+q^{n+1} - 1-q-\dots-q^n = q^{n+1} - 1$; woraus sich die gesuchte Formel $1+q+\dots+q^n = (q^{n+1} - 1)/(q-1)$ ergibt. Eine weitere Verständnisbarriere entsteht dadurch, daß diese relationale Sichtweise ausgesprochen sta-

tischer Natur ist und damit in einen scharfen Gegensatz zu der (auch in Logo wesentlichen) dynamischen Auffassung gerät, die zudem mit der Idee des Algorithmus zumindest in der Didaktik auf das engste verbunden ist.

Also: es trifft zwar zu, daß mit jedem Rekursions-Schritt das Ende der Ausrechnung näher rückt, aber die Ausführung des Algorithmus, auf die sich Fischer und Hoppe da beziehen, ist doch das Rechenhandwerk, das (evtl. durch den Computer) nach der prinzipiellen Problemlösung ausgeübt wird. Für das Problemlösen selbst gilt daher: Im Vergleich zu den Schwierigkeiten bei der Reduktions-Strategie, die ich keineswegs verharmlosen will (das Finden und Lösen von Teilproblemen eines Problems ist häufig genug selbst sehr problemhaltig), stellt die Rekursions-Strategie, ob man sie jetzt als eine andere oder eine Teilstrategie auffaßt, prinzipiell höhere Anforderungen an den Problemlöser: Gegenüber der Struktur der Teilprobleme hat die rekursive Relation eher externen Charakter, und sie anzugeben liefert eine statische Problemlösung auf der Meta-Ebene. Die Hindernisse, die sich vor diesem Verständnis der Problemlösung auftun, sind jedem Lehrenden bekannt, der schon einmal versucht hat, das Prinzip der vollständigen Induktion zu unterrichten. (Gemäß der Logo-Philosophie wäre hier jedoch gerade umgekehrt zu argumentieren: Ein rechtzeitiger, 'richtiger' Umgang der Kinder mit dem Computer würde das Induktions-Prinzip früher und erfolgreicher lehrbar machen.)

In der Logo-Philosophie ist die Logo-Rekursion nicht nur Programmier-Technik und Problemlöse-Strategie, es wird ihr auch Verwurzelung in der Lebenswelt zugeschrieben: So benutzt Papert die Scherzaufgabe, was man sich wohl als zweiten Wunsch aussucht, wenn man zwei Wünsche frei hat: Natürlich zwei weitere Wünsche (74). Das ist eine Rekursion ohne Abbruchbedingung, und man darf sich nicht als ersten von jeweils zwei Wünschen zwei weitere wünschen, weil der Wunsch-Gewährer dann nie mit dem Aufbau der Folge offener Wünsche fertig wird (Hoyles/Noss 1985:174), jedenfalls wenn er nicht zwei Wünsche zugleich bearbeiten kann. Andere Bezüge zum Alltagsleben der Kinder: Irgendwie jede Wiederholung menschlicher Handlung und viele Beispiele in Liedern, Gedichten und Geschichten (Lavallade 1985:59). In der Tat: Hier zeigt sich die lebensweltliche Verankerung der universellen Idee der Iteration, aber beileibe nicht in der speziellen Form der Rekursions-Technik.

Für Hoppe (1984:104) ist - (für mich) nicht nachvollziehbar - die rekursive Formulierung (seines Spirale-Programms) anschaulicher als die iterative. Man kann jedoch seiner These (Hoppe 1984:137) einschränkend zustimmen, daß "die rekursive Beschreibung geeignet" ist, gewisse "Algorithmen und informatische

Verfahren leichter durchschaubar, eleganter und kürzer darstellbar zu machen." Allerdings kommt dieser Vorzug m.E. erst an einer späten Stelle des Curriculums der allgemeinbildenden Schule mit weit fortgeschrittener Fähigkeit zum Formalisieren, wenn überhaupt, zum Tragen und ist mit den oben diskutierten Schwierigkeiten verbunden, so daß ich die didaktische Eignung der Logo-Rekursion für den ganzen Bereich der allgemeinbildenden Schule bestreite.

Modularität

Eine fundamentale Strategie rationalen menschlichen Verhaltens (Erkenntnisgewinnung, Erstellung eines Werks usw.) ist die Sichtweise von den Objekten, auf die das Verhalten gerichtet ist, als gegliederte Systeme (mit 'Objekten' ist hier gemeint: Sachverhalte, Vorgehensweisen usw., konkreter: eine Theorie, ein Text, die menschliche Anatomie, die Organisation einer Firma, die Erstellung eines Textes usw.). Besonders ökonomisch i.w.S. ist es, wenn ein System in Modulen zerlegt werden kann, wobei das Wesensmerkmal eines Moduls in der Möglichkeit zur Herauslösung aus dem System, separaten, abgeschlossenen Behandlung und Wieder-Einfügung besteht. Oft genug ist eine, u.U. zunächst sogar verfälschende, Modularisierung eines Systems Voraussetzung zu dessen Durchdringung bzw. Beherrschung. Das Parade-Beispiel sind die Erfolge der abendländischen Naturwissenschaften in der Neuzeit, die ihren Erkenntnisgegenstand in kartesischer Tradition konsequent modularisierten, allerdings im 20. Jhdt. zunehmend an Grenzen stoßen (s.a. S.62f).

Computer-Programme eignen sich in besonderem Maße zum Modularisieren. Der Grund dafür ist ein technischer: Jedes Programm besteht sowieso nur aus endlich vielen Befehlen in einer bestimmten Reihenfolge mit eindeutigen Wirkungen, so daß beim Programmieren leicht eine Einteilung in Programm-Abschnitte (durchaus auf mehreren Stufen einer Hierarchie) entsteht. Solche Abschnitte werden aber üblicherweise erst dann Modulen genannt, wenn sie einen eigenen Namen als Superbefehl (Prozedur, Unterprogramm u.ä.) haben, mit diesem Namen angesprochen werden können, selbst gar nicht mehr im Programm erscheinen, sondern separat gespeichert, wenn auch nicht unbedingt eigenständig lauffähig sind und von verschiedenen Programmen aufgerufen werden können. Mit einer sinnvollen Modul-Technik kann die Übersichtlichkeit gesteigert, die Fehler-Anfälligkeit gesenkt und der Aufwand vermindert werden (eine ganze Palette von Vorteilen hat Klingen, 1977, zusammengestellt).

Die Modul-Technik ist eine entscheidende Voraussetzung für die in der Computer-Nutzung erzielten Fortschritte, sei es auf der Ebene des Einsatzes ferti-

ger Software, der Verwendung höherer Programmiersprachen wie Basic, wo fast jeder Befehl einen aus mehreren Maschinen-Operationen bestehenden Modul darstellt, der Programmierung komplexer Aufgaben durch mehrere Personen usw. Offenbar kann eine zu feine Modularisierung ebenso ungünstig sein wie eine zu grobe: hier kann die supra- (u.a. unübersichtlicher Befehle-Vorrat), dort die intra-modulare Struktur zu komplex werden.

In fast jeder höheren Programmiersprache ist modulares Arbeiten möglich. Wie weit es genutzt wird, hängt zwar auch vom Charakter der Programmiersprache ab (die Rekursions-Technik in Logo erzwingt geradezu Modularität, während die GOTO-Anweisung in Fortran ihr eher abträglich ist), ist aber ebenso Erziehungssache. Ob die in der allgemeinbildenden Schule zu erwerbende kognitive Strategie der Modularisierung eine wesentlich andere Ausformung erhält, wenn sie über Logo anstelle von etwa Pascal vermittelt wird, ist fraglich; ebenso, ob gegebenenfalls diese Ausformung dann die günstigere ist. Es sei auch dahingestellt, ob die vielfältigen Verkörperungen der Modularisierungs-Strategie, wie sie der Mathematik-Unterricht zu bieten hat (bei der Auswahl der mathematischen Mittel, beim Anwenden, beim 'Problemlösen', beim plausiblen Schließen, 'Beweisen', bei Fallunterscheidungen, bei geometrischen Konstruktionen, beim Separieren von Gleichungen, in algebraischen Strukturen usw.), um solche aus der Informatik zu ergänzen sind und gegebenenfalls, ob dies gerade Programm-Prozeduren sein sollen.

Listenverarbeitung

Ein weiterer Komfort (neben der Interaktivität, Rekursivität und Modularität), der Logo zu einer programmierer-freundlichen Programmiersprache macht, ist das Prinzip der Listenverarbeitung. Bei seinen ersten unterrichts-praktischen Versuchen hat Papert zwar den Schwerpunkt auf dieses Prinzip gelegt, es aber nicht weiter intensiv verfolgt. Inzwischen wird es, anders als die drei anderen, weniger als didaktische Kategorie diskutiert (jedoch z.B.: Löthe 1985b:197f), da es in seiner vollen Bedeutung für den mathematisch-informatischen Novizen, also für einen überwiegenden Bereich der allgemeinbildenden Schule, kaum zugänglich ist.

Die Eignung von Logo zum Programmieren

Die Gesamtheit dieser Prinzipien macht Logo zwar zu einer eleganten, kraftvollen Programmiersprache. Ihre Kraft kommt jedoch erst bei einer über eine Allgemeinbildung in der Pflichtschule hinausgehenden Vertiefung zum Tragen.

4.3 Zum Transfer der programmierend erworbenen Denk-Prozeduren

Kritiker der AI-Forschung wie Weizenbaum (1976/1977) oder Dreyfus (1972/1979) weisen immer wieder darauf hin, daß die bisher erzielten 'Denk'-Leistungen künstlicher 'Intelligenz' sich auf recht primitive Situationen beziehen. Um 1970 handelte es sich dabei um das Schachspiel, automatisches Beweisen und das Lösen krypto-arithmetischer Aufgaben (Newell/Simon 1970/1971). Zu diesen einfachsten "task environments" sind inzwischen gewiß weitere, reicher strukturierte Bereiche gekommen; wie weit auf diesem Gebiet spürbare qualitative Fortschritte erzielt worden sind, sei dahingestellt. Jedenfalls findet man die "task environments" in der Logo-Philosophie wieder als "Mikrowelten" (117f, 120ff, 161f). Papert stellt zwar die (triviale) Tatsache fest, daß "Mikrowelten" ihren Ursprung irgendwie in der Realität haben (161f), aber bei ihrer Aufbereitung für das Programmieren geht dieser Realitätsbezug mitsamt einer etwa vorhandenen Sinnhaftigkeit und Komplexität weitgehend verloren (vgl. meine Kritik auf S.15ff; s.a. Streibel 1985:48 u.v.a.), und zwar z.B. auch bei den Aristotelischen, Newtonschen und Einsteinschen (pseudo-)physikalischen "Mikrowelten", jedenfalls was die Lebenswelt (junger) Lernender betrifft. Für die schwierige (s. Dr/Dr 1984:589, 594) Frage, wie die Lernenden diesen Bezug wieder gewinnen sollen, fühlt sich die Logo-Philosophie offenbar nicht zuständig. Es gibt da zwar den Hinweis auf die "Körper-Syntonizität" der Turtle-Geometrie; deren Rolle ist aber nicht genauer ausgearbeitet, und das aus gutem Grunde, denn die von ihr erzeugte Verbindung zur Lebenswelt ist eine oberflächliche und sinn-arme.

Die Rolle der "mathetischen Prinzipien"

Ansonsten überläßt man die Herstellung von Transfers aus den "Logo-Umgebungen" in andere Bereiche dem Lernenden (64, 104f, vgl. auch Papert u.a. 1979:1, 13) und stellt lediglich das zu transferierende geistige Gut, nämlich Denk-"Prozeduren", bereit. (Mit dieser Wortwahl schließe ich mich Chi, 1983:218, an, die die bereichs-abhängigen "Prozeduren" von bereichs-übergreifenden "Strategien" unterscheidet.) Nun scheint Papert seinen "mathetischen Prinzipien" (52, 120, 129) die Rolle dieser Strategien zuzuweisen; denn was Pólyas "heuristische Strategien" (eigentlich: Prozeduren) für das Problemlösen (in "task environments" bzw. "Mikrowelten") sind, sollen die "mathetischen Prinzipien" für das Lernen allgemein darstellen, nämlich "den Prozeß des Lernens erhellen und erleichtern" (120).

Welche Prinzipien hat Papert nun konkret entwickelt, um diesen Anspruch einzulösen? - Zunächst nimmt er zwei der Pólyaschen Strategien, nämlich: (a) zerlege das Problem in Teilprobleme; (b) suche ähnliche, bereits gelöste Probleme. Die "Turtle" fügt (nach Papert) diesen "Ratschlägen" ein "neues Element" hinzu, indem sie sie in "konkrete Handlungsanweisungen" umwandelt: "Play Turtle. Do it yourself" (64). - Wieso diese Verengung des Problemlösens auf das Medium 'Turtle' die allgemeine Lernfähigkeit fördern soll, erfährt man wiederum nicht.

Später wird dann von den beiden Strategien mit ihrer Konkretisierung ein weiteres Prinzip (c) abgespalten: eigne dir das Neue im Problem an ("make it your own ... play with it ...", 120). - Man kann natürlich viele der über das Buch verstreuten Aussagen als mathetische Prinzipien auffassen, aber, aus welchen Gründen auch immer, Papert hat es versäumt, sie zu identifizieren und damit als solche diskutierbar zu machen. Dagegen hebt er drei Prinzipien hervor, mit deren Beachtung die Mathematik angeblich besser zugänglich wird und die bei der Entwicklung der Turtle-Geometrie leitend waren (54: "continuity", "power", "cultural resonance"); diese scheinen aber nicht mathetisch sein zu sollen. - Bei dieser ganzen unklaren Begriffsbestimmung scheint sich aber doch wenigstens ein Prinzip herauszuschälen, nämlich das des strukturierten Programmierens (105; s. Abschnitt 4.2). Dieses bezieht sich zwar zunächst auf einen engen Bereich, aber das ist ja gerade die Botschaft, daß die Arbeit in diesem Bereich Vorbild für andere ist.

Die ungelöste Transfer-Problematik

Offensichtlich ist jedoch das Transfer-Problem nicht aus der Welt; es ist vielmehr auf die Frage übergegangen, wie wohl aus bereichs-spezifischen Prozeduren bereichs-unabhängige Strategien werden. Allerdings werden in der Logo-Philosophie Erwerb und Verwendung solcher metakognitiven Fähigkeiten, seien sie in der Form von Verallgemeinerungen oder von direkten Übertragungen gesehen, offenbar für unproblematisch gehalten, jedenfalls werden sie nicht erörtert. Zwar erwähnt Papert an einer Stelle (166), daß die AI-Forschung schon seit einiger Zeit die Notwendigkeit bereichs-spezifischen (Fakten-)Wissens erkannt habe (z.B. für die Schaffung von Expertensystemen), aber er leitet daraus keine Konsequenzen für die Logo-Philosophie ab. Auch das erkenntnistheoretische Modell der "society of mind" mit ihren konkurrierenden Mitgliedern (167ff) wird (mit Recht) nicht zur Erklärung von Transfer-Leistungen herangezogen. Lernen wird als lokaler Vorgang (172f) gesehen, und globale Änderungen geschehen nur allmählich durch die Interaktion von Fertigkeiten und heuristischen Strategien (in "a kind of tool box" 172).

Tatsächlich stellt ein Kind oder ein Lernender keineswegs automatisch oder wenigstens mit Leichtigkeit Bezüge zwischen verschiedenen Bereichen des Wissens, des Lernens, oder allgemeiner: der Erfahrung, her (Bauersfeld, 1983, hat hierfür den Ausdruck "Subjektiver Erfahrungsbereich", abgekürzt: SEB, gewählt). Vielmehr wird in neueren kognitionspsychologischen Arbeiten übereinstimmend die Notwendigkeit bereichs-übergreifenden sog. "Handlungswissens" (s. Weinert/Kluwe 1983, speziell:210) hervorgehoben. In seiner vielbeachteten Dissertation hat 1979 Paperts Doktorand Lawler (1985) instruktiv die Ausprägung solcher SEB'e und ihre Abschottung gegeneinander bei seiner 6-jährigen Tochter beschrieben. Der von Lawler verwendete Begriff der Mikrowelt ("microworld") ist zwar enger, indem er sich ganz auf die kognitive Komponente beschränkt (Bauersfeld 1983:27), aber es gehört zu ihm immer noch die konstituierende Beteiligung des Subjekts. Ganz anders dagegen Paperts Bestimmung, wie sie von Lawler (1982) oder Groen (1985) zu präzisieren versucht wird. Da ist "Mikrowelt" eine lokale mathematische Theorie, die die Lernenden studieren sollen, bzw. nach Bauersfeld (1983:46), der zu einer eher didaktischen Interpretation gewillt ist, ein "geplantes Lernarrangement" mit dem "Computer". Sogar wo Papert von "personal microworld" spricht, handelt es sich um eine mathematische Teiltheorie, auf die ein Kind die gegebene Theorie einschränkt (118f, 162). Und wenn in der Logo-Gemeinde von der "Suche nach neuen Mikrowelten" die Rede ist, dann ist damit schlicht das Abklopfen der Mathematik oder anderer Gebiete auf Inhalte gemeint, die sich für eine Programmierung mit Logo eignen (Boudot/Berdonneau 1985, Erlwanger 1985, Finlayson 1985, Hoyles/Noss 1985:109, Owen 1985).

Das Konstrukt des SEB beinhaltet nun, kurz gesagt, folgende Auffassung: Lernen, auch institutionalisiertes, findet mit Hilfe von SEB'en statt, und die Verknüpfung von solchen SEB'en, z.B. durch Prozeduren-Transfer, ist Handlungswissen und insofern ein eigener Lerninhalt, den man als SEB höherer Ordnung auffassen kann, und es ist nicht einzusehen, wie dieses (Meta-)Wissen von selbst kommen soll. Lawler hat seine Tochter zwar nicht belehrt, ihr aber doch deutliche Hinweise und starke Anregungen gegeben. Was ist guter Unterricht anderes?

In der reinen Logo-Philosophie ist aber niemand vorgesehen, der diese Hinweise und Anregungen gibt, und auch gemäßigte Ansätze, die einer Lehrperson eine bedeutendere Rolle zugestehen, müssen sich entgegenhalten lassen, daß computererzeugte SEB'e wegen ihrer besonderen Eigenartigkeit sich einer Integration mit anderen, wenn es sich nicht gerade um rein mathematische handelt, besonders hartnäckig widersetzen (s. z.B. Bauersfeld 1983:48).

Diese tendenzielle Disparatheit ist aber nicht nur eine psychologische oder soziale, sie besteht auch auf inhaltlicher Ebene. Anders gewendet: Wie gut sind denn die in "Logo-Umgebungen" zu erwerbenden Denk-Prozeduren oder allgemeiner: Computer-Erfahrungen zur Anwendung in anderen Bereichen überhaupt geeignet? (Zu denken ist dabei an die Teilprozeduren des mathematischen Prinzips des strukturierten Programmierens, die auf die in Abschnitt 4.2 besprochenen Techniken 'Modularität', 'Interaktivität', 'Rekursivität' und 'Debugging' zurückgehen.)

Die "society of mind"

Ein Anwendungsbeispiel führt Papert selbst vor: das bessere Durchschauen seines und Minskys Modell der "society of mind" mit Hilfe dieser Prozeduren, wie er selbst (169) schreibt. Die von ihm aufgezeigten Analogien werden m.E. diesem Ansatz jedoch nicht gerecht. Das Wesen der "Agierenden" ("agents"; 167ff) wird durch die Beschreibung als Logo-Programm-Moduln erheblich verstümmelt, indem dabei ihre Selbständigkeit, ihr Konkurrenz-'Verhalten', ihr genetischer Charakter, eine gewisse Unschärfe und Flexibilität verloren gehen. Die Homunkulus-Metapher halte ich da für angemessener; allerdings teile ich nicht Paperts Bedenken der Zirkelhaftigkeit, die darin bestehen soll, daß damit das Verhalten von Menschen durch ebensolches erklärt wird; denn ich sehe einen deutlichen qualitativen Unterschied zwischen dem Bewußtsein ("mind") als Teil menschlichen Daseins und einem, noch so komplexen, Agierenden in einer "society of mind". Dieser qualitative Sprung wird in dem Rekursions-Modell, mit dem Papert den Zirkel auflösen will (169), unterschlagen; außerdem bleibt der Anfang (bzw. das Ende) dieser Rekursion im Dunkeln. Schließlich erscheint (noch) unklar, wie die Interaktion zwischen den Agierenden eigentlich funktioniert (167ff). Das Bild einer sog. interaktiven Programmiersprache ist zur Beschreibung dieses Funktionierens gewiß ungenügend. Es mag ja sein, daß Papert und Minsky von gewissen programmier-technischen Prinzipien, wie sie auch in Logo realisiert sind, zu ihrer Theorie angeregt wurden, - durchschauen kann man diese auf der Basis jener Prinzipien jedoch nicht.

Die Theorie der "society of mind" soll ausgearbeitet in einem schon 1980 (167, Fußnote) angekündigten Buch dargestellt werden, und der Abriß in "Mindstorms" ist eine (legitimerweise) bewußt simplifizierte Version (168). Aus dieser läßt sich allerdings nicht so recht erkennen, wieso (in Umkehrung der eben betrachteten Fragestellung) die Logo-Philosophie bzw. die Programmiersprache 'Logo' besonders gut passend zu dieser Theorie konzipiert sein oder gar in ihr wurzeln sollen (wie es die Überschrift auf 156 nahegelegt). Es ist wohl nicht

verwunderlich, daß man bestimmte Strukturen, die man beim Aufbau einer Theorie in diese hineinsteckt, dann auch in dieser Theorie irgendwie wiederfindet. Diesem Effekt ist z.B. seinerzeit die mathematische Struktur der Gruppe unterlegen: Für Piaget war sie das Vorbild für seine Begriffsprägung der kognitiven Struktur der Gruppierung, und in der Mathematik-Didaktik hat man die mathematische Gruppe dann in den Kanon schon der Grundschule aufgenommen, weil sie so gut dieser kognitiven Struktur entspricht (s. dazu die etwas überzogene, aber tendenziell zutreffende Kritik von Bussmann, 1974, oder auch Bender, 1982:19f).

Die Abstammungslinie der Programmiersprache 'Logo' von dem Konzept der "society of mind" weist dann doch recht wenig Substanz auf, und auf einem hinreichend niedrigen Substanz-Niveau lassen sich vielerlei Theorien u.ä. zum Korrelieren bringen. Hinzu kommt, daß Logo und die ganze Logo-Philosophie aus den 60-er Jahren stammen, den informatischen, didaktischen und erkenntnistheoretischen Geist dieser Zeit atmen und den damaligen Stand der AI-Entwicklung reflektieren, während das Modell der "society of mind" deutlich jünger ist und einen gewissen Paradigmenwechsel in der AI-Forschung reflektiert.

Selbstredend verbindet Papert mit diesem Modell ebenfalls einen sehr weit gehenden Anspruch, soll man doch mit der Homunkulus-Metapher "logical learning as continuous with social and bodily learning" (169) verstehen. Aber auch dieser Bezug wird nicht substantiiert, sondern bleibt auf vage Assoziationen reduziert (s.a. weiter unten die Diskussion des Erwerbs körperlicher Fertigkeiten, S.70f, und Kap.5, S.77f). Otte (1982:14) interpretiert Papert hier ausgesprochen wohlwollend, wenn er dessen Schilderung einer exzeptionellen projektartigen Schulklassen-Aktivität mit gemeinsamem Debugging (114f) als Vorbild für eine soziale Interaktion von Agierenden einer "society of mind" versteht. Möglicherweise meint Otte sowieso etwas anderes als Papert, da er durchgängig von einer "society of minds" spricht (Otte 1982:7, 13, 15) und anscheinend die ganze Theorie stärker in sozialem Kontext sieht.

Zu Hoppes Kritik an Otte

Eine solche Auslegung des Papertschen Entwurfs geht sogar dem LiU-Anhänger Hoppe (1984:49) zu weit. In seiner Dissertation stellt Hoppe konkret didaktische und methodische Aspekte der Programmiersprache 'Logo' dar. Diese wohl-tuende 'Handfestigkeit' ist allerdings mit einem im Vergleich zu Paperts Entwurf erheblich bescheideneren pädagogischen Anspruch verbunden. Von jenem setzt er sich übrigens in mehreren Punkten explizit ab: So kritisiert er Män-

gel am Konzept des "Lernens ohne Curriculum", das Fehlen einer geschlossenen Theorie, mißverständliche Formulierungen, ungenügende empirische Absicherung und plädiert für den Einsatz menschlicher Lehrer (Hoppe 1984:48, 49, 74, 231). Seine Unterrichts-Vorschläge sind nicht zum Erst-Lernen, sondern zur "Rekonstruktion von Wissen" gedacht (Hoppe 1984:179, 210). Seine Position (und die anderer deutscher LiU-Anhänger) läßt sich gut mit Hilfe der Strukturierung meines 4. Kapitels abgrenzen: über die Didaktik der Formalwissenschaften (Mathematik, Informatik) geht er nicht hinaus, der (laufende) Abschnitt 4.3 betrifft ihn (im wesentlichen) nicht, er ist kein Mitglied der Logo-Gemeinde i.e.S.

Insofern wird das streckenweise überschwengliche Vorwort Ottes (1982) zur deutschen Ausgabe von "Mindstorms" der Logo-Philosophie eher gerecht als Hoppes Arbeit, auch wenn Otte "die konkreten (programmier-)sprachlichen Möglichkeiten kaum berücksichtigt", sondern als "von einer theoretischen Position aus argumentierende(r) Kritiker" durch "die mitunter sehr blumigen und metaphori-schen Formulierungen in 'Mindstorms' ... zu Fehlinterpretationen verleitet" werden kann, "die durch die Praxis des Lernens mit Logo sofort ausgeschlossen würden" (Hoppe 1984:49).

Hoppes Kritik (jedenfalls das, was er hingeschrieben hat) greift jedoch unter mehreren Gesichtspunkten zu kurz: Seine Ausführungen sind selbst durch und durch theoretischer Natur; über eine nachvollziehbare empirische Fundierung verfügt er so wenig wie Otte; und die Mißverständlichkeit der Papertschen Dik-tion mit ihrer objektiven Funktion der Verschleierung von Argumentations-Defi-ziten an vielen Ecken und Enden der Logo-Philosophie - wendet sich doch gegen Papert und nicht gegen Otte.

Besonders wirkungsvoll ist die Papertsche Rhetorik ja deswegen, weil der Ge-genstand seiner Rede die Programmiersprache 'Logo' mit ihren exakten Merkmalen ist. Folgerichtig legen die Logo-Gemeinde und durchweg auch gemäßigte LiU-Anhänger (wie z.B. Hoppe) Wert auf diese Merkmale in ihrer Reinform.

Nehmen wir einmal das Konzept der Modularität: Man ist nicht gewillt, darunter ein allgemeines modulares Vorgehen zu subsumieren, wie es z.B. praktisch bei jedem, scheinbar noch so unstrukturierten Programmieren angewandt wird, - nein, es muß eine genau festgelegte Form erfüllt sein. (Ähnlich ist es bei an-deren Begriffen.) Durch das Bestehen auf dieser Reinform ergibt sich die di-daktische Entscheidung für die Programmiersprache 'Logo' zwar fast von selbst, aber die Erklärung etwaiger Transfer-Leistungen macht dafür umso mehr Schwie-

rigkeiten. Dieser Einwand trifft auch gemäßigte LiU-Ansätze wie den Hoppe-schen; denn auch diese haben den Einsatz von Logo mit irgendwelchen Außenwirkungen zu legitimieren, selbst wenn sie diese dann nicht untersuchen.

Wie wenig sich die programmier-technische Eindeutigkeit eines Begriffs wie 'Modularität' auf die pädagogisch-psychologische Diskussion über ihn vererbt, zeigt der folgende Streitpunkt: Hoppe (1984:49f) legt Wert darauf, daß "Papert das Prinzip der Modularisierung ... auf die Instrumente des Wissenserwerbs ... bezieht", und kritisiert Otte, weil dieser es auf die "Produkte des Denkens" münzt. In der Tat kommen bei Papert beide Auffassungen vor, und die Diskrepanz erledigt sich durch die weitgehende Identifizierung von Erkenntnistätigkeit und -ergebnis, wie sie Papert, wenigstens implizit, in seiner Piaget-Adaption vornimmt (vgl. Kap.3, S.21ff, und Bu/He 83).

Die reduktionistische Seite des Modularismus

Das Problem, daß durch die Förderung des Konzepts der Modularität beim Lernen zugleich einer allgemeinen "Balkanisierung" der Kultur Vorschub geleistet werden könnte, ist durch die auf S.68f und S.93f analysierte Stellungnahme Paperts (171f) keineswegs ausgeräumt. Die von Papert diagnostizierte "Balkanisierung" 'unserer' Kultur, die weitreichende Trennung von Geistes- und Naturwissenschaften auf allen Ebenen (4, 39, 45, 171, 183), steht in engem Zusammenhang mit einem allgemeineren Charakteristikum des abendländischen Geisteslebens seit etwa 300 Jahren, nämlich der Dominanz analytischen Denkens, wie sie letzten Endes auf das Descartessche Weltbild zurückgeht, zu einer Zersplitterung der Kultur in scharf voneinander getrennte Bereiche geführt hat, sowie zu einer sozialen, ökonomischen, politischen Favorisierung der Bereiche, die für analytisches Denken prädestiniert scheinen, nämlich die Formal- und Naturwissenschaften, und dort zur weiteren Zersplitterung in Disziplinen, Teildisziplinen usw. und zum Aufbau einer mechanistischen, modularisierten Weltansicht. - Meine Verwendung des Begriffs 'Modularismus' umfaßt durchaus 'gehobenerer' Spielarten wie solche, in denen mit der Zerlegung einer Sache in Module zusätzlich noch die Interdependenzen dieser Module in Betracht gezogen werden. Denn auch diese Perspektive enthält die Auffassung, ein beliebiger Gegenstand lasse sich überhaupt erst einmal zerlegen. Die Modularität, wie sie als Idee bei Logo-Programmen gewonnen werden kann, entspricht bestenfalls dieser (m.E. immer noch reduktionistischen) Perspektive.

Bis ins 20. Jhdt. hat sich die Analyse als erfolgreiche Strategie zur Erkenntnisgewinnung erwiesen und (nach Dr/Dr 580) direkt auf den Computer geführt.

Aber man stößt nach und nach in unterschiedlichsten Bereichen auf deren Grenzen und sieht sich zu einer mehr holistischen Betrachtungsweise genötigt, zuallererst in der Physik, aber auch in Chemie, Biologie, Medizin, Psychologie, Pädagogik, Technik, Ökonomie, Ökologie, Verwaltung (vgl. Capra 1982/1983). Die Umwelt-Probleme (Verwüstung bzw. Vergiftung der Natur, Hochrüstung, Ressourcen-Knappheit und -Verteuerung, Gen-Manipulation) im Gefolge hemmungslosen technischen Fortschritts haben viele Menschen in der westlichen Welt, und zwar nicht nur "Softies", die den Kulturwissenschaften nahestehen (Dr/Dr 581), sensibilisiert für wissenschafts-ethische, aber auch wissenschaftstheoretische Grenzen. Das Akzeptieren solcher Grenzen in einer Disziplin bedeutet nicht den Abbruch jeden Fortschritts in dieser, sondern nur, daß in gewissen Richtungen nicht mehr weitergearbeitet werden darf, oder aber, daß ganz andere Forschungsweisen, z.B. ganzheitliche Ansätze, zu verwenden sind.

Auch im Bereich der Pädagogik macht sich zunehmend eine Einsicht in die Unzulänglichkeiten solcher Ansätze breit wie Reduktion der Unterrichts-Vorbereitung auf die Stoffanalyse, Verstehen intelligenten Verhaltens durch Labor-Experimente, immer feinere Isolierung von Variablen durch immer aufwendigere statistische Verfahren usw. Solche Ansätze hatten und haben noch einen eminenten Wert für pädagogische Arbeit, Entwicklung und Forschung, aber in Anbetracht der vielen Fragen, die sie offen lassen, der Phänomene, die mit ihnen unerklärt bleiben oder sogar im Widerspruch zu ihnen stehen, wirken sie rudimentär, und ihr entscheidender Mangel liegt in dem in ihnen durchgesetzten Prinzip der Modularisierung (das Köhler, 1984, die "Cartesianische Kürzungsregel" nennt).

Auch die AI-Forschung stößt vielleicht einmal an ethische Grenzen, und schon vorher könnte sie mit ihren derzeitigen Theorie-Ansätzen zu einem Paradigmenwechsel genötigt sein; denn sie hat sich ebenfalls dem 'Modularismus' verschrieben, jedenfalls in der Form, wie sie uns von Papert über die Logo-Philosophie oder die "society of mind"-Theorie vermittelt wird. Papert u.a. drücken dies mit dem Satz aus, "das Ganze ist die Summe seiner Teile" und berufen sich auf den Erfolg dieses sog. "Linearisierungsprinzips" in den Naturwissenschaften (nach Otte 1982:15f). Für das Entwerfen und Durchschauen von Computer-Programmen ist dieses Prinzip sicher bestens geeignet; aber um menschliche Intelligenz, und allgemeiner: menschliches Verhalten, theoretisch in den Griff zu kriegen, könnte es unzureichend bzw. sogar schädlich sein.

Ich habe schon weiter oben bestritten, daß das menschliche Bewußtsein quasi eine Rekursions-Stufe in der Reihe der Agierenden in der "society of mind" sei

(vgl. dazu auch Dreyfus 1972/1979:287f). Zur Illustration des reduktionistischen Charakters dieser Auffassung kommt Paperts Parabel von der Enträtselung des Vogelflugs, bzw. sein Zweck für die Verwendung dieser Parabel, gerade recht (165): In der Tat ist die Menschheit nicht in erster Linie durch das Studium der Vögel und ihrer Federn, sondern durch den Einsatz von Mathematik und Physik bei Experimenten mit künstlichen Flugobjekten dem Wesen des Fliegens auf die Spur gekommen; und inzwischen wurden Flugmaschinen hergestellt, mit deren Leistungsfähigkeit Vögel nicht im entferntesten konkurrieren können. Die Parabel endet an der Stelle, da Paperts Interesse sich lediglich auf den physikalischen Aspekt richtet. Die Arbeit des Verhaltensforschers z.B. fängt jetzt erst richtig an; und mit der Analyse biochemischer, physikalischer o.ä. Prozesse allein läßt sich das Verhalten von Vögeln noch lange nicht erklären (s.a. Davy 1984:556, mit ähnlichem Einwand).

Womöglich bestimmt aber der Modularismus so wesentlich den AI-geleiteten Zweig der Erkenntnistheorie, daß seine Überwindung die Existenz dieses Zweigs in Frage stellen würde.

Daß die beim Programmieren zu erwerbenden "mathetischen" Prozeduren in der Form keineswegs automatisch für andere Bereiche geeignet sind, zeigt sich schon an bescheideneren menschlichen Werken als dem Entwurf einer Erkenntnistheorie. Wer kennt nicht Sachtexte von Lernenden oder von Lehrenden, wo einzelne Text-'Moduln' inhaltlich unverbunden hintereinander aufgereiht sind? Umgekehrt können die wesentlichen Aspekte eines geistigen Werks in einem derartigen Beziehungs-zusammenhang stehen, daß die Erstellung eines adäquaten modularen Textes einfach nicht gelingen kann (s. z.B. die Logo-Philosophie und ihre textliche Fassung durch Papert). Oder: Die beim Spielzeugsystem 'Lego' zur Perfektion entwickelte Modularität wird von Harms, 1986, durchaus mit Blick auf Logo, als Ausdruck eines reduzierten, weil gerasterten, Weltbilds gesehen.

Die reduktionistische Seite der Computer-Rekursion und -Interaktion

Weiter: Mit dem Prinzip der Rekursivität können qualitative Unterschiede (etwa zwischen Begriffs-Ebenen) verschleiert oder verwischt werden. Auch hierfür liefert Papert selbst Beispiele, wenn er etwa vom "Denken über das Denken" (23, 29), vom "Lernen des Lernens" (23, 40), von der "Idee kraftvoller Ideen" (54) spricht und leichtfüßig zwischen Begriffs-Ebene und -Meta-Ebene hin- und herspringt, oder - wie oben bereits kritisiert - die "society of mind" rekursiv aufbaut.

Die Möglichkeit der Iteration (Rekursion) im Verein mit dem (technologisch gesehen) simplen Programmieren und Debugging ist es, die dem Computer seine ungeheure Potenz verleiht, ihn aber zugleich in eine totale Sonderstellung außerhalb jeder physischen und sozialen Realität bringt. Beliebige Wiederholbarkeit und mühelose Korrigierbarkeit sind in dieser prinzipiell nicht gegeben. Man denke an die praktisch gegebene Unzerstörbarkeit von Betonbauwerken (Atlantikwall), die unwiderrufliche Vernichtung sozialer Strukturen bei der Stadtteil-Sanierung, den physischen Tod (eines Menschen, eines Volks, einer Tierart usw.). Mit der westlichen Zivilisation des ausgehenden 20. Jahrhunderts ist der in der Menschheitsgeschichte wohl einmalige Zustand erreicht, daß sich eine breite Mehrheit der Bevölkerung um die 'Feindlichkeit' der Lebenswelt scheinbar nicht zu kümmern braucht und es auch nicht tut, gefördert durch die einlullende Wirkung der Medien, allen voran des Fernsehens.

Der Computer ist ein Teil dieser Medienlandschaft, dem der Vorzug der Interaktivität zugesprochen wird. Auch hierbei sollte man sich klar machen, daß die Interaktion mit einem Computer auf dem Niveau der Turtle-Geometrie zwar intellektuell anspruchsvoller als mit einer Glühbirne über den Lichtschalter oder mit einem Modellflugzeug über die Fernbedienung, aber prinzipiell verschieden von der mit Menschen ist: Hier kann man eben nicht allein durch korrekten Input (oder technischen Aufwand) die gewünschte Reaktion erzielen. Ein Fehlverhalten läßt sich nicht immer durch eine Entschuldigung aus der Welt schaffen (dies ist die Kehrseite einer zunächst positiv zu bewertenden Bereitschaft, Fehler einzusehen und diese Einsicht zu bekennen: sie kann zu einem leichtfertigeren Umgang mit den Interessen oder Gefühlen anderer im Hinblick auf die Möglichkeit der 'Sühne' in Form einer Entschuldigung führen, wobei der Wert dieser 'Sühne' dann doch überschätzt wird). - Die Reduktion kommunikativen Verhaltens auf eine "Kommunikation" zwischen Mensch und Maschine wird in vielen computer-kritischen Arbeiten explizit (z.B. Bammé u.a. 1983, Volpert 1983, Grant Johnson 1984, Nake 1984 u.v.a.) oder implizit analysiert und kritisiert (s.a. das berühmte Eliza-Programm von Weizenbaum 1976/1977:14ff, 250ff). Aber nicht die Beschränktheit der auf dem Computer möglichen Erfahrungen ist der Kritikpunkt, sondern das Leugnen dieser Beschränktheit und die pädagogische Bagatellisierung dieser Gefahren.

Der Charakter des Unverbindlichen und Spielerischen prädestiniert den Computer und speziell die Turtle-Geometrie zwar scheinbar für den Einsatz in der Schule. Für Papert ist das ein tragendes Argument, da doch wohl, im Einklang mit einer breiten Bewegung in der zeitgenössischen Pädagogik, kein Zweifel am Wert spielerischen Lernens besteht. (Scharfe Kritik an dem Paradigma der Unverbind-

lichkeit in unserer Gesellschaft übt jedoch z.B. Sardello 1984; s.a. Cuffaro 1984:560f.)

Die Kluft zwischen natur- und kulturwissenschaftlichem Denken

Der kognitive Stil, der durch die Beschäftigung mit dem Computer favorisiert wird, ist aber alles andere als spielerisch. Verschiedene Autoren mit den unterschiedlichsten Positionen halten verschiedene Facetten dieses Stils für wichtig und unterstreichen diese durch entsprechende Bezeichnungen (Bei Papert selbst kommen vor: analytisch, prozedural, mechanisch, linear, instrumentell, computerhaft, mathetisch). Streibel (1985:40) hat einmal einige konkretere Aspekte zusammengestellt (sinngemäße Übersetzung von mir): Der Computer wertet auf ("legitimize") folgende Wesensmerkmale von Wissen: Regelmäßigkeit, objektiv gegebene Systematik, explizite Klarheit, Unzweideutigkeit, Vermeidung von Redundanz, innere Konsistenz, Widerspruchsfreiheit (im Sinne der zweiwertigen Logik), quantitative Aspekte; und als allein akzeptable Methoden des Wissenserwerbs: Deduktion und Induktion. Er wertet ab: veränderbare Zielsetzungen, selbst geschaffene Ordnung, organisch gewachsene Systematik, unterschwellige Bedeutung, Mehrdeutigkeit, Redundanz, dialektische Rationalität, gleichzeitiges Auftreten verschiedener Logiken und qualitative Aspekte; und als Methoden: Abduktion (etwa: Theoriebildung und -überprüfung Hand in Hand), Interpretation, Intuition, Introspektion und dialektische Synthese verschiedener und sogar widersprüchlicher Realitäten.

Die hier implizit dargestellte Dichotomie zweier Denkstile, die man als naturwissenschaftlich einerseits und kulturwissenschaftlich andererseits charakterisieren und selbstverständlich noch um weitere Aspekte bereichern könnte, wird wohlgerne nicht vom Computer erzeugt, sondern verstärkt, und zwar in einem Mechanismus, den man sich vereinfacht folgendermaßen vorstellen kann (vgl. a. S.62f): Die Kluft zwischen den beiden Stilen ist ein Wesensmerkmal der abendländischen Kultur, die sich nicht nur auf wissenschaftlichem, sondern auch auf vielen anderen Gebieten (Politik, Berufswelt, Technik, Kultur im engeren Sinn, privater Bereich) zeigt und auch auf die Ebene der Gefühle ausstrahlt. Zugleich ist sie eine Seite des Gegensatzes zwischen dem abendländisch geprägten Teil und anderen Kulturen der Welt.

In verschiedenen Gegenstandsbereichen überwiegen verschiedene Denkstile (z.B. in Technik einerseits und Literatur andererseits), auch wenn einzelne Fachvertreter, Didaktiker (und andere 'Kompetente') nicht müde werden, die zumindest partielle Bedeutung des jeweils anderen Stils hervorzuheben. Der für einen Ge-

genstandsbereich typische Denkstil wirkt auf diejenigen zurück, die sich intensiver mit ihm beschäftigen, und so werden die Denkstile personalisiert, bzw. wer einem bestimmten Denkstil zuneigt, wird sich eher den passenden Gegenständen zu- und anderen abwenden.

Man mag die Verteilung der Denkstile zu irgendeinem Zeitpunkt in irgendeinem nicht weiter zu objektivierenden Gleichgewicht empfinden (materialisiert durch Professorenstellen an Universitäten, Studentafeln an Schulen, Beiträge in Medien, Ansehen von Berufen bzw. Personen usw.). Dann kann man in der Verbreitung des Computers eine Gefahr für dieses Gleichgewicht sehen: Viele Menschen wenden sich dem 'naturwissenschaftlichen' Denkstil zu (worüber die Entscheidung vielleicht unrevidierbar schon in der Schule fällt), und die 'Kulturwissenschaftler' werden in die Rolle von Exoten und Ignoranten gedrängt. Zugleich dringen die Computer(-Fachleute) mit ihren Methoden zunehmend in die 'Kulturwissenschaften' (und Künste usw.) ein und verfälschen diese bis zur Unkenntlichkeit. Wie weit diese Befürchtungen realistisch sind, ist z.Z. nicht abzusehen.

Die beschriebene Kluft ist in der angelsächsischen Öffentlichkeit intensiv diskutiert worden (Otte 1982), und Papert ist sich ihres herausfordernden Charakters bezüglich der Logo-Philosophie wohl bewußt. Die Antwort auf diese Herausforderung liefert er in drei Varianten:

Wie die Logo-Philosophie diese Kluft überbrücken soll

Erstens betont er, daß "Denken wie ein Computer" eine Erweiterung des Vorrats an Denkstilen sei und daß die Logo-Philosophie die Entwicklung der Fähigkeit beinhalte, auf die jeweilige Situation den passenden Denkstil anzuwenden (27, 155, auch 98: analytisches und holistisches Denken beim Erlernen körperlicher Fertigkeiten). Die Kritiker bezweifeln diese Leistung der Logo-Philosophie (direkt: Davy 1984:555 und S. Brown 1982/1984:45, indirekt: Cuffaro 1984, Rezanson/Dawson 1985 und andere, indem sie das Kind unter der Kontrolle des Computers sehen, und nicht umgekehrt). Bei einem gemäßigten, sorgfältig aufbereiteten Einsatz des Computers im Unterricht könnte eine solche Bereicherung vielleicht eintreten. Aber entsprechende Entwürfe sind mir nicht bekannt, insbesondere nicht von Autoren aus der Logo-Gemeinde, und ich bezweifle, daß sie sich mit dem einnehmenden Wesen der Logo-Philosophie vereinbaren ließen. Denn nach dieser findet das Lernen ja prinzipiell curriculum- und lehrer-frei mit dem Computer statt. Ein Computer, der mit Logo zu programmieren ist, ist aber weit entfernt davon, situations-unabhängig einen 'kulturwissenschaftlichen'

Denkstil zu unterstützen, und der Verweis auf Nachfolge-Systeme von Logo ist nach wie vor Spekulation.

Zweitens beschwört Papert die Aufhebung der Trennung von natur- und kulturwissenschaftlichem Denken durch den Computer (4, 39, 45, 171, 183) in einer "Computer-Kultur" (19ff). Bu/He (83) interpretieren dies als "Versöhnung von Kultur und Natur", aber eigentlich interessiert sich Papert gar nicht für die Dinge selbst (zumindest nicht für die Natur), sondern nur für das Denken darüber in unterschiedlichen Weisen. Er spitzt die Auseinandersetzung und die Versöhnung auf das Verhältnis von Mathematik und Sprache zu (s.a. Hoppe 1984:38): Es müßten nur die 'kulturwissenschaftlich' Ausgerichteten, und vor allem ihr potentieller Nachwuchs unter den Kindern, ihre "Mathematik-Phobie" überwinden. Dann könnten alle in "mathland" von "Mikrowelt" zu "Mikrowelt" (wie in Disneyland von Station zu Station) lustwandeln und hätten viel Spaß. Zugleich mobilisiere die Turtle-Geometrie Sprachbegabung und -vergnügen des Kindes (58) und die Intuition (144ff), und zwar dadurch, daß durch das Programmieren ein Zwang zur Versprachlichung entsteht (s.a. S.29), wobei die Intuitionen laufend durch Debugging zu verbessern seien (145). Insbesondere auch das Modularisieren schaffe eine Sprache, die etwa Physik und Mathematik dem Kind und dem Dichter gleichermaßen zugänglich macht (171f). Usw.

Die Einseitigkeit der von ihm propagierten Annäherung scheint Papert nicht aufzufallen: Warum sollen nicht 'naturwissenschaftlich' Orientierte und ihr Nachwuchs sich mit Literatur, Kunst, anderen Menschen, deren Gefühlen usw. befassen, und zwar computer-frei? Es ist gerade diese so selbstverständliche Einseitigkeit, die die oben skizzierten Befürchtungen des 'kulturwissenschaftlichen Lagers' bestätigt. Diese Befürchtungen lassen sich auch nicht einfach damit abtun, daß man sie auf die Unkenntnis der Schönheit der Mathematik zurückführt. Diese Unkenntnis ist zwar zu bedauern, aber auch als Mathematiker, der der Mathematik einiges an Lebensbereicherung zu verdanken hat, teile ich die Befürchtungen.

Diese werden durch Paperts dritte Antwort-Variante nur genährt: Mit dem Computer lassen sich nicht nur Fächer wie Mathematik und Physik, sondern Inhalte aller Art (47), insbesondere auch 'kulturwissenschaftliche' Gegenstände (12, 48) und körperliche Fertigkeiten ("physical skills"; 96, 113) besser lernen.

Programmieren mathematik-ferner Gegenstände

Jedoch schon bei der Physik bleibt Papert den Beleg schuldig. Wie in der Mathematik ist auch bei diesem Fach der Sektor recht schmal, den die Logo-Philosophie umfaßt: die Bewegungslehre. Es trifft sicher zu, daß diese im klassischen Physik-Kanon zu kurz kommt und daß Computer-Animation die Ausbildung einschlägiger Begriffe unterstützen kann. Aber die physikalischen "Mikrowelten", für sich betrachtet, sind doch, wie gesagt, mathematische lokale Theorien, die willkürlich vorgegeben sind bzw. deren Konstruktion und Analyse ein recht tiefes Verständnis der zugrundeliegenden Physik voraussetzen. Eine stärkere Beschäftigung mit Bewegungslehre führt natürlich dazu, daß gewisse Probleme auch eher unter diesem Aspekt angegangen werden (131f). Das ist aber doch kein Verdienst der Logo-Philosophie, wie Papert aber unter Berufung auf seine Affen-Aufgabe meint (über einer Rolle hängt ein Seil; an das eine Ende klammert sich ein Affe, am anderen Ende ist ein gleichschwerer Stein befestigt; was passiert mit dem Stein, wenn der Affe zu klettern anfängt?). Wie so oft, ist auch dieses Beispiel geeignet, just die Problematik im Papertschen Ansatz zu verdeutlichen: Daß Affe und Stein verbundene Objekte im Sinne der Turtle-Bewegungslehre sind, muß doch erst einmal gesehen und verifiziert werden! Wie schwierig das Lernen von Physik in "Logo-Umgebungen" ist, zeigen dann auch die bescheidenen einschlägigen Ergebnisse des Brookline-Projekts (Papert u.a. 1979).

Auch die Beiträge der Logo-Philosophie etwa zur Didaktik der Muttersprache (oder der Musik) sind eher kümmerlich. Was Papert da anführt (12, 48f u.a.), ist auch gar nicht für Logo spezifisch; beim Lernen von Grammatik z.B. liegt eher ein Gebrauch des Computers für "drill and practice" denn als "tutee" vor (wogegen eigentlich nichts einzuwenden ist; Dr/Dr 587).

Programmieren körperlicher Fertigkeiten

Nun zu den "physical skills": Eine der praktischen Wurzeln von Logo ist zwar die Modellierung bewegungsphysikalischer Vorgänge, aber da geht es zunächst um die Physik von Massepunkten und nicht um körperliche Geschicklichkeit, und die Behauptung der "Körper-Syntonzität" der Turtle-Geometrie ist ja nicht substantiiert. Ein Herzstück der Logo-Philosophie ist trotzdem die Analyse des Bewegungsablaufs beim Jonglieren mit drei Bällen (105ff), die auf die Dissertation von Austin (1976) bei Papert zurückgeht. Damit soll die Kraft analytischen Denkens in Verbindung mit der durch das Programmieren erzwungenen Ver-

sprachlichung demonstriert werden. Diese Demonstration krankt allerdings an mehreren Stellen:

Ähnlich wie bei vielen Zauberkunststücken besteht beim Jonglieren die entscheidende Leistung des Vorführenden und die verblüffende, gegebenenfalls begeisternde Wirkung auf den Zuschauer in der Geschwindigkeit. Eine hinreichend langsame Wiedergabe einer Filmaufnahme trägt da schon das Wesentliche zum Durchschauen bei. Dies kann zwar durch Beschreibung, verbales Herstellen von Zusammenhängen und Erläutern gesteigert werden, jedoch spielt die Umsetzung in ein Programm doch offensichtlich keine Rolle (es sei denn, man hält modulares Vorgehen o.ä. an sich nur mit Logo für möglich). Der springende Punkt aber ist, daß man noch lange nicht jonglieren kann, wenn man das Prinzip analysiert und durchschaut hat. Für das Lernen des Jonglierens und erst recht von Aktivitäten, bei denen der ganze Körper bewegt wird (Tanzen, Turmspringen, Skifahren, Radfahren, Tennisspielen, Kugelstoßen u.v.a.), sind genügend Motivation, Geschicklichkeit (Talent), Kraft, Ausdauer usw. erforderlich.

Gerade das Programmieren könnte z.B. der Motivation abträglich sein, indem das Problem, Jonglieren zu lernen, von dem Problem, das Jonglieren zu programmieren, abgelöst wird und der Programmierer nach erfolgreicher Programmierung keine Lust mehr hat, sich noch der körperlichen Anstrengung zu unterziehen. Bei einfachen Strategie-Spielen, mathematischen Begriffen und Verfahren mag die Modellierung in einem Programm ein Hinweis auf eine weit fortgeschrittene Beherrschung sein; bei Fertigkeiten aller Art, insbesondere körperlichen, naturgemäß noch lange nicht. Und: Der Anspruch auf den Erwerb körperlicher Fertigkeiten durch die Logo-Philosophie birgt zusätzlich noch die Gefahr der weiteren Steigerung der vom Computer sowieso schon erzwungenen körperlichen Passivität (vgl. Berr 1985:25f).

Paperts Adaption von Gallwey und Bruner

Papert entwickelt in diesem Zusammenhang eine kleine Lerntheorie. Er meint nämlich, daß "das Erlernen einer körperlichen Fertigkeit viel mit dem Aufbau einer naturwissenschaftlichen Theorie gemein" hat (96) und daß der Lernende in passendem Wechsel den Lernprozeß mal mit seinem analytischen, mehr verbalen Ich (97) bzw. Denk-Modus (98), mal mit seinem holistischen, mehr intuitiven Ich bzw. Denk-Modus steuern ("control") soll. Wie dieser Wechsel jedesmal bewerkstelligt, insbesondere wie der Einfluß des jeweils anderen Ich hinreichend vermindert und danach wieder reaktiviert werden soll, bleibt jedoch im Dunkeln.

Mit seiner Lerntheorie stützt sich Papert wesentlich auf ein Lehrbuch des Tennis-Lehrers Gallwey, 1976 (97ff), und er setzt sich ab vom Erziehungswissenschaftler Bruner, 1966/1974 (96). Beide Bezüge beruhen jedoch auf grundlegenden Mißverständnissen: In der Tat läßt sich Gallwey über das Gegensatzpaar des analytischen und holistischen Ichs des Menschen aus und vertritt die Auffassung, daß beide Ichs, jedes zu seiner Zeit, die Aktivitäten des Individuums zu kontrollieren hätten; aber: insbesondere beim Lernen von Tennis sei das analytische komplett auszuschalten (auf diesen Irrtum Paperts haben Dr/Dr, 1984: 598f, hingewiesen). Und die Brunersche Theorie von den Repräsentations-Modi besagt gerade nicht (wie Papert, 96, aber meint), daß manches Wissen nur enaktiv zu repräsentieren sei. Das Gegenteil ist der Fall: Nach Bruner (1966/1974:49) kann "jeder Wissensbereich (oder jede Problemstellung innerhalb eines solchen ...) ... auf dreifache Art dargeboten werden: durch ... enaktive ..., ikonische ..., symbolische Repräsentation". Er hält es zwar für schwierig, körperliche Fertigkeiten wie Skifahren oder Radfahren mit Worten und schematischen Zeichnungen zu lehren (Bruner 1966/1974:16), aber bei diesen Fertigkeiten handelt es sich ersichtlich nicht um "Wissensbereiche" o.ä.; lediglich Papert verwendet auch dafür die Bezeichnung "knowledge". Allerdings hält Bruner (1966/1974:53) die oben angegebene Reihenfolge der Repräsentations-Modi zum Erwerb eines Wissensgebiets o.ä. bei einer normalen geistigen Entwicklung für optimal, und daraus kann man in der Tat einen Primat des enaktiven Modus ableiten, und "Wörter und Diagramme" sind u.U. bei jüngeren Kindern (nicht aber bei Wissensbereichen o.ä.) "impotent".

Die Unzulänglichkeit der Erfahrungen am Computer nach Dreyfus/Dreyfus

Mit dieser 'Lerntheorie' und allgemeiner der Eignung des Computers zum "tutor" und "tutee" setzen sich Dreyfus/Dreyfus (1984) kritisch auseinander. Seit Jahrzehnten gehört H. Dreyfus zu den führenden kritischen Beobachtern der AI-Forschung (s. Dreyfus 1972/1979 und z.B. Turkle 1984:295f), insbesondere auch ihres psychologisch-pädagogischen Zweigs, wie er sich z.B. in der Logo-Philosophie konkretisiert. Zur Unterstützung von "drill and practice" halten Dr/Dr (587) den Computer für bestens geeignet (während Papert, 36, schon diese Lernform und erst recht den von ihm so gesehenen Mißbrauch des Computers dafür ablehnt). Allerdings gehört diese Lernform bei Dr/Dr lediglich zur ersten Stufe eines fünfstufigen Lern-Modells, das sie an den Beispielen des Schachspiels und des Autofahrens entwickeln. Schon auf der zweiten Stufe wird der Computer als "tutor" und erst recht als "tutee" (übrigens auch als sog. Expertensystem) unzulänglich. Dieser Mangel gerät Didaktikern häufig aus dem Blick, weil z.B. der Interessen- und Arbeitsbereich eines Piaget und überhaupt oft schulisches

Lernen gar nicht bis zu dieser Stufe kommen. Nach Dr/Dr (598) wird so der Lernende als ewiger Anfänger behandelt, und dies in besonderem Maße auch durch die Logo-Philosophie.

Auch wenn das allgemeinbildende Schulsystem nicht das Ziel hat, Schüler auf irgendeinem Gebiet zu Experten zu machen, ist es das Dreyfus/Dreyfussche Modell wert, zur Kenntnis genommen zu werden, gibt es doch einen Rahmen für schulisches Lernen und, in Übereinstimmung mit neueren Tendenzen z.B. in der Mathematik-Didaktik, eine Entwicklungsrichtung (bis zur 2. Stufe vielleicht) vor.

1. Anfänger ("novice"): Auf dieser Stufe ist kontextfernes Regellernen üblich. (Hier ist schulisches Lernen über weite Strecken einzuordnen, z.B. die An eignung der Grundrechenarten in der Primarstufe: Da wird zwar immer wieder Bezug auf fiktive Anwendungs-Situationen genommen, aber von diesen entfernt man sich rasch, da die Situationen eben nicht wesentlich sind, und selbst wenn die Vorstellungen oder gar Handlungen der Schüler an konkrete Objekte gebunden sind, so sind diese Objekte zumeist doch nur kontext-frei gegeben).
2. Fortgeschrittener Anfänger ("advanced beginner"): Jetzt treten situationsbedingte Aspekte hinzu.
3. Kompetenz ("competence"): Nun führt die überwältigende Informations-Explosion zur Erfordernis hierarchischen Vorgehens, für das ein Plan, ein Ziel oder eine Perspektive erforderlich sind, die aber keine objektiven Prozeduren mehr sind. Während der Vorstellung von einem "Aspekt" (auf Stufe 2) etwas "Flaches" anhaftet, hat die Gesamt-Situation nun etwas "Dreidimensionales". Es treten Verantwortung für die Umgebung und emotionales Interesse hinzu.
4. Tüchtigkeit ("proficiency"): Hier ist kein losgelöster Plan mehr erforderlich, dieser ergibt sich aus der Situation, er wird 'gesehen' - bis auf Ausnahmefälle infolge geringer Erfahrung, wo doch eine 'analytische' Betrachtungsweise hilfreich ist.
5. Expertentum ("expertise"): Im Hirn sind nicht Wörter, sondern Klassen von Situationen und Untersituationen gespeichert, deren Auswahl zusammen mit dem resultierenden Vorgehen meist intuitiv und oft nicht beschreibbar geschieht, aber durchaus dem Tausendfüßler-Effekt unterliegt, d.h. beim Versuch der Verbalisierung fehlerhaft wird. Expertentum ist gerade nicht analytisch und prozedural (s. z.B. auch Bromme 1986:7 zum Expertentum im Lehrer-Beruf).

Es ist jedoch nicht erst die Erfahrung des Experten, die durch das Konzept der Logo-Philosophie systematisch unterschätzt wird (Dr/Dr 1984:594) (wenn es nicht gerade um Computer-Expertentum geht), sondern die elementaren Erfahrungen sinnlicher, sozialer, emotionaler, moralischer usw. (auch kognitiver) Art (Bauersfeld 1984/1985, Cuffaro 1984:559, Davy 1984:554, Sardello 1984:637, Sloan 1984:543 usw.), die erst dem Heranwachsenden ermöglichen, sich in einer Realität zu orientieren, die ungleich komplexer ist als die "Mikrowelten". Diese Erfahrungen sind aber die Voraussetzung für den dann immer noch genügend schwierigen Transfer aus Computer-SEB'en in andere, insbesondere lebensweltliche.

Mögliche Ursachen für die Überschätzung der Rolle des Computers

Es wäre nun einmal zu erforschen, und zwar nicht nur gestützt auf Veröffentlichungen, von welchen Positionen aus Papert und die Logo-Gemeinde trotz aller Einwände in Abschnitt 4.3 dem Computer bereits derzeit und erst recht in nächster Zukunft beim menschlichen Lernen eine tragende Rolle einräumen, und wie diese Positionen sich entwickelt haben (etwas ähnliches unternimmt Dreyfus, 1972/1979, insbesondere 155ff, für die AI-Forschung):

a) Die jahrzehntelange Arbeit an dem Ziel, den menschlichen Verstand mit dem Computer zu simulieren, und partielle Fortschritte dabei haben gewiß bei manchem AI-Forscher die Identifikation von menschlicher mit künstlicher Intelligenz befördert, die es scheinbar nur zu verifizieren gilt. (Diese Unterstellung wird von Papert als Reduktionismus-Vorwurf an die AI-Forschung aufgefaßt und als ihrerseits reduktionistisch zurückgewiesen; 164).

b) Darüber hinaus ist die Arbeit der AI-Forschung (bestimmter Provenienz) geprägt vom Glauben an die grenzenlose Extrapolierbarkeit der Erfolge des Computers, wobei als Extrapolations-Basis häufig genug (fast triviale) Erfolge bei der allerersten Verwendung des Computers in bestimmten Gebieten (Übersetzen, Beweisen, Muster-Erkennung usw.; s. Dreyfus 1972/1979) erhalten müssen ("first step fallacy"; nach Bar-Hillel 1966:1; zitiert von Dreyfus 1972/1979:147).

c) Auch die Logo-Philosophie hat scheinbare (s. Kap.6) und echte Erfolge (bei geistig Behinderten; s. Weir 1980) aufzuweisen. Aber diese Eignung des Computers zur Behandlung von z.B. Hirnlähmung liefert nicht nur keinen Hinweis auf seine Eignung bei der Bildung und Erziehung 'normaler' Kinder, sondern für Davy (1984:550) ist eher das Gegenteil der Fall, und Sardello (1984) verschärft diese Kritik, indem er den Computer-Gebrauch, wie ihn die Logo-Philosophie

vorsieht, mit verantwortlich für den Marsch unserer Kultur in eine solche von Psychopathen macht.

d) Auch wenn man sich solcher Wertungen enthält, so ist die Erwartung nicht von der Hand zu weisen, daß bei einer computer-geleiteten Intelligenz-Entwicklung die 'natürliche' sich der künstlichen Intelligenz (irgendwie) annähert. Für Dreyfus ist dies die Entwicklung zum "subintelligenten Menschen", und er rechnet eher mit dieser als mit der Entstehung "super-intelligenter Maschinen" (1972/1979:280). Diese Annäherung natürlicher an künstliche Intelligenz mag zwar niemand bewußt anstreben, aber objektiv könnte sie die AI-Forschung bei der Erreichung ihres oben in a) formulierten Ziels unterstützen.

e) Hinzu tritt ein durchaus legitimes Bedürfnis nach Anerkennung, der sich für einen pädagogischen Entwurf wie die Logo-Philosophie in einer großen Anhängerschaft unter Pädagogen und einer weiten Verbreitung in den Schulen darstellt.

f) Schließlich erzeugt auch die offensichtliche Orientierung am Paradigma der Neuen Mathematik und der pädagogischen Grundstimmung jener Zeit eine gewisse Unempfindlichkeit gegen die Isolierung von SEB'en und die Transfer-Problematik.

5. Die Bezüge der Logo-Philosophie zu Politik, Ökonomie, Gesellschaft

Bereits derzeit sind Technik und Wirtschaft in der westlichen Welt ohne den Computer undenkbar, und trivialerweise hat also jeder Mensch mittel- oder unmittelbar mit ihm zu tun. Die direkte Konfrontation im beruflichen und außerberuflichen Bereich wird sich gewiß noch erheblich steigern. Allerdings ist die notwendige Voraussetzung für diese weitere Ausbreitung des Computers sein narrensicherer Gebrauch. Diese Bedingung ist jedoch keine einschränkende, sondern höchstens eine verzögernde, da die Software-Produktion für diese Belange durchaus erfolgreich ist, lediglich insgesamt der Hardware-Entwicklung etwas hinterherhinkt.

Der Verbreitungsgrad des Computers (ohne solche, die in andere Geräte eingebaut sind und deren Funktionieren besorgen) in Haushalten wird lange niedriger als der von Fernseh- und anderen Apparaten bleiben. Billig genug ist er ja schon, so daß ihn sich so gut wie jeder Haushalt leisten könnte, allein, es fehlt das Bedürfnis. Bei den meisten Homecomputer-Besitzern etwa bestand eigentlich kein Bedarf an einem Haushaltsverwaltungs-Programm mit Dateien für

die Schallplattensammlung, Lebensmittelvorräte usw., mit Buchführung, Terminkalender o.ä., zumal dessen Implementierung und dauernde Aktualisierung sehr zeitraubend ist. Auch die Video-Spiele verloren bei häufiger Wiederholung ihren Reiz, da der Vorrat an wesentlich verschiedenen Spiel-Ideen (abgesehen von Simulationen 'realer' Spiele) doch beschränkt ist und meistens der Charakter des Wettkampfs mit einem Menschen fehlt. Und so stehen viele Exemplare aus dieser Generation von Schlicht-Geräten ungenutzt in den Wohnungen herum (s.a. Stiftung Warentest 1984).

Das Preis-Leistungs-Verhältnis hat sich inzwischen deutlich gebessert, wodurch zunehmend komfortable Bildschirm-Grafik erschwinglich wird, aber von einer breiten Nutzung in der Bevölkerung kann nach wie vor keine Rede sein. Auch bei einer erheblich weiteren Steigerung der Möglichkeiten, etwa einer (politisch hochbrisanten) Vernetzung aller Haushalte und Anschluß an Riesenrechner (am Entwurf eines Systems mit 400.000 Anschlüssen wird in Urbana, USA, bereits gearbeitet; nach Bitzer 1985), und einer Marketing-Kampagne, die den Computer in jeden Haushalt bringt oder zwingt, ist der Computer noch lange kein "Mathematik sprechendes Wesen" im Sinne Paperts (47); seine überwiegende Verwendung wird eher eine gedankenlose sein.

Da sind auch gewiß (hoffentlich von Staats wegen kostenlose) Lern-Programme abrufbar, die dann nach langer und teurer Entwicklungsarbeit besser sein werden als die derzeit weltweit vorhandenen, und in denen meinetwegen (auch) Prinzipien der Logo-Philosophie verwirklicht sind. Ein Teil der Familien würde wohl die ökonomischen und persönlichen Voraussetzungen erfüllen, um ihren Kindern eine fruchtbare kognitive Lern-Umgebung zu bieten (in USA entscheiden sich bereits heute tausende von Eltern für den ausschließlich häuslichen Unterricht ihres Nachwuchses; Naisbitt 1982/1984:206). Aber es ist zweifelhaft, ob die Öffentlichkeit diese weitgehende Privatisierung (Modularisierung!) der Kinder-Aufzucht mit ihrer Gefahr der sozialen Deprivation duldet. Für die Mehrheit der Jugendlichen müßten sowieso öffentliche Gebäude zum kognitiven, motorischen, sozialen, auch affektiven Lernen zur Verfügung gestellt werden. Diese bräuchten eine Verwaltung, es wären Lern-Angebote bereitzuhalten (Curricula!), der Besuch müßte einen verbindlichen Charakter haben.

Solche Institutionen existieren heute schon: Sie heißen 'Schule', ihr Besuch ist Pflicht, und sie werden wesentlich geprägt von sog. 'Lehrern', Menschen, die sehr stark die Lern-Organisation strukturieren und als Autoritätspersonen fungieren. Darüber hinaus ist unsere Gesellschaft geradezu geprägt von Einrichtungen, in denen die Angehörigen vor oder neben kompetentem Verhalten eine

mehr oder weniger stark ausgeprägte Phase des Lernens durchlaufen: Beruf, Studium, Segelschule, Schachverein, Computer-Club usw. Je ausgeprägter die Bedeutung der Lern-Komponente ist, desto dominanter ist i.a. der Einfluß ausgearbeiteter Curricula und der Lehrperson. Falls möglich, werden Lehr-Aufgaben an fortgeschrittene Lernende delegiert, und es kommt vor, daß auch Lehrende bei der Auseinandersetzung mit dem Lernstoff noch lernen. Die Motive, sich der Anstrengung des Lernens (oder wenigstens der Anwesenheit beim Lehren) zu unterziehen, sind unterschiedlicher Art: Die Eltern- oder die Staatsgewalt, materielle Bedürfnisse, soziale Beeinflussungen, Interesse an der Sache usw. Gerade das anfängliche Sachinteresse erweist sich immer wieder im Verlaufe eines Lernprozesses als nicht genügend tragfähig und bedarf der Unterstützung durch einen (mindestens so empfundenen) moralischen Druck durch Lehrer (Trainer) und (oder) Gruppe.

Eigentlich erst im Zustand des Expertentums (s. Dr/Dr 586) findet Lernen ohne Curriculum und ohne Lehrende statt; dieses Lernen stellt dann eine Erweiterung des Fachgebiets dar. Dagegen ist dem Nicht-Experten durch das Expertentum ein Curriculum mittel- oder unmittelbar vorgegeben, und je weniger fortgeschritten ein Anfänger ist, desto mehr bedarf er außer dem Motor der Sache noch der Lenkung durch einen Experten (relativ zu ihm). Damit ist nichts gegen didaktische Prinzipien wie die des aktiven Lernens, des entdeckenden Lernens, der Selbsttätigkeit usw. gesagt, sondern nur gegen orientierungs-loses Lernen. Es stellt eine unverantwortliche Vergeudung von Energie und Motivation dar, einen Lernenden ohne hinreichende Kompetenz (die die Orientierung leisten könnte) sich ohne Hilfe an einem Sachkomplex versuchen zu lassen, wenn solche Hilfe das Lernen unterstützen könnte (wohlgemerkt: nicht die Lern-Anstrengung verhindern, z.B. durch Mitteilung des Lösungswegs o.ä!).

Hier ist auch nicht die Rede von einem kontraproduktiven, eindeutig vorgezeichneten Weg zu einem klar definierten erstarrten Zustand des Könnens, im Gegenteil - Expertentum zeichnet sich gerade auch durch Kreativität u.ä. aus, aber im Gegensatz zu einem verbreiteten Vorurteil benötigt produktives Denken eine solide Basis der Kompetenz. In jungen oder schnell expandierenden Gebieten (wie z.B. die Fliegerei bis zum ersten Weltkrieg oder die Computerei seit etwa 20 Jahren) mögen die Wege zum Expertentum kürzer sein. Vielleicht lassen sich dort sogar auf Schul-Niveau spektakuläre Erfolge erreichen. - Durch diese Möglichkeit werden solche Gebiete aber noch lange nicht quasi automatisch zum Bildungsinhalt, im Gegenteil: gerade die raschen Änderungen sprechen gegen ihren allgemeinbildenden Charakter!

Samba-Schulen und die Hacker-Subkultur

Als Vorbild für seine Vorstellung von der 'Schule' der Zukunft beschreibt Papert 'die' brasilianischen Samba-Schulen (178ff) in einer offensichtlich stark idealisierten Form. Er hebt dabei zwei Wesenszüge hervor, die die Samba-Schulen und die "Logo-Umgebungen" seines Erachtens gemeinsam haben: Einmal das gemeinsame curriculum-freie Lernen von Novizen und Experten, zum anderen die Verbindung von Lernen und Wirklichkeit. Wie weit diese Merkmale in Samba-Schulen erfüllt sind, sei dahingestellt - es spricht einiges dagegen: Das kommerzielle Interesse, das zielgerichtete Einstudieren einer Aufführung, der hohe finanzielle Aufwand für Kostüme ... In einer normalen Lehrlings-Ausbildung dürften sich diese beiden Merkmale bestimmt eher finden lassen. Aber sie für "Logo-Umgebungen" zu reklamieren, ist schon ein Kunststück.

Papert versucht, diesen Anspruch zu substantiieren, indem er zum einen behauptet, daß das Programmieren von Computer-Grafik, Computer-Musik und die Simulation eines Raumflugs auf dem Bildschirm eher etwas mit Aktivitäten von Erwachsenen, bis hin zu Helden (!), zu tun habe als Additionsaufgaben (179), die mathematische Arbeit in "Logo-Umgebungen" aber wiederum, anders als Additionsaufgaben, sehr wohl zu den Kindern und zum wirklichen Leben gehöre (180), andererseits wiederholt darauf hinweist, daß der Lehrer immer wieder mit Arbeitsergebnissen der Schüler konfrontiert werden kann, die für ihn neu und überraschend sind (115, 179). Diese Erfahrungen rühren aus diversen Logo-Projekten, an denen auch Lehrer teilnahmen, die wie die Schüler Novizen waren bzw. nur einen geringen Vorsprung hatten. Dieser Zustand ist in der Historie der Logo-Philosophie ein vorübergehender, und falls diese eine Zukunft hat, dann werden die Lehrer irgendwann Experte genug sein, um sich nicht mehr über die Möglichkeiten von Logo zu wundern (s.a. Goldenberg 1984:82).

Als Vorbild für die "Logo-Umgebungen", wie sie sich Papert vorstellt, halte ich die von Turkle (1984:241ff) beschriebene Subkultur der Computer-Freaks am MIT und anderswo für viel treffender: Deren Mitglieder arbeiten vergnügt und intensiv am Computer, lösen neben ernsthaften auch viele spielerische Probleme und lernen durch intensive Kommunikation voneinander. Die Ergebnisse sind im Papertschen Sinn (179) realitätsbezogen, in dem sie z.B. kommerziell und militärisch genutzt werden, die Arbeit selbst ist jedoch ausgesprochen lebensweltfern. Die Leute betätigen sich keineswegs einseitig 'naturwissenschaftlich', sondern haben breit gestreute Interessen und sind häufig auch Köpfer auf künstlerischem, sportlichem usw. Gebiet.

Die Übertragung dieses Vorbilds auf kindliches Lernen in "Logo-Umgebungen" scheitert jedoch an dem einfachen Umstand, daß hier intellektuell exzeptionelle Experten mit bestimmten Sozialisationen und dort 'normale' Novizen ohne diese Sozialisationen am Werk sind. Dieser Einwand bezieht sich nicht nur auf das Programmieren mit Logo, sondern auch auf zukünftige Systeme, jedenfalls wenn mit ihnen Substantielles gelernt werden soll. Papert möchte die "Logo-Umgebungen" als Modell für solche Systeme (182) gesehen haben. Dem kann man zustimmen, allerdings in anderem Sinn als Papert, nämlich bezogen auf die Unzulänglichkeit solcher computer-dominierten Lern-Umgebungen.

Tatsächlich schwebt Papert ja etwas ganz Gewaltiges vor: Praktisch die Ausdehnung dieser Subkultur auf die ganze Kultur bzw. auf alle Kulturen. So bestätigt er 1984, wofür er die "LOGO movement" hält: "It is a social movement. It expresses a vision of a more human, more social, freer society" (Papert 1984, nach Crawford 1985:145). Seine expliziten Aussagen in "Mindstorms" scheinen sich zwar vor allem auf junge Menschen und das Lernen zu beziehen, aber eine Generation später sind das die Erwachsenen; außerdem spricht er mehrfach auch die Erwachsenen explizit an (54, 182), und seine Voraussagen über das Vordringen des Computers (5, 20, 37ff, 181ff) u.ä. betreffen dann doch die ganze Gesellschaft.

Über die Entwicklung der Schule heutigen Zuschnitts legt er sich nicht ganz fest: entweder wird sie sich (etwa der Logo-Philosophie) anpassen oder verschwinden (9). Abgesehen von der Betrachtung der doch vergleichsweise harmlosen Kluft zwischen natur- und kulturwissenschaftlichem Denken (96ff) fehlt jegliche Analyse der herrschenden politischen, ökonomischen und sozialen Bedingungen und der Wechselwirkungen mit dem Fortschritt in der Computer-Technik. Hier nimmt Papert offenbar die Attitüde vieler Erziehungswissenschaftler an, die das politisch-ökonomisch-soziale System als gegeben und stabil (mit Recht besonders ihren Erkenntnissen gegenüber) betrachten. Damit gerät er in einen Widerspruch zur Reichweite des von ihm vorhergesehenen Wandels des Schulwesens; denn dieses ist ja geradezu ein Symptom einer Gesellschaft und kann sich nicht unabhängig von dieser verändern (ähnlich Bu/He 82).

Die plutokratische Gegenwarts- und Zukunfts-Analyse Haefners

Konkrete Vorstellungen über die (Computer-)Gesellschaft der Zukunft wurden von anderen durchaus entwickelt; bei uns ist insbesondere die von Haefner (1982) entworfene Idylle einer sog. Informations-Gesellschaft um die kommende Jahrtausendwende bekannt geworden mit einer kleinen Elite, die die Informations-

Technik beherrscht, und einer Mehrheit von informations-technischen Hilfsarbeitern bzw. Arbeitslosen, die sich allerdings auf sich selbst besonnen haben, kreativ sein und etwa computer-unterstützt Texte erstellen, komponieren, malen oder programmieren werden. Obwohl die Papertsche Bildungs-Utopie der plutokratischen Analyse Haefners im Ansatz total zuwiderläuft, würde sie äußerlich zu deren Ergebnis gut passen: Der Computer dient dazu, die Menschen zu beschäftigen (Beschwichtigungs-Argument).

An den Anfang seiner Prognose stellt Haefner zwar eine durchaus plausible Analyse der Auswirkungen des Computers auf den Arbeitsmarkt der BRD. Aber schon mit seiner Voraussage einer Bildungskrise für die Mitte der achtziger Jahre liegt er falsch; es sei denn, man definiert 'Krise' so, daß eine vorliegt. Dann hätte sie aber schon zum Zeitpunkt der Entstehung seines Buches bestanden, und die Ursachen lägen bestimmt nicht in der Abwesenheit des Computers, sondern würden durch einen intensiveren Einsatz vielleicht eher verstärkt (so auch gemäßigte Kritiker wie Kunstmann, 1985).

Die Voraussetzungen, die Haefner für seine weiteren Prognosen ausdrücklich oder stillschweigend macht (ungehemmter Fortschritt der Technik, insbesondere des Computers, kein Krieg zwischen erster und zweiter Welt, kein Zusammenbruch des kapitalistischen Wirtschaftssystems usw.), sind auf die westliche Welt (einschließlich Japans) zentriert und sehen die Verhältnisse außerhalb zu einseitig aus dieser Perspektive. Was den (computer-)technischen Fortschritt angeht, so ist man heute gewiß weiter als um 1960, wo angeblich infolge eines primitiven Programmier-Fehlers ein Raumschiff von seinem Kurs zur Venus abkam und verloren ging (Hoare 1980/1984:61). Aber der gewaltige Rückschlag, den das amerikanische Raumfahrt-Programm durch die zahlreichen großen Katastrophen im Jahre 1986, kurz vor der Jahrtausendwende, erlitten hat, verweist auf Probleme bei der Umsetzung der, zweifellos vorhandenen, (Fast-)Perfektion des Computers in die unvollkommene physische und soziale Realität: Daß bei der Challenger-Raumfähre das Dichtungssystem der Treibstoffbehälter anfällig gegen Kälte am Startplatz war, war einigen Ingenieuren durchaus bekannt. Daß diese Kenntnis nicht zur Absage des Starts am 28.01.1986 führte, mag man als menschliches Versagen bezeichnen. Die tieferen Ursachen waren aber Zeit- und Geldknappheit, und diesen wäre auch ein noch stärker durch-computerisiertes Projekt unterworfen gewesen.

Daß man sich auch nicht einfach darauf verlassen kann, daß die Entwicklungsländer sich mit westlicher Hilfe schon entwickeln werden, zeigt der zwischenzeitlich erfolgte wirtschaftliche Niedergang vieler ehemaliger afrikanischer

Kolonien und süd- und mittelamerikanischer Staaten. Ob die Haefnersche "Homer"-Gesellschaft als eine Art Insel der Glückseligen konfliktfrei in einem Meer von Armut existieren kann? Ein Symbol für die Problematik der Beziehungen zwischen entwickelten und Entwicklungsländern, auch was die Computerisierung betrifft, ist der Konkurs (nach der Mainzer Allgemeinen vom 17.10.1985) des 1982 unter Mithilfe von Papert und anderen eröffneten "Centre Mondial L'Informatique et Ressources Humaines" (an dem auch Lawler, 1985:266f, gearbeitet hat) in Paris, mit dem die "Länder der dritten Welt durch das selbstbestimmte Lernen mit Computern in die Lage versetzt werden (sollten), die Industrieländer in einem gewaltigen Sprung in technologisch/zivilisatorischer Hinsicht zu überholen" (Ziegenbalg, 1983:12). Da wird wieder einmal Illich, 1970/1972, bestätigt, mit dem sich Papert ja in der Ablehnung des existierenden Schulsystems trifft (dies merkt auch Hoppe, 1984:230, an), allerdings mit konträren Voraussetzungen, Zielsetzungen und Alternativen.

6. Die bisherige Praxis der Logo-Philosophie

So ist es nur allzu verständlich, wenn man Meldungen über Logo(-Projekte) z.Z. nur aus den hochzivilisierten Staaten erhält: vor allem aus den angelsächsischen Ländern, vereinzelt aus Frankreich und Israel, kaum aus der BRD und nicht aus Japan, da dort die Computer-Didaktik wegen der Probleme mit der Schrift eh unterentwickelt ist (so S. Hitotumatu, Kyoto, auf der WCCE/85; Duncan/Harris 1985). Trotz ihrer Vorzüge setzt sich die Programmiersprache 'Logo' in den Sekundarstufen, so weit überhaupt programmiert wird, kaum durch, da andere Sprachen, nämlich Basic und Pascal, das Feld bereits besetzt haben. Infolge der fortgeschrittenen Schul-Sozialisation der Schüler und der engen institutionellen Rahmenbedingungen scheint Logo in der Sekundarstufe i.a. nicht wesentlich anders als andere Sprachen eingesetzt werden zu können und zeitigt dann wohl auch nicht wesentlich andere Wirkungen.

So bietet sich für eine Erprobung der Logo-Philosophie zunächst die Primarstufe und der Kindergarten an, zumal die "Logo-Umgebungen" und die inhaltlich nicht allzu anspruchsvolle Turtle-Geometrie mit ihrem Charakter der Unverbindlichkeit ja auf diese zugeschnitten zu sein scheinen. Während man in der BRD insgesamt zurückhaltend mit der Aufnahme des Computers in die Schule ist und insbesondere die Primarstufe frei hält, sind die USA wesentlich weiter fortgeschritten (vgl. Becker 1986). Allerdings muß man damit rechnen, daß die Arbeit mit Logo i.a. viel zu kurz kommt und dann i.d.R. auch nicht als Realisierung

der Logo-Philosophie gelten soll. Darüber hinaus gibt es freilich auch zahlreiche Projekte, in denen versucht wird, sich dieser auf die eine oder andere Art zu nähern, und die mehr oder weniger gut dokumentiert sind. In der BRD hatte sich schon Mitte der siebziger Jahre eine Arbeitsgruppe dem Thema gewidmet (Kling u.a. 1976:75ff), Löthe hat diverse Projekte betreut (z.B. Hagenmeyer/Löthe 1984, Hanninger 1982), und inzwischen gibt es weitere Unterrichtsversuche (z.B. Weber 1986). H. Löthe, PH Ludwigsburg, kennt sich in der Szene der BRD und international bestens aus.

Die Zahl der Arbeiten zu Logo hat inzwischen die Tausend weit überschritten; Literaturnachweise, sowie Informationen über Tagungen und überhaupt über die recht gut organisierte Logo-Gemeinde sind erhältlich beim "National Logo Exchange, PO Box 5341, USA-Charlottesville, VA 22905" oder bei der "Educational Computing Group, MIT, 545 Technology Square, USA-Cambridge, MA 02139". Der überwiegende Teil dieser Papiere befaßt sich mit inhaltlichen und abstrakt daraus abgeleiteten didaktischen Aspekten der Programmiersprache. An Beschreibungen praktischer Projekte in "Logo-Umgebungen" liegen mir außer den oben genannten vor: Papert u.a. 1979, Watt 1982, Dupuis/Guin 1986, sowie Beiträge in Sorkin 1984 und Hoyles/Noss 1985.

Die Zwänge des bestehenden Systems

Bei Planung, Durchführung, Auswertung und Veröffentlichung ihrer Projekte befindet sich die Logo-Gemeinde mindestens in dreifacher Hinsicht in einem Dilemma - teils in Übereinstimmung mit üblicher empirischer 'Unterrichts'-Forschung, teils spezifisch für die Logo-Philosophie. Erstens: Die institutionellen, organisatorischen und curricularen Zwänge des gegenwärtigen Schulsystems sind zwar Gift für die Logo-Philosophie, aber wenn man "Logo-Umgebungen" in der Realität und nicht in Labor-Situationen erproben will, braucht man Behörden, die das Projekt genehmigen, Eltern, die zustimmen, Lehrer, die mitmachen, so daß man beim Design erhebliche Abstriche machen muß und Logo-'Unterricht' meistens nur in zeitlich geringem Umfang, isoliert vom 'normalen' Curriculum, mit schwacher technischer Ausstattung durchführen kann (dies ist eine pauschale, idealtypische Beschreibung!). Eine weitere Ursache für die Verwässerung der Logo-Philosophie bei ihrer Realisierung liegt in den Personen der Lehrer, wenn diese der Logo-Philosophie nur partiell anhängen, den Spielraum nicht genügend ausnutzen, den sie zu ihrer Realisierung hätten, sie gar mißverstehen oder auch bewußt Varianten ausprobieren (z.B. Noss, 1984:87, verschiedene Arten der Lehrer-Intervention).

Ich halte aber dafür, daß auch bei noch so idealen Randbedingungen die Unzulänglichkeiten der Logo-Philosophie selbst, wie ich sie in Kap.2 bis 4 diskutiert habe, ihrer Realisierung im Wege stehen: Ohne massive Eingriffe durch Lehrer versiegen die Lernprozesse der Kinder ganz schnell. Die Bedeutung der Lehrperson wird auch in der Logo-Gemeinde zunehmend anerkannt (Cohen 1984:45, Higginson 1984:31, Hoppe 1984:48, Noss 1984, Pea 1984:59f, Goldstein 1985:6, Weir, nach Bender 1986a usw.), insbesondere wird ein Mangel an (Logo-)Kompetenz bei Lehrern beklagt (Allan/Davis 1984:111, Cohen 1984:40, Higginson 1984:33, Watt 1984:25 usw.). Hoyles/Sutherland/Evans (1985:26a) vermissen die Verbindung zwischen logo-orientierten und sonstigen Aspekten mathematischer Begriffe; Watt (1982a:133), Goldstein (1985:6) u.a. empfehlen den Gebrauch von Handbüchern, Anregungen von außen usw. Die Liste solcher 'abweichlerischen' Äußerungen ließe sich erheblich verlängern, und Solomon, eine der Veteraninnen, die sich noch 1982 ausgesprochen lobpreisend geäußert hat (Solomon 1982), stellt ernüchtert fest: "The revolution, as we envisioned it, has not taken place. The job is larger than we thought" (Solomon 1984:125). Allerdings ist ihr Grundtenor und der der anderen Veröffentlichungen der Logo-Gemeinde nach wie vor optimistisch.

Das problematische Verhältnis zu gängigen empirischen Methoden

Die meisten dieser optimistischen Studien basieren auf der Wiedergabe ausgiebiger Beobachtungen, mit denen auf anekdotische Weise gewisse Aspekte der Logo-Philosophie illustriert werden (wie Groen, 1984:49, sich ausdrückt). Ein Musterbeispiel ist der Beitrag von Weir (1984) aus dem inneren Kreis der Logo-Gemeinde, aber auch der Projektbericht von Papert u.a. (1979), offenbar das Vorbild für viele weitere Berichte. Groen nennt zwar noch einen zweiten Typ von Studien, nämlich die traditionelle empirische Forschung, wo Variablen zum Aufenthalt von Kindern in "Logo-Umgebungen" gemessen und statistisch ausgewertet werden (Groen 1984:49). Dieser 'Anti'-Typ tritt allerdings seltener auf (z.B. Statz 1973, Gorman/Bourne 1983, Clements/Gullo 1984 u.a.). Womöglich ist er in (unveröffentlichten) Dissertationen und Projektberichten stärker vertreten. Wenn solche grauen Papiere zitiert werden, dann ist jedoch meistens nicht zu erkennen, mit welchem Typ von Forschungsmethode die Ergebnisse erzielt werden. Eine Ausnahme scheint die Mitteilung Peas (1984:58) zu sein, daß nach seinen Untersuchungen die Fähigkeit zum Planen durch den Umgang mit Logo nicht gefördert wird.

Pea schränkt jedoch gleich den Wert dieses Ergebnisses selbst ein, indem er bemerkt, daß so mancher Effekt von Einflußgrößen herrührt, die man gar nicht

untersuchen will, aber auch nicht ausschalten kann oder auszuschalten unterläßt (z.B. weil man ihren Einfluß unterschätzt), insbesondere daß so tiefliegende Ziele wie Planungs-Kompetenz, Problemlöse-Fähigkeit usw. nicht durch einen Aufenthalt in "Logo-Umgebungen" schlechthin erreicht werden, sondern daß dafür noch ganz andere Variablen außer 'Logo/Nicht-Logo' wichtig sind.

Hier liegt das zweite große Dilemma der Logo-Philosophie: Ihr Verhältnis zur empirischen Forschung. Einerseits möchte man schon 'beweisen', daß die Logo-Philosophie hält, was Papert verspricht. Andererseits stellt es zunächst einmal eine grobe Unredlichkeit dem Lernenden gegenüber dar, wenn er beim Lernen zwar als autonomes Subjekt vorgehen darf, zugleich aber Objekt einer wissenschaftlichen Untersuchung durch Personen ist, die auch das Lern-Angebot arrangiert haben (daß diese Autonomie allerdings sowieso eine Fiktion ist, habe ich schon in Kap.3 ausgeführt). Eine globale Beschreibung der äußerlich erkennbaren Aktivitäten mag da noch angehen, aber schon der übliche Einsatz von sog. "dribble files", in denen jeder Computer-Schritt gespeichert wird, verletzt die Persönlichkeit des so Kontrollierten.

Darüber hinaus ist der statistische Nachweis irgendwelcher Effekte der Arbeit in "Logo-Umgebungen" für die Logo-Philosophie nicht stilgerecht. Diese 'Fliegenbein-Zählerei' würde doch nur die Kontraproduktivität, die Papert dem derzeitigen Erziehungssystem vorhält, auf der Ebene der Forschung perpetuieren. Außerdem geht es in der Logo-Philosophie um Effekte, die so komplex sind, daß sie und ihre Ursachen sowieso nicht statistisch sauber herauspräpariert werden können (vgl. Watt 1982a:120f; s.a. Pea 1984, Pea/Kurland 1984), und zugleich mit einer dermaßen radikalen Umwälzung des Erziehungssystems verbunden wären, daß eine viel langfristige und globalere Betrachtungsweise als die übliche erforderlich wäre. Um eines der Papertschen Bilder (44; in anderem Zusammenhang gebraucht) zu nutzen: Die Anwendung des Instrumentariums der konventionellen Unterrichts-Forschung auf Logo-Projekte ist für die Logo-Gemeinde so, wie wenn jemand im 19. Jhdt. das Verkehrswesen verbessern gewollt und sich deswegen intensiv mit der Perfektionierung von Pferdekutschen statt der Entwicklung von Auto und Flugzeug befaßt hätte.

Gegen die (implizite) Berufung der Logo-Gemeinde auf dieses zweite Dilemma gilt derselbe Einwand wie schon beim ersten: Es bestehen erhebliche Zweifel an dem Potential der Logo-Philosophie, wenigstens unter günstigsten Bedingungen die großartigen Effekte zu erzielen, die sich einer Überprüfung in irgendeiner herkömmlichen Weise entziehen und sie damit von einer Verpflichtung dazu befreien könnten. So ist es durchaus angemessen, wenn sich die "Bürokraten" (Co-

hen 1984:41) zunehmend doch der Logo-Projekte bemächtigen und sie wie gewöhnliche Unterrichtsformen behandeln.

Bei den Erfolgen, über die aus den "Logo-Projekten" immer wieder berichtet wird, handelt es sich darum, daß (a) die Kinder sehr ausdauernd arbeiten (Hanning 1982:33, Hoyles/Sutherland/Evans 1985a:19 u.a.), (b) sie viel miteinander kommunizieren (Watt 1982a:126, Goldenberg 1984:83, Higginson 1984:35, Hoyles/Sutherland/Evans 1985a:19, Treadaway 1985:51 u.a.) und (c) Fortschritte bei der ausgeübten Tätigkeit, hier also beim Programmieren erzielen und dabei hin und wieder dem Lehrer ebenbürtig oder gar überlegen sind (Watt 1982a:126 u.a.). Der Inhalt dieser Kommunikation wird in der Regel nicht mitgeteilt (er befindet sich ja nicht auf den "dribble files"), und auch über das über das Programmieren hinaus Gelernte erfährt man wenig.

Ähnliche 'Erfolge' werden jedoch bekanntlich auch von Computer-Projekten gemeldet, die nicht mit Logo, sondern mit Basic oder einer anderen Programmiersprache arbeiten (z.B. Sheingold/Kane/Endreweit 1983 u.v.a.). Die Kommunikation läßt sich dabei immer ganz leicht dadurch fördern, daß man die Zahl der Computer-Arbeitsplätze kleiner als die Zahl der Kinder macht. Man könnte diese Effekte natürlich auch sogar mit Projekten erzielen, in denen der Computer gar nicht wesentlich vorkommt: z.B. Ski-Langlauf ('Anregung' Higginson 1984), Modellfliegen (Bender 1986b), "Automobillehre" (Stein 1986), "Fußballwissenschaft" (Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 15.03.1986, nach Stein 1986), Herstellen einer Schülerzeitung (Goldenberg 1984:83), Jonglieren usw. usf. Darüber hinaus hat übrigens auch die Pädagogik im Verlauf von nunmehr hundert Jahren immer wieder Unterrichtsformen entwickelt, die die Schüler zum ausdauernden Arbeiten, zur Kommunikation untereinander und zum Lernen gewisser Inhalte anregen (z.B. die Montessori-Pädagogik u.v.a.).

In "Mindstorms" geht Papert mit seinen Erfahrungsberichten etwas weiter, als nur anekdotische Schilderungen zu liefern: Über das Buch verstreut schildert er das 'Schicksal' von ca. 10 Kindern (anonym, 30; Jim, 45; Jenny, 49; Pamela, 60; Bill, 65; viele, 68; Keith, 100; Michael und Paul, 104; Deborah, 118; Kim, 151; Ken, 153), teils mit Lern- oder Motivationsstörungen, besonders bezüglich Mathematik, die durch einen mehrmonatigen Aufenthalt in "Logo-Umgebungen" beseitigt wurden, was sich häufig dadurch ausdrückte, daß sie danach die Mathematik liebten.

Mit diesen (verkürzten) Fallstudien soll offenbar die Eignung der Logo-Philosophie für das Lernen von Mathematik u.a. substantiiert werden. Ich halte die

Methode der Fallstudie zwar für angemessen für die Aufklärung der Wirkung von Unterrichts-Maßnahmen oder auch von "Logo-Umgebungen", aber angesichts der Pappertschen 'Ergebnisse' drängen sich doch Fragen auf wie: Auf welche Beobachtungen genau gründet sich eigentlich die Diagnose der Liebe zur Mathematik? Wie stabil ist diese Einstellungsänderung? Sind nicht vielleicht ganz andere Begleitumstände der Logo-Projekte für diese 'Erfolge' verantwortlich? Z.B.: Intensität und Sorgfalt bei Vorbereitung und Durchführung; Grad der Aufmerksamkeit, die das einzelne Kind erfährt; Neuigkeits-Charakter des Unternehmens; Disposition der Lehrer; Auswahl der Population; Eignung des Stoffs. Die idealen Zustände, die da - unabhängig vom Computer - bei den bekannten "Logo-Projekten" herrschen, findet man doch nicht im gewöhnlichen Unterrichtsbetrieb: Hochmotivierte Lernende und Lehrende (Hawthorne-Effekt), Projektbetreuer in großer Zahl für wenige Kinder, umfangreiche Vor-, Nachbereitungs- und Begleitarbeit usw. Unter solchen Bedingungen würde jeder Unterricht besser laufen können (vgl. a. die exemplarische Kritik Freudenthals, 1979).

Es sei noch erwähnt, daß aus manchen Projekten auch von negativen Begleitererscheinungen oder Schwierigkeiten berichtet wird, für die die realen Randbedingungen nicht oder nicht unmittelbar verantwortlich zu machen sind: Die Aktivitäten brauchen viel Zeit (Goldstein 1985:5, Kerlake 1985:41). Die Mädchen sind zurückhaltender als die Jungen und kommen freiwillig (Harvey, nach Bender 1986a) oder unfreiwillig (Goldstein 1985:5) wenig zum Zuge, insbesondere wenn keine Lehrperson die Aktivitäten kanalisiert (Becker 1986:32), womit eine Befürchtung von Cuffaro, 1984:566, u.v.a. bestätigt wird. Man trifft auf logophilosophie-widrige Verhaltensweisen wie das Kopieren von Programmen (Cohen 1984:45, Goldstein 1985:5, Hoyles/Sutherland/Evans 1985b). Oder wesentlicher: in den Lernprozessen entstehen sog. "Plateaus", weil die Schüler die an gewissen Stationen notwendige Bildung weiterführender Begriffe nicht selbständig aus der Sache heraus, sondern nur unter Anleitung vornehmen (Noss 1984:89, Hoyles/Sutherland/Evans 1985a:20ff). In einem der ganz seltenen eher kritischen Erfahrungsberichte stellt Burns (1983) fest, daß Logo sich keineswegs von selbst lernt und daß seine (8- bis 9-jährigen) Schüler kein Verständnis für die Struktur der 'Sprache', speziell für den Variablenbegriff entwickelt hätten. Allerdings sind alle diese negativen Befunde ebenfalls nicht genügend belegt.

Ein drittes Dilemma schließlich ergibt sich aus der Furcht der Logo-Gemeinde, daß veröffentlichte Berichte über "Logo-Projekte" als Rezepte mißverstanden werden könnten (Bull/Tipps 1984, nach Allan/Davis 1984:102). - Damit ist in der Tat zu rechnen.

7. Methodologische Kritik der Logo-Philosophie

Daß ein Autor eines pädagogischen Konzepts für dieses wirbt, allein schon, indem er es (positiv) darstellt, ist üblich und legitim, auch daß er eventuell daran Geld verdient, durch Bücher, Schulbücher, Computer-Software o.ä. Dem Pädagogikbetrieb tut es nur gut, wenn einer dabei rhetorisches Geschick an den Tag legt, jedenfalls wenn diese Rhetorik nicht Mängel im Konzept zudeckt. Dies gilt für eigens hergestellte Werbeschriften so gut wie für die eigentliche wissenschaftliche Begründung.

"Mindstorms" scheint für das Konzept der Logo-Philosophie beides zugleich zu sein. Sein Werbe-Charakter ist offensichtlich und wird in Diskussionen immer wieder als "Entschuldigung" zur Verteidigung gegen Detailkritik vorgebracht. Sein Begründungs-Charakter ist m.E. ebenfalls unbestreitbar; er ergibt sich aus der ganzen Anlage des Buchs, aus der Diktion und aus der Tatsache, daß keine andere Arbeit zur Begründung vorliegt. Jedenfalls hat in fast allen Äußerungen zur Logo-Philosophie dieses Buch aus- oder unausgesprochen begründende Funktion, und Papert selbst hat dieser Rolle auch nie widersprochen.

Zur Aufarbeitung einschlägiger Literatur

Die Wissenschaftlichkeit ist aber zunächst einmal durch die fehlende Aufarbeitung einschlägiger Literatur relativiert. (Zwischenbemerkung: Hier und bei weiteren Kritikpunkten ist es unerheblich, ob die von mir jeweils in Abrede gestellte Eigenschaft, Schlüssigkeit, Folgerung von Papert überhaupt zugesichert, beansprucht, behauptet wird; entscheidend ist vielmehr, daß ein vernünftiger Leser bei mittlerer Aufmerksamkeit den Eindruck der Zusicherung, Beanspruchung, Behauptung haben kann; hierzu habe ich bei 'Freunden' und Gegnern der Logo-Philosophie Erfahrung gemacht.) Die Logo-Philosophie ist mit ihrer Computer-Komponente zwar etwas Neues, aber sie ist doch geprägt von der Reform der Schule und besonders des Mathematik-Unterrichts der sechziger Jahre (s.a. Bu/He) und wurzelt keineswegs nur in Piaget und AI. Auch danach hat es in Soziologie, Pädagogik, Psychologie und Fachdidaktik eine rege Betätigung gegeben, aus der noch und noch Erkenntnisse hervorgegangen sind, die für die Logo-Philosophie relevant sind. Papert streift gerade so mal einige der allerbesten Vertreter: Bruner, Dewey, Freud, Lévi-Strauss, Montessori, Thorn-dike und für die Mathematik-Didaktik Pólya; wobei er Bruner (ebenso den ausführlich zitierten Tennis-Lehrer Gallwey) noch gehörig fehlinterpretiert.

Lediglich Piaget wird ausführlicher berücksichtigt, allerdings in einer populär-wissenschaftlichen Variante und mit einschneidenden, bis hin zu kontrapunktierenden Modifikationen (s. S.21f, Davy 1984:549 und Bu/He). Papert bezeichnet dieses als "Reinterpretation Piagets" und meint, damit eine "psychologische Theorie" entwickelt zu haben, die mit ihrer "Erklärungskraft" bequem "mit anderen auf diesem Gebiet" mithalten könne (170). Die Logo-Philosophie hat zwar nicht den "schwachen bildungstheoretischen Hintergrund", den Lánský (1977:41) der Computer-Didaktik im allgemeinen attestiert, aber Papert versäumt es, diesen Hintergrund explizit zu machen und bemüht sich stattdessen, mit "maßlosen Theoretisierungen aus ... Mathematik, Psychologie, Erkenntnistheorie, AI-Forschung" (Bu/He, 83) selbst eine Theorie zusammen zubasteln (s.a. den Willkür-Vorwurf von Hoppe 1984:48) - vergeblich, nach Auffassung des CiU-Anhängers Groen (1984:50), bzw. mangelhaft, so die Lisp-Vertreter Allan/Davis (1984:101, 103).

Die Rolle der Metaphern und Parabeln

Ein wesentlicher Bestandteil der Theorie-Bildung bei Papert ist der Einsatz von Metaphern und Parabeln (eine Gepflogenheit der AI-Forschung, so Weizenbaum, 1976/1977:210ff, und der Computer-Didaktik allgemein). Auch wenn diese zur Lesbarkeit und zum Verständnis beitragen können, so wird ihre Funktion fragwürdig, wenn die Argumentation in sie hinein verlegt und eventuell durch einen Analogie-Schluß auf das eigentliche Thema übertragen wird. Ein Beispiel ist die Parabel vom Vogelflug (164f), auf die ich bereits auf S.64 eingegangen bin. Überhaupt muß der technische Fortschritt der Vergangenheit immer wieder als Basis für Schlüsse auf die zukünftige Entwicklung der Computer-Technik mit all ihren Begleiterscheinungen erhalten (Auto, 44; Kino, 189), und immer werden wesentliche Gesichtspunkte und Assoziationen einer unausweichlichen Idylle geweckt. Diese lassen sich auch wieder leicht gegen ihre Urheber einsetzen, wie es immer wieder einmal unternommen wird, z.B. von Suhor (1983), der die Ansprüche der CiU-Bewegung mit dem Erfolg vergangener faktischer oder imaginärer CiU-Bewegungen konfrontiert, wo X ein Erzeugnis des technischen Fortschritts wie Telefon, Auto, Fernsehen ist (wohlgemerkt in ironisierender Übernahme der CiU-Argumentation).

Selbstverständlich gibt es auch gelungene Metaphern, m.E. etwa die "society of mind" oder das "QWERTY"- (dt. "QWERTZ"-)Phänomen. Aber zu häufig dominiert der objektive Zweck, den Computer mit Freundlichkeit, Leben, Menschhaftigkeit zu begaben, z.B.: Warum soll man nicht Kinder Turtle-Geometrie treiben lassen, auch wenn sie dabei den Computer noch lange nicht durchschauen, wo man (jeden-

falls Papert) doch auch das Jonglieren in einer prozeduralen Sprache analysiert, ohne notwendigerweise dessen Wesen dabei komplett zu erfassen? (117); was der Parallelschwung für das Skifahren ist, ist der Computer für 'schulisches' Lernen (185ff); "Logo-Umgebungen" sind wie Samba-Schulen (178ff); und natürlich hat der Computer selbst lebendige Züge, er ist "turtle", "tutee", "spricht", kann "geliebt" werden; usw.

Eine weitere Funktion dieser Metaphern ist es, dem Autor die genaue Ausarbeitung eines Begriffs zu ersparen und die Ausfüllung dem Leser zu überlassen, besonders deutlich beim Beispiel "mathland" mit dem Lernen von Mathematik wie eine erste Sprache (s.a. die Kritik Solomons, 1985:100, die möchte, daß die Logo-Gemeinde an realistischeren Projekten arbeitet). Dabei besteht natürlich die Gefahr, Schwierigkeiten oder gar Widersprüche zu übersehen, auf die ein Leser möglicherweise notwendig bei der gedanklichen Realisierung stößt. Für S. Brown (1982/1984:46) sind die Metaphern insgesamt "irreführend, unpassend oder widersprüchlich".

Die Kraft, die aus der Wortwahl kommt

Im Dienste eines freundlichen Anstrichs steht auch die Wortwahl: "Piagetsches Lernen" (spricht jeden amerikanischen Grundschullehrer an) trotz großer Gegensätze zu Piaget; "powerful ideas", vor allem die "idea of powerful ideas"; "Mikrowelt" für einen mathematischen Inhalt. Informatische Begriffe werden pädagogisch gebraucht, sollen aber das Image des Exakten beibehalten und damit den pädagogischen Bereich einer Analyse zugänglich machen: Logo-Umgebung als Lern-Umgebung, Interaktion als "Interaktion". Ich erinnere an den rekursiven Gebrauch von Begriffen wie "Denken", "Lernen", "powerful idea", durch den scheinbar mühelos die Bedeutungsebene gewechselt wird. Ein Beispiel für die Verwendung von Spiegelung ("reflection" im Sinne von Kilpatrick 1986) anstelle von Rekursion ist die Aussage: Nicht der Computer programmiert das Kind, sondern das Kind programmiert den Computer (in "Logo-Umgebungen") (5, 19). Hier wird 'Original' und 'Spiegelbild' vertauscht: Zunächst einmal ist es der Mensch, der den Computer programmiert, und es besteht die reale Gefahr, daß diese Beschäftigung Rückwirkungen auf den Menschen hat, besonders wenn er noch nicht erwachsen ist. Diese Rückwirkungen sind treffend als 'Programmieren des Menschen durch den Computer' charakterisiert. Wenn nun Papert konstatiert, daß (doch) das Kind den Computer programmiert, dann ist dies zum einen nicht spezifisch für die Programmiersprache 'Logo' und zum anderen kein Argument gegen die Existenz dieser Gefahr. Darüber hinaus verstärkt die Totalität, mit der die Logo-Philosophie die Kinder vereinnahmen will, eher diese Gefahr.

Bei all diesen rhetorischen Mitteln ahnt man die Hoffnung auf den Pygmalion-Effekt im Hintergrund; McDermott spricht von "wishful mnemonic" der Computer-Wissenschaft (1976:4, nach Dreyfus 1972/1979:2; s. dort auch 1ff, 134f). Paradebeispiel ist die Verwendung der Bezeichnung 'mathetisch' für 'das Lernen betreffend' (39ff), mit der sich die enge Verwandtschaft von Mathematik und allgemeinem Lernen ausdrücken soll, bis hin zum Homonym "Mathophobie" für Mathematik- und Lern-Angst (bzw. -Abneigung), die gemeinsam durch den richtigen Umgang mit dem Computer abgebaut werden können. Dabei wird auch die Rede von "mathetischen Prinzipien" eingeführt, deren theoretische und inhaltliche Ausfüllung Papert aber schuldig bleibt.

Etwas ausführlicher beschreibt er lediglich drei Kriterien (deren Eigenschaft mathetisch zu sein nicht behauptet wird und auch nicht so recht entschieden werden kann), unter denen er die Mathematik nach solchen Themen durchforstet hat, die von den Kindern überhaupt und insbesondere programmierend erarbeitet werden sollen (54). Und zwar handelt es sich um einen Teil der Fragen, die Klafki (1958/1974:16, 17, 22) für die didaktische Analyse bei der Unterrichts-Vorbereitung gestellt hat, nämlich (verkürzt ausgedrückt) die Fragen II. nach der faktischen und wünschenswerten gegenwärtigen Bedeutung für die Kinder (Paperts "continuity principle"), III. nach der Bedeutung für ihre Zukunft ("power principle") und V.3. nach den Anwendungen u.ä. ("principle of cultural resonance").

Diese Analyse hat ja bekanntlich immer 'geklappt' in dem Sinn, daß man für einen beliebigen vorgelegten Stoff Argumente gefunden hat; denn praktisch ging es ja nicht um eine Auswahl, sondern um eine Rechtfertigung. Was wäre eigentlich mit der Turtle-Geometrie geschehen, wenn sie die Kriterien nicht erfüllt hätte? (Ich bestreite, daß sie sie erfüllt.) Die Tatsache, daß Kinder Turtle-Geometrie programmieren können, wird als Beleg dafür angeführt, wie gut doch die Kriterien ihr 'Wächteramt' erfüllt und (nur) so etwas leicht Lernbares wie die Turtle-Geometrie durchgelassen haben (63). Die Diskussion mündet dann in die Schöpfung der Begriffe "Körper-", "Ego-" und "Kultur-Syntonizität", die der Turtle-Geometrie und exemplarisch (dem Kreis und) dem Winkel eigen sind, weil diese(r) "eng auf das kindliche Körper-Gefühl und -Bewußtsein bezogen ist, ... kohärent mit dem kindlichen Bewußtsein seiner selbst als Person mit Absichten, Zielen, Wünschen, Vorlieben, Abneigungen ist ... und die Idee des Winkels mit der Navigation verbindet, einer Aktivität, die fest und positiv in der außerschulischen Kultur vieler Kinder verwurzelt ist" (63, 68).

Eine Liste von Behauptungen, Voraussagen, Vermutungen, Hoffnungen

Nach dieser exemplarischen ausführlichen Erörterung liste ich nun eine Auswahl von Behauptungen auf, die sich, teils als Voraussagen oder Spekulationen deklariert, in "Mindstorms" finden und nach meinem Dafürhalten nicht oder nicht ausreichend substantiiert sind, ohne daß ich sie deswegen automatisch für falsch hielte (sinngemäße, möglichst wortgetreue Übersetzung von mir):

- Der Computer könnte ein Liebes-Objekt für alle Kinder sein (viii).
- Thema des Buchs: Ein Gebrauch des Computers, der die Standard-Annahmen der Entwicklungspsychologie in Frage stellt (4).
- Vermutung: Vieles von dem, was wir heute als zu "formal" oder zu "mathematisch" ansehen, wird so leicht (wie eine Muttersprache) gelernt werden, wenn Kinder in der computer-reichen Welt der nahen Zukunft aufwachsen (7).
- Glaube: Die Existenz des Computers wird mehr fundamentale Auswirkungen auf die Intelligenz-Entwicklung haben als die Erfindung des Buchdrucks (20).
- Vermutung bzw. Glaube: Mit dem Computer können wir die Grenzen zwischen konkretem und formalem Denken (im Sinne Piagets) aufheben (21) und die Stufen-Abfolge vielleicht sogar umkehren, indem Kinder lernen, systematisch zu denken, ehe sie quantitativ denken (auf den Zahlbegriff bezogen) (176).
- Allgemeine These: Was gut für Profis ist, ist auch gut für Kinder (gemeint ist der Computer) (30).
- Vorstellung: Die Gegenwart von Computern bringt die human- und die naturwissenschaftlich orientierten Kulturen im "mathland" zusammen (39 u.a.).
- Anspruch: Ich könnte zeigen, daß der Computer das Potential hat, unsere Beziehung zu jeder Art des Lernens zu verändern (47).
- Turtle-Geometrie ist ein besserer Zugang zur Mathematik als die herkömmliche Schul-Mathematik (51).
- Zielsetzung bei der Entwicklung der Turtle-Geometrie: Jegliches Wissen so zu "rekonstruieren", daß es ohne große Anstrengung gelehrt werden kann (53).
- Die Turtle mobilisiert Sprach-, Befehls-, Bewegungs-Begabung und -Vergnügen (58).
- Turtle-Geometrie konkretisiert Polyas Problemlöse-Strategien (64).
- Rekursion hat Wurzeln in der Kultur des Volkes (74).
- Das Kind hat das persönliche Bedürfnis, eine Spirale zu erzeugen, aber nicht, die Aufgabe $5 + x = 8$ zu lösen (74).
- "Mathpower is a way of life" (75).
- Der Jordansche Kurvensatz (in der Form des "total turtle trip theorem") ist leichter verständlich als der Winkelsummen-Satz im Dreieck (76).

- Wissen aus dem Logo-Labor: Kinder erwerben körperliche Fertigkeiten effektiver, wenn ihnen die Parallelität zum Aufbau einer naturwissenschaftlichen Theorie vor Augen geführt wird (96).
- Faktum: Computer-Prozeduren fördern das Lernen (des Jonglierens) (113).
- Programmier-Erfahrungen sind besonders geeignet, die Kinder zum 'Glauben' an das Debugging zu bringen (114) (Allan/Davis, 1984:103, vermissen hier die Substantiierung).
- Beim Erforschen von "Mikrowelten" lernen die Kinder den Transfer ihrer Forschungs-Gewohnheiten aus ihrem persönlichen Leben in den formalen Bereich (117).
- Kinder machen sich Gedanken über ihre Intuitionen, und (Paperts Sicht:) Computer helfen dabei (145).
- Die Neue Mathematik versagte u.a. deshalb, weil sie nicht dem Mangel an Programmier-Kenntnissen bei den Kindern entgegenwirkte (152).
- Bourbakis Theorie der Mutterstrukturen ist eine Lerntheorie (160).
- Die Turtle dient als allgemeines Medium für "Körper-" und formale Geometrie (183).

Besonders die Aussagen am Anfang des Buchs (bis etwa 54) sind durch den Konjunktiv und ähnliche Mittel relativiert. Liest man deren Kontext, so stellt man fest, daß diese Maßnahme keinen Zweifel ausdrücken soll, sondern eher eine rhetorische Absicherung darstellt. Je ernster man die Relativierung nämlich nehmen würde, desto phrasenhafter würden diese Aussagen. Bei diesen und bei vielen anderen Behauptungen ist gar nicht so recht zu sehen, auf welchem Wege sie eigentlich fundiert werden sollen, und so kommen Rezanson/Dawson (1985:7) zu ihrem Urteil "too often ... Papert uses language abstrusely phrased."

Die Behandlung möglicher Einwände

In den wenigsten Fällen wäre übrigens eine Erhärtung auf empirischem Wege möglich, aber selbst in diesen bestehen bei Papert Defizite. Er scheint sich darauf seine, zweifellos vorhandene, Beobachtungsgabe und seinen gesunden Menschenverstand zu verlassen. Für die Schilderung vieler Mißstände des derzeitigen Erziehungswesens ("Balkanisierung der Kultur", Bürokratisierung der Schulen, Perversion der Neuen Mathematik usw.) reicht dies auch. Mehr noch: sorgfältige Analysen unter Einbezug von Theorie würden diese Einfachheit und Klarheit der Darstellung nur stören. Diese Darstellung wiederum trägt dazu bei, daß der Leser bei mittlerer Aufmerksamkeit sich direkt bestätigt fühlt, sich identifizieren kann und dann umso leichter das Ersatzangebot akzeptiert (da man ja nicht argwöhnt, daß die von so einem kritischen Analytiker vorgeschla-

gene Alternative ähnliche oder gar schlimmere Mißstände zeitigen könnte). Der 'Erfolg' als Mathematik-Didaktiker bestätigt Papert in der Einnahme der Attitüde mancher didaktisch interessierter Mathematiker (wie ich sie mehrfach kennengelernt habe), nämlich sich und ihren Erfahrungsbereich (einschließlich etwaiger eigener Kinder) als Bezugspunkt für ihre didaktischen Überlegungen zu nehmen, unter dem Motto "das kann doch alles so einfach sein". Dieser Bezugspunkt prägt die ganze Logo-Philosophie, und in der Einleitung (insbesondere 10) macht Papert seine Bedeutung auch explizit. Bezeichnend ist die Rolle seiner Liebe zu Getriebenen (vi,ff): Er räumt zwar gleich ein, daß er diese nicht gerade für verallgemeinerungsfähig hält, aber den Augenblick der Erleichterung beim Leser nutzt er, um den Computer als Ersatzobjekt nachzuschieben.

Teil dieses Erfolgsbewußtseins ("I have invented ...", 27) ist die Art der expliziten Begegnung bzw. Vorbeugung von Einwänden und Widersprüchen. Ein Muster habe ich bereits genannt: Die Relativierung von Aussagen durch den Konjunktiv und ähnliche Wendungen. Hierher gehört auch die Einschränkung "... die Turtle (ist) kein Allheilmittel für alle didaktischen und pädagogischen Probleme ... sie dient (vielmehr) als Modell für noch zu erfindende Objekte ..." (11), die später (ab 182) noch einmal aufgenommen wird. Oder: Papert 'entschuldigt' sich quasi dafür, daß die Mathematik in "Mindstorms" eine so zentrale Rolle spielt, und zwar damit, daß, damit jemand überhaupt über das Denken nachdenken kann, sich dieses Denken seinerseits auf ein Objekt beziehen muß, und da habe er halt die Mathematik ausgewählt, weil er die am besten kennt (10). Diese beiden Relativierungen (der Bedeutung der Turtle und der Bedeutung der Mathematik) dienen offenbar als Alibi, um deren Wichtigkeit dann ungestört entwickeln zu können. Und: Die Hochschätzung spontanen Denkens und Lernens ist eine Basis der ganzen Logo-Philosophie (explizit: 20, 156), aber der mißtrauische Leser wird beruhigt: "'Teaching without curriculum' does not mean spontaneous, free-form classrooms ..." (31), und es folgt eine phrasenhafte Beschreibung, was es denn bedeuten soll (32).

In vielen Fällen erfolgt die Entkräftung eines möglichen Einwands durch den Verweis auf den "richtigen" Gebrauch des Computers (16, 18, 28f, 139 u.a.). So ist Papert trotz mancher berechtigter Bedenken zuversichtlich über die Rolle des Computers in der zukünftigen Gesellschaft (26). Oder: Zwar fördern viele Computer-Systeme reflektierendes Denken in der Tat nicht, aber "Logo-Umgebungen" sind geeignet (28). Und: Turtle-Geometrie und die Neue Mathematik haben zwar einiges gemeinsam, aber an Turtle-Grafik könnte es in unserer Kultur einen Bedarf geben, der für die Neue Mathematik nie bestanden hat (32). Weiter: Man kann zwar kein Wissen ganz auf Worte reduzieren, aber es ist auch

keines ganz unaussprechlich (und deswegen hat Bruner Unrecht und das Radfahren kann doch mit Hilfe einer geeigneten Analyse, d.h. in Logo, leichter gelernt werden, 96). Und: Die Sorge über die Vereinseitigung des Denkstils durch den Computer nimmt Papert zwar ernst, zum rechten Umgang mit dem Computer gehört aber auch das Wissen, wann welcher Denkstil einzunehmen ist (27, 98, 155). Schließlich: Papert erkennt den Widerspruch zwischen seiner Kritik an der "Balkanisierung der Kultur" und seiner positiven Haltung zur (epistemologischen) Modularität und löst ihn durch folgende abstruse Überlegung: Modularität macht Wissen besser kommunizierbar. Kommunikation spielt auch eine Rolle bei der Entwicklung einer Sprache für Gebiete wie Mathematik und Physik, deren Wesen ja gerade in der Kommunikation konstruierter 'Ganzheiten' ("entities") besteht. Mit dieser Sprache (z.B. Turtle-Geometrie) werden diese Gebiete für das Kind und den Dichter gleichermaßen zugänglich (171f). - Natürlich stehen auch die Metaphern im Dienste der Entkräftung von Einwänden (s.o.).

Die Zuversicht, mit der hier auf das Wohlwollen des Lesers spekuliert wird, ist schon ärgerlich. Diesem Ärger haben einige Kritiker in teilweise deftigen Wendungen Ausdruck gegeben: "All this would be funny if it were not so sad" (Davy 1984:554, zu Paperts "rührenden Geschichten über Kinder" in "Logo-Umgebungen"). Für Sardello (1984:631, 636) ist die "tutee"-Metapher eine Bedrohung für Bildung und Erziehung mit einem psychopathischen Charakter mit versteckter Häßlichkeit. Rezanson/Dawson (1985:6) rufen nach dem Logo-Exorzisten. Bu/He (83) sehen Papert in der "Nähe eines schlitzohrigen Verkäufers ..., der sein ... Modell ... ständig und auf peinliche Weise über den grünen Klee lobt ... und mit nicht einlösbaren pädagogischen und gesellschaftsutopischen Versprechungen verknüpft."

Schlußbemerkung

In den letzten Jahren hatte ich zahlreiche Gelegenheiten, über die Logo-Philosophie und allgemeiner über Probleme des Computers im Unterricht zu diskutieren. Ich habe niemanden kennengelernt, der die Papertsche Utopie bis zum Ende mitgetragen hätte; wer Logo im Unterricht befürwortet, verspricht sich einen Nutzen beim Lernen von Mathematik i.w.S., selten für die Grundschule (jedenfalls in der BRD und Österreich). Ich bezweifle allerdings, daß die Logo-Philosophie einfach durch Amputation essentieller Elemente zu einem brauchbaren Unterrichts-Entwurf wird. Ein solcher müßte vielmehr ganz neu geschrieben werden, und seine Brauchbarkeit müßte sich erst noch erweisen. Für viele Schulen in den USA kommt dieser Einwand jedoch zu spät, und Tetenbaum/Mulkeen (1984)

können nur noch ein Moratorium bei der Einführung von Logo in amerikanischen Grundschulen fordern.

Doch wenn sich auch die Logo-Philosophie im real stattfindenden Logo-'Unterricht' noch so wenig wiederfindet, Anlaß zur Entwarnung besteht nicht: Die Kritik an der Logo-Philosophie mag zwar so wirken, als ob man aus einem Maulwurfshügel einen Berg macht; dies liegt eben daran, daß der Maulwurfshügel 'Logo-Philosophie' sich auf den Hängen des Bergs 'Technokratie' befindet (Davys, 1985:558, von dem diese Metapher stammt, spricht hier von 'instrumental reason'). Papert hat gewiß erreicht, daß für so manchen Pädagogen der Einsatz des Computers in der Schule überhaupt erst einmal in den Bereich des Denkbaren gerückt wurde. Zugleich hat er aber auch eine Anhängerschaft für einen (jahrgangs- und umfangsmäßig) extensiven solchen Einsatz gewonnen. Ob dies dazu beiträgt, daß der Computer einmal eine angemessene Rolle in der Schule finden wird, sei dahingestellt. Ganz sicher kann (um in Davys Bild zu bleiben) die Auseinandersetzung mit dem Maulwurfshügel 'Logo-Philosophie' die Wahrnehmung und vielleicht sogar die Abtragung dieses Bergs 'Technokratie' befördern.

Literatur

Abelson, H. u. A. diSessa: Turtle Geometry. The Computer as a Medium for Exploring Mathematics. Cambridge, Mass.: MIT Press 1981, 3. Aufl. 1982

AISB (Society for the Study of Artificial Intelligence and Simulation of Behavior; Hrsg.): 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Education 1985, Exeter 1985

Allan, J.R. u. R.E. Davis: In Praise of Fingertips. In: Sorkin 1984, S.101-111

Anzai, Y. u. Y. Uesato: Learning recursive procedures by middle-school children. In: Proceedings of the Fourth Annual Conference of the Cognitive Science Society, Ann Arbor, Mich. 1982 (zit. nach Haussmann 1985)

Austin, H.: A Computational Theory of Physical Skill. Dissertation MIT, Cambridge, Mass. 1976 (zit. nach Papert 1980a)

Bammé, A., G. Feuerstein, R. Genth, E. Holling, R. Kahle u. P. Kempin: Maschinen-Menschen. Mensch-Maschinen. Grundrisse einer sozialen Beziehung. Reinbek: Rowohlt 1983

Bar-Hillel, Y.: Critique of June 1966 Meeting. SIGART Newsletter 1 (?), S.1 u.a. (1966?) (zit. nach Dreyfus 1972/1979)

Bauersfeld, H.: Subjektive Erfahrungsbereiche als Grundlage einer Interaktionstheorie des Mathematiklehrens und -lernens. In: H. Bauersfeld u.a. (Hrsg.): Lernen und Lehren von Mathematik. Untersuchungen zum Mathematikunterricht, Band 6. Köln: Aulis 1983, S.1-56

- Bauersfeld, H.: The Disparity of Computer Experience: A Case for Orienting the Syllabus for Elementary Education? In: Tinsley, J.D. u. E.D. Tagg (Hrsg.): Informatics in Elementary Education. Proceedings of the IFIP Working Conference in Malente 1983. Amsterdam: North-Holland 1984, S.199-206. Dt.: Die Andersartigkeit der Computererfahrung. In: Friedrich Jahresheft III (1985), S.100-107
- Bauersfeld, H.: Computer und Schule - Fragen zur humanen Situation. In: Neue Sammlung 25, 109-119 (1985)
- Becker, H.J.: Our National Report Card: Preliminary Results from the New Johns Hopkins Survey. In: Classroom Computer Learning 1986(1), 30-33 (1986)
- Bender, P.: Abbildungsgeometrie in der didaktischen Diskussion. In: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik 14, 9-24 (1982)
- Bender, P.: Zentrale Ideen der Geometrie für den Unterricht der SI. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1983, Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1983, S.8-17
- Bender, P.: Zur Überwindung der sogenannten Bildungskrise mit Samba-Schulen, Informationstechnik-Unterricht in der SI und Logo-Umgebungen. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1985, Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1985, S.67-70
- Bender, P.: Bericht vom 4. Weltkongreß über Computer im Unterricht. In: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik 18, 31-33 (1986a)
- Bender, P.: Contra Logo. In: Die Grundschule 1986(4), 34-35 (1986b)
- Bender, P. u. A. Schreiber: Operative Genese der Geometrie. Wien: Hölder/Pichler/Tempisky 1985
- Berr, M.-A.: Bild-Folgen. In: Friedrich Jahresheft III (1985), S.24-27
- Bitzer, D.: Large Scale Networks for Computer-Based Education. In: Duncan/Harris 1985, S.1030
- Boudot, G. u. C. Berdonneau: "Mad worlds" - Using multiple turtles for learning elementary geometric transformations. In: Hoyles/Noss 1985, S.110-111
- Bromme, R.: Die alltägliche Unterrichtsvorbereitung des (Mathematik-)Lehrers im Spiegel empirischer Untersuchungen. In: Journal für Mathematikdidaktik 7, 3-22 (1986)
- Brophy, J.: On the Future of Microcomputers in the Classroom. Manuskript, Michigan State University 1984
- Brown, A.L.: Metakognition, Handlungskontrolle, Selbststeuerung und andere, noch geheimnisvollere Mechanismen. In: Weinert/Kluwe 1983, S.60-109
- Brown, S.: On Mindstorms. In: Thinking, The Journal of Philosophy for Children 4(1), 50-53 (1982). Und in: Mathematics Teaching 107, 43-46 (1984)
- Bruner, J.S.: Towards a Theory of Instruction. Cambridge, Mass.: Harvard University Press 1966. Dt.: Entwurf einer Unterrichtstheorie. Berlin: Berlin-Verlag 1974
- Bull, G. u. S. Tipps: Problem Spaces in a Project Oriented Logo Environment, Part II. In: The National Logo Exchange Newsletter, Januar 1984 (zit. nach Allan/Davis 1984)

- Burgheim, M. u. F. Rieß: Die Schule sollte die Faszination durch den Computer abbauen. In: päd. extra 85(4), 34-36 (1985)
- Burns, G.: Children's Approaches to Programming. A Teachers's Perspective. In: AEDS (Association for Educational Data Systems; Hrsg.): Frontiers in Educational Computing. Proceedings of the 21st AEDS Annual Convention, Washington: AEDS 1983, S.55-58
- Bussmann, H.: Jean Piaget und die Mathematikdidaktik. In: Zeitschrift für Pädagogik 20, 703-718 (1974)
- Bussmann, H. u. W. Heymann: Revolutioniert die "Schildkröte" das Lernen? Rekonstruktion und Kritik der Bildungsutopie von S. Papert. In: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik 17, 76-83 (1985)
- Capra, F.: The Turning Point. Science, Society and the Rising Culture. New York: Simon u. Schuster 1982. Dt.: Wendezeit. Bausteine für ein neues Weltbild. Bern: Scherz 1983
- Carss, M. (Hrsg.): Proceedings of the Fifth International Congress on Mathematical Education 1984. Boston: Birkhäuser 1986
- Chi, M.T.H.: Bereichsspezifisches Wissen und Metakognition. In: Weinert/Kluwe 1983, S.211-232
- Church, M., S. Schwartz u. J. Wright: Center for Young Children: Disc Project Findings. In: Duncan/Harris 1985, S.105-106
- Clements, D.H. u. D.F. Gullo: Effects of Computer Programming on Young Children's Cognition. In: Journal of Educational Psychology 76, 1051-1058 (1984)
- Cohen, R.S.: So, What Do Children Learn With Logo? In: Sorkin 1984, S.39-47
- Coy, W.: METH - EMETH - Abenteuer der künstlichen Intelligenz. In: Kursbuch 75 (1984), S.7-11
- Crawford, D.: The Logo Phenomenon - An Aid to Continuing Evaluation and Development. In: Hoyles/Noss 1985, S.143-153
- Cuffaro, H.K.: Microcomputers in Education. Why is Earlier Better? In: Teachers College Record 85, 559-568 (1984)
- Davy, J.: Mindstorms in the Lamplight. In: Teachers College Record 85, 549-558 (1984)
- Dreyfus, H.L.: What Computers Can't Do. A Critique of Artificial Reason. New York: Harper u. Row 1972, 2., rev. Aufl.: What Computers Can't Do. The Limits of Artificial Intelligence 1979 (dt.: Die Grenzen künstlicher Intelligenz. Was Computer nicht können. Königstein: Athenäum 1985)
- Dreyfus, H.L. u. S.E. Dreyfus: Putting Computers in Their Proper Place: Analysis Versus Intuition in the Classroom. In: Teachers College Record 85, 578-601 (1984)
- du Boulay, B. u. J. Howe: Re-Learning Mathematics Through Logo: Helping Student Teachers Who Don't Understand Mathematics. In: Howe, J. u. P. Ross (Hrsg.): Microcomputers in Secondary Education: Issues and Techniques. London/New York: Kogan Page/Nichols 1982, S.69-81

- Duncan, K. u. D. Harris (Hrsg.): Proceedings of the 4th World Conference on Computers in Education 1985, 2 Bände. Amsterdam: North-Holland 1985
- Dupuis, C. u. D. Guin: Découverte de la Récursivité en LOGO dans une classe. Vortrag auf dem deutsch-französischen Symposium zur Didaktik der Mathematik und der Informatik, Marseille 1986
- Erlwanger, S.H.: Using Procedure-Based Microworlds to Teach Mathematics. In: Hoyles/Noss 1985, S.112-122
- Eyferth, K., K. Fischer, U. Kling, W. Korte, J. Laubsch, H. Löthe, R. Schmidt, H. Schulte u. K. Werkhofer: Computer im Unterricht. Stuttgart: Klett 1974
- Feuerstein, G.: LOGO und die Freude an der Selbstdisziplin. In: Praxis Deutsch 70, 9-12 (1985)
- Finlayson, H.: Logo as an Environment for Learning Mathematics. In: Hoyles/Noss 1985, S.82-87
- Fischer, G.: Das Lösen komplexer Problemaufgaben durch naive Benutzer mit Hilfe des interaktiven Programmierens. Dissertation, Hamburg 1977 (zit. nach Hoppe 1984)
- Fischer, R.: Unterricht als Prozeß der Befreiung vom Gegenstand - Visionen eines neuen Mathematikunterrichts. In: Journal für Mathematikdidaktik 5, 51-85 (1984)
- Freudenthal, H.: Lernzielfindung im Mathematikunterricht. In: Zeitschrift für Pädagogik 20, 719-738 (1974)
- Freudenthal, H.: Ways to Report on Empirical Research in Education. In: Educational Studies in Mathematics 10, 275-303 (1979)
- Friedrich Jahresheft III. Bildschirm - Faszination oder Information. Seelze: Friedrich 1985
- Gallwey, W.T.: Inner Tennis: Playing the Game. New York: Random 1976
- Garlichs, A.: Grundschule am Ausgang der Bildungsreform. In: Die deutsche Schule 71, 221-228 (1979)
- GDM (Gesellschaft für Didaktik der Mathematik): Überlegungen und Vorschläge zur Problematik Computer und Unterricht. In: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik 18, 107-108 (1986)
- Goldenberg, E.P.: Expectation is Part of the Environment. In: Sorkin 1984, S.77-84
- Goldstein, R.: Logo in the Mathematics Classroom. Opening Address. In: Hoyles/Noss 1985, S.3-6
- Gorman, H. u. L.E. Bourne: Learning to think by learning LOGO. Rule learning in third-grade computer programming. In: Bulletin of the Psychonomic Society 21, 165-167 (1983)
- Grant Johnson, F.: ... und wenn er Witze macht, sind es nicht die seinen. Dialog mit dem Computer. In: Kursbuch 75 (1984), S.38-56
- Groen, G.J.: Theories of Logo. In: Sorkin 1984, S.49-54

- Groen, G.J.: The Epistemics of Computer Based Microworlds. In: AISB 1985, S.49-50
- Haefner, K.: Die neue Bildungskrise. Herausforderung der Informationstechnik an Bildung und Ausbildung. Basel: Birkhäuser 1982
- Haefner, K.: Das Zukunftsziel. In: päd. extra 83(10), 37-39 (1983)
- Hagenmeyer, B. u. H. Löthe: Computer als Werkzeug für Grundschul Kinder - eine Pilotstudie. In: Mathematiklehren 7, 16-19 (1984)
- Halmos, P.R.: Does Mathematics have Elements? In: The Mathematical Intelligencer 3, 147-153 (1981)
- Hanninger, J.: Ein Unterrichtsversuch zu geometrischen Erfahrungen in der Grundschule mit Computerhilfe. Bericht Nr.18 aus dem Fach Mathematik, PH Eßlingen (1982)
- Harms, I.: Lego: Programmierschule im Kinderzimmer. In: Wechselwirkung 23, 42-47 (1984)
- Harvey, B.: The Young Computer Scientist: A Curriculum Plan. In: AISB 1985, S.53-57
- Hausmann, K.: Iteratives und rekursives Denken beim Lösen mathematischer Probleme. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1985, Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1985, S.146-149
- Higginson, W.: About that Rose Garden: Remarks on Logo, Learning, Children and Schools. In: Sorkin 1984, S.31-37
- Hiltz, S.R. u. M. Turoff: The Network Nation. Human Communication via Computer. Reading, Mass.: Addison-Wesley 1978 (zit. nach B.Mahr: Die Herrschaft der Gebrauchsanweisung. In: Kursbuch 75, 89-107, 1984)
- Hoare, C.A.R.: Der neue Turmbau zu Babel. Rede zur Verleihung des Turing-Preises der ACM 1980. In: Kursbuch 75 (1984), S.57-73
- Hoppe, H.U.: LOGO im Mathematikunterricht - ein Beitrag zur Didaktik des interaktiven Programmierens. Vaterstetten: IWT 1984
- Hoyles C. u. R. Noss (Hrsg.): Proceedings of the Logo and Mathematics Education Conference 1985. London: University 1985
- Hoyles C., R. Sutherland u. J. Evans: What is the Potential of Logo in the Secondary School Mathematics Classroom?: Some Findings of the Logo Maths Project. In: Hoyles/Noss 1985a, S.18-36
- Hoyles C., R. Sutherland u. J. Evans: LOGO Programming Activities. In: AISB 1985b, S.58-59
- Illich, I.: Deschooling Society. New York: Harper u. Row 1970. Dt.: Entschultung der Gesellschaft. München: Kösel 1972
- Jahnke, H.N.: Technology and Education. The Example of the Computer. In: Educational Studies in Mathematics 14, 87-100 (1983)
- Kerslake, D.: Children Aged 8 to 10 Using Logo. In: Hoyles/Noss 1985, S.37-41
- Kilpatrick, J.: Reflection and Recursion. In: Carss 1986, S.7-29

- Klafki, W.: Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In: Die deutsche Schule 50, 450-471 (1958). Und in: H. Roth u. A. Blumenthal (Hrsg.): Didaktische Analyse. Auswahl, Reihe A. Hannover: Schroedel 1964, 11. Aufl. 1974, S.5-34
- Klein, F.: Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus, Band 1. 1908, 4. Aufl. Berlin: Springer 1933, Nachdruck Berlin: Springer 1968
- Kling, U., G. Fischer, H.D. Böcker, D. Freiburg, B. Schneider, J. Schröder: Computer als Hilfsmittel des Schülers beim aktiven Lernen. Projekt: PROKOP 1974-1976. Darmstadt: Forschungsgruppe CUU (verwaltet durch das HIBS) 1976
- Klingen, L.: Zusammenhang und Reichweite modularer Algorithmen in der Schulmathematik. In: Schriftenreihe des IDM 16, 3-33 (1977)
- Köhler, H.: Wo aber bleibt der Mensch? Von der Cartesianischen Kürzungsregel und der Mathematisierung der Welt. In: Zeitschrift für Ganzheitsforschung 28(4), 163-183 (1984)
- Köhler, H.: Computer als Herausforderung - zur Sklavenarbeit? In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 38, 1-9, 65-73 (1985)
- Krummheuer, G.: Untersuchung zur Struktur mathematischer Problemlöseprozesse bei Verwendung eines Computers als Hilfsmittel. Zwischenbericht zum Projekt, Bielefeld 1985
- Kulik, J.A., R.L. Bangert u. G.W. Williams: Effects of Computer-Based Teaching On Secondary School Students. In: Journal of Educational Psychology 75, 19-26 (1983)
- Kunstmann, W.: Computer-Wellen. In: päd. extra 85(4), 24-28 (1985)
- Kurland, D.M. u. R.D. Pea: Children's Mental Models of Recursive LOGO Programs. In: Proceedings of the Fifth Annual Conference of the Cognitive Science Society, Rochester, N.Y. 1983 (zit. nach Tetenbaum/Mulkeen 1984)
- Kursbuch 75: Computerkultur. Berlin: Kursbuch Verlag 1984
- Lánský, M.: Einige Reflexionen zur Didaktik der Informatik. In: Schriftenreihe des IDM 15, 35-45 (1977)
- Lavallade, D.: In search of recursion. In: Hoyles/Noss 1985, S.57-60
- Lawler, R.W.: Designing Computer-Based Microworlds. In: Byte 7(8), 138-160 (1982)
- Lawler, R.W.: Computer Experience and Cognitive Development: A Child's Learning in a Computer Culture. Chichester: Ellis Horwood 1985
- Lehmann, J. u. R. Lauterbach: Die Wirkungen des Computers in der Schule auf Wissen und Einstellungen. In: Log In 5(1), 24-27 (1985)
- Löthe, H.: Arbeitsstil und Programmiermethodik bei der Computernutzung im Mathematikunterricht - der Einfluß von LOGO. In: Graf, K.-D. (Hrsg.): Computer in der Schule. Stuttgart: Teubner 1985a, S.47-60
- Löthe, H.: Mathematik, Informatik, Computeranwendungen - Probleme und Chancen einer Integration. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1985, Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1985b, S.195-198

- Löthe, H., H. Wölpert u. S. Wolpers: Raumigel - Einführung, Anwendungen, Implementation. Informatik und Datenverarbeitung in der Schule. Materialien und Berichte Nr.7, PH Ludwigsburg 1985 (zit. nach H. Löthe: Didaktische Wechselwirkung zwischen Computer und Geometrie am Beispiel des Raumigels. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1986. Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1986, S.180-183)
- Lorenzen, P.: Metamathematik. Mannheim: Bibliographisches Institut 1962
- Mahr, B.: Die Herrschaft der Gebrauchsanweisung. In: Kursbuch 75 (1984), S.89-107
- McDermott, D.: Artificial Intelligence Meets Natural Stupidity. In: SIGART Newsletter 57, S.4 u.a. (1976) (zit. nach Dreyfus 1972/1979)
- Mehrtens, H.: Mathematik als historischer Prozeß: Zum Beispiel die Zeit um 1900. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1982, Hannover: Schroedel 1982, S.71-80
- Miller, J.L.: The Role of Cognitive Theory in Educational Reform. In: AISB 1985, S.79
- Moller, A.: Logo Programming. London: Century Communications 1984 (zit. nach Crawford 1985)
- Morris, S.K., M.C. Hyson, D.G. Klinzing u. C.L. Paris: Young Children and Computers. In: Duncan/Harris 1985, S.105
- Müller, K.P.: Sind die Computer oder die Computerfachleute eine Gefahr für die Schule? In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1984, Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1984, S.251-254
- Naisbitt, J.: Megatrends. New York: Warner Books 1982. Dt.: Bayreuth: Hestia 1984
- Nake, F.: Schnittstelle Mensch-Maschine. In: Kursbuch 75 (1984), S.109-118
- Newell, A. u. H.A. Simon: Human Problem Solving. Englewood Cliffs: Prentice-Hall 1971, 4. Auflage 1972
- Noss, R.: Explorations in Mathematical Thinking. Some Implications from Logo Classrooms. In: Sorkin 1984, S.85-92
- Oberschelp, W.: Zum Verhältnis von Mathematik, Informatik und Philosophie. In: Schriftenreihe des IDM 16, 35-61 (1977)
- Otte, M.: Vorwort zur deutschen Ausgabe - Wissen als "society of minds". In: Papert, S.: Mindstorms. Kinder, Computer und Neues Lernen. Basel: Birkhäuser 1982, S.7-19
- Owen, M.: Searching for New Microworlds. In: AISB 1985, S.82-85
- Pacena, R.: Können Schüler mit der von Papert für sie entwickelten Programmiersprache Logo das Arbeiten am Computer wie eine "Muttersprache" erlernen, um den Computer zum besseren Verstehen von Mathematik und Physik im Piaget-schen Sinne zu nutzen? Diskussionsgrundlage für die Regionaltagung der Nord-deutschen Mathematikdidaktiker am 11.01.1986
- Papamastorakis, E.: Papert'sche Programmatik und Geometrieunterricht. Preprint-Reihe 'Didaktik der Mathematik', No.1, Berlin: TU (1986)

- Papert, S.: Teaching Children to be Mathematicians Versus Teaching About Mathematics. In: International Journal of Mathematical Education in Science and Technology 3, 249-262 (1972)
- Papert, S.: Mindstorms. Children, Computers, and Powerful Ideas. New York: Basic Books 1980a (dt.: Mindstorms. Kinder, Computer und Neues Lernen. Basel: Birkhäuser 1982)
- Papert, S.: Teaching Children Thinking. In: Taylor 1980b, S.161-176
- Papert, S.: Interview. In: Practical Robotics 1984 (Nov./Dez.), S.33 u.a. (1984) (zit. nach Crawford 1985)
- Papert, S., D. Watt, A. diSessa u. S. Weir: Final Report of the Brookline Logo Project, Part II: Project Summary and Data Analysis. MIT Logo Memo 53. Cambridge, Mass. 1979
- Paschen, H.: Kind und Computerlernen. Analyse von Argumentationen zum altersgemäßen Computerlernen bei Kindern. Projektbericht, Bielefeld 1985
- Paschen, H.: Die pädagogischen Inhalte der Computer-Diskussion. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1986, Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1986, S.33-42
- Pea, R.D.: Symbol Systems and Thinking Skills: Logo in Context. In: Sorkin 1984, S.55-61
- Pea, R.D. u. M. Kurland: On the Cognitive Effects of Learning Computer Programming. In: New Ideas in Psychology 2(2), 137-168 (1984)
- Peters, I.-R.: Informatik in der Sekundarstufe I - notwendig oder überflüssig? In: Log In 4(1), 12-14 (1984)
- Pólya, G.: How to Solve It. Princeton: University Press 1945. Dt.: Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme. Bern: Francke 1949, 2. Aufl. 1967
- Postman, N.: The Disappearance of Childhood. New York: Delacorte 1982. Dt.: Das Verschwinden der Kindheit. Frankfurt: Fischer 1983
- Prahl, H.-W.: Wen bringt Informatik in Form? In: Log In 1(1), 28-30 (1981)
- Radatz, H.: Input ... Run ... Error - Computer in der Erziehung. Manuskript, Göttingen 1984
- Rezanson, F. u. S. Dawson: The Logo Cult. In: Mathematics Teaching 110, 5-7 (1985)
- Richenhagen, G.: Kinder, Computer und Mikrowelten - Bemerkungen und Fragen zu Seymour Paperts "Mindstorms". In: Journal für Mathematikdidaktik 6, 285-302 (1985)
- Röttel, K.: Computer in Schulen: Bildung fürs 21. Jahrhundert? In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1985, Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1985, S.266-269
- Sardello, R.J.: The Technological Threat to Education. In: Teachers College Record 85, 631-639 (1984)
- Schreiber, A.: Bemerkungen zur Rolle universeller Ideen im mathematischen Denken. In: mathematica didactica 6, 65-76 (1983)

- Sheingold, K., J.H. Kane u. M.E. Endreweit: Microcomputer Use in Schools: Developing a Research Agenda. In: Harvard Educational Review 53, 412-432 (1983)
- Simon, H.A.: The Sciences of the Artificial. Cambridge, Mass.: MIT Press 1969
- Slesnick, T.: Computer Education Research: A Blinder for the Misguided. In: Bonnette, D.T. (Hrsg.): NECC'84, 6th Annual National Educational Computing Conference 1984. Lexington, VA.: Washington and Lee University 1984, S.15-19
- Sloan, D.: On Raising Critical Questions about the Computer in Education. In: Teachers College Record 85, 539-547 (1984)
- Solomon, C.: Introducing Logo to Children. In: Byte 7(8), 196-208 (1982)
- Solomon, C.: Logo: Past and Future. In: Sorkin 1984, S.125-129
- Solomon, C.: Can We Build a Mathland? In: AISB 1985, S.99-100
- Sorkin, R. (Hrsg.): Pre-Proceedings of the 1984 National Logo Conference. Cambridge, Mass.: MIT 1984
- Statz, J.A.: The Development of Computer Programming Concepts and Problem Solving Abilities among Ten-Year-Olds Learning Logo. Dissertation, Syracuse, N.Y. 1973 (DAI B 34, 5418-5419; 1974)
- Stein, G.: Neues aus der Didaktik. In: Darmstädter Didaktisches Tageblatt 72 (1986)
- Steiner, G. (Hrsg.): Piaget und die Folgen: Entwicklungspsychologie, Denkpsychologie, genetische Psychologie. Die Psychologie des 20. Jahrhunderts, Band 7. München: Kindler 1978
- Stiftung Warentest: Die Enttäuschung ist vorprogrammiert. In: test 19(10), 17-26 (1984)
- Streibel, M.J.: The Educational Utility of LOGO. In: School Science and Mathematics 83, 474-484 (1983)
- Streibel, M.J.: A Critical Analysis of Computer-Based Approaches to Education: Drill-and-Practice, Tutorials, and Programming/Simulations. Paper presented at the annual meeting of the AERA, Chicago, 1985
- Struve, H.: Zur Problematik der Begriffsbildung in der Computer-Geometrie. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1986, Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1986, S.289-292
- Suhor, C.: Cars, Computers, and Curriculum. In: Educational Leadership 1983(9), 30-32 (1983)
- Taylor, R.P. (Hrsg.): The Computer in the School - Tutor, Tool, Tutee. New York: Teachers College Press 1980
- Teachers College Record: The Computer in Education in Critical Perspective, Vol.85, No.4. New York: Columbia University 1984
- Tetenbaum, T.J. u. T.A. Mulkeen: LOGO and the Teaching of Problem Solving: A Call for a Moratorium. In: Educational Technology 24 (Nov.), 16-19 (1984)
- Treadaway, M.: Logo - Developments in Suffolk. In: Hoyles/Moss 1985, S.45-54

- Turkle, S.: The Second Self. Computers and the Human Spirit. New York: Simon u. Schuster 1984. Dt.: Die Wunschmaschine. Vom Entstehen der Computerkultur. Reinbek: Rowohlt 1984
- Voigt, J.: Interaktionsmuster und Routinen im Mathematikunterricht - Theoretische Grundlagen und mikroethnographische Falluntersuchungen. Weinheim: Beltz 1984
- Volpert, W.: Denkmaschinen und Maschinendenken: Computer programmieren Menschen. In: Psychosozial 18, 10-29 (1983)
- Watt, D.: Logo in the Schools. In: Byte 7(8), 116-134 (1982a)
- Watt, D.: Should Children Be Computer Programmers. In: Popular Computing 2(Sep.), 130-133 (1982b)
- Watt, D.: Creating Logo Cultures. In: Sorkin 1984, S.25-29
- Weber, W.: "Igelgeometrie" in der Arbeitsgemeinschaft. In: Die Grundschule 1986(4), 25-27 (1986)
- Weinert, F.E. u. R.H. Kluwe (Hrsg.): Metakognition, Motivation und Lernen. Stuttgart: Kohlhammer 1983
- Weir, S.: The Evaluation and Cultivation of Spatial and Linguistic Abilities in Individuals with Cerebral Palsy. MIT Logo Memo 55. Cambridge, Mass. 1980
- Weir, S.: Logo as an Empirical Window. In: Sorkin 1984, S.63-75
- Weizenbaum, J.: Computer Power and Human Reason. San Francisco: Freeman 1976. Dt.: Die Macht des Computers und die Ohnmacht der Vernunft. Frankfurt: Suhrkamp 1977
- Winter, H.: Begriff und Bedeutung des Übens im Mathematikunterricht. In: Mathematiklehren 2, 4-16 (1984)
- Wirth, N.: Systematisches Programmieren. Stuttgart: Teubner 1972, 2. Aufl. 1975
- Ziegenbalg, J.: Computer im amerikanischen Schul- und Hochschulwesen. In: Log In 3(2), 11-12 (1983)
- Ziegenbalg, J.: Programmiersprachen als Träger von Grundideen der Informatik. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 37, 404-415 (1984)

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Peter Bender
Gh Kassel Fb 17
Heinrich-Plett-Str. 40
D-3500 Kassel
und
Marie-Luisen-Str. 10A
D-6521 Bechtheim