

Monnerjahn, Rolf

Lückenschließendes Lernen durch computerunterstütztes Üben. Ein Bericht über Entwicklung und Einsatz eines Mathematikübungsprogramms in der Grundschule

Unterrichtswissenschaft 20 (1992) 1, S. 60-72



Quellenangabe/ Reference:

Monnerjahn, Rolf: Lückenschließendes Lernen durch computerunterstütztes Üben. Ein Bericht über Entwicklung und Einsatz eines Mathematikübungsprogramms in der Grundschule - In: Unterrichtswissenschaft 20 (1992) 1, S. 60-72 - URN: urn:nbn:de:01111-pedocs-297083 - DOI: 10.25656/01:29708

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:01111-pedocs-297083>

<https://doi.org/10.25656/01:29708>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Unterrichtswissenschaft

Zeitschrift für Lernforschung

20. Jahrgang / Heft 1 / 1992

Thema:

Kind und Computer

Verantwortliche Herausgeber:

Gunther Eigler und Norbert M. Seel

Editorial	2
Gunther Eigler, Norbert M. Seel: Kind und Computer	4
Erik De Corte, Lieven Verschaffel, Hilde Schrooten: Kognitive Effekte computergestützten Lernens: Zum Stand der Forschung	12
Douglas H. Clements: Logo und ausführungsbezogene Verarbeitungsprozesse	34
Peggy C. Kirby: Wohlstand, individuelle Fähigkeiten und Computernutzung in der Schule	49
Rolf Monnerjahn: Lückenschließendes Lernen durch computerunterstütztes Üben	60
Norbert M. Seel: Computer im Unterricht — Auf dem Weg zu multimedialen Lernumgebungen	73

Allgemeiner Teil

Albert C. Tuijnman: Der Beitrag von Schule und Weiterbildung zur individuellen und gesellschaftlichen Entwicklung	83
---	----

Rolf Monnerjahn

Lückenschließendes Lernen durch computerunterstütztes Üben.

Ein Bericht über Entwicklung und Einsatz eines Mathematikübungsprogrammes in der Grundschule

Remedial Learning with Computers in Elementary School Mathematics Lessons

In einem wissenschaftlich begleiteten Schulversuch wird untersucht, nach welchen Gesichtspunkten ein Programm zum lückenschließenden Üben im Mathematikunterricht der Grundschule gestaltet werden sollte, und welche Wirkungen es im langfristigen Unterrichtseinsatz zeigt. Elementare Grundsätze der Programmentwicklung sind die Einbeziehung der Anregungen und Wünsche von Lehrerinnen und Lehrern der beteiligten Schulen, die Umsetzung fast aller Themen des Lehrplans und die Adaptivität des Programms an die Leistungsfähigkeit des individuellen Schülers. Die größte Herausforderung bei der Erstellung des Programms besteht in der Gestaltung seiner Reaktionen auf Fehler, den Hilfen, die die Eigentätigkeit des Lernenden anregen und nicht zudecken sollen.

In a scientifically accompanied experiment we examine, under which points of view a program for remedial learning in elementary school mathematics lessons should be constructed and which effects it will have when used in class on the long run. Basic principles of program development are the consideration of ideas and wishes of the involved schools, the adaptation of nearly all topics of the curriculum and the adaptability of the program to the individual skill of the pupils. The greatest challenge in development of this program is the arrangement of its reactions to errors and of the aids that should not suppress the initiative of the learner but stimulate it.

Der Mathematikunterricht in der Grundschule soll in einer behutsamen und grundlegenden Form in mathematische Denkweisen, Verfahren und Inhalte einführen. Dabei sind einsichtsvolle Erarbeitung — möglichst umfassend sinnesbezogen und didaktisch strukturiert — und anschließende gründliche Übung der Rechenfertigkeit zentrale Aufgaben des Mathematikunterrichts. Die Geschichte der Mathematikdidaktik ist auch eine Geschichte der Unterrichtshilfen und Lernmittel, die zur Unterstützung der beiden genannten Phasen erdacht wurden. In der Tradition dieser Entwicklung ist es, wenn man den Computer als universales Hilfsmittel anerkennt, wert zu fragen, welchen Beitrag er hier leisten kann. Vor allem darf erwartet werden, daß er mit seiner Möglichkeit der unmittelbaren und zuverlässigen Lösungskontrolle effektiver als andere Lernmittel zur Unterstützung der Übung eingesetzt werden kann. Für die nachfolgend beschriebene Programmentwicklung

war es daher stets selbstverständliche Prämisse, daß auch nicht die beste Software das konkrete Handeln im Mathematikunterricht ersetzen kann, sondern es als notwendig voraussetzt.

1. Ziele des Modellversuchs

Das rheinland-pfälzische Ministerium für Bildung und Kultur hat sich aufgrund der Initiativen des Referats „Neue Informations- und Kommunikationstechnologien“ entschlossen, die Eignung des Computers als didaktisches Hilfsmittel im Mathematikunterricht der Grundschule untersuchen zu lassen. Hierbei soll herausgefunden werden, inwieweit der Computer im Mathematikunterricht der 3. und 4. Klassen pädagogisch verantwortbar und wirkungsvoll eingesetzt werden kann.

Den Initiatoren war bereits bekannt (aus den Ergebnissen des Modellversuchs TOAM an der Grundschule in Simmern^{1,2} und aus der Metastudie „Effekte der Computerbenutzung im Bildungswesen“ von Karl Frey³), daß der Einsatz von Übungsprogrammen an der Grundschule besonders erfolgsversprechend ist. Andererseits legen neuere Ergebnisse der pädagogischen Forschung nahe, Übungseffekte vorsichtig zu beurteilen hinsichtlich Verfügbarkeit und Transferierbarkeit eingeübter Kenntnisse und Fertigkeiten in übungsfernen Situationen. Es erschien jedoch grundsätzlich interessant, der Frage nachzugehen, wie Gestaltung und Einsatz eines Programms auszusehen haben, damit lückenschließendes Lernen möglich wird⁴. Die Computerunterstützung bezieht sich damit ausdrücklich auf eine Lernphase, die dem originären Erwerb von Wissen und Fähigkeiten, insbesondere dem Wecken von Einsicht nachgeschaltet ist. Das Übungsprogramm setzt (für die meisten Schüler) voraus, daß die zu übenden Inhalte durch Unterricht eingeführt wurden. Es geht nicht um die Konstruktion des Wissens — um einen Terminus Piagets zu verwenden —, sondern um seine Rekonstruktion. Kenntnisse können wieder vergessen werden, Einsichten verschwimmen. Das Programm stellt Übungsaufgaben und geht, wenn sie fehlerhaft bearbeitet werden, auf diese Fehler ein, versucht — meist durch graphische Veranschaulichungen/Modelle — den Schüler an Lösungsmöglichkeiten zu erinnern, gibt ihm — wenn möglich — Hinweise zur Aufteilung des Lösungsweges in einzelne Schritte, erinnert an die zugrundeliegenden Fakten (z.B. bei Maßeinheitenumrechnungen durch Darstellung der Umrechnungstabelle). Ziel ist Fertigkeit im Rechnen und anderen mathematischen Operationen, Sicherheit im Lösen von Standardaufgaben, Selbstsicherheit durch das Erfahren von Bewährung.

Theoretisch könnte ein Programm folgendermaßen auf Fehler eingehen:

1. Es erkennt Fehler und reagiert mit einer entsprechenden Mitteilung.
2. Es lokalisiert genau die Fehlerstelle und beschreibt den Fehler in seiner Art (z.B. kleinere Zahl als das erwartete Ergebnis).

3. Es stellt Aufgabe und fehlerhafte Lösung in einem didaktischen Modell gegenüber, so daß anschaulich wird, warum und daß die Eingabe falsch war (z.B. bei Brüchen den angegebenen Bruch und den falsch gekürzten Bruch in Kreissektorendarstellung).
4. Es wählt unter mehreren möglichen didaktischen Modellen dasjenige aus, auf das der Schüler bisher am positivsten reagiert hat.
5. Auf falsche Lösungen komplexer Aufgaben folgt die Zergliederung des Lösungsweges, wobei das Überspringen von Lösungsschritten durch den Schüler zugelassen wird.
6. Dem Lerner wird mitgeteilt, aufgrund welcher irriger Modellvorstellungen er die Aufgabe falsch löste.
7. Nach einem systematischen Fehler wird eine Folge von Aufgaben erzeugt, die diesen Fehler herausfordernde Schwierigkeit enthalten.

Diese Aufstellung enthält eine aufsteigende Rangfolge von Leistungen. Noch nicht einmal die einfachste hier aufgezählte Leistung wird tatsächlich zuverlässig von allen vermarkteten Übungsprogrammen erbracht, insbesondere nicht im Bereich der Sprachen, wo richtig übersetzte Vokabeln noch vielfach wegen eines überzählig beigefügten Leerzeichens als falsch zurückgewiesen werden, aber auch nicht in Mathematik, wo z.B. oft die mathematisch korrekte Zahlschreibweise $(+7)$ als Lösung einer Aufgabe $3 + 4$ verworfen wird.

Die Leistungen 4 und 6 setzen voraus, daß das Programm während der Arbeit des Lerners umfangreich seine Reaktionen protokolliert und analysiert, ein „Lernermodell“ aufbaut. Solange man einem Programm nicht die Fähigkeit zur Entwicklung analytischer Kompetenz geben kann, muß vor dem Programmieren bekannt sein, welche Reaktionen zu erwarten sind und wie sie zu kategorisieren sind. Allerdings könnte ein Programm in diesem Sinne zum Forschungsinstrument (zum didaktischen Mikroskop) gemacht werden.

Die Leistungen 5 und 7 setzen voraus, daß das Programm über ein gewisses „Sachwissen verfügt (Stichwort: Expertensystem), beispielsweise mathematische Terme selbst abarbeiten kann, so daß kompetent entscheidbar ist, ob ein vom Schüler eingegebener Term korrekt ist. Insbesondere geht es bei dem letzten Punkt um die Fähigkeit, nach Regeln Aufgaben mit definierten Schwierigkeitsgraden konstruieren zu können.

Das im Modellversuch entwickelte und eingesetzte Programm wird den Anforderungen nach 1., 2., 3. und — teilweise — 5. gerecht. Auf die Implementierung eines Lernermodells wurde auch wegen der erwähnten theoretischen Probleme verzichtet. Es wird die Leistung des Übenden gemessen, um die Anforderungen des Programms dieser nachführen zu können. Damit wird lediglich nachvollzogen, was der traditionelle Unterricht mit dem Nachsehen der Hausaufgaben und mit Tests und

Arbeiten macht: Daraus, wie fehlerfrei diese ausfallen, ziehen Lehrerin und Lehrer ihre Schlüsse, wie schnell sie im Unterricht fortschreiten können.

Auf die Bereitstellung mehrerer didaktischer Modelle zu jeweils einem Thema und auf die Erzeugung von Aufgaben gleicher typischer Schwierigkeit wurde aus Gründen der verfügbaren Arbeitskapazität verzichtet, aber auch um den begrenzten Speicherplatz für die Leistung frei zu halten, auf die es den Lehrerinnen und Lehrern, die das Programm einsetzen, am meisten ankam: ein Übungsinstrument zu haben, das ohne Handhabungsschwierigkeiten (Diskettenwechsel u.ä.) über einen Zeitraum von zwei Schuljahren hinweg kontinuierlich in Übungsphasen einsetzbar ist und zu allen übungsrelevanten Gebieten der Grundschulmathematik Übungen anbieten kann, die (vom Menüsystem her) auch zu aktuellem unterrichtlichem Bedarf anwählbar sind.

Die mit der Entwicklung des Programms und seinem Einsatz befaßten Personen gehen von der Vermutung aus, daß vor allem die unmittelbare Reaktion auf einen Fehler, die Lenkung der Aufmerksamkeit auf ihn, die Reaktivierung von Vorwissen, die auf die konkrete Aufgabe bezogene (nicht wie im Schulbuch verallgemeinerte) Veranschaulichung und das Aufzeigen von Lösungswegen die vorhandenen Lernlücken schließen hilft.

2. Ablauf des Modellversuchs

Der Modellversuch CLIP (computerunterstütztes Lernen im Primarbereich) wurde auf Landesebene am 22.12.1988 in Mainz-Laubenheim gestartet und seit August 1990 als BLK-Modellversuch fortgesetzt. Er ist angesiedelt bei den Grundschulen Mainz-Laubenheim und Mainz-Lerchenberg, wo je 14 AMIGA 500 (erweitert auf je 1 Mbyte) durch die Firma COMMODORE Deutschland bereitgestellt wurden.

Seit Dezember 1988 begannen Vorbereitungen zur Erstellung des Mathematik-Übungsprogramms in Absprachen zwischen dem Autor der Unterrichtssoftware (R. Monnerjahn) und der Mathematik-Fachkonferenz der Grundschule Mainz-Laubenheim unter Vorsitz des Schulleiters (G. Baumann). Es wurde festgelegt, wie der Unterrichtsstoff der Mathematik sinnvoll in Übungsgebiete strukturiert werden sollte, welche Hilfen den Schülern im Fall von Hilfsanforderungen oder Fehlern angeboten werden sollten und allgemein, welche Handhabungsoperationen den Grundschulern zugemutet werden konnten. Diese Absprachen wurden schrittweise erweitert und nach Beobachtungen im realen Einsatz der Unterrichtssoftware rückgekoppelt korrigiert (s. Abb. 1).

Alle Kinder der dritten und der vierten Klassen arbeiten regelmäßig zweimal wöchentlich unter Betreuung einer Lehrkraft jeweils 15 Minuten mit dem Mathematik-Übungsprogramm im Computerraum. Die

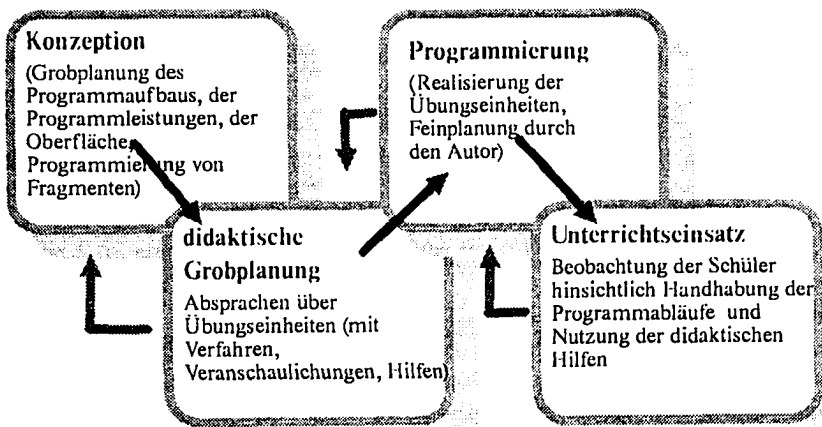


Abbildung 1:
Ablauf der Programmentwicklung

anderen Schüler werden zur gleichen Zeit im Klassenraum unterrichtet. Zur Mitte der Unterrichtsstunde erfolgt der Wechsel der beiden Gruppen. Der direkte Unterricht im Klassenraum kann gegebenenfalls die Arbeit am Computer vorbereiten, ergänzen, vertiefen oder weiterführen, u.U. auf individuelle bei der Arbeit am Computer beobachtete Schwächen einzelner Schüler eingehen.

Die Kinder können auf Anweisung von Lehrer oder Lehrerin Aufgaben wählen, um Gelerntes zu üben, zu vertiefen, oder sie können an einem selbstgewählten Stoffgebiet weiterarbeiten. Der Arbeitsstand der einzelnen Schüler wird zum Abschluß jeder Übung auf Diskette gespeichert, so daß bei der folgenden Übung auf der erreichten Leistungsstufe aufsetzend weitergearbeitet werden kann.

Seit Beginn 1991 erproben (zunächst außerhalb des Modellversuchs, als begleitende Projekte des rheinland-pfälzischen Ministeriums für Bildung und Kultur) zwei weitere Grundschulen (Grundschule Emmelshausen, Grundschule Bitburg-Süd) das gleiche Programm in einer MS-DOS-Version, wobei die letztere den Einsatz in der sogenannten Freiarbeit und in der inneren Differenzierung untersucht. Durch IBM-Deutschland wurden an beiden Schulen insgesamt 16 Rechner des Typs PS/1 bereitgestellt und die Übertragung des Programms in TURBO-Pascal unterstützt. Im weiteren Verlauf soll das Programm inhaltlich und didaktisch fortentwickelt werden. U.a. soll auch untersucht werden, inwieweit eine Erkennung von systematischen Rechenfehlern sinnvoll und leistbar ist.

3. Anforderungen an das Mathematik-Übungsprogramm

Aus den oben erwähnten Gesprächen mit der Mathematik-Fachschaft der Grundschule Laubenheim ergaben sich zunächst die folgenden Anforderungen an das Programm:

- Alle wesentlichen inhaltlichen Lernziele des Mathematikunterrichts des 3. und 4. Schuljahres (entsprechend dem rheinland-pfälzischen Lehrplan) sollten durch Übungen vertreten sein. (Siehe Abb. 3)
- Das Programm sollte sich der individuellen Leistungsfähigkeit der Übenden selbsttätig anpassen.
- Der Lehrer sollte eine vom Computer eventuell nicht geleistete Anpassung durch Eingriffe von außen vornehmen können.
- Das Kind (oder der Lehrer) sollte bestimmen können, in welchem Gebiet geübt wird; daneben sollten aber durch den Computer auch „vermischte“ Übungen erzeugt werden können.
- Das Programm sollte — anders als bei „drill and practice“ — im Falle von Fehlern oder bei Unsicherheiten Hilfen anbieten, die dem Schüler durch Anschauungsmodelle oder gezielte Hinweise „auf die Sprünge“ helfen sollten.
- Es wurde sorgfältig darauf geachtet, daß alle Verfahren und Schreibweisen auf dem Bildschirm so präsentiert werden, wie die Schüler dies von Tafelanschrift oder Schulbuchdarstellung gewöhnt sind. (so wird z.B. der Übertrag bei den schriftlichen Rechenverfahren klein in eine Zwischenzeile geschrieben.)
- Die Schüler sollten durch eine relativ hohe Bildschirmauflösung, durch den Einsatz von Farbe, durch Graphiken und Piktogramme und durch Benutzung der Maus Informationsaufnahme vom Bildschirm und Interaktion mit dem Programm in hohem Maße erleichtert bekommen. Nur so ist zu erwarten, daß ein weitgehend intuitiver Umgang mit dem Programm ermöglicht wird und damit die eigentlichen mathematischen Übungseffekte gesichert werden.
- Der Zugriff auf die Tastatur sollte sich auf das numerische Tastenfeld, die Eingabetasten, die Korrekturtaste und je eine Taste für Hilfeforderung und zum Unterbrechen von Übungen beschränken.

Teilweise ergaben sich daraus Pole von Forderungen, die einander divergent gegenüberstanden, so daß die Umsetzung auf Kompromisse hinauslaufen mußte (siehe Abb. 2). Ursprünglich war lediglich beabsichtigt, die Übungen des traditionellen Kopfrechnens auf dem Rechner zu modellieren. Hier wurden stets die Rechenfertigkeiten geübt, deren didaktisch sorgfältige Einführung längst abgeschlossen war. Den Kindern wurden dabei von Lehrer oder Lehrerin meist Aufgaben nach spontanem Einfall, also ohne sorgfältige didaktische Planung gestellt. Mit fortschreitendem Programmeinsatz wurden aber die durch Zufallsgeneratoren erzeugten Aufgaben von den Lehrkräften zusehends kritischer nach didaktischen Gesichtspunkten bewertet (Üben ausgewählter schwieriger Sonderfälle, Ausschließen trivialer Aufgaben,

Feinstufung nach Anforderungen u.ä.). Dem wurde Rechnung getragen, indem die Zufallsgeneratoren nach einem didaktisch orientierten Regelsystem eingegrenzt wurden.

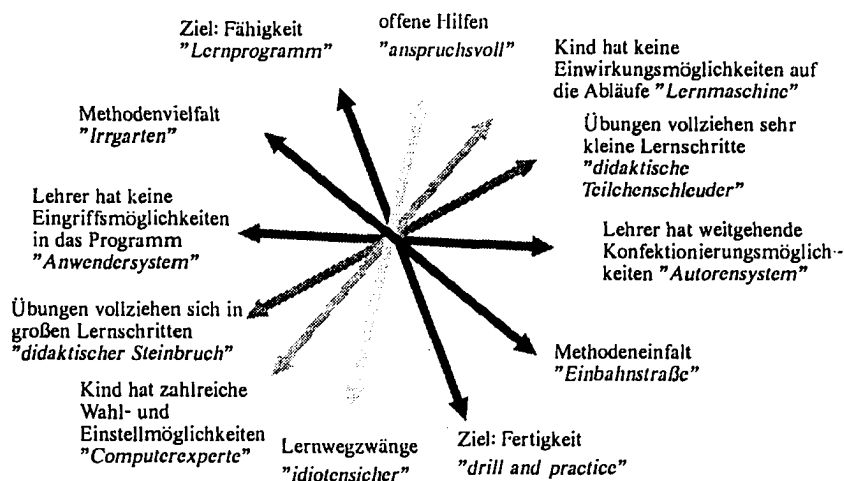


Abbildung 2:
Divergenzen in den Anforderungen an das Programm

Die Auswahl der Übungseinheiten wurde — nicht von Anfang an, sondern erst nach Diskussionen — auf solche Inhalte der Grundschulmathematik beschränkt, die nicht auf die Festigung von Begriffen und Vorstellungen abzielen, sondern eher auf die Mechanisierung von Verfahren. Nun muß man allerdings einräumen, daß auch Begriffe und modellhafte Vorstellungen in das Üben von Verfahren hineinwirken. So hat es sich z.B. als wünschenswert herausgestellt, eine eigene Übungseinheit zum Verständnis des Zahlenstrahlmodells in das Programm einzufügen. Grundsätzlich aber besteht Konsens darüber, die Vermittlung von Begriffen einer vor dem Computereinsatz liegenden Unterrichtsphase zu überlassen, in der an konkreten Modellen gearbeitet und in der Informationen umgangssprachlich zwischen Lehrer und Schüler ausgetauscht werden. Der Umfang des Übungsangebots wird aus Abb. 3 ersichtlich.

Insgesamt unterlag die Programmentwicklung einem pragmatischen Ansatz. Der Computereinsatz sollte die für Lehrer und Schüler oft langweiligen Übungsphasen unterstützen, und das Programm sollte dabei die im Lehrplan geforderten Inhalte repräsentieren. Die Frage, ob z.B. durch den Computereinsatz in Wirtschaft und Verwaltung die Vermittlung bestimmter arithmetischer Fertigkeiten — wie das schriftliche Rechnen — überflüssig wird, wurde nicht gestellt. Ansätze, über die traditionellen und lehrplangemäßen Inhalte der Grundschulmathematik hinauszugehen, ergaben sich allerdings in den Übungseinheiten

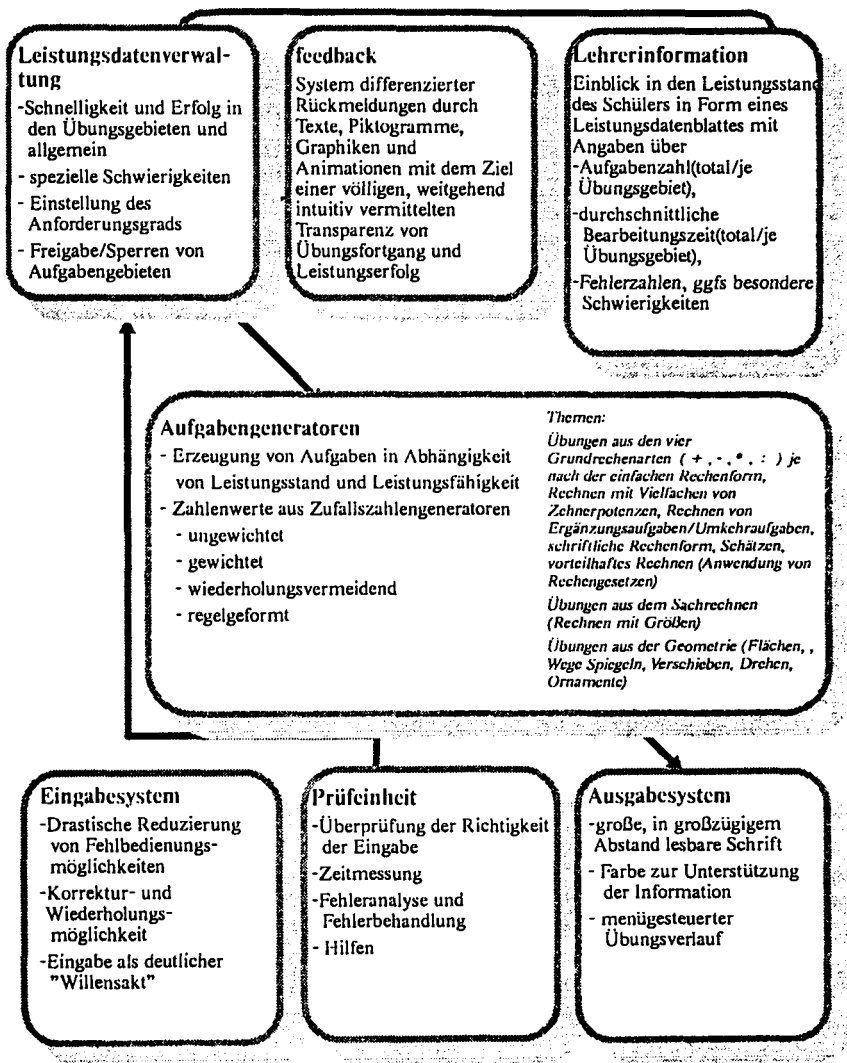


Abbildung 3:
Subsysteme des Mathematik-Übungsprogramms

zur Geometrie. Hier ist gegenüber Übungen mit Papier und Bleistift, aber auch gegenüber dem Legen geometrischer Figuren mit Plättchen, die Effektivität durch die Bearbeitung mit dem Computer besonders deutlich gestiegen. Hier werden Freiräume nutzbar, und hier findet auch eine Einheit zum produktiven Üben Raum (Erzeugen von Ornamenten durch Drehen, Verschieben, Spiegeln).

Beschränkungen als Kompromisse zwischen Wünschen und didaktischen Ansprüchen und dem tatsächlich entstehenden Programm wurden

nicht zuletzt auch dadurch erzwungen, daß das gesamte Programm einschließlich Betriebssystemteilen (auf dem System AMIGA) auf eine 720-kByte-Diskette passen mußte.

Teilweise ließen sich Übungen realisieren, die so mit traditionellen Methoden kaum praktikierbar waren. Exemplarisch sei hier das Schätzen von Quotienten vorgestellt: Auf dem Bildschirm erscheint eine Divisionsaufgabe, die normalerweise nicht durch Kopfrechnen gelöst werden kann, z.B. „4382 : 83“. Gleichzeitig werden die Zehnerpotenzen 1, 10, 100, 1000, 10000 als beschriftete Säulen dargestellt. Ein Text fordert den Übenden auf, mit der Maus auf das Intervall zu deuten, in dem seiner Schätzung nach das Ergebnis liegt. Hat er es richtig bezeichnet, so dehnt sich das Intervall zu einem Zahlenstrahl aus, der in diesem Fall von 10 bis 100 reicht und in Zehnerschritten skaliert ist. Mit dem Mauspfel bewegt sich nun plötzlich ein Tor, und ein neuer Text fordert dazu auf, das Tor dort auf den Zahlenstrahl zu „stellen“, wo das Ergebnis zu erwarten ist. Ist dieses ausgeführt, so läuft eine kleine Animation mit einem Fußballspieler ab, der vom Rand des Bildschirms her gegen einen Ball „tritt“. Wurde das Tor auf die richtige oder annähernd richtige Stelle auf dem Zahlenstrahl gestellt, so trifft der Ball hinein, und die Animationsfigur reagiert mit „Freudensbekundungen“. Nach einer falschen Schätzung wird dem Schüler die Rundungsaufgabe ($4000 : 80$) präsentiert, er muß deren Ergebnis (50) berechnen und die Schätzung bewerten ($4000 : 80$ ist kleiner als $4382 : 83$). Danach darf er nochmals versuchen, das Tor auf dem Zahlenstrahl zu plazieren.

4. Didaktische Überlegungen

Ziel des Mathematik-Übungsprogramms ist die Sicherung und Verbesserung von mathematischen Fertigkeiten; dabei soll neben dem „Wachhalten“ mathematischen Wissens und mathematischer Verfahren auch die Beschleunigung rechnerischer Leistungen stehen. Dabei wird aber nicht verkannt, daß Üben ohne Einsicht nicht sinnvoll und nicht wirkungsvoll ist. Daher werden dem übenden Schüler Hilfen angeboten, die auch im Fall eines Fehlers auf Veranschaulichungsmodelle oder schrittweise Lösungsverfahren rekurren. Es ist davon auszugehen, daß hierdurch Lernvorgänge ausgelöst werden, daß im Unterricht erworbenes Wissen neu aktiviert wird, und daß Lernlücken geschlossen werden. Ziel aller Übungen ist es, das Kind in die Lage zu versetzen, Rechnungen und andere Operationen des geübten Typs (z.B. geometrische Abbildungen) selbsttätig, sicher und geläufig auszuführen. Daher wird auch dem schwächsten Schüler eine Hilfestellung nicht automatisch, sondern erst bei Versagen angeboten und dann auch in zwei Schritten: Erst als Denkipuls, Anstoß, dann — nach einem zweiten Fehler — mit massiver Unterstützung, die richtige Antwort nahelegend oder schrittweise erarbeitend. Wo immer möglich wird auch hier die Eigentätigkeit des übenden Kindes einbezogen.

Ein schon früh sich einstellendes Ergebnis der Beobachtung der Arbeit der Kinder am Computer war nämlich, daß Hilfen durch Texte und Graphiken, die lediglich hinweisende Funktion hatten und nicht zu neuen Eingaben auf der Tastatur oder Operationen mit der Maus aufforderten, von den Kindern, insbesondere von den schwächeren Schülern, kaum aufgenommen wurden. So wurde das Prinzip der „Handlungsorientierung“, wo immer sich dies anbietet, auch in die Hilfen einbezogen. Ziel aller Maßnahmen ist, das Kind in möglichst hohem Umfang in die Steuerung der Abläufe einzubeziehen und es in die Rolle des zielbewußt handelnden Subjekts zu versetzen. Die Verwendung von durch Graphiken repräsentierten Modellen, die nach Möglichkeit durch Mausoperationen manipulierbar sind, soll eine Art „Erfahrungslernen“ ermöglichen, wonach der Schüler die Korrektheit errechneter Ergebnisse nach dem Vergleich mit dem Modell beurteilen kann.

An einer Übungseinheit aus dem Einmaleins soll eine Übungssequenz exemplarisch erläutert werden: „ $6 \cdot 7 = \square$ “. Tippt der Schüler das richtige Ergebnis ein, erscheint die Bestätigung für seine Eingabe in Form eines Häkchens. Der Schüler kann durch Druck auf eine beliebige Taste zu nächsten Aufgabe weitergehen; er bestimmt damit das Tempo seines Arbeitens selbst. Hat er aber falsch gerechnet und z.B. 49 eingegeben, wird die gestellte Aufgabe in die Aussageform $6 \cdot 7 < 49$ umgewandelt, wobei die „9“ rot dargestellt ist, da ja nur der Einer falsch gerechnet wurde. Die Aufgabe „ $6 \cdot 7 = \square$ “ erscheint eine Zeile tiefer neu, und als Hilfe wird die Siebenerreihe angedeutet: 7 . . . 35 . . . 70 (wobei also die „Reihenstützpunkte“ $1 \cdot 7$, $5 \cdot 7$ und $10 \cdot 7$ vorgegeben sind). Ein Pfeil deutet auf die zu errechnende Position hinter 35. Wenn das Ergebnis nun wieder falsch eingegeben wird, ist auf dem Bildschirm die weitergehend ausgefüllte Siebenerreihe zu sehen: 7 14 21 28 35 . 49 56 63 70. Wird nun das richtige Ergebnis nicht gefunden, gibt der Computer die Lösung. Bei den ersten Einmaleinsreihen ($1 \cdot 2$, $1 \cdot 3$, $1 \cdot 4$, $1 \cdot 5$) wird außerdem eine graphische Lösungshilfe angeboten, z.B. bei der Zweierreihe dem Multiplikator entsprechende Anzahlen von Fahrrädern mit zwei Reifen. Die Hilfen sind so konstruiert, daß möglichst verbreitete und anerkannte Verfahren verwendet werden (z.B. für die Addition die Pfeildarstellung am Zahlenstrahl) und daß möglichst keine Lösungswegzwänge entstehen, so daß der Schüler mehrere nach den Regeln der Mathematik gültige, bzw. nach den Erkenntnissen der Mathematikdidaktik sinnvolle Lösungswege beschreiten kann. Bei den oben dargestellten Hilfen zur Multiplikation bleibt ihm z.B. offen, $8 \cdot 4$ zu berechnen, indem er vom angegebenen $10 \cdot 4 = 40$ zweimal 4 subtrahiert oder zum ebenfalls gegebenen Reihenstützpunkt $5 \cdot 4 = 20$ dreimal 4 addiert.

Da das Programm auf das Üben und damit auf die Vermittlung von Fertigkeiten abzielt, und weder die Vermittlung von mathematischen Begriffen noch das Verständnis von mathematischen Verfahren primär beabsichtigt, ist es unabdingbar, daß der Unterricht vor Einsatz entsprechender Übungseinheiten des Programms die dort verwendeten

Modelle und Verfahren *einführt*. Hierzu gibt es eine Ausnahme: Wegen der großen Bedeutung und der breiten Verwendung des Zahlenstrahlmodells wurde im nachhinein eine besondere Übungseinheit zu dessen besserem Verständnis realisiert.

Grundsätzlich sind folgende Möglichkeiten für das Angebot von Hilfen gegeben:

- genaue Bezeichnung von Fehlerstelle und Fehlerart,
- Bereitstellen von Anschauungsmodellen (Zahlenstrahl, Hundertertafel, Lernuhr, Lerngeld, . . .),
- Verweis auf verletzte Definitionen und Regeln,
- Darstellung von Rechenverfahren (Abfrage der schrittweise zu errechnenden Ergebnisse mit der Möglichkeit, Zwischenschritte zu überspringen).

5. Die Leistungsanpassung

Die Übungen innerhalb eines Übungsgebiets sind nach aufsteigendem Schwierigkeitsgrad definiert. Dieser ergibt sich entweder nach dem den Aufgaben zugrundeliegenden Zahlenraum (bei rein arithmetischen Übungen) oder nach Komplexität oder Abstraktionsgrad der Übung. Einzelne Übungsgebiete sind daher in zehn und mehr Aufgabentypen gegliedert. Je nach Übungserfolg wird der Schwierigkeitsgrad gesteigert, beibehalten oder vermindert. Dies — das zeigt die bisherige Erfahrung — sichert jedem Schüler grundsätzlich Erfolgserlebnisse, da die Software sich auf seine Leistungsfähigkeit einstellt. Hat ein Schüler das höchste Anforderungsniveau in einem Übungsgebiet erreicht und auch hier eine Mindestanzahl von Aufgaben mit Erfolg gelöst, so wird dieses Übungsgebiet gesperrt (d.h., es ist aus dem Menü heraus nicht mehr wählbar). Er erhält damit das Gefühl, daß er durch sein Üben zu „Ergebnissen“ kommt, daß Lernen keine Sysphusarbeit ist, die endlose Wiederholungen beherrschter Fertigkeiten verlangt. Alle Übungsgebiete sind zudem so miteinander vernetzt, daß ab einem gewissen Leistungsniveau in elementaren Fertigkeiten Übungen zu weiterführenden Fertigkeiten freigegeben werden. Ein Schüler, der mit dem Programm im dritten Schuljahr zu üben beginnt, kann am Anfang aus dem Menü nicht viel mehr als die Kopfrechenformen in den vier Grundrechenarten auswählen, wird aber mit fortschreitendem Übungserfolg erleben, daß ihm schrittweise andere Übungsgebiete (wie z.B. die schriftlichen Rechenformen) freigegeben werden.

Für langsame Lerner könnte allein nach diesem Vorgehen die Situation entstehen, daß sie gewisse Übungsgebiete dann noch nicht erreicht haben, wenn diese längst im Unterricht behandelt werden. Hier kann der Lehrer mit einem speziellen Programm eingreifen, mit dem er für den Schüler noch gesperrte Übungsgebiete frei, „schalten“ kann. Das gleiche

Programm ermöglicht es ihm z.B. aber auch, für besonders leistungsstarke Schüler den Schwierigkeitsgrad in einzelnen Übungsgebieten über das normal vorgesehene Maß zu erhöhen.

6. Bisherige Erfahrungen mit dem Programm

Nach einer kurzen Eingewöhnungsphase können alle Kinder das Programm handhaben. Unterschiedliche Verhaltensweisen bei Mädchen und Jungen ließen sich bisher nicht feststellen.

Die Lernfreude, am Computer zu rechnen, ist hoch und nimmt auch nach einem Jahr kontinuierlicher Arbeit kaum ab. Wenn die „Computerstunden“ ausfallen müssen, äußern die Kinder Unwillen. Die abwechslungsreichen Darstellungs- und Übungsformen motivieren die Kinder und erhöhen die Lernkonzentration. Lehrerinnen und Lehrer aus den Versuchsschulen berichten, daß Kinder, die im Bearbeiten von Aufgaben aus dem Buch leicht ablenkbar sind, am Computer deutlich konzentrierter arbeiten und auf ein vergleichbares Aufgabensumme pro Übungseinheit kommen wie die Mitschüler mit normaler Konzentrationsfähigkeit. Auch gibt es Anzeichen für eine Verbesserung der Selbstkontrolle: Kinder betrachten sich das eingetippte Ergebnis noch einmal genau, ehe sie es durch Betätigen der ENTER-Taste „abschicken“. Durch die Vielzahl der in kurzer Zeit gelösten Aufgaben wird ein hoher Übungseffekt erreicht. Die Arbeitszeit am Computer — zweimal wöchentlich 15-20 Minuten — hat sich als sinnvoll erwiesen. Die Rechenfertigkeit der Kinder verbessert sich sichtlich; ein besonders deutlicher Übungseffekt gegenüber den traditionellen Verfahren ist bei den schriftlichen Rechenformen feststellbar. Vor allem schwächere Schüler haben die deutlichsten Fortschritte und erleben ihre individuellen Lernerfolge besonders motivierend. Es ist kaum festzustellen, daß ein Kind nach einem Fehler so lange unkontrollierte Eingaben macht, bis der Computer die Lösung anzeigt.

Die Kinder fühlen sich während der Arbeit am Computer keineswegs „vereinzelt“, das hieße, nur auf Gerät oder Bildschirm „fixiert“. Sie arbeiten vielmehr auch gern zu zweit am Gerät, tauschen sich über Probleme aus, helfen einander, fragen den Lehrer und jubeln über „Entdeckungen“, wenn sie sich ein neues Übungsgebiet „erobert“ haben. Teilweise erscheint es so, als ob die Mathematik durch den Computer stärker in den Fragehorizont der Kinder gerückt würde — im Unterschied zum traditionellen Unterricht reden die Kinder eher „über“ Mathematik.

Die Rolle des Lehrers verschiebt sich von der Funktion des Wissensvermittlers und Kontrolleurs zu der eines Helfers, fürsorglichen Beobachters, gelegentlich sogar eines „Mitlernenden“. Jedenfalls kann während des Übens am Computer — anders als in den meisten anderen Unterrichtsphasen — der Lehrer fast jederzeit persönlich angesprochen werden. Eine „Gefahr“ des Computereinsatzes könnte sein, daß die

Schüler die durch den Computer repräsentierte Mathematik pars pro toto als Mathematik schlechthin sehen und ihre Leistung am Computer als absolute Leistung in der Mathematik verstehen. Daher sei hier noch einmal sehr deutlich gesagt: Mit dem Computereinsatz ist nur eine Schulung elementarer Fertigkeiten beabsichtigt. Wesentliche Lernziele in Mathematik bleiben weiterhin dem Mathematikunterricht in der Klasse (mit Arbeit an konkretem Material und Unterrichtsgespräch) überlassen — wie z.B., um nur eines zu nennen, die Fähigkeit durch Textaufgaben dargestellte Sachverhalte in einen mathematischen Ausdruck zu „übersetzen“.

Detailliertere und belegte Ergebnisse sind von den ab Herbst 1991 durchzuführenden Untersuchungen der wissenschaftlichen Begleitung (Zentrum für Empirische Pädagogische Forschung der Universität Koblenz-Landau, Prof. R. Jäger) zu erwarten.

Literatur

- JÄGER, R.S. u.a. (1988): Erste Teilevaluation: Akzeptanz von TOAM. Vervielf. Manuskript, Zentrum für empirische pädagogische Forschung, Erziehungswissenschaftliche Hochschule, Landau.
- JÄGER, R.S. u.a. (1990): Evaluation mit dem System TOAM in Simmern/Kirchberg; Untersuchung des Lernerfolgs. Forschungsbericht 26, Erziehungswissenschaftliche Hochschule, Landau.
- FREY, K. (1989): Effekte der Computerbenutzung im Bildungswesen, Zeitschrift für Pädagogik, 35. Jahrgang, Seite 637ff.
- EIGLER, G. (1985): Lernen mit Computern — was ändert sich? In: Bullinger, Eigler, Külpe, Lehmann, Schlier: Die elektronische Herausforderung, Verlagshaus Rombach, Freiburg.

Anschrift des Autors:

Rolf Monnerjahn, Basselscheider Straße 9, 5401 Emmelshausen.