

**XXX. KONGRESS FÜR SEHGESCHÄDIGTENPÄDAGOGIK
BAAR/ZUG (SCHWEIZ) 25. - 29. JULI 1988**

**Moderne elektronische Hilfsmittel im naturwissenschaftlichen
Unterricht blinder und sehbehinderter Schüler**

Oberstudienrat Dr. rer. nat. Werner Liese

Carl-Strehl-Schule - Deutsche Blindenstudienanstalt, Marburg/Lahn

MENSCHENBILDUNG IM ZEITALTER DER ELEKTRONIK-

mit diesen Worten sind die Plakate für die Einladung zu diesem Kongress überschrieben. Denkt man als naturwissenschaftlicher Lehrer an einer Schule für blinde und sehbehinderte Schüler über dieses, den Kongress beherrschende Thema etwas eingehender nach, so sollten eigentlich die Probleme, mit denen wir tagtäglich im naturwissenschaftlichen Unterricht konfrontiert werden, allesamt mit der überall unser Leben beherrschenden Elektronik lösbar sein. Hohe Geldsummen fließen Jahr für Jahr in die elektronische Forschung großer Konzerne, um unsere Geräte der Unterhaltungselektronik immer noch besser und immer noch komfortabler zu machen. Computergiganten haben ihre Geräte mit unvorstellbaren Speicherkapazitäten ausgerüstet. Die nach den Sternen greifende Elektronik menschenvernichtender Raketensysteme ist so kompliziert, dass nur wenige Spezialisten noch einen Einblick haben. Im Bereich der Hilfsmittellektronik sind in den letzten Jahren erstaunliche Fortschritte gemacht worden. Automatisch arbeitende Schwarzschriftlesemaschinen, Geräte, die Schwarzschrift direkt in Punktschrift übersetzen, Scannertechnik und Möglichkeiten für Desk-Top-Publishing im Büro, Braille-Drucker und Punktschriftausgaben an Computern, Großbildlesesysteme sowie Sprachausgaben beherrschen das Angebot der Hilfsmittelhersteller. Doch naturwissenschaftliche Hilfsmittel kann man auf allen Veranstaltungen und Messen mit der Lupe suchen. Schaut man in die Kataloge der Lehrmittelhändler oder holt man sich In-

formationen bei Besuchen großer Lehrmittelmessen wie z.B. DIDACTA, INTERSCHUL u. ä. oder besucht man Fachveranstaltungen naturwissenschaftlicher Organisationen, so findet man praktisch keine Hilfsmittel zum Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht, die Sehgeschädigten Versuche und Verfahren zugänglich machen könnten. Von Herstellern blindenspezifischer Hilfsmittel bekommt man gelegentlich zu hören, dass man ja heute praktisch alle Probleme mit einem Computer und angeschlossenen Braille-Terminals lösen kann. Wegen dieses akuten Mangels an speziellen Hilfsmitteln im naturwissenschaftlichen Bereich, sind manche Schulen eigene Wege gegangen. Einige kleinere Geräte konnten von Kolleginnen und Kollegen in der Freizeit selbst hergestellt werden, einfache Versuchsaufbauten wurden rein mechanisch adaptiert. Bilder und Texte aus naturwissenschaftlichen Lehrbüchern stehen als taktile Vorlagen nur in begrenztem Maße und teilweise stark veraltet zur Verfügung.

Naturwissenschaftlicher Unterricht lebt aber auf ganzer Breite von den Experimenten sowohl bei deduktiven als auch bei induktiven Arbeitsweisen. Die meisten chemischen, physikalischen und biologischen Experimente sind allerdings blinden und hochgradig sehbehinderten Schülern nicht zugänglich, da sie nur mit gut sehenden Augen beobachtet werden können. Es werden daher zur Durchführung von Lehrer-Demonstrationsversuchen und für zahlreiche Schülerversuche spezielle Geräte benötigt, die an das normale Experimentiergerät angeschlossen werden müssen. Nur wenige Experimente äußern sich durch akustische, olfaktorische oder taktile Ergebnisse, so dass sehgeschädigte Schüler ohne solche Hilfen mehr oder weniger verbalisierend unterrichtet werden müssen, wenn eigene Beobachtungen nicht gemacht werden können. Man kann einen Lehrer ohne spezielladaptierte Versuchsaufbauten etwa mit einem Arzt vergleichen, der einem Kranken ohne sein ärztliches Instrumentarium kaum besser helfen kann als ein neben ihm stehender Laie. Diese Tatsache sollten unbedingt die Befürworter integrativer Beschulung erkennen, solange ihnen solche Spezialhilfen nicht zur Verfügung stehen. Die Lehrpläne unserer Schulen beschränken sich nicht nur auf geisteswissenschaftliche Fächer, sondern fordern noch weitere Fächer wie z. B. Chemie, Physik, Biologie, Mathematik u. a., in denen ein sehgeschädigter Schüler ständig auf entsprechende Hilfsmittel angewiesen ist. Speziell ausgebildete Beratungslehrer können ohne ein Hilfsmittel zum Einsatz im Unterricht höchstens gute Ratschläge geben.

Hilfsmittelherstellung und Hilfsmittelforschung

An der Carl-Strehl-Schule der Deutschen Blindenstudienanstalt ist vor sieben Jahren für die Erforschung und Herstellung von naturwissenschaftlichen Hilfsmitteln eigens ein Elektroniklabor eingerichtet worden, um den Mangel an nicht vorhandenen oder nicht-käuflichen elektronischen Geräten zu verringern, während rein mechanische Adaptationen von Mitarbeitern des Medienzentrums vorgenommen werden. Neben der reinen Entwicklungsarbeit werden hier Reparaturen an defekten elektronischen Geräten wie Fernsehlesegeräten, Computern, Druckern usw. vorgenommen. Außerdem können hier auch elektronische Hilfen für Mehrfachbehinderte hergestellt, geprüft und gewartet werden. Das Labor ist mit modernsten technischen Geräten ausgestattet, um die oben genannten Aufgaben meistern zu können. Die Arbeit in diesem Labor verlangt ständig neue Ideen und Erfindergeist, um die anstehenden z. T. äußerst schwierigen Adaptierungen vornehmen zu können. Zur Zeit werden noch hauptsächlich Prototypen hergestellt, da ein Weitervertrieb der hergestellten Hilfsmittel noch nicht in Gang gekommen ist.

Der gegenwärtige Stand der elektronischen Hilfen:

Besonders gut ist in den letzten Jahren der Hilfsmittelbereich im Chemieunterricht der Klassen 8-13 untersucht worden.

Neben einfachen Universalgeräten zur Ermittlung von Lichtintensitäten und Farbumschlägen, führten die Entwicklungsarbeiten zu Dosiergeräten und sprechenden Messgeräten bis hin zum Computereinsatz für Messwerverfassung und Messwertverarbeitung. Ein Teil der zum Einsatz im Chemieunterricht bestimmten Geräte lässt sich problemlos auf viele Experimente im Physik- oder Biologieunterricht übertragen. Einige Hilfsmittel dienen aber auch nur ganz speziellen Versuchen.

1.) Geräte zur Lichterkennung

Für zahlreiche Versuche in den drei Naturwissenschaften ist die Erkennung und Erfassung von Lichtintensitäten und Farbumschlägen von Bedeutung. Kleine Geräte zur Hör-

barmachung von Licht sind schon seit vielen Jahren bekannt und begehrt. Hier ist stellvertretend das *AUDILUX* zu nennen, ein mit einer lichtempfindlichen Sonde ausgestatteter Tongenerator, der auch heute noch, wenn nichts anderes zur Verfügung steht, wertvolle Dienste bei der Erkennung von Lichtintensitäten leistet. Für viele Zwecke ist dieses handliche, batteriegespeiste Gerät jedoch nicht ausreichend, so dass wir uns entschlossen haben, ein neues Instrument, dem wir den hausinternen Namen *OPTOPHON* gegeben haben, zu konstruieren. Es zeichnet sich durch folgende Möglichkeiten aus:

Analogteil:

a) Hörbarmachung der Leitfähigkeit

von Säuren, Laugen, Salzlösungen und Metallen auf zwei Kanälen für Leitfähigkeitsvergleiche mit Flüssigkeitstauchelektroden sowie allen anderen Elektroden. Beide Kanäle können untereinander für halbquantitative Vergleiche abgeglichen werden.

b) Hörbarmachung von Lichtsignalen aller Art.

Durch die Verwendung verschieden empfindlicher Sonden können hier ebenfalls zweikanalig Lichterscheinungen je nach Empfindlichkeit und Sondendurchmesser bis hin zum Laserlicht gemacht werden. Das Gerät findet besonders intensive Verwendung im Bereich Optik des Physikunterrichts sowie für allgemeine Lichterscheinungen im Fach Chemie. Es konnten feinste Glüh-effekte bis hin zu gleißenden Feuererscheinungen hörbar gemacht werden. Da beide Analogeingänge auch noch kleine Spannungen hörbar machen können, wird dieses Gerät gelegentlich als Tongenerator an elektronischen Schreibern eingesetzt, um die Schreibstiftposition akustisch zu überprüfen. Das zuletzt erwähnte Verfahren ist heute als Standard in den Unterricht mit gaschromatografischen Untersuchungen gezogen, da es die Kurvenverläufe direkt in akustische Signale übersetzt. Der Anschluss des Gerätes lässt sich jedoch erst nach Einbau einer entsprechenden Schnittstelle am Ausgabegerät verwirklichen.

Digitaleil:*a) Messung von Farbumschlägen*

Da Farbumschläge im Chemieunterricht bei Indikatorumschlägen erkannt werden müssen, ist uns die Verwendung des OPTOPHONS in den letzten Jahren eine besondere Hilfe im Bereich der Titrationsen sowohl in der Mittelstufe als auch in der Oberstufe gewesen. Mit einem Piepton kann der Umschlag mit hoher Genauigkeit erkannt werden. Das Gerät kann zunächst mit Hilfe eines Empfindlichkeitsstellers auf die Lichtbedingungen im Raum eingestellt werden. Danach kann über eine Schalterstellung das Signal entweder im Dunkeln oder im Hellen zur Erscheinung kommen. Der Schwellwertschalter lässt sich je nach Empfindlichkeit der LDR - Sonde auf nahezu alle Versuchsbedingungen einstellen.

b) Einsatz an Digitalgeräten

Eine weitere wichtige Anwendung des OPTOPHONS ist sein Einsatz beim Auftreten digitaler Signale wie sie z. B. bei Tropfenzählern, Lichtschranken und im ganzen Gebiet der Digitalelektronik auftreten. Das Gerät lässt sich hier ohne die Verwendung von Lichtsonden direkt an die Elektronik anschließen, so dass hier völlig unabhängig vom Einfluss des Tageslichts gearbeitet werden kann. Das nun seit mehreren Jahren im Unterricht eingesetzte Instrument soll im Herbst 88 einer Überarbeitung und Verbesserung unterzogen werden. Die für den Dauereinsatz bestimmten Geräte [1] sollen einen neuen Tongeneratorteil bekommen, da das jetzige Rechtecksignal des im Gerät wirksamen integrierten Schaltkreises bei längerer Anwendung akustisch etwas unangenehm auf manche Schüler wirkt. Auch soll die Linearität verbessert werden, um halbquantitative Aussagen noch sicherer zu machen.

2.) Das Messen von Spannungen, Strömen und Widerständen

Besonders häufig wird im naturwissenschaftlichen Unterricht das genaue Messen elektrischer Größen wie Spannungen, Strömen und Widerständen verlangt. Neben Geräten,

die Messwerte in Zusammenarbeit mit einer taktilen Skala akustisch als Pieptöne ausgegeben, sind monströse Multimeter auf den Markt gekommen, die Messwerte über eine an der Frontseite befindliche Braille-Ausgabe zur Verfügung stellten. Da diese Geräte mit hochwertigen Digital-Messgeräten ausgestattet sind, arbeiten sie sehr präzise, solange die zur Ansteuerung der Metall-Punkte notwendige, teilweise komplizierte Mechanik ihren Dienst nicht versagt. Zum Einsatz im Schülerversuch sind sie wegen ihrer Größe, ihres Gewichts und ihres hohen Preises nicht geeignet.

Ende der siebziger Jahre wurden dann teure Digitalmultimeter, die von Haus aus eine getaktete BCD-Schnittstelle besaßen, mit einer amerikanisch klingenden Sprachausgabe versehen. Die für schulische Zwecke viel zu teuren Grundgeräte versagten häufig ihren Dienst, da die angeschlossenen Sprachausgaben eine hochkomplizierte, handgelötete Basis-Platine besitzen, die im Unterrichtseinsatz den Belastungen durch Hin- und Hertragen sowie auch den Labordämpfen auf Dauer nicht gewachsen sind. Ein sehr großer Nachteil ist vor allem das Fehlen der Komma-Ansage, was bei Schülern immer wieder auf Schwierigkeiten stieß. Wir sind daher in den letzten Jahren eigene Wege gegangen und haben eine neue Möglichkeit der Sprachausgabe [2]) für Messgeräte entwickelt. Ein äußerst robustes Digitalhandmultimeter der Fa. PHYWE in Göttingen für quasi-rückwirkungsfreie Strom - Spannungs- und Widerstandsmessungen ist über einen 25-poligen Sub-D-Schnittstellenstecker mit einem von uns entwickelten Interface verbunden, das die Signale der Anzeige aufarbeitet und sie so an einen PANASONIC-Sprach-Rechner weitergeben kann. Die in einem handlichen Aluminiumkoffer untergebrachte Gerätekonfiguration ermöglicht es, nahezu alle im Unterricht auftretenden Messungen in synthetische Sprache zu übersetzen, um so die Messwerte blinden und sehbehinderten Schülern ohne jeden Fehler zugänglich zu machen. Auf diese Weise ist der vor einigen Jahren erschienene "sprechende" Taschenrechner als sehr wirksame und preiswerte Sprachausgabe voll zum Einsatz gekommen. Das aus dem Schulprototyp heraus für Serien-Fertigung entwickelte und von der Deutschen Blindenstudienanstalt als "Messkoffer" angebotene Gerät, weist in der Praxis große Vorteile auf. Es lässt sich nämlich an nahezu alle $3\frac{1}{2}$ - stelligen LCD-Anzeigen anschließen, sofern diese mit der oben erwähnten Schnittstelle ausgerüstet werden können. Es lassen sich somit auch PH-Meter, Thermometer, Hygrometer, Photometer, Barometer

sowie Leitfähigkeitsmessgeräte u. a. mit Sprachausgaben versehen. Durch die Verwendung von Vorschaltgeräten zum Digitalmultimeter eröffnen sich weitere Möglichkeiten. Im Physikunterricht können auf diese Weise ohne weiteres Hochspannungen mit entsprechenden Tastköpfen oder aber Kapazitäten von Kondensatoren bestimmt werden. Diese "Messkoffer" sind schon seit einigen Jahren im Dauereinsatz. Bis auf gelegentlich entleerte Akkus waren keinerlei Schwierigkeiten zu beobachten. Zum Einsatz als Demonstrationsinstrument eignet sich der "Messkoffer" nicht ganz so gut, da die Lautstärke des sprechenden Rechners schon bei geringem Lärmpegel nicht mehr ausreicht. Leider ist es zur Zeit nicht möglich, dieses Prinzip weiter zu verfolgen, da die sprechenden Taschenrechner kaum noch zur Verfügung stehen. Kleinserien neu entwickelter Geräte können nur noch aus geringen Vorräten bestückt werden.

Der kürzlich noch verfügbare sprechende Taschenrechner der Fa. Sharp konnte ebenfalls für preiswerte Sprachausgaben eingesetzt werden, sofern nur Zahlen gesprochen werden mussten. Beim Einsatz als Sprachausgabe bietet er den großen Vorteil, dass man die extern erzeugten und elektronisch angepassten Signale zunächst in das Display des Rechners "hineinschieben" kann und mit diesem Wert gleich weiter rechnen kann. Die Anpassung der Rechner ist zeitaufwendig und schwierig, dafür aber auch kostengünstig. Es bleibt zu bedenken, dass andere von Taschenrechnern unabhängige Sprachausgaben je nach Qualität der Sprache mit einem nicht geringen Preis aufwarten. Außerdem weisen sie bei der Anpassung an naturwissenschaftliches Experimentiergerät ähnliche Schwierigkeiten auf, wie sie von der Adaption der Taschenrechner her bekannt sind. Für Sehbehinderte lassen sich an einige der von Lehrmittelherstellern angebotenen Multimeter teure Zusatzgeräte über entsprechende Schnittstellen anschließen, die sämtliche Ergebnisse des kleinen Displays in eine rot leuchtende Großanzeige übertragen. Doch auch diese Großanzeigen lösen nicht alle Probleme, die ein Sehbehinderter beim Ablesen von Messergebnissen hat. Für Schüler mit starker Gesichtsfeldeinschränkung sind die Anzeigen meist schon zu groß. In einigen Fällen waren auch die rot leuchtenden LED - Balken nicht gut zu sehen. Andere Farben werden von der Industrie nur als äußerst kostspielige Sonderanfertigung angeboten. Für den Einsatz im Unterricht stehen an der Carl-Strehl-Schule zur Zeit folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Oszilloskope mit umschaltbarem Display

Zur Erzeugung einer ca. 10 cm hohen grün-leuchtenden Elektronenstrahlanzeige stehen einige Oszilloskope zur Verfügung. Die Anzeige ist an ein eingebautes Digitalmultimeter gekoppelt. Wegen der Größe des Grundgerätes und der Lichtschwäche der Segmente wird diese Konfiguration nicht mehr so häufig eingesetzt. Die Handhabung ist wegen der Vielzahl der Stellknöpfe schwierig. Der Wechsel der Sicherung ist äußerst umständlich und kann nur von Fachleuten vorgenommen werden.

2. Großmultimeter mit zusätzlicher Sprachausgabe (s. o .)

Die rot leuchtende ca. 1,5 cm hohe Leuchtanzeige des Grundgerätes hat sich für mittelgradig sehbehinderte Schüler nach Abdunklung der Unterrichtsräume bewährt. An Stelle der Sprachausgabe haben wir neuerdings eine 10,5 cm hohe und 40 cm breite fünfstellige Großanzeige angeschlossen. Die rotleuchtende Anzeige soll in erster Linie als Demonstrationsinstrument eingesetzt werden. Da entsprechende grün leuchtende Anzeigen leicht machbar, jedoch nicht so lichtstark sind, haben wir auf den Bau eines solchen Displays bisher keinen Wert gelegt.

3. Klein-Multimeter mit großer 3 ½ stelliger LCD-Anzeige

Diese Geräte finden nur bei Schülerversuchen mit mittelgradig sehbehinderten Schülern Verwendung. Da solche Multimeter heute schon zu sehr niedrigen Preisen angeboten werden und einen äußerst niedrigen Stromverbrauch haben, haben sie die Geräte mit Leuchtanzeigen ziemlich verdrängt. Wir haben daher über den oben bereits bei den Sprachausgaben beschriebenen 25-poligen Sub-D-Stecker die Signale des Gerätes herausgeführt und an den Prototyp einer 4-stelligen LED - Sieben-Segment-Anzeige angeschlossen. Die Elektronik ist so universell ausgelegt worden, dass sich alle auf dem Markt befindlichen Größen und Farben von LED - Anzeigen anschließen lassen. Für weniger stark sehbehinderte Schülergruppen lassen sich normale LCD-Anzeigen leicht gegen eine kräftig leuchtende LED - Anzeige auswechseln, sofern im Grundgerät selbst Platz genug ist. Der Nachteil aller LED-Anzeigen ist ihr hoher Stromverbrauch. Sie müssen deshalb in aller Regel mit Netzteilen ausgerüstet werden

4. Digitale Großanzeigen mit Computern

Einen außerordentlichen Fortschritt bringt zur Zeit der Computereinsatz [3, 4, 5] im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die genaue Anwendung wird in späteren Abschnitten dieses Berichtes erläutert. Bei Direktübertragung der Messwerte von einem angeschlossenen Digitalmultimeter oder anderen Analog/ Digital-Wandlern lassen sich über den Bildschirm des Rechners beliebig große und in ihrer Leuchtkraft hervorragende Großanzeigen erstellen. Sie haben sich seit einigen Jahren bestens bewährt und sind zur Zeit von ihrer Qualität her (wir verwenden die hochauflösende Grafik) von allen Großanzeigen die am Besten sichtbaren. Zur Zeit laufen Forschungsprogramme, die die Farben des Displays unter Benutzung eines Farbmonitors je nach Farbempfindlichkeit des Schülers umschaltbar machen sollen. Wie bei allen Leuchtdisplays werden die besten Ergebnisse in abgedunkelten Räumen erzielt. Zur Zeit sind diese speziell für LCD-Anzeigen verwendbaren Computerprogramme nur für Geräte der Fa. APPLE angepasst worden, zumal auch die Hardware momentan nur an dieses Rechnersystem passt. Spätere Umrüstungen für andere Rechnersysteme sind grundsätzlich möglich. Eine Umrüstung kann jedoch lange dauern, da wir zur Zeit mit dringenderen Projekten als mit der

bloßen Umstellung auf andere Rechner zu tun haben. Für Naturwissenschaftler ist sogar jetzt der Einsatz des "alten" APPLE- Computers günstig, da die Informatikabteilungen der Schulen meist auf Rechner der neueren Generation übergehen.

Weitere Großanzeigen mit dem Computerbildschirm:

Wie oben bereits für Sprachausgaben mit sprechenden Taschenrechnern beschrieben, lassen sich auf ähnliche Weise andere 3½ - stellige LCD-Anzeigen mit dem Computer als Großdisplay ausgeben. Geeignet sind hier Thermometer (- 50 bis über 1000 °C), Photometer, Leitfähigkeitsmessgeräte sowie Barometer, die häufig in der Wärmelehre benötigt werden. Bei allen Anzeigesystemen ist es von unbedingter Notwendigkeit, dass alle Großanzeigen exakt und ohne jeden Unterschied die Werte vorgeschalteter Geräte übernehmen müssen. Dies ist insbesondere für die Kommata entscheidend. Es gibt daher nur einen sinnvollen und für die Schulen einzig gangbaren Weg: alle Großanzeigen müssen direkt von den Anzeigen der vorgeschalteten Messgeräte über ein geeignetes Interface gespeist werden, damit für den beobachtenden Schüler neben den Problemen, die ohnehin beim Ablesen auftreten, nicht auch noch Differenzen in den Anzeigesystemen entstehen.

Um allen Schwierigkeiten aus dem Weg zu gehen, haben wir ein universelles Interface für 3½ -stellige LCD-Anzeigen entwickelt, das auf allen Datenleitungen mit Optokopplern zum Schutz des Rechners ausgerüstet ist. Bekannte Masseprobleme, die sich häufig genug nur durch Einsatz von Trenntransformatoren lösen ließen, treten nun nicht mehr auf. Praktisch alle von den Lehrmittelfirmen angebotenen Interfaces lassen sich ohne zusätzlichen experimentellen Aufwand mit Spannungsteilern u. ä. nur bis 2, 5 Volt, in Ausnahmefällen auch bis 40 Volt betreiben. Dieses für Schulen weitgehend unbrauchbare System ist vor allem dann in Schwierigkeiten, wenn andere elektrische Größen als Spannungen dargestellt werden sollen.

Anzeige weiterer physikalischer Messwerte:

Neben den oben erwähnten Anzeigemöglichkeiten von Spannungen, Strömen und Widerständen, müssen im naturwissenschaftlichen Unterricht weitere physikalische Größen wie Frequenzen, Impulse, Zeiten u. ä. gemessen werden. Hier sind die Möglichkeiten für blinde Schüler sehr stark eingeschränkt, da Sprachausgaben für diese Geräte kaum erhältlich sind. Hier müssen ähnliche Wege, wie vorher schon erwähnt, beschritten werden. Für Sehbehinderte sind leuchtende Displays im Lehrmittelhandel erhältlich. In wenigen Fällen konnten wir solche Messgeräte mit einer akustisch-mechanischen Anzeige ausrüsten. Der Schüler kann die Ziffern dieser Messgeräte über eine Drehschalterstellung ermitteln, die bei richtiger Einstellung auf eine taktil erfassbare Ziffer der Gehäuseoberfläche einen „Piep“-Ton abgibt. Zur Zeit sind Arbeiten im Gang, die die genannten Messwerte als Großdisplay incl. Sprachausgaben über einen Computer angeben sollen. Dazu gehören insbesondere auch Wäageergebnisse von Labor-Präzisionswaagen, die über ihre kontrastarmen LCD -Displays unseren Schülern praktisch keine Informationen erbringen. In aller Regel wird hier der sehende Lehrer den Messwert selbst ablesen müssen.

Das Ablesen von Flüssigkeits- und Gasvolumina

Da bekanntlich im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht nur Messergebnisse von direkt anzeigenden Messinstrumenten in Großanzeigen bzw. synthetische Sprache übertragen werden müssen, sondern auch Volumina von Gasen und Flüssigkeiten erkannt werden sollen, sind auch auf diesem Gebiet neue Ablesemöglichkeiten und Verfahren entwickelt worden, um die Präzision der Ergebnisse zu verbessern. Wir sind grundsätzlich der Meinung, dass ein sehgeschädigter Schüler mit derselben Genauigkeit messen muss, wie dies von einem gut sehenden in der Regelschule erwartet wird. Eine Überprüfung des Flüssigkeitsstandes mit dem Finger hat bei Getränken und flüssigen Nahrungsmitteln nach wie vor seine Berechtigung. Stände von giftigen oder ätzenden Lösungen sollten jedoch niemals auf diese Weise eingeschätzt werden.

1. Ablesen von Gasvolumina

Im allgemeinen werden Gasvolumina in Gasbüretten und Kolbenprobern abgemessen. Beide Geräte verlangen zur präzisen Ermittlung des Gasvolumens ein gut sehendes Auge. Ein besonders preiswertes und von der Präzision her ausreichendes Verfahren ist vor einigen Jahren von uns entwickelt worden. Der Griff des Glaskolbens wird mit einem kräftigen Zeiger aus eloxiertem Aluminium versehen. An den Plexiglaskörpern einer handelsüblichen Kolbenproberhalterung wird ein Lineal mit taktilen Volumina-Einheiten angebracht. Diese einfache Anordnung hat sich sehr gut bewährt und ist heute Standard bei allen quantitativen Versuchen mit Gasen geworden.

Wesentlich schwieriger gestalten sich Ablesungen von Gasbüretten wie z.B. am berühmten Hofmann'-schen Wasserzersetzungsapparat, der ein praktisch unverzichtbares Instrument im Chemie- und Physikunterricht darstellt. Die Elektrolyse in diesem Gerät ist ohne entsprechende Adaptierung für den Sehgeschädigten einer der langweiligsten Versuche überhaupt, da man weder etwas sieht, noch etwas hört, riecht oder tastet. Um diesen Missstand abzustellen, muss dieser so wichtige und grundlegende Versuchsaufbau elektronische und mechanische Adapter bekommen. Es sind hier verschiedene Möglichkeiten ausprobiert worden, die in baldiger Zeit zu einem kompletten Versuchsaufbau führen sollen. Dabei lässt sich die Abscheidung der Gasbläschen (Wasserstoff und Sauerstoff) mit in Glas gefassten und mit Teflon-Folie abgesicherten Spezial-Unterwassermikrofonen (Hörgerätemikrofone) über einen Stereoverstärker hörbar machen. Der akustische Effekt lässt ohne Schwierigkeiten das Einschätzen des 1:2 Verhältnisses zu. Diese Versuchsanordnung ohne genaue Volumenablesung reicht für die Belange der Mittelstufe aus. Für die präzisen Messungen im Rahmen des Fachgebiets »Elektrochemie« im Oberstufenunterricht sind jedoch präzise Messungen der abgetrennten Gasmengen erwünscht.

Die Lehrmittelindustrie bietet seit einiger Zeit Gasbürettenrohre mit Dreiweghähnen an, die für die oben beschriebenen Kolbenprober mit taktiler Ablesung eine Einsatzmöglichkeit bieten.

Ein kleiner Nachteil ist allerdings auch hier nicht zu übersehen. Der Sehgeschädigte hat während des Versuchs, der je nach Ziel bis zu 15 Minuten dauern kann, keine Kontrolle

über das Volumen der sich abscheidenden Gase. Eine digitale Ablesemöglichkeit zur ständigen Kontrolle ist zur Zeit noch in Arbeit. In diesem Zusammenhang soll eine Technik nicht unerwähnt bleiben, die dem sehbehinderten Schüler das Abscheiden feinsten Gasbläschen sichtbar machen soll. Eine Farb-Video-Kamera mit auswechselbaren Objektiven (z.B. C-Mount-Anschluß) wird mit einem Balgengerät und umgekehrt (Retroring!) aufgeschraubtem Foto-Normalobjektiv (50 mm) versehen und auf die Elektroden gerichtet. Die im Durchmesser weniger als 1 mm großen Bläschen lassen sich mit dieser Einrichtung fast formatfüllend auf den Monitor bringen. Ohne Zweifel ist der Aufwand für diesen unverzichtbaren Versuch relativ hoch und nur in einer gut ausgerüsteten naturwissenschaftlichen Sammlung möglich.

2. Die Dosierung von Flüssigkeiten

Sehr häufig müssen im Physik-, Chemie- oder Biologieunterricht kleinere Flüssigkeitsvolumina abgelesen werden. Für diesen Zweck sind hier vereinzelt Markierungen an Bechergläsern, Erlenmeyerkolben und Standardzylindern angebracht worden, die jedoch meist nur kurze Zeit auf der glatten Oberfläche der Gläser hafteten. Dieses für einen sehbehinderten Schüler gelegentlich brauchbare Verfahren lässt sich für einen Blinden nicht ohne weiteres übernehmen, obwohl es nicht an Versuchen gemangelt hat, zusätzlich zu den erwähnten, taktilen Markierungen noch elektronische Lichtsonden einzusetzen, um die Höhe des Flüssigkeitsstandes zu ermitteln.

Für grobe Messungen mit ungefährlichen Flüssigkeiten sowie für praktische Übungen im Umgang mit Lichtsonden ist gegen ein solches Verfahren sicher nichts einzuwenden. Sollen dagegen quantitative Umsetzungen mit ätzenden Flüssigkeiten wie z.B. verdünnter Salzsäure oder verd. Natronlauge (konzentrierte Säuren und Laugen gehören selbstverständlich nicht in die Hände unserer Schüler!) von sehgeschädigten Schülern durchgeführt werden, so verfahren wir nach neueren Methoden, die sich inzwischen schon gut bewährt haben.

a) Volumina von 1 bis 10 und von 10 bis 50 ml mit der Dispensette

Für Dosierungen in diesem Bereich verwenden wir seit 2 Jahren mit gutem Erfolg die „Dispensette“ der Fa. Brandt (Wertheim). Dieses als Flaschenaufsatz verwendbare Dosiergerät bietet dem sehgeschädigten Schüler optimale Kontrolle der Volumeneinstellung durch eine seitlich am Gerät angebrachte Punkte-Skala.

Die Flüssigkeit kann durch Heben einer Überwurfhülse bis zu einem Anschlag angesaugt und anschließend durch Herunterdrücken dieser Hülse problemlos in ein bereitstellendes Gefäß eingefüllt werden. Trotz dieser ungefährlichen Dosiertechnik ist eine säurefeste Unterstellwanne für alle Versuche zwingend erforderlich, da ein Sehgeschädigter beim Umfallen einer Flasche kaum in der Weise reagieren kann wie ein normal sehender Schüler. Für Dosierungen in den genannten Bereichen sind 2 Dispensetten ausreichend, um den Bereich zwischen 1 und 10 sowie zwischen 10 und 50 ml abzudecken.

b) Dosierung von 0,1 bis 1 ml mit Pipetten

Recht häufig werden beim quantitativen Arbeiten Feindosierungen benötigt. In chemischen Laboratorien werden dazu verschiedene Systeme benutzt, die sich jedoch nicht alle für den Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht sehgeschädigter Schüler eignen. Es versteht sich von selbst, dass die handelsüblichen Glaspipetten, die zum Ansaugen den Mund oder Pipettierhilfen benötigen, kein brauchbares Instrumentarium darstellen, weil zum einen die Möglichkeiten der Markierungs-Ablesung kaum gegeben sind, und zum anderen die Gefahr der Verätzung mit Chemikalien einfach zu groß ist.

Für Arbeiten mit mittelgradig sehbehinderten Schülern ist die Verwendung moderner Spezialpipetten mit Festwerteinstellung angebracht, da hier weder Ableseprobleme noch sonstige Schwierigkeiten beobachtet werden konnten. Blinde oder hochgradig sehbehinderte Schüler können mit diesen Instrumenten nur eingeschränkt arbeiten, da sie für das Ansaugen und Ausstoßen der Flüssigkeit jedes mal die Gefäße mit den Fingern erneut suchen müssen. Für diesen Zweck haben sich die sogenannten Mikrodispenser der Firma Brandt (Wertheim) außerordentlich bewährt, da die anzusaugende Lösung sich in einem seitlich an der Pipette angebrachten Rädchen aus Polyethylen

befindet, und ein Suchen somit entfällt. Diese Mikrodispenser sind als Festwertinstrumente oder neuerdings als digital einstellbare Geräte im Handel.

Wir haben diese Geräte in unserem Entwicklungslabor mit speziellen Hallgeneratoren nachgerüstet, um bei Titrationsen diese Instrumente als hochwertige und dennoch preiswerte Büretten für Sehgeschädigte einsetzen zu können. Jeder Knopfdruck liefert ein prellfreies elektronisches Signal, das zum automatischen Zählen mit Sprachausgaben oder für den angeschlossenen Computer (s.u.) ausgewertet werden kann.

c) Das Arbeiten mit Büretten von 0,01 bis 1 ml

Ab Klasse 10 werden im Chemieunterricht Titrationsen mit Säuren und Laugen durchgeführt, die im allgemeinen eine Glasbürette mit 50 ml Gesamtvolumen benötigen.

Solche Büretten findet man praktisch in allen Schulen, Universitäten und sonstigen Forschungseinrichtungen. Sie werden mit verschiedenen Graduierungen und Hahnqualitäten in den Handel gebracht. Zum Einsatz im Chemieunterricht sehgeschädigter Schüler eignen sich diese Instrumente jedoch kaum. Um mit diesen Glasbüretten sauber und präzise arbeiten zu können, wird eine gute Sehfähigkeit vorausgesetzt. Diese Problematik lässt sich in mehreren Stufen beschreiben. Der Experimentator (der sehgeschädigte Schüler) muss zunächst aus einer Vorratsflasche Säure oder Lauge in das senkrecht vor ihm in ein Laborstativ eingespannte Gerät einfüllen. Danach muss die eingefüllte Flüssigkeit auf Luftblasen kontrolliert und anschließend bis auf die Eichmarke aufgefüllt werden.

Das anschließende Dosieren erfolgt nun tropfenweise in ein vorbereitetes Gefäß, wobei das Aufdrehen des häufig schwergängigen Glas- oder Teflon-Bürettenhahnes nun unter Beobachtung der kleinen Bohrung im Hahn-Kücken zu erfolgen hat, um die Tropfgeschwindigkeit zu Beginn der Arbeit niedrig zu halten. Selbstverständlich müssen die herabfallenden Tropfen der Säure oder Lauge gut kontrolliert werden, um nicht den gefürchteten »kräftigen Strahl« zu erzeugen, der im allgemeinen zum Neubeginn des Experiments Anlass gibt.

Während des Eintropfens ist unter Einhaltung des notwendigen Sicherheitsabstandes (Schutzbrille!) die Farbveränderung der vorgelegten, mit Indikator versehenen Flüssigkeiten oder ein angeschlossenes Messinstrument (PH-Meter, Leitfähigkeitsmessgerät

o.a.) zu beobachten. Aus diesen Ausführungen dürfte es leicht ersichtlich sein, dass für einen sehbehinderten oder blinden Schüler solche Arbeiten nur unter Einsatz eigens dafür geschaffener Hilfen möglich sind. Elektronische Adaptierungen brachten für diese im Unterricht häufig benötigte Apparatur die besten Fortschritte. Ablesemöglichkeiten mit Infrarot-Reflex-Sonden zur Erkennung der Graduierung und des Flüssigkeitsstandes, elektronische Tropfenzähler mit Leitfähigkeitselektroden oder Infrarot-Gabellichtschranken zur Hörbarmachung und Zählung der fallenden Tropfen, brachten erhebliche Erleichterung (1). Handhabung und Justierung der Apparatur forderten eine beträchtliche Vorbereitungszeit, bedingt durch komplizierte Peripheriegeräte.

Diese Schwierigkeiten konnten nun kürzlich endlich durch Herstellung einer sprechenden und mit Großbildanzeige versehenen, handhabungsfreundlichen Bürette aus dem Wege geräumt werden. Dazu wurde die seit kurzer Zeit erst im Handel befindliche Digital-Bürette der Fa. Brandt (Wertheim) mit einer Zusatzelektronik adaptiert, um jeden von der Bürette angezeigten Wert sofort dem sehgeschädigten Schüler zur Verfügung zu stellen. Die Handhabung der mit großen Drehknöpfen ausgestatteten Anlage ist so einfach und unkompliziert, dass sie von jedem Benutzer in kurzer Zeit beherrscht werden kann. Schüler mit motorischen Schwierigkeiten in den Händen, können so erstmals auf für sie ungefährliche Weise experimentieren.

Der Computer als universelles Speicher- und Ausgabemedium

Die bereits in vorigen Kapiteln genannten Möglichkeiten zur Großbilddarstellung von Messwerten mit Hilfe eines Mikrocomputers stellen nur einen geringen Ausschnitt dessen dar, was ein Rechner im naturwissenschaftlichen Unterricht mit Sehgeschädigten insgesamt zu leisten vermag.

Wir haben bisher folgende Gebiete intensiv untersucht:

1. Universelle Datenerfassung schneller, langsamer und einzelner Meßwerte
2. Graphische Darstellung während der Messung
3. Graphische Darstellung der auf Disk. gespeicherten Messwerte

4. Mathematische Verarbeitung der Messreihen
5. Ausgabe der Grafiken auf Druckern und Plottern
6. Ausgabe der Daten in Großbilddarstellung bei der Datenaufnahme und nach Abspeicherung
7. Dateneingabe und -ausgabe mit Sprachausgaben

Insgesamt sind die Möglichkeiten des Mikrocomputereinsatzes bei den einzelnen Versuchen im naturwissenschaftlichen Unterricht so vielfältig, dass sie hier den Rahmen der Ausführungen sprengen würden. Es soll daher im folgenden nur auf die wichtigsten Punkte eingegangen werden. Nach dem Einzug von preiswerten Kleincomputern in die Informatikabteilungen unserer Schulen, begann erst allmählich die Nutzung dieser Geräte in den naturwissenschaftlichen Fächern. Man war zunächst froh, überhaupt ein modernes System im Informatikbereich zu haben und dachte kaum an die überaus wertvolle Nutzung eines Computers im naturwissenschaftlichen Unterricht. Hier eignet sich der Rechner insbesondere für Simulationen komplizierter Vorgänge, für Berechnungen, die sonst nur sehr mühsam oder überhaupt nicht möglich wären, sowie für die Messwerverfassung und Auswertung. Für den Bereich Simulation und mathematische Behandlung ist nahezu jeder Rechner geeignet, sofern die entsprechenden Programme von Lehrmittelfirmen und Softwarehäusern gekauft oder von Schülern und Lehrern selbst geschrieben werden können. Wesentlich schwieriger ist die Ankopplung des Rechners an Experimente oder Messgeräte, da für diese Art des Computereinsatzes ein passendes Interface zur Verfügung stehen muss.

Es sind im wesentlichen folgende Systeme im Einsatz:

1. Interface für schnelle Messwerverfassung
2. Interface für langsame Messwerverfassung
3. Interface für Steuerung von Experimenten

Diese Geräte werden entweder als größere oder kleinere Kompletogeräte oder als Zusatzkarten zum Einstecken in Ports oder Slots von Rechnern angeboten, wozu eine passende Software erforderlich ist. Die Auswahl dieser Zusätze ist für den Lehrer nicht leicht, da die Geräte nur zum Teil den Anforderungen im Unterricht gerecht werden und manche »Bastellösungen« schon den Rechner außer Takt gesetzt haben.

Die langsame Messdatenerfassung haben wir in unserer Schule seit einigen Jahren ausführlich eingesetzt und zur Perfektion gebracht, während für die Möglichkeiten der schnellen Messdatenaufnahme noch auftretende Hard- und Softwareprobleme beseitigt werden müssen.

Schnelle Datenerfassung

Die schnelle Datenerfassung wird hauptsächlich im Biologie- und Physikunterricht eingesetzt. Für diese Anwendungen können neben Mikrocomputern auch selbständige Digitalspeicher als Vorsatzgeräte für Oszilloskope eingesetzt werden. Wir haben diese Möglichkeiten im Bereich der Sinnes- und Nervenphysiologie ausgiebig mit dem MEMOSKOP der Fa. Technowa im Unterricht getestet. Für Sehbehinderte eignet sich dieses recht komplizierte Gerät nur dann, wenn der Bildschirm des immer notwendigen Oszilloskops mit einer Videokamera abgeleuchtet und auf bereitstehende Monitore übertragen wird. Das Bild des Oszilloskops kann entweder mit einer Polaroid-Spezialkamera für Bildschirmfotografie abfotografiert werden, oder ein mitlaufender Videorekorder kann das Bild dauerhaft »einfrieren«. Der letztgenannten Methode ist auf jeden Fall für den Einsatz bei sehbehinderten Schülern der Vorzug zu geben. Neuerdings gibt es nun die Möglichkeit, mittels eines Speichervorsatzes der Fa. Conrad-Elektronik das Bild über einen Grafik-Drucker auszugeben.

Diese Art der Bildspeicherung ist für viele in der Schule auftretende Fälle geradezu ideal, da sie nach Ausdruck des Bildes auf dem Drucker und anschließender Übertragung des Bildes auf quellfähiges Spezialpapier, dem hochgradig sehbehinderten oder blinden Schüler erstmals kurze Zeit nach der Digitalisierung des Bildes eine »Hardcopy« des Bildschirms in die Hand gibt. Die Präzision bei der Anwendung dieses Papiers ist so groß, dass sie dem Bild, was der sehende Schüler auf dem Monitor hat, in nichts nachsteht.

Für besonders schnelle Signale, wie sie im Bereich der Oberstufenphysik auftreten können, ist dieser Speichervorsatz nicht so gut geeignet, da sein Haupteinsatzgebiet in der Aufzeichnung mittelschneller und zeitlich lang dauernder Signale liegt. Für extrem schnelle Signale im oberen Kilohertz-Bereich ist es daher günstiger, die Ankopplung

eines HAMEG-Digitalspeicheroszilloskops über eine IEE-488-Schnittstelle mit einem PC zu wählen, um das »Bild« zu digitalisieren und als taktile Grafik auszugeben.

In diesem Zusammenhang soll noch kurz auf eine weitere wichtige und sich noch in der Testphase befindliche Anwendung der digitalen Speicherung eingegangen werden. Für ganz wenige Spezialfälle gelang es uns Ende 1986 erstmals, das mikroskopische Bild eines kontrastreichen Objekts mit der Videokamera in den Speicher eines »Videodigitalisierers« einzulesen, um es dann anschließend auf quellfähigem Papier taktil zu machen. Diese neue Möglichkeit bietet sich insbesondere dann an, wenn ein zeitlicher Verlauf unterschiedliche mikroskopische Bilder liefert. Ein besonders günstiges Objekt ist in der Plasmolyse der roten Zwiebel zu erkennen. Dieses kontrastreiche Objekt konnte innerhalb von 15 Minuten während der Beobachtung durch sehbehinderte Schüler auf den angeschlossenen Fernsehmonitoren mehrfach hintereinander digitalisiert und ausgedruckt werden.

Die anschließende Versuchsauswertung konnte somit von blinden wie auch von sehbehinderten Schülern in gleicher Weise erfolgen. Für den blinden Schüler vermittelt diese mit Hilfe modernster Digitaltechnik ermöglichte Darstellung des Mikroskop-Bildes eine Art Live-Übertragung. Inzwischen teilte F. Kutschera die Möglichkeit mit, ein digitalisiertes Video-Bild über einen grafikfähigen Punktschriftdrucker ausgeben zu können. Die Qualität dieser Ausdrücke muss für die Möglichkeiten eines Blindenschrift-Druckers als sehr gut bezeichnet werden. Für die Wiedergabe eines mikroskopischen Bildes reicht allerdings die Auflösung nicht aus, so dass die oben genannte Methode für diesen speziellen Anwendungsfall sicher die geeignetere darstellt [6, 7).

Langsame Datenerfassung

Wie bereits erwähnt, ist die Erfassung einzelner und langsamer Messdaten an der Carl-Strehl-Schule (3) besonders gut untersucht und für den Einsatz im Unterricht getestet worden. In Anlehnung an ein von der Fa. MAPHY/ Fröndenberg im Jahre 1983 entwickeltes Programm mit zugehörigem A/D-Wandler für APPLE-Computer, haben wir eine Erneuerung und Umarbeitung praktisch aller Programmteile sowie eine umfangreiche

Erweiterung des Grafikteiles vorgenommen. Dazu war es zwingend erforderlich, ein neues Interface zu konstruieren, das ähnlich wie bei den Multimeter-Sprachausgaben an alle LCD-Geräte mit 31/2stelliger Anzeige über einen 25 pol. Sub-D-Stecker angeschlossen werden kann.

Herkömmliche Versuchsvorschriften - und Geräte - brauchen somit nicht umgeändert werden, da sich sämtliche Signale von der Anzeige problemlos einlesen lassen. Die Datenaufnahme erfolgt ähnlich wie bei der bereits anfangs beschriebenen Methode der Messwert-Direktübertragung. Der sehbehinderte Schüler hat wahlweise die Möglichkeit, die Daten in Großbilddarstellung oder bereits als graphische Darstellung am Bildschirm zu verfolgen. Wegen der relativ niedrigen Auflösung der »alten« Apple-Systeme wird dieser Teil zur Zeit in hochaufgelöste Farbgrafik unter Einsatz eines Grafik-Prozessors übertragen. Bisher erfolgte der Ausdruck der Messwerte über einen normalen Drucker nach bereits beschriebener Technik. Um eine bessere Qualität zu bekommen, soll diese Verfahren durch einen Plotter, der das »BILD« schon während der Datenaufnahme »zeichnet«, ersetzt werden.

Es ist selbstverständlich, dass solche Möglichkeiten erst dann im Unterricht eingesetzt werden, wenn die herkömmlichen Methoden der Einzeldatenaufzeichnung hinlänglich geübt wurden. Diese umfassenden Möglichkeiten der Messwertverarbeitung und Wiedergabe sind insbesondere in den Bereichen Titrationen, gaschromatografische Untersuchungen und Elektrochemie ausgiebig getestet worden. Der blinde Schüler hat mit diesem System die Gelegenheit, die Messwertaufnahme über synthetische Sprache direkt zu verfolgen, wobei zur Unterstützung bei langen Messreihen noch ein sprechender Taschenrechner als einfacher Zähler zugeschaltet wird, um die Anzahl der Messwerte zu kontrollieren. Die Ausgabe erfolgt in der Regel über die taktile Grafik oder als Messdatenausgabe in synthetischer Sprache, so dass der gesamte Bereich Erfassung-Wiedergabe nunmehr abgedeckt ist [8]

Zusätzlich sind für den Einsatz im Unterricht noch weitere Hilfsmittel entwickelt worden, die als Ergänzung, Erweiterung oder aber auch als eigenständige Geräte einzusetzen sind. An dieser Stelle sind insbesondere die Möglichkeiten von Molmassenbestimmungen und gasvolumetrischen Messungen zu nennen, die bis vor kurzem dem sehgeschädigten Schüler nicht zugänglich waren.

Mein Dank gilt in erster Linie meinen Kollegen Roll Faßbender und Georg Bender, die mich intensiv in Hard- und Softwarefragen unterstützten. Die dargestellten Arbeiten wären ohne diese Mithilfe nicht möglich gewesen. Mein Dank gilt weiter den Direktionen der Deutschen Blindenstudienanstalt und der Carl-Strehl-Schule sowie der Claere-Jung-Stiftung aus Hamburg, die die notwendigen finanziellen und personellen Voraussetzungen schufen. Ferner danke ich meinem Kollegen Michael Oelmann für zahlreiche Fachgespräche bezüglich der entwickelten Verfahren und Programme sowie dem Medienzentrum der Carl-Strehl-Schule für mechanische und fotografische Arbeiten.

Literatur:

[1]	Liese, W. und Faßbender, R.: <i>Neue Möglichkeiten im Chemieunterricht für sehbehinderte und blinde Schüler im Bereich der Sek.-Stufe I und II durch Einsatz moderner Elektronik.</i> horus 4, 330 (1985)
[2]	Faßbender, R. und Liese W.: <i>Neues sprechendes Digitalmultimeter.</i> horus 4, 330 (1985)
[3]	Liese, W. und Faßbender, R.: <i>Großer Fortschritt im naturwissenschaftlichen Unterricht der Carl-Strehl-Schule.</i> horus 3, 108 (1986)
[4]	Liese, W.: <i>Vortrag: Computereinsatz zur Messdatenerfassung für blinde und sehbehinderte Schüler, BIG TECH - Elektronische Kommunikationshilfen, TU Berlin 11/86</i>
[5]	Liese, W.: <i>Computereinsatz zur Messdatenerfassung für blinde und sehbehinderte Schüler.</i> In Klaus R. Fellbaum: <i>Elektronische Kommunikationshilfen.</i> Weidler Buchverlag, S. 129-136 (1987)
[6]	Kutschera, F. (persönliche Mitteilung 8/1987)
[7]	Kutschera, F.: <i>Weltpremiere,</i> horus 4, 163 (1987)
[8]	Liese, W.; Faßbender, R. und Bender, G.: <i>Universelle Datenerfassung einzelner oder langsamer Meßwerte mit dem neuen LCD-Computermultimeter für APPLE II - Hard- und Softwarebeschreibung - Carl-Strehl-Schule, Marburg 6/88</i>

