

Computeranwendungen im Chemie- und Biologieunterricht

So wichtig eine Beurteilung des Computereinsatzes im (naturwissenschaftlichen) Unterricht unter allgemeineren Gesichtspunkten ist, etwa die Frage nach dessen qualifikatorischer Funktion oder einer wie auch immer vermittelten Vorbereitung auf Arbeitswelt und Leben in einer künftigen "Informationsgesellschaft", oder die (politische) Frage danach, ob der Gewöhnungseffekt beim Umgang mit dem Rechner überwiegt und so bloß die individuelle und gesellschaftliche Akzeptanz bzgl. der neuen Kommunikations- und Informationstechnologien gefördert und eine kritische Auseinandersetzung damit eher verhindert werden; eine Auseinandersetzung mit den möglichen inhaltlichen Anwendungs- und Einsatzbereichen wird damit nicht überflüssig. Denn so sehr eine isolierte Untersuchung etwa methodischer oder auch lernpsychologischer Aspekte zu kurz greift, so wenig überzeugend sind für viele der betroffenen Fachlehrer die möglichen Antworten auf die allgemeineren Fragen, wie, begründet sie auch sein mögen.

Im Rahmen der Tagung „Computer und naturwissenschaftlicher Unterricht“ wurden daher zwei Arbeitsgruppen eingerichtet, in denen die Teilnehmer Gelegenheit haben sollten, an charakteristischen Anwendungsbeispielen den instrumentellen Nutzen und die verbundenen methodischen Probleme des Computereinsatzes im Unterricht fachbezogen zu diskutieren und zu bewerten.

In der Arbeitsgruppe Chemie- und Biologieunterricht standen den Teilnehmern eine Anzahl von IBM-compatiblen Personalcomputern zur Verfügung, Hartmut BOSSEL (Gesamthochschule Kassel) stellte sein Programmpaket „Umweltdynamik“ vor und der Berichterstatter ein kürzlich entwickeltes Datenerfassungs- und -auswertungsprogramm für Digitalwaagen.

Der vorliegende Bericht versucht, die Diskussionen der Teilnehmer, die sich an die praktische Auseinandersetzung mit der vorhandenen Software anschloss, zusammenfassend darzustellen.

Prinzipielle Einsatzmöglichkeiten

Als (grundsätzlich) mögliche Anwendungsgebiete wurden erörtert:

- der Einsatz des Computers zur Auswertung von Messergebnissen
- der Computer als intelligente Rechen- (und Zeichen-) maschine
- der Einsatz des Computers zur Aufnahme von Messwerten
- Computer gestütztes Experimentieren, sowie
- der Einsatz des Computers zur Modellierung stofflicher oder biologischer Systeme
- Systemanimation mit Hilfe des Computers.

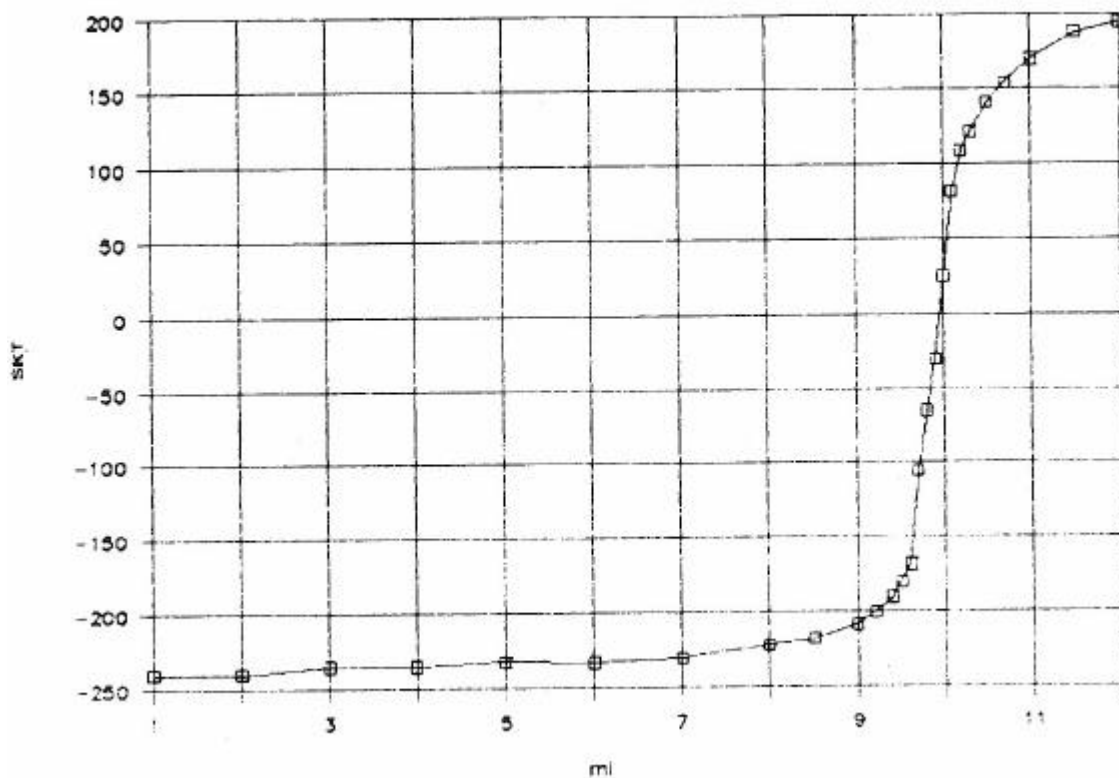
Anhand der innerhalb der Arbeitsgruppe sowie bereits vorher gewonnener Erfahrungen wurden jeweils Vor- und Nachteile dieser Möglichkeiten und deren konkrete Bedeutung für den Unterricht gegenübergestellt, sowohl hinsichtlich fachlich-inhaltlicher, (fach-)didaktischer als auch pädagogischer Aspekte.

Der Computer als intelligente Rechen-(und Zeichen-)maschine

Der Computer als Rechenmaschine steht in der Tradition der seit, langem auch in der Schule verwendeten Taschenrechner. Wurde hier dem Benutzer in der Regel nur ein Teil der Rechenarbeit abgenommen, so ergeben sich beim Einsatz von Computern verschiedenartige Möglichkeiten:

Die eleganteste Lösung vieler Auswertungsprobleme, wenigstens so lange es sich um die Ermittlung von Mittelwerten, Fehlerberechnungen o.ä. handelt, besteht darin, fertige Software zu benutzen. Entsprechende Statistikprogramm Pakete stehen in großer Zahl zur Verfügung. Die Eigenarbeit reduziert sich auf die korrekte Eingabe der betreffenden Daten bzw. Messwertpaare und die fehlerfreie Auswahl innerhalb des Programm-Menues. In einigen Fällen - einen grafikfähigen Bildschirm und einen entsprechenden Drucker oder Plotter vorausgesetzt - können auch gleich Diagramme in xy-, Balken- oder Kreisdarstellung erstellt und ausgegeben werden. Die meist schnelle Verfügbarkeit und Anschaulichkeit der Ergebnisse sind deutliche Vorteile gegenüber einer Auswertung mit Papier, Bleistift und Lineal; die zur Verfügung stehende Zeit könnte zur Auseinandersetzung mit dem Inhalt verwendet werden, anstatt sie für mühsame Rechen- und Zeichenarbeit zu ver(sch)wenden.

Neutralisationsreaktion



Problematisch erscheint dieses Vorgehen für den Unterricht allerdings in mehrerlei Hinsicht: Verloren gehen z.B. bei der automatischen Ergebnisdarstellung in einer Graphik, um beim Komfortabelsten, dem Computer als Zeichenmaschine zu beginnen, wichtige Erfahrungen die Konstruktion von Diagrammen betreffend. Die Schüler können kaum mehr nachvollziehen, welche Bedeutung die Wahl der Achsen und eines angemessenen Maßstabs besitzen. Unklar werden kann auch die Bedeutung bestimmter Ergebnisse, z.B. numerisch angegebene Vertrauensintervalle oder Standardabweichungen und Fehler. Im Unterschied dazu erfährt jemand bei der Berechnung „zu Fuß“ - etwa einer Ausgleichsgeraden und des zugehörigen Messfehlers mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate - immer noch etwas von den verwendeten Rechenvorschriften und kann sich eine Vorstellung davon

machen, auch Wenn ihn/ihr die mathematischen Grundlagen für ein Verständnis von Grund auf fehlen sollten. Auch die erwartete Zeitersparnis ist in der Praxis kaum erreichbar, bedarf der sichere Umgang auch mit den bequemsten Programmen doch immer noch einer recht langen Einarbeitungszeit.

Als Alternative zur Benutzung von Fertigsoftware bietet sich die Erstellung eigener Programme an. Der gewichtigste Vorteil solcher Programmierarbeit besteht darin, dass sie die logische Durchdringung des zu lösenden Problems zur Voraussetzung hat. D.h. der Anwender/die Schüler entwickeln bzw. bestimmen die notwendigen Algorithmen selbst und setzen sie in ein entsprechendes Computerprogramm um. Es bedarf kaum der Erwähnung, dass für diese professionelle Art der Rechnernutzung im naturwissenschaftlichen Unterricht der allgemeinbildenden Schulen weder Zeit noch inhaltlicher Raum zur Verfügung stehen, auch wenn das von zahlreichen Fachdidaktikern unterstellt wird. Noch nicht einmal das Argument der kreativen Programmierarbeit ist stimmig: Denn praktisch jede Programmiersprache verfügt über fertige Unterprozeduren, die dem Nutzer die Auseinandersetzung mit so ‚trivialen‘ Problemen wie einer Mittelwertbildung abnehmen. Wer meint, mit seinen Schülern selbst Miniprogramme entwickeln zu müssen, müsste streng genommen auch seine Reagenzgläser selbst blasen!

Computergestütztes Experimentieren

Wie bereits im Beitrag von M. BURGHEIM ausgeführt, können Computer überall dort Bedeutung für die Erfassung von Messwerten erlangen, wo Prozesse für die normale Beobachtung zu schnell oder zu langsam verlaufen oder bei der Beobachtung sehr großer oder sehr kleiner Systeme und deren Veränderungen. Computergestütztes Experimentieren in diesem Sinn bedeutet daher praktisch, ein ohnehin benutztes Messinstrument mit einem Rechner zu koppeln und einen Datenübergang zu bewerkstelligen; die - vorstellbare - Möglichkeit, den Computer auch zur Steuerung von Experimenten einzusetzen, wurde im Rahmen dieser AG nicht thematisiert, erscheint aber für den Biologie- und Chemieunterricht auch von zu vernachlässigender Bedeutung.

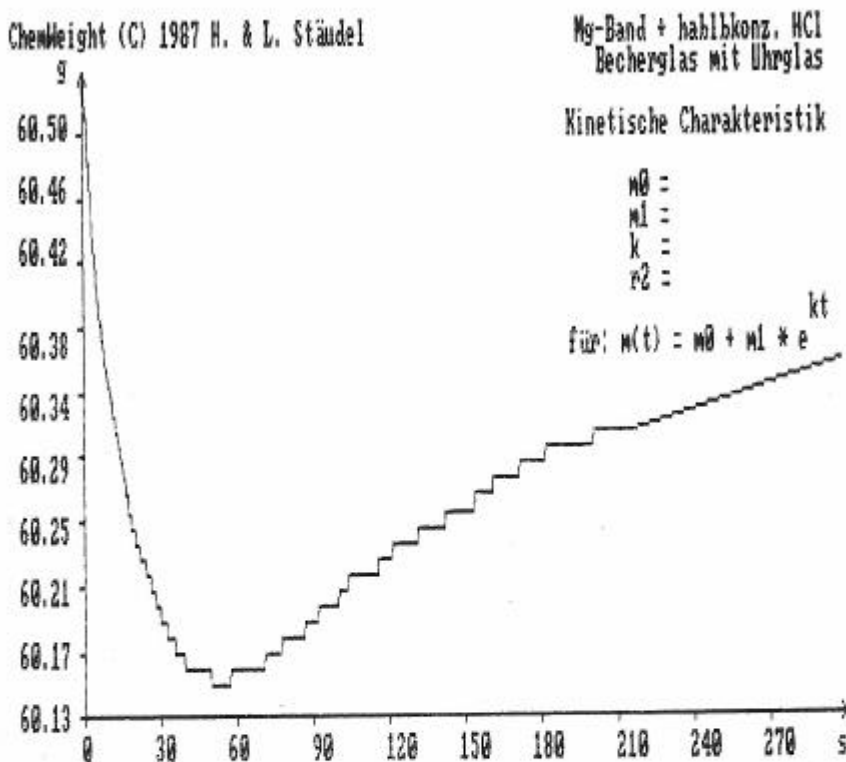
Denkbar und zum Teil bereits realisiert sind die Aufnahme von Temperatur/Zeit-Kurven, von elektrochemischen Potentialänderungen, von Leitfähigkeitsänderungen in Abhängigkeit von der Zugabe eines Reaktionspartners u.v.a.m. Wie man bereits bei dieser Aufstellung sieht, besteht in keinem Fall die ausgesprochene Notwendigkeit für eine computerisierte Datenaufnahme: Alle für den Unterricht relevanten Prozesse lassen sich auch konventionell erfassen oder entziehen sich wegen ihrer Komplexität oder wegen des notwendigen technischen Aufwands dem Zugang. Dies gilt ähnlich für das vorgestellte Programm **ChemWeight**.

Dieses Programm übernimmt von einer Digitalwaage mit entsprechendem Ausgang die zeitlich veränderlichen Werte der aufliegenden Masse. Untersucht werden können damit alle Reaktionen, bei denen Gase entstehen und entweichen oder absorbiert werden. Um eine kinetische Auswertung zu erleichtern, werden die Daten mit einer e-Funktion approximiert und die entsprechenden Kennwerte ausgegeben. Während des Versuchs läuft eine Realtimegraphik mit, am Ende wird ein Ergebnisdigramm ausgegeben, das auch ausgedruckt werden kann. Untersucht wurden praktisch die Reaktion von Marmor mit Salzsäure und die Auflösung von Brausetabletten.

Als Beispiel für ein Instant-Programm - es sind keine Vorkenntnisse nötig, die über das Einschalten des Computers, das Einlegen einer Diskette und das Anschließen einer Digitalwaage hinausgehen - macht ChemWeight mehreres deutlich: Programmtechnische Eingriffe durch Schüler oder Lehrer sind hier nicht mehr vorstellbar. Das Instrument entzieht sich bzgl. seines inneren Aufbaus dem Nutzer in noch stärkerem Maß als vergleichbare Versuchsaufbauten und muss so den Schülern als - hübsch

funktionierende - Black Box erscheinen. Für die Auswertung der Ergebnisse gilt ohne Einschränkung das oben Gesagte.

Schließlich stellt sich die (didaktische) Frage nach der Möglichkeit, die untersuchten Vorgänge aufzuhellen, und zwar möglichst besser, als dies beim herkömmlichen Experimentieren der Fall ist. Zunächst fällt auf, dass sich die Benutzer weit eher der Realtimegraphik zuwenden, als dem tatsächlichen Reaktionsgeschehen. Der Rechner hat sich quasi als zusätzliches Filter vor die Gegenstände geschoben. Vom Kurvenbild ist jedoch bemerkenswertes zu berichten: Da mit dieser Methode tatsächlich ein Realexperiment -z.B. die Auflösung von Carbonaten durch Säuren - verfolgt wird, entsprechen die erhaltenen Daten nicht den idealisierten Vorstellungen, die in den Graphiken der Lehrbücher zum Thema Reaktionskinetik zu finden sind. Je nach Vorbehandlung reagiert ein Marmorstück schneller oder langsamer mit der Salzsäure, oft ist eine Aktivierungsphase erkennbar, der eine deutliche Beschleunigung der Reaktion folgt usw. Aber auch Störeffekte treten auf; z.B. nimmt die Systemmasse bei der Entwicklung von Kohlendioxid über der Waage zunächst deutlich langsamer ab, als erwartet, da das Gas - schwerer als Luft - die im Reaktionsgefäß befindliche Luft verdrängt und so den Auftriebswert verändert. Umgekehrt führt Wasserstoffentwicklung (z.B. aus Magnesium und Schwefelsäure) zu einer rasanten Verminderung des gemessenen Gewichts, welches erst nach Reaktionsende wieder ansteigt, wenn sich aller Wasserstoff verflüchtigt hat.



Ausgewählte Meßwerte

sec	Gramm	sec	Gramm	sec	Gramm	sec	Gramm	sec	Gramm
5.0	60.42	58.4	60.16	98.9	60.20	140	60.25	180	60.29
10.4	60.34	62.4	60.16	103	60.21	144	60.26	184	60.30
15.6	60.29	66.4	60.16	107	60.22	148	60.26	189	60.30
21.4	60.24	70.4	60.16	111	60.22	152	60.26	193	60.30
26.6	60.21	74.6	60.17	115	60.22	156	60.27	197	60.30
32.0	60.19	78.6	60.18	119	60.23	160	60.27	201	60.30
37.4	60.17	82.6	60.18	123	60.24	164	60.28	205	60.31
43.0	60.16	87.0	60.18	127	60.24	168	60.28	209	60.31
48.4	60.16	91.0	60.19	132	60.24	172	60.28	213	60.31
53.6	60.15	94.9	60.20	136	60.25	176	60.29	217	60.31

Ergebnisse, dieser Art sind charakteristisch für Computer gestütztes Experimentieren. Sie schrecken interessierte Lehrer/innen möglicherweise eher ab, als dass sie sie ermutigen. Dabei könnten sie - ernst genommen - durchaus eine neue Qualität in den Umgang mit Phänomenen und den zugehörigen naturwissenschaftlichen „Gesetzmäßigkeiten“ bringen: etwa das Verständnis dafür fördern, dass eine formelmäßige Beschreibung streng nur für den in der Praxis nicht herstellbaren Fall gilt, dass alle „Störeffekte“ ausgeschaltet sind und eine biologische oder chemische Reaktion sozusagen 'nackt' abläuft. Fraglich bleibt jedoch, ob der je notwendige Aufwand und die Spezifität einer computerangepassten Untersuchungsmethode bzw. der Umfang der damit erreichbaren Gegenstände und Fragestellungen gerechtfertigt ist, oder ob Gleiches nicht auf anderem Wege leichter realisiert werden kann. Die eigentliche instrumentelle Bedeutung erlangt ein entsprechend computerisiertes (und automatisiertes) Messverfahren ohnehin erst im Rahmen von ausgedehnten Reihenuntersuchungen, wie sie für einen offenen Forschungsprozess typisch sind.

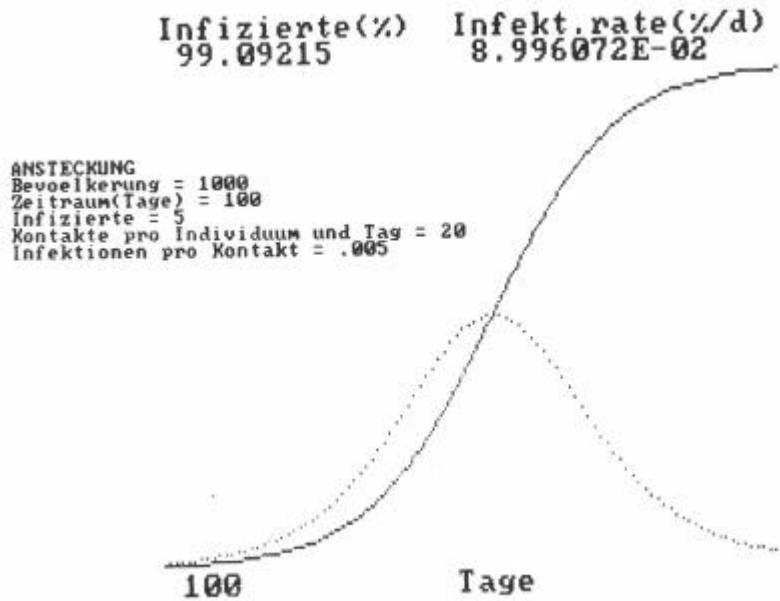
Die Herstellung von solchen Programmen als selbständiges Unterrichtsziel geht jedenfalls an der Schulpraxis vorbei, aber auch an jedem denkbaren Legitimationszusammenhang für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Letztlich sind es dann die Lehrer/innen oder allenfalls eine kleine Schülergruppe, die mit immensem Zeitaufwand etwas basteln, das den übrigen Schülern ebenso fremd bleibt, wie ein fertig gekauftes Programmpaket.

Modellbildung und Systemanalyse mit dem Computer

Dieser Anwendungsfall für den Computer erscheint vielen auf Anhieb als bestechend, können doch insbesondere dynamische Systeme ‚nachgebaut‘ und in ihrem Verhalten studiert werden. Die Reichweite der möglichen Betrachtungen lässt sich bereits am einfachen und wohl am weitesten bekannten Modell der „Räuber-Beute“-Beziehung erschließen. Zwischen Hasen und Füchsen bzw. deren relativer Anzahl und Populationsdichte gibt es regelkreisartige Rückkopplungen mit zeitlich verschobenen Minima und Maxima, bis hin zum Verschwinden, d.h. Aussterben, beider Spezies, aus Mangel an Beute oder erschöpfter pflanzlicher Ernährungsgrundlage bei Überbevölkerung oder beidem.

Das vorgestellte BOSSELSche Programmpaket „**Umweltdynamik**“ geht über dieses noch übersichtliche Nahrungsketten-System weit, hinaus. Durch Kopplung eines Arbeitsprogramms (DYSYS) mit verschiedenen Variablen- und Funktionsansätzen können insgesamt zwanzig dynamische Systeme simuliert werden, von allgemeinen Wachstumsmodellen (WACHSEN) über spezifisch ökologische (WALD, HUMUS, BAUMTOD) bis zu FORRESTERs Weltmodell (WORLD2). Es muss jedoch angemerkt werden, dass die leicht bedienbaren Programme nicht ebenso einfach in ihren Aussagen und Ergebnissen sind. Einem wenig vorbelasteten Schüler müssen die sukzessive sich entwickelnden Diagramme eher magisch erscheinen, vielleicht sogar als Abbild der realen Welt, wo doch nur die gegenseitige Beeinflussung weniger Parameter und Variablen Basis für das Systemverhalten darstellen. Die aufmerksame Durcharbeitung des Handbuchs zur Diskette hilft auch nur dem, der über eigene Erfahrungen mit der die Begrifflichkeit mathematischer Logikfunktionen und Operatoren verfügt.

Dass dieser Eindruck während der Arbeitsgruppentätigkeit weniger deutlich aufkam, lag an der prägnanten Einführung durch den Urheber des Programms selbst. In kurzer Zeit entwickelte BOSSRI, ein Wortmodell zur Beschreibung der Ausbreitung einer Krankheit am Beispiel AIDS. Dieses Wortmodell wird als Wirkungsdiagramm umgesetzt in ein Simulationsdiagramm, das bereits die grobe Struktur des anschließend zu schreibenden Rechenprogramms enthält (im Programmpaket realisiert durch die Komponente INFEKT).



Eine ähnlich elegante und einsichtige Erläuterung von einem Lehrer ohne eigene Konstruktionserfahrung mit Programmen zu erwarten wäre überzogen. Somit reduzieren sich die möglichen Erkenntnisse, je nach der Komplexität der simulierten Systeme, einerseits auf den Nachvollzug der im Modell gemachten Annahmen und andererseits auf die Analyse und Interpretation der Simulationsläufe. Deutlich werden kann,

- dass Systeme nach Phasen relativer Stabilität plötzlich schnelle Änderungen aufweisen können,
- dass ein Schwingen, für dynamische Systeme mit mehreren Variablen praktisch allfällig, unter gewissen Bedingungen leicht zum Zusammenbruch des Systems führen kann,
- dass in vielen Fällen eine genaue Kenntnis der Datenlage nicht erforderlich ist, um strukturelle Aussagen über ein dynamisches System erhalten zu können, und
- dass es keineswegs ausreichend ist, die unmittelbaren Wirkungen eines Systemeingriffs zu betrachten, besonders bei so komplexen Systemen, wie etwa die Ökosphäre eines darstellt.

Sowohl im Biologie- als auch im Chemieunterricht gibt es zahlreiche Anwendungsfelder für eine entsprechende Betrachtungsweise; problematisch ist wiederum das Verhältnis von Inhalten, Zielen und Gegenständen zum Instrument. Eine vorsichtige Bewertung ist nicht nur deshalb angebracht, weil die verwendeten Rechenverfahren umstritten sind: Denn interessante Modellentwicklungen und Systemsimulationen - ob von pulsierenden chemischen Reaktionen oder ökologischen Biotopen - vermitteln immanent leicht das Gefühl, die Naturwissenschaften vermöchten am Ende doch die totale Kontrolle über ihre Errungenschaften und deren Folgen zu erlangen, es bedürfte nur- der Mittel.

Anmerkung:

Die xy-Graphik zur Neutralisationstattration auf Seite 77 wurde mit dem Graphikprogramm Lotus 1-2-3 erstellt.

Die ausführliche Anleitung und Beschreibung des Programmpakets "Umweltdynamik" von H. BOSSEL ist 1985 im te-wi Verlag (München) erschienen; dort sind auch Programm-Disketten für verschiedene Rechnertypen erhältlich.

Das Programm ChemWeight ist beim Berichterstatter (Lutz Stäudel, Gesamthochschule Kassel FB 19, Postfach, 34123 Kassel) erhältlich.