

Unsere Blindenschrift

Dr. Werner Liese

Formeln und Gleichungen am PC: LiTeX stellt umfassende Möglichkeiten für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht mit Blinden und Sehbehinderten bereit

Meinem verehrten Lehrer,
Herrn Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. Kurt Dehnicke,
FB Chemie der Philipps-Universität Marburg,
zum 75. Geburtstag
gewidmet

1 Einleitung

Das Schreiben mathematischer Formeln und Gleichungen am PC im Unterricht mit blinden und sehbehinderten Schülerinnen und Schülern ist in mehreren grundlegenden Publikationen



Der Autor bei einem Versuch.

[1,2,3,4] ausführlich beschrieben worden. Derzeit können im Wesentlichen zwei Systeme benutzt werden. Neben LaTeX, einem Satzprogramm, das vorwiegend zum Schreiben von wissenschaftlichen Druckvorlagen dient, kommt die neu entwickelte Formelvorgabe LiTeX, die eigens für Blinde und Sehbehinderte erstellt wurde, vermehrt zum Einsatz. Ferner gibt es neuerdings noch das Lambda-Projekt, das vorwiegend den Bereich mathematischer Formeln abdeckt [5,6]. In dieser Arbeit soll nur die Weiterentwicklung des auf MS-Word™ basierenden Formelprogramms LiTeX beschrieben werden, da die Gründe für die Entwicklung dieser Dokumentvorlage [7,8,9] bereits publiziert wurden. Speziell für den Einsatz im Chemieunterricht soll allerdings eine direkte Gegenüberstellung mit LaTeX erfolgen, um zu zeigen, dass die voreilige Annahme, man könne mit diesem System zu einer einheitlichen Linie im gesamten Bereich von Mathematik und Naturwissenschaften kommen, nicht ohne Probleme ist.

Zu den bedeutendsten Neuerungen im Programm LiTeX sollen im vorliegenden Bericht die Formularmasken, die Bereitstellung von Schlagwortkatalogen, die Entwicklung eines eigenen Zeichensatzes, der problemlose Austausch von Formeldateien blinder und sehender Anwender sowie die Implementierung eines Konverters von LaTeX nach LiTeX näher

beleuchtet werden. Darüber hinaus soll ausführlich über die Erstellung von chemischen Strukturformeln, einem Bereich, der Blinden bisher völlig verschlossen war, berichtet werden. Ferner konnten spezielle Symbolleisten für Mausanwender, eine automatische Speichereinrichtung sowie hilfreiche Vergrößerungsfunktionen und ein komfortables Klausurformular bereitgestellt werden. Das Programm, das ca. 400 Makrofunktionen, mehr als 300 Schlagwörter im LiTeX- und ca. 100 Einträge im LaTeX-Katalog sowie mehr als 120 Shortcuts und einen Hilfetext mit ca. 130 Seiten zur Verfügung stellt, gehört inzwischen zu den leistungsfähigsten Hilfsmitteln im gesamten Bereich des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts. Neben den reinen Schreibfunktionen stellt das Programm auch noch einen schnellen Start des Windows™-Rechners sowie des neu entwickelten Termevaluators bereit [16]. Schließlich soll auch noch die Möglichkeit, Punkschrifttexte aus den Formeldateien vorzubereiten, nicht unerwähnt bleiben. Mehrere Tabellen und ein neues, für Blinde und Sehbehinderte optimiertes Periodensystem, runden das umfangreiche Programmpaket ab. Es wurde in VBA 5 und VBA 6 (Visual-Basic for Applications) für MS-Word™ 97 bis MS-Word™ 2003 in den Jahren 2001 bis 2006 erstellt und intensiv im Unterricht der Jahrgangsstufen 8 bis 13 eingesetzt und getestet. Im Herbst 2005 konnte das Programm im neu eingerichteten „Chemikum“ am Fachbereich Chemie der Marburger Philipps-Universität einer breiten Öffentlichkeit gezeigt werden, da es sich nicht nur für Sehgeschädigte gut eignet, sondern für alle Anwender, die Formeln in MS-Word™ schreiben wollen [10].

2 Grundlegende Funktionen des Programms

2.1 Sonderzeichen

Sowohl im Fach Mathematik als auch in den Fächern Biologie, Chemie und Physik müssen häufig Sonderzeichen in den Text eingefügt werden. Die Zeichen werden nach Aufruf entweder aus den vorhandenen

Schriftarten oder aus der neu erstellten Datei „LiTeX.ttf“ (ca. 100 Spezialsymbole) entnommen.

2.1.1 Sonderzeichen für Sehende

Sehende laden die Sonderzeichen entweder aus dem neu entwickelten Schlagwortkatalog (siehe Kapitel 3.3) oder per Mausklick über die LiTeX-Symboleiste [Bild 2.1], die ihnen dann weitere Symbolleisten (Bindungen und Symbole) zur Verfügung stellt:

Beispiele:

\bar{O} , \vec{B} , \leftrightarrow , \parallel , \perp , $\underline{\Sigma}$, $\%$, \cong , \rightarrow , \mathbb{R} , $^{-}$, \vec{a} , \oplus

Insgesamt stehen weit über 150 Zeichen per Mausklick oder aus dem Katalog zur Verfügung.



Bild 2.1: Die LiteX-Symboleiste

2.1.2 Sonderzeichen für Blinde

Blinde Anwender können ebenfalls mit einem eigens für diese Anwendergruppe konzipierten Schlagwortkatalog [siehe Kap. 3.3.2] oder über Menüeinträge [Kap. 3.2] auf den gleichen Bestand an Sonderzeichen zurückgreifen, wie sie auch Sehenden zur Verfügung stehen. Alle Zeichen liegen in einer speziellen, mit den Hilfsmitteln problemlos zu erfassenden deutschsprachigen Symbolik vor. Als Beispiele sollen hier die als „Sonderzeichen-Wörter“ vorliegenden griechischen Buchstaben '#Omega' und '#theta' dienen, die nach Wandlung und Druck die Zeichen Ω und θ ergeben. Ebenso liefert die Zeichenfolge '#es existiert ein' das im Fach Mathematik benötigte Mengensymbol \in . Diese einfache, in normaler Formelsprache ausgeführte Programmierung, ermöglicht es einem blinden Anwender, Sonderzeichen, die mit anderen Techniken kaum oder gar nicht darstellbar sind, in derselben Weise zu benutzen wie ein Sehender.

2.2 Feldfunktionen

Die so genannten Feldfunktionen von Word™ sind wichtige Elemente in der Textverarbeitung. Mit ihrer Hilfe lassen sich viele Aufgaben wie z. B. das Setzen von Seitenzahlen, das aktuelle Datum usw. ausführen. Für die Erstellung von Formeln sind sie unverzichtbar.

Jaws™: „Formelfeld Wurzel aus 25 und Formelfeld Bruch 4 Semikolon 5“

$$\{EQ \ r(25)\} \rightarrow \sqrt{25} \quad \{EQ \ f(4;5)\} \rightarrow \frac{4}{5} \quad (2.1)$$

Nach Einstellen des Cursors in die Feldklammern der gezeigten Beispiele betätigt man die Word™-eigene Tastenkombination [Shift][F9] und erhält somit die flächige Darstellung obiger Beispiele.

3 Die schnelle Erstellung von Formeln und Gleichungen

3.1 Shortcuts

Zum schnellen Mitschreiben im Unterricht ist es unerlässlich, einen direkten Zugriff auf wichtige Befehle und Funktionen zu haben. Mit mehr als 120 Shortcuts ist es geübten Anwendern möglich, nahezu in „Echtzeit“ Formeln und Gleichungen darzustellen. Bei der Erstellung der Shortcuts wurde verstärkt darauf geachtet, „Eselsbrücken“ für die wichtigsten Kürzel zu erhalten. Mit der Kombination [Alt][S][B] kann man z. B. einen Bruch und mit [Alt][S][W] eine Quadratwurzel erzeugen, wie Gl. (2.1) zeigt.

3.2 Menü-Einträge

Die vom LiTeX-Hauptmenü (in der LiTeX-Symboleiste) aus erreichbaren Untermenüs dienen eher nur einer Orientierung über die vielfältigen Möglichkeiten, die das umfangreiche Programm bietet. Wegen der vielen Einträge und der damit verbundenen Verschachtelung der Menüs ist es insbesondere für Blinde fast unmöglich, ein angemessenes Arbeitstempo zu erreichen, sodass hier besser die in Kapitel 3.3 beschriebenen Möglichkeiten zur Anwendung kommen sollten.

3.3 Direkt und indirekt arbeitende Kataloge

3.3.1 Katalog für Anwender mit Bildschirm

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 beschrieben, stellt LiTeX zwei Schlagwort-Kataloge zur Verfügung. Im „direkt“ arbeitenden Katalog für sehende Anwender, können alle Funktionen und Sonderzeichen durch Eingabe von Schlagwörtern schnell und komfortabel gesucht werden. Die Sonderzeichen erscheinen direkt auf dem Bildschirm.

3.3.2 Katalog für Anwender ohne Bildschirm

Für Anwender, die ohne Bildschirm, d.h. mit Braillezeile und Sprachausgabe arbeiten, steht ein fast identischer, „indirekter“ Katalog zur Verfügung. Spe-

ziell bei den Sonderzeichen werden hier „Sonderzeichen-Wörter“ (siehe auch Kapitel 2.1.2) ausgegeben. Der schnelle Aufruf beider Kataloge per Tastenkürzel ist im Unterricht das Mittel der Wahl, um die zahlreichen Funktionen, die das Formelprogramm LiTeX bereitstellt, schnell und effektiv nutzen zu können.

3.4 Die LiTeX-Formulare

Wie schon in Kapitel 2.2 kurz berichtet, stellen die Feldfunktionen in Word™ neben ihren vielfältigen Spezialaufgaben auch die Möglichkeit der Formelerstellung bereit. Da bei komplexeren Anwendungen erhebliche Anforderungen an die Darstellung solcher Funktionen gestellt werden, lag es nahe, eine starke Vereinfachung in der Eingabe vorzunehmen. Für alle schwierig zu erstellenden Feldfunktionen stehen mehr als 20 komfortable Formularmasken bereit, die nach Eingabe der notwendigen Daten in kurzer Zeit einen, mit den Hilfsmitteln leicht lesbaren, einzeiligen Formelstring ergeben, der für sehende Anwender sofort in eine flächige Darstellung gewandelt werden kann.

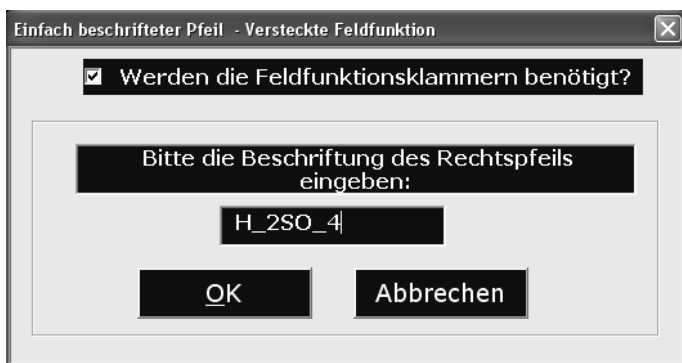


Bild 3.1: Beispiel eines LiTeX-Formulars zur Erstellung eines beschrifteten Rechtspfeils

Nach Ausfüllen der vorbereiteten Felder und anschließender Bestätigung erhält man einen String, der nach der Wandlung einen mit der Formel der Schwefelsäure beschrifteten Rechtspfeil ergibt. Um den Anwender nicht zu verwirren, werden viele, für das Verständnis nicht notwendige Zeichen „versteckt“. Der Pfeil passt sich dabei automatisch an die Textlänge an. Bei speziellen Anwendungen wie z.B. Hoch/Tief-Stellungen oder Sonderzeichen muss in den Formularfeldern die „indirekte Schreibweise“ siehe Kap. 2.1.2 angewandt werden:

vor der Wandlung: nach der Wandlung: (3.1)

{EQ r-Pfeil (H_2SO_4)} $\xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4}$

Jaws™: „Formelfeld Rechtspfeil Klammer auf H tief 2 SO tief 4 Klammer zu“

4 LiTeX-Anwendungen

4.1 Mathematik und Physik

Das Schreiben mathematischer und physikalischer Formeln am PC verlangt sehr viel Übung und Erfahrung. LiTeX unterstützt dabei den blinden und sehbehinderten Anwender in idealer Weise, da bei der Programmherstellung immer der Unterrichtseinsatz im Vordergrund stand. Der Schüler soll schnell und effektiv, mit maximaler Unterstützung durch die Software, seine Aufzeichnungen machen können. In dieser Arbeit sollen nun einige Beispiele zeigen, welche Techniken eingesetzt werden können, um einfache, aber auch komplexere Darstellungen zu verwirklichen.

4.1.1 Einfache Gleichungen und Sonderzeichen

Bei einer einfachen mathematischen Gleichung soll zunächst die Erstellung von Indizes beschrieben werden. Am berühmten „Pythagoras“ erfolgt die Hochstellung der Zeichen auf einfachste Weise:

Sehende geben zunächst die Zeichenfolge 'a2' ein und betätigen danach sofort die Tastenkombination (oben), wodurch die Hochstellung erfolgt. In gleicher Weise verfährt man bei den weiteren Komponenten der Gleichung und erhält schnell und problemlos die bekannte Gleichung:

$$\text{Pythagoras: } a^2 + b^2 = c^2 \quad (4.1)$$

Blinde Anwender setzen die bekannte „LaTeX-Notation“ und schreiben:

$$\text{Pythagoras: } a^{\wedge}2 + b^{\wedge}2 = c^{\wedge}2 \quad (4.2)$$

Durch einen leistungsfähigen Wandler wird letztere Gleichung vor dem Druckvorgang automatisch in die flächige Darstellung Gl. (4.1) umgewandelt, wobei die Eingabe des Textes unverändert bleibt. Jaws™ spricht das Hochstellungszeichen durch Installation eines speziellen Vokabulars als „hoch“ aus.

Ein weiteres Beispiel soll die Erstellung der bekannten pq-Formel zeigen. Da mehrere Ausdrücke mit Feldfunktionen (2 Brüche, 1 Wurzel) im Ausdruck vorkommen, empfiehlt es sich wegen der Übersichtlichkeit, zunächst das Formelfeld {EQ} zu setzen. Danach können alle weiteren Eingaben ohne Feldklammern gemacht werden. Die Tiefstellung wird von Sehbehinderten nach Schreiben der Zeichen 'x1,2' und anschließender Markierung von '1,2' durch Betätigung der Tastenkombination (unten) ausgeführt. Wahlweise können dann die Brüche sowie die Wurzel entweder aus dem Mathematik-Menü oder auch aus dem Katalog geholt werden. Ebenso verfährt man mit dem Sonderzeichen ' ', das unter dem

Stichwort „Plusminus“ gefunden wird. Die gesamte Eingabe des Feldes ist somit in kurzer Zeit erledigt:

Sehbehinderte:

$$\rightarrow \{EQ x_{1,2} = -\sqrt{p^2 - 4q} \quad \backslash r(\sqrt{p^2 - 4q})\} \quad (4.3)$$

Nach Umschaltung mit dem Feldschalter (Togglefunktion) **[Shift][F9]** erhält man sofort am Bildschirm die flächige Darstellung der Gleichung (4.5). Die Erstellung der Feldeingabe für blinde Anwender unterscheidet sich lediglich bei den Hoch- und Tiefstellungen sowie beim Sonderzeichen ' ', das als Zeichenfolge „#pm“ gesetzt und vom Screenreader Jaws™ „Plusminus“ gesprochen wird.

Blinde:

$$\{EQ x_{1,2} = -\sqrt{p^2 - 4q} \#pm \backslash r(\sqrt{p^2 - 4q})\} \quad (4.4)$$

Beim Ausdrucken dieser Feldeingabe erfolgt die Wandlung automatisch in die gewohnte Darstellung der pq-Formel:

$$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q} \quad (4.5)$$

Für den interessierten Leser soll hier aber auch zum Vergleich die Darstellung im LaTeX-Code gezeigt werden, der von Blinden und Sehbehinderten als „Quelltext“ eingegeben wird:

$$\{EQ x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q} \backslash pm \backslash sqrt{\frac{p^2}{4} - q} \backslash\} \quad (4.6)$$

Der gegenüber der LiTeX-Eingabe in Gl. (4.3) und (4.4) längere und mit mehr Klammern ausgestattete LaTeX-Ausdruck kann jedoch noch z.B. bei Wurzeln und Brüchen durch entsprechende, vorher festzulegende Definitionen, unter Einbindung einer speziellen Datei um einige Zeichen abgekürzt werden [21].

$$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

Bild 4.1: LaTeX-Darstellung der pq-Formel

Zweifelsohne hat die LaTeX-Darstellung nach Wandlung mit dem LaTeX-Compiler und Erstellung einer .dvi-Datei, die im Viewer „Yap“ [Bild 4.1] betrachtet werden kann, ein etwas professionelleres Aussehen. Mit wenigen Handgriffen lassen sich aber auch die Word™-Ergebnisse aus Gl. (4.5) durch leichte Angleichung einiger Zeichen nachformatieren, sofern dies, wie in Gl. (4.7) dargestellt, gewünscht wird.

$$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q} \quad (4.7)$$

Wie schon in diesen Gleichungen am Beispiel ' ' gezeigt wurde, müssen die am Bildschirm erscheinenden Sonderzeichen für Blinde als Code-Wörter gesetzt werden. Einige Beispiele werden in Tab. 4.1 gezeigt, wobei zusätzlich noch der LaTeX-Code zum Vergleich angeführt wird.

Symbole	LiTeX-Code	LaTeX-Code
	#es existiert ein	\exists
	#ist ungleich	\not=
	#ist Teilmenge von	\subset
	#unendlich	\infty
	#kongruent zu	\con
	#Dreieck	\triangle
	#Durchmesser	\O

Tab. 4.1: Beispiele einiger mathematischer Symbole und ihre Codierung

4.1.2 Komplexe Formeln



Durch Verschachtelung mehrerer Feldfunktionen, unter Einsatz der leicht zu bedienenden Formulare und Sonderzeichenkataloge (Tab. 4.1) mit normal-sprachlicher Codierung, lassen sich schnell und unkompliziert auch größere Formeln erstellen, wie die Beispiele (4.8) aus dem Bereich kristallographischer Berechnungen (Röntgenstrukturanalyse), aus der analytischen Geometrie und aus der Integralrechnung zeigen. Selbst schwierige wissenschaftliche Anwendungen lassen sich mit dieser Technik direkt in Word™ ausführen, ohne z.B. den bekannten Formeleditor von Windows™ und andere Systeme wie Mathtype™ [14] einsetzen zu müssen.

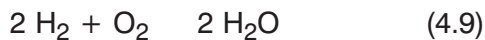
$$wR = \frac{\sum_{hkl} \Delta_1^2}{\sum_{hkl} F_0^2} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} \quad n \xrightarrow{\lim} \infty \int_1^{\infty} \frac{1}{\sqrt{x}} dx \quad (4.8)$$

4.2 Chemie

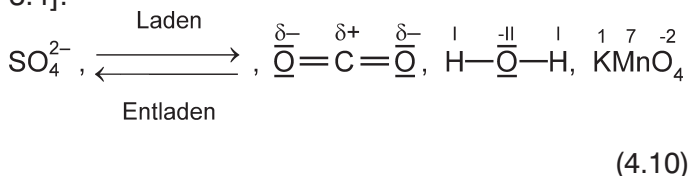
Auch im Fach Chemie sind beim Aufzeichnen und Bearbeiten von Texten zahlreiche Formeln und Gleichungen einzufügen. Im Gegensatz zu mathematischen Formeln, die fast immer außerhalb von fließenden Texten eingesetzt werden, findet man hier oft zahlreiche Formeln innerhalb normaler Textzeilen. Dies zeigen folgende Beispiele: „Die H₃O⁺-Ionen“, „das Uran-Isotop ²³⁵U“, „für die Summenformel-erstellung der Alkane wird die allgemeine Formel C_nH_{2n+2} benötigt“.

4.2.1 Reaktionsgleichungen und Lewis-Symbole

Einfache Reaktionsgleichungen benötigen meist nur Hoch- und Tiefstellungen sowie einen Reaktionspfeil. Die Erstellung erfolgt durch Sehende mit einfachen Shortcuts wie  für Tiefstellen (unten) und  (Pfeil rechts).



Bei komplexeren Gleichungen werden häufig beschriftete Pfeile und Spezialsymbole mit Elektronenpaaren (Lewis-Symbole) und darüber gesetzten Ladungssymbolen (Partiellladungen) sowie Oxidationszahlen benötigt. Die Erstellung erfolgt auf einfache Weise mit den erwähnten LiTeX-Formularen [siehe 3.4].



Dies ist für den Unterrichtseinsatz eine große Herausforderung an die Software, da Sehbehinderte ihre Formelausdrücke aus didaktischen und wahrnehmungspsychologischen Gründen direkt betrachten müssen, weil die Schreibweise in den Lehrbüchern, in den Arbeitsblättern und Heften sowie auf der Tafel unbedingt der Schreibweise am PC entsprechen sollte. Blinde schreiben dagegen alle Formeln einzilig, da flächige Konstrukte von den üblichen Hilfsmitteln wie Sprachausgaben und Braillezeilen bekanntlich nicht gelesen werden können [8,9].

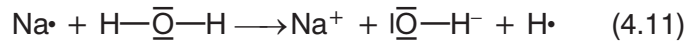
4.2.2 Ein einheitliches Schreibsystem auf dem Prüfstand

Vor und teilweise auch noch während der Entwicklung von LiTeX waren einige Pädagogen der Meinung, man könne alle mathematisch-naturwissenschaftlichen Ausdrücke problemlos mit LaTeX erzeugen, das im Fach Mathematik an mehreren Institutionen benutzt wird. Wie in der Einleitung bereits erwähnt, versuchte man zu einer Vereinheitlichung der Schriftsysteme am PC zu kommen, die grundsätzlich zu begrüßen ist, wenn die Voraussetzungen dafür geschaffen sind. In einer Empfehlung der Leiterinnen und Leiter der Blinden- und Sehbehindertenschulen wurde u.a. dargelegt, dass die Schüler über ausreichende Kenntnisse in LaTeX bis zum Ende der Sekundarstufe I verfügen müssen [11]. Die Forderung, alle Formeln und Gleichungen ausschließlich mit einem einzigen Programm, nämlich LaTeX, auszuführen, wurde auf der LaTeX-Tagung des VBS (AGs Braille, EDV, Integration) in Marburg im Frühjahr 2002

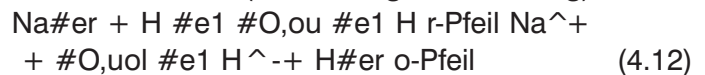
besonders deutlich [12]. Für diesen Zweck wurden eigens Foren im Internet eingerichtet [13,15]. Im vorliegenden Bericht soll an einem Beispiel der Unterrichtspraxis eine direkte Gegenüberstellung beider Schreibsysteme gezeigt werden:

In der Sekundarstufe I soll die Umsetzung von Natrium mit Wasser in der Lewis-Schreibweise dargestellt werden:

Sehbehinderte schreiben
(mit Katalogunterstützung):



Blinde schreiben (mit Katalogunterstützung):



Wie bereits erwähnt, werden durch ein für LiTeX eigens erstelltes spezielles Vokabular, die einzelnen Symbole von Jaws™ ausführlich gesprochen, eine einzigartige Hilfe, um solche komplexen Sachverhalte kontrollieren zu können. Diese Technik funktioniert jedoch nur nach Initialisierung des Sprechens einer ganzen Zeile.

Jaws™ spricht Gl. (4.12) :

„Na-Radikalpunkt-plus H-Einfachbindung-waagrecht-Sauerstoff-Elektronenpaare-oben-und-unten-Einfachbindung-waagrecht-H-Rechtspfeil-Na-hoch-plus--plus-Sauerstoff-Elektronenpaare oben-unten-links-Einfachbindung-waagrecht-H-hoch-minus-plus-H-Radikalpunkt-Pfeil nach oben“

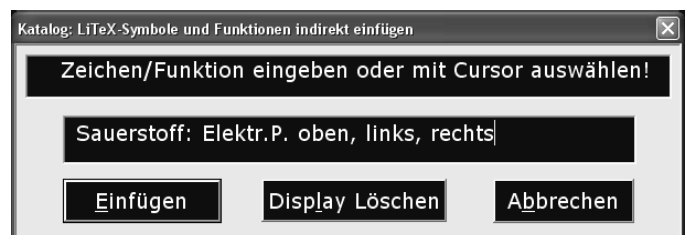


Bild 4.1: Katalog-Maske für "indirekte" Darstellung

Sehbehinderte und Blinde sollen diese Gleichung mit LaTeX darstellen. In den bisher in der Sehgeschädigten-Pädagogik eingesetzten LaTeX-Dokumentvorlagen für MS-Word™ zur Erstellung des LaTeX-Codes sind dazu keine bekannten Möglichkeiten vorhanden [18,21].

Wie auch bei allen anderen hier dargestellten Beispielen ist es natürlich für einen LaTeX-Spezialisten grundsätzlich möglich, die oben dargestellten Symbole zu erzeugen. Der dann für einen Schüler auf dem Bildschirm erscheinende Code soll hier an

einem Beispiel mit dem entsprechenden LiTeX-Code verglichen werden.

LiTeX Für das Sauerstoffsymbol \bar{O} (Lewis) erhält der blinde Anwender aus dem Katalog den einfachen Code: #O,olr. Diesen String spricht Jaws™:

```
#O,olr : Sauerstoff-Elektronenpaare-oben-links-rechts.
```

Soll nun dieses in anorganischen und organischen Strukturformeln häufig gebrauchte Symbol in LaTeX dargestellt werden, so kann man dies nach Laden spezieller Chemie-Pakete wie z.B. echem.tex [17] durch Eingabe des folgenden Strings erzeugen:

LaTeX $\backslash(\vd\dd{O}\hddu{O}O\vd\dd{O}) \quad \bar{O}$ (4.13)

Hier kann man leicht erkennen, dass eine solche Codierung für blinde und sehbehinderte Schülerinnen und Schüler wegen ihrer Komplexität nicht in Frage kommen kann, zumal keine Unterstützung durch ein Jaws™-Vokabular dafür bekannt ist. Die Formelvorlage LiTeX bietet dagegen mit ihrer speziellen, stark vereinfachten, aber dennoch sehr verständlichen Symbolik zusammen mit dem erweiterten Jaws™-Vokabular einen einzigartigen Fortschritt im Bereich der Sehgeschädigtenpädagogik!

4.2.3 Strukturformeln

Im Fach Chemie müssen neben den normalen Summenformeln und den oben dargestellten Lewisformeln sehr häufig auch Strukturformeln geschrieben werden. Für diese Technik bietet LiTeX erstmals ein Verfahren, das es blinden und sehbehinderten Schülern ermöglicht, selbst Strukturformeln am PC zu entwickeln, die üblicherweise sonst nur mit komplexen und von ihnen wegen der Mausanwendung nicht bedienbaren Strukturformelprogrammen erzeugt werden können.

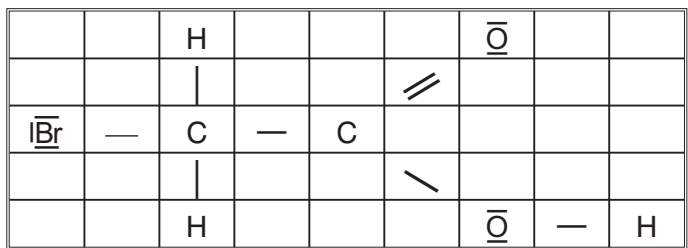


Bild 4.2: Formelerstellung für Sehende

Man startet zunächst per Tastaturkürzel oder über den Katalog ein vorgefertigtes Tabellenraster (Strukturformeltabelle) und setzt dann die gewünschten

Symbole in die entsprechenden Zellen ein. Am Beispiel der Monobromessigsäure [Bild 4.2] soll hier gezeigt werden, wie einfach es ist, eine Strukturformel mit Katalogunterstützung oder durch Anklicken einer speziellen Symbolleiste zu erzeugen. Für sehbehinderte Schüler, die mit Mausunterstützung ar-

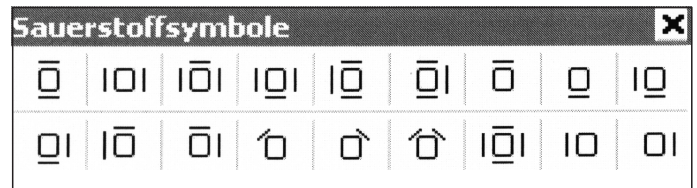


Bild 4.3: Symbolleiste zur Darstellung von Lewis-Symbolen am Beispiel des Sauerstoffatoms

beiten können, bietet die letztgenannte Arbeitstechnik eine sehr schnelle Eingabe der Zeichen. Anwender mit starker Gesichtsfeldeinschränkung können sich die Symbolleisten [Bild 4.3] auf das Hilfsraster ziehen, wodurch die Erstellung einer Strukturformel in kurzer Zeit ausgeführt werden kann.

Code	Jaws spricht:
#Br,uol	Bromatom, Elektronenpaar unten, oben, links
#O,ou	Sauerstoffatom, Elektronenpaar oben, unten
#e1	Einfachbindung (waagrecht)
#le1	Nach links zeigende Einfachbindung (-45°)
#se1	Senkrecht stehende Einfachbindung
#re2	Nach rechts zeigende Doppelbindung (+45°)

Tab. 4.2: Bedeutung der Symbole für Blinde

		H				#O,ou		
		#se1			#re2			
#Br,uol	#e1	C	#e1	C				
		#se1		#le1				
		H				#O,ou	#e1	H

Bild 4.4: Formelerstellung für Blinde

Blinde Schüler entwickeln die Formel durch Eingabe entsprechender Codes (aus dem Katalog), die für die Formel der Monobromessigsäure (Monobromethansäure) in Tab. 4.2 angegeben sind. Es gelingt sogar, aromatische Strukturen (Benzolringe) mit Hilfe spezieller Formularmasken zu erzeugen, eine Technik, die in Kursen für organische Chemie in der gymnasialen Oberstufe unverzichtbar ist. Mehr als zwanzig neue Makros stehen allein für die Tabellenbearbeitung zur Verfügung. Es lassen sich z.B. auf Wunsch alle leeren Zeilen einer Tabelle mit einem einzigen Befehl weglöschen oder eine Formel automatisch in die Zwischenablage bringen, wenn eine Struktur in

einem neuen Tabellenraster weiterverarbeitet werden soll.

Durch Start des automatischen Wandlers beim Druckvorgang erhalten blinde Schüler den gleichen Ausdruck in „Schwarzschrift“ [Bild 4.5]. Die Formel wird dabei ohne Hilfsraster ausgegeben. Es muss jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Navigation in einer Strukturformeltabelle trotz starker Erleichterungen, die LiTeX bietet, nicht einfach ist und eine hohe Konzentration erfordert. Der Einsatz einer Braillezeile ist dafür unbedingt erforderlich. Bei komplizierten Reaktionsmechanismen im Fachgebiet der organischen Chemie in den Jahrgangsstufen 12 und 13 sind auch bei dieser Arbeitstechnik irgendwann Grenzen gesetzt. Wie schon im Kapitel 4.2.1 erwähnt, gibt es zur Erstellung von Strukturformeln derzeit keine Alternative für blinde und sehbehinderte Schülerinnen und Schüler.

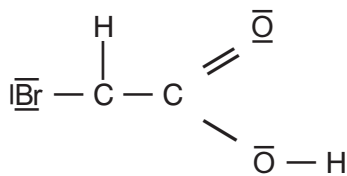


Bild 4.5: Beide Formeldarstellungen ergeben nach dem Druck das gleiche Bild in „Schwarzschrift“.

4.2.4 Ein neues Periodensystem

Da bisher die Navigation im großen Periodensystem vorwiegend blinden, aber auch stark sehbehinderten Anwendern erhebliche Schwierigkeiten bereitete, wurde in LiTeX ein neues Periodensystem zur Verfügung gestellt. Erstmals kann mit einer Suchmaske z.B. nach Haupt- und Nebengruppen, deren Namen, nach Elementen oder chemischen Symbolen sowie nach Perioden gesucht werden. Darüber hinaus kann die Position des Cursors ermittelt werden, wobei z.B. die Position in der Hauptgruppe sowie die Perioden-Nummer (Schale) angezeigt wird. Aktiviert man mit der linken Maus-Taste den ersten Buchstaben eines Elementsymbols, so wird sofort der Name des Elements angezeigt. Diese Funktion steht blinden Anwendern durch Einsatz des Jaws™-Cursors ebenfalls zur Verfügung. Es ist geplant, diese Funktion auch noch um weitere Eigenschaften wie z.B. Siedepunkt, Schmelzpunkt und Elektronegativität zu erweitern. Natürlich kann auch der Zugriff auf die zahlreichen Möglichkeiten im Internet erfolgen. Auch hier wurde das Vokabular für Jaws™ so angepasst, dass z.B. das chemische Symbol für Eisen (Fe) nicht „Fee“, sondern buchstabiert als „eff“ und „e“ gesprochen wird.

4.3 Biologie

Die im Fach Biologie vorkommenden Formeln und Gleichungen werden mit den gleichen LiTeX-Werkzeugen produziert, wie sie auch für chemische und mathematische Formeldarstellungen benötigt werden. Trotzdem sollen zwei Besonderheiten erwähnt werden:

4.3.1 Biologische Sonderzeichen

LiTeX stellt die im Fach Biologie häufig benötigten Zeichen für „männlich = ♂“ und „weiblich = ♀“ im Katalog und im Untermenü „Biologie“ zur Verfügung. Blinde Anwender erhalten diese Zeichen als „#männlich“ und „#weiblich“, die dann in bewährter Weise beim Druckvorgang in die normale Symbolik übersetzt werden. Weitere Zeichen können aus den Bereichen Chemie und Mathematik entnommen werden.

4.3.2 Mendelsche Regeln/Kreuzungsschema

Im Unterricht zeigten sich bei der Behandlung der „Mendelschen Regeln“ im Fachgebiet Genetik erhebliche schreibtechnische Schwierigkeiten bei der Darstellung von Kreuzungstabellen am PC. Dies betraf besonders blinde, aber auch hochgradig sehbehinderte Schüler mit starker Gesichtsfeldeinschränkung. Die Erstellung der Kombinationsfelder kostete soviel wertvolle Unterrichtszeit, dass die Programmierung eines eigenen Formulars dringend erforderlich wurde. Ist der biologische Hintergrund theoretisch ermittelt, können die Schüler in kurzer Zeit die Buchstabenkombinationen für Spalten und Zeilen in die vorbereiteten Felder eingeben. Die Tabelle wird dann per Knopfdruck automatisch erzeugt und kann anschließend sofort von den Schülern ausgewertet werden. Die fachliche Leistung wird durch diese starke Erleichterung in keiner Weise eingeschränkt.

5 Dateiaustausch Blinder und Sehbehinderter

Aus den bisherigen Erläuterungen konnte man erkennen, dass sehende Anwender bei den meisten Funktionen sofort ihre gewohnten flächigen Ausdrücke am Bildschirm bekommen, während blinde Anwender ihre einzeiligen Formel-Strings mit einem speziellen Druckbefehl in die normalen Formeln umsetzen, wobei der ursprünglich eingegebene Code erhalten bleibt. Dieses Verfahren hat jedoch einen Nachteil bei gleichzeitiger Beschulung von blinden und sehbehinderten Schülern.

Möchte ein blinder Schüler die flächigen Formeln und Sonderzeichen lesen, so besteht normalerweise dafür keine Möglichkeit, weil für beide Anwendergruppen kein gemeinsamer Quelltext bei der Formelentwicklung erstellt wird. Dieser unbefriedigende Zustand konnte dann nach einer aufwändigen Programmierarbeit im Oktober 2004 beseitigt werden. Mit einem einzigen Befehl ist es möglich geworden, dass blinde Anwender flächige Formelausdrücke in eine einzeilige Darstellung zurückwandeln und somit mit ihren Hilfsmitteln vollständig lesen können. Dies funktioniert natürlich nur mit Dateien, die mit LiTeX ursprünglich erzeugt wurden. Hierdurch ist nun ein vollständiger Austausch aller Dateien zwischen blinden und sehbehinderten LiTeX-Anwendern möglich. Dies ist besonders auch bei integrativer Beschulung interessant. Durch diese Rückwandlung kann ein sehender Lehrer Übungstexte und Klassenarbeiten in seiner gewohnten Formeldarstellung vorbereiten. Der blinde Schüler wandelt diese für ihn normal nicht lesbaren Dateien in wenigen Augenblicken in die einzeilige Textdarstellung um.

6 LaTeX in LiTeX

Im Gegensatz zum Fach Chemie, wo LaTeX-Codierungen das Mitschreiben im Unterricht erschweren bzw. verunmöglichen [siehe Kap. 4.2], wird im Mathematik-Unterricht einiger Schulen damit gearbeitet. Es lag daher nahe, einen LaTeX-LiTeX-Wandler zu integrieren, um auch aus diesen Codierungen auf der Word™-Ebene eine flächige Formeldarstellung zu erzeugen. Mit Hilfe dieses neuen Wandlers können LaTeX-Quelltexte importiert und sofort gewandelt werden. Dabei entstehen normale flächige Formeln, die auf Wunsch nach weiterer Wandlung [siehe Kap. 5] eine mit Braillezeile und Sprachausgabe leicht lesbare einzeilige LiTeX-Codierung (nur deutsche Code-Wörter) ergeben. Die Lesbarkeit der LaTeX-Texte, insbesondere bei neu entwickelten e-Books, wird durch diese Wandlung stark gesteigert, da die englischsprachigen Codierungen insbesondere, wenn noch Formatierungsbefehle zusätzlich vorhanden sind, den Textfluss doch stark beeinträchtigen. Beim Arbeiten mit LaTeX-Codierungen in LiTeX ist bei der Formelerstellung eine „mathematische Umgebung“ nicht erforderlich. Die Arbeitsgeschwindigkeit wird zusätzlich durch einen eigenen Befehlskatalog mit ca. 100 Befehlen und Funktionen stark gesteigert.

$$\begin{array}{l} \text{LaTeX-Code: } \frac{3}{4} \rightarrow \text{LiTeX-Ausgabe: } \frac{3}{4} \rightarrow \\ \text{LiTeX-Code: } \text{\f(3;4)} \end{array} \quad (6.1)$$

Darüber hinaus können die wichtigsten Befehle mit Shortcuts gestartet werden. Neuerdings ist es auch

möglich, den Text mit flächigen Formeln auszu-drucken und die ursprünglich eingegebene LaTeX-Codierung beizubehalten. Dies ist eine große Erleichterung für blinde Anwender, die bisher erhebliche Probleme bei der Wandlung ihrer Dateien in flächige Konstrukte bei Anwendung des LaTeX-Compilers hatten [8]. Da wegen der Word™-Oberfläche keinerlei Formatierungsbefehle für LaTeX notwendig sind, ist nur noch die Eingabe der reinen Befehle ohne „Formelumgebung“ notwendig. Langwierige Vorspanne sind somit entbehrlich geworden. Zunächst wurde angestrebt, den Bereich der Sekundarstufe I vollständig abzudecken. Aber auch für die Oberstufe stehen derzeit schon zahlreiche Möglichkeiten zur Verfügung. Anwender, die unbedingt LaTeX-Codierungen im Mathematik-Unterricht einsetzen möchten, haben mit der Formelvorlage LiTeX derzeit den leistungsfähigsten Editor, der Blinden und Sehbehinderten zur Verfügung steht.

7 LiTeX-Zubehör:

7.1 Rechner

In den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern gehört der Einsatz von Rechnern zum Handwerkszeug jedes Schülers. Hier bieten sich momentan zwei Systeme an, die kurz angesprochen werden sollen:

7.1.1 Der Windows™-Rechner

Bisher war der bekannte Windows™-Rechner, der von LiTeX aus direkt per Shortcut gestartet werden kann, sowohl in der Normalansicht wie auch in der wissenschaftlichen Darstellung stark im Einsatz, obwohl er für hochgradig Sehbehinderte und Blinde kein ideales Werkzeug darstellt. Die nicht veränderbare Oberfläche macht trotz Einsatz von Vergrößerungsprogrammen und Änderung des Hintergrundkontrastes immer wieder Probleme. Blinde können zwar per Jaws™ auf alle Funktionen des Rechners zugreifen, brauchen aber eine außerordentliche Übung, um komplexe Berechnungen mit dem wissenschaftlichen Taschenrechner auszuführen. Es war daher an der Zeit, ein für Sehgeschädigte alternativ anwendbares System, das im nächsten Kapitel beschrieben wird, zusätzlich in das Programm zu integrieren.

7.1.2 Der Termevaluator

Herr Dr. Meinhard Sponheimer, Lehrer für Mathematik und Physik an der Carl-Strehl-Schule in Marburg, stellt die von ihm programmierte Oberfläche eines neuartigen Rechners nebst einer ausführlichen Hilfe

für LiTeX zur Verfügung. Dieser, mit einem Shortcut direkt ladbare „Termevaluator“, bietet die Möglichkeit der Änderung von Schriftvergrößerung und Farbe sowie die Änderung des Formularhintergrundes. Gegenüber einem normalen Taschenrechner lassen sich ganze mathematische Ausdrücke eingeben und auf Knopfdruck berechnen. Erste Erkenntnisse aus dem Unterricht zeigen, dass dieser leicht bedienbare und zusammen mit den Hilfsmitteln einwandfrei arbeitende Rechner einen deutlichen Fortschritt für den Unterricht darstellt. Näheres wird dazu in Kürze vom Autor dieses interessanten „Gerätes“ beschrieben [16].

7.2 Automatische Speicherung

Beim Programmstart wird ein Timer angeboten, der auf Wunsch das automatische Abspeichern alle 5, 10 oder 15 Minuten durchführt. Das manuelle Speichern wird durch diese Funktion weitgehend ersetzt. Wahlweise kann in diesem Formular zusätzlich eine akustische Signalisierung ausgewählt werden. Nach Ablauf des Zeitintervalls erfolgt dann ein Signalton, der anzeigt, ob der Timer noch arbeitet. Hierdurch ist der Anwender vor drohendem Datenverlust optimal geschützt. Es muss hier dringend darauf hingewiesen werden, dass die bekannte Aktivierung zur Anlage einer automatischen Sicherungsdatei in der Registerkarte „Extras, Optionen, Speichern“ keinen normalen Speichervorgang auslöst oder ersetzt.

7.3 Schnelle Zoomeinrichtung für Sehbehinderte

Für Sehbehinderte, die ohne ein spezielles Vergrößerungsprogramm arbeiten, wird mit der Erstellung zweier Makros ein deutlicher Fortschritt in der Zoom-Einstellung erreicht. Die recht beliebte, nur in der Normalansicht verfügbare Einstellung „Text auf Fensterbreite umbrechen“ zusammen mit einem hohen Vergrößerungsfaktor, kann nun mit einem einzigen Fenster bedient werden, ohne dass man sich erst mühsam durch mehrere Menüs hindurch arbeiten muss. Per Shortcut erscheint eine Maske, die lediglich die Eingabe des Vergrößerungsfaktors (stufenlos) verlangt. Nach Bestätigung wird die Layout-Ansicht sofort in die Normalansicht geschaltet, der Vergrößerungsfaktor übernommen und die Einstellung „Text auf Fensterbreite umbrechen“ ausgewählt. Mit einem weiteren Makro wird unter Beibehaltung des Vergrößerungsfaktors in die Layout-Ansicht umgeschaltet, wodurch wertvolle Zeit gewonnen wird, da keine neuen Einstellungen mehr notwendig sind.

7.4 Das Klausurformular

Das Klausurformular stellt eine sehr große Hilfe beim Schreiben von Klausuren dar. Es wurde entwickelt, um hohe Sicherheit und Schnelligkeit beim Verfassen wichtiger Arbeiten zu erreichen. Das Formular zeichnet sich durch folgende interessante Eigenschaften und Möglichkeiten aus:

- Automatische Generierung der Kopfzeile (Name, Datum und Seitenzahlen)
- Mehrere automatische Sicherheitsvorkehrungen zum Speichern der Datei
- Zählung der Wörter mit automatischem Eintrag am Ende der Datei
- Mehrere Meldungsfenster bei Fehleingaben
- Einsatz auch in Fächern wie Deutsch, Englisch, Geschichte usw.
- Komplette Formatierung der Seite mit optimalem Zeitgewinn

7.5 Die Erstellung von Punkschrift

Da bei der Erstellung von Punkschrift die Umwandlung in eine Textdatei notwendig wird, fallen normalerweise alle mit Feldfunktionen ausgeführten Formeln automatisch weg, da die Feldklammern, die auf der Braillezeile wie normale geschweifte Klammern aussehen, als spezifische Word™-Elemente nicht direkt wandelbar sind. Dieses Problem tritt bei anderen Feldfunktionen nicht auf. Sie können mit einem einzigen Befehl von ihren Feldklammern befreit und in normalen Text umgesetzt werden. Um die Eingabedarstellung aller mit LiTeX am Computer erzeugten Formeln und Gleichungen dennoch in Punkschrift ausdrucken zu können, erweiterte Herr Dipl.-Ing. Wolfgang Hubert, Rutesheim bei Stuttgart, dankenswerterweise sein bekanntes Programm „RTFC“ um den Menüpunkt „Formeln im Klartext übernehmen“. Dieses interessante und sehr leistungsfähige Übersetzungsprogramm kopiert die Formel-Feldfunktionen und wandelt sie in normalen Text um, der dann problemlos auf einem Punkschrift-Drucker ausgegeben werden kann [20]. Inzwischen ist es aber auch direkt in LiTeX möglich geworden, mit Feldfunktionen angereicherte Texte für den Punkschriftdruck vorzubereiten. Dabei werden ähnlich wie unter RTFC die Inhalte der Feldfunktionen kopiert und die Feldklammern selbst durch normale geschweifte Klammern ersetzt. Somit können auch Anwender, die LiTeX-Formeltexte nicht mit „RTFC“ in Punkschrift umwandeln wollen, ihre Dateien in eine normale Textdatei überführen. Eine automatische Umsetzung der LiTeX-Formeln in die Marburger Mathematik-Schrift ist allerdings nicht gegeben.

8 Wie bekommt man LiTeX?

Die Formelvorlage LiTeX ist kostenlos und wird auf der Homepage des Autors zum Download angeboten (www.Werner-Liese.de). Es stehen Versionen für Word™97 und Word™2000-2003, deren Formel-Dateien untereinander kompatibel sind, mit automatischem Installationsprogramm (Install.exe) zur Verfügung. Das Programm ist nach wenigen Augenblicken und Neustart des Rechners betriebsbereit. Nach der einfach auszuführenden Installation steht die gesamte Hilfedatei (ca. 130 Seiten) unter `c:\Programme\LiTeX\LiTeXhilfen` sowohl als Word™-DOC wie auch als PDF-Datei zur Verfügung. Beide Dateien können neuerdings nach dem Download auch als Tondatei für mp3-Player seitenweise oder komplett mit exzellent klingender Sprachausgabe aus den mitgelieferten Dateien selbst erstellt werden [19]. Beide Hilfetextdateien stehen auch separat zum Download bereit.

9 Schlussbetrachtung

In der vorliegenden Arbeit konnten die vielfältigen Möglichkeiten des Formelprogramms „LiTeX“ aus Platzgründen nur ansatzweise dargestellt werden. Es wurde aber deutlich, dass es derzeit nur mit diesem umfangreichen und leicht bedienbaren Programm möglich ist, alle Darstellungen des mathematisch-naturwissenschaftlichen Aufgabenfeldes für Blinde und Sehbehinderte auszuführen. Die angestrebte Vereinheitlichung der Schriftsysteme ausschließlich mit LaTeX ist daher wegen der nicht vorhandenen Softwareanpassungen in den Editorprogrammen, insbesondere im Fach Chemie, derzeit nicht gegeben. Wer dennoch im Mathematik-Unterricht den LaTeX-Code verwenden möchte, hat zum ersten Mal mit der Formelvorlage LiTeX die Möglichkeit, ohne Formatierungsbefehle eine Wandlung in flächige Formeln durchzuführen, wobei ein gut ausgestatteter Katalog dem Anwender die Arbeit bei der Eingabe der Codes stark erleichtert.

Für zahlreiche Diskussionen und Anregungen während der Programmierphase möchte sich der Autor besonders bei den Kollegen Herrn Michael Oelmann und Herrn Dr. Meinhard Sponheimer sowie Herrn Jürgen Rupprath, Carl-Strehl-Schule in Marburg, bedanken. Der Dank gilt ebenfalls vielen Schülern und Studenten, die wertvolle Hinweise zur Verbesserung des Formelprogramms gegeben haben. Fragen zum Programm können gern auch an folgende Adresse gerichtet werden:

Dr. rer. nat. Werner Liese · Elektroniklabor
Deutsche Blindenstudienanstalt e.V.
Am Schlag 10 · 35037 Marburg
E-Mail: Blista.Liese@T-online.de

10 Literatur

- [1] Kalina, U.: LaTeX-(nicht nur) eine Lösung für das Problem sehgeschädigter Computerbenutzer, Mathematik schriftlich darzustellen, horus 3, 93 S. 108-110
- [2] Kalina, U.: Welche Mathematikschrift für Blinde soll in den Schulen benutzt werden?, Beiheft Nr. 5 der Zeitschrift blind/sehbehindert, Zeitschrift für Sehbehinderten-Pädagogik, Heft 3, S. 78-94, 1998
- [3] Meyer zu Bexten, E. und Hahn V. F.: LaTeX oder Mathematikschrift für blinde und sehbehinderte Studierende. In: blind-sehbehindert, Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen, 4/2000, S. 219-228
- [4] Herrmann, R., Oehlmann, M. und Storck, V.: LaTeX als Mathematikschrift für Blinde am PC-ein Angebot für Interessierte: blind-sehbehindert, Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen: blind-sehbehindert, Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen, 3/2003, S. 202-210
- [5] <http://www.vis.uni-stuttgart.de/~schweikh/lambda.html>
- [6] <http://www.szs.uni-karlsruhe.de/1aktuell/01-2005-lambdaworkshop/workshop.de.html>
- [7] Liese W. und Bender, G.: Leistungsfähige Computertechnik bereichert den Chemieunterricht: blind-sehbehindert, Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen 2/ 2002 S. 71-75
- [8] Liese W.: Einfache Erstellung von Formeln und Gleichungen mit LaTeX: blind-sehbehindert, Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen 1/2003, S. 31-38
- [9] Liese W.: Einfache Erstellung von Formeln und Gleichungen mit LaTeX: horus 4/2003 S. 163 -169
- [10] Liese, W.: Chemie auch für Blinde und Sehbehinderte im neu eröffneten Chemikum Marburg: horus 6, S. 298-299
- [11] Weström, M.: Bericht über die Arbeit des Arbeitskreises der Leiterinnen und Leiter von Bildungseinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte. In: blind-sehbehindert, Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen, 3/2001, S. 239-243
- [12] Informationen VBS, blind-sehbehindert, Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen 2/2002 S. 112 -113
- [13] www.braille.ch/mathe/index.html
- [14] www.mathtype.com/en/products/mathtype
- [15] <http://sform.bildung.hessen.de/sonder/blindsehbehindert/lamas>
- [16] Sponheimer, M.: in Vorbereitung
- [17] Klöckl, I.: LaTeX – Tipps und Tricks, dpunkt Verlag, 2002, S. 434
- [18] http://sonderpaedagogik.bildung.hessen.de/blind_sehbehindert/lamas/verweise
- [19] www.linguatec.de
- [20] www.rtfcd.de
- [21] http://sonderpaedagogik.bildung.hessen.de/blind_sehbehindert/lamas/material