



Dybuster

Ein multimediales Rechtschreib-Lernsystem für Legastheniker

Prof. Dr.-Ing. Markus Gross
Departement Informatik
ETH Zürich

<http://www.graphics.ethz.ch/dybuster/>

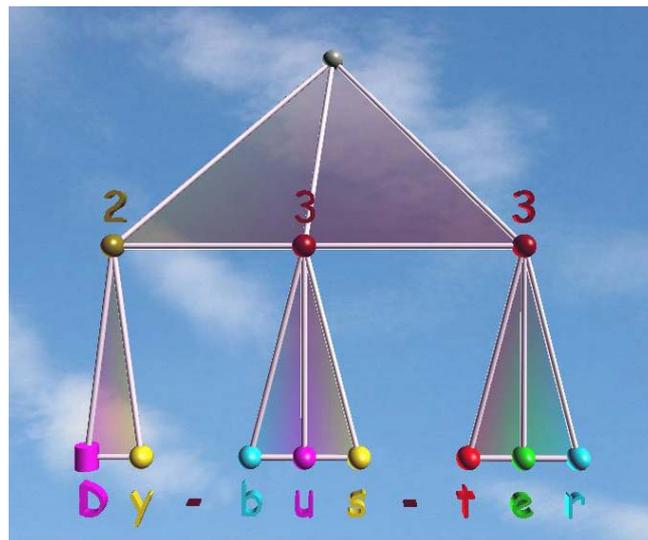


Bild 1: Wortgraph und Farbcode für das Wort „Dy-bus-ter“ in Dybuster

Einleitung

Legasthenie (Dyslexia) ist die inhärente Schwäche durchschnittlich bis überdurchschnittlich intelligenter Menschen, flüssiges Lesen und orthographisch korrektes Schreiben zu erlernen. Schätzungen gehen davon aus, dass bis zu 10 % der Bevölkerung der westlichen Welt unter verschiedenen Formen von Legasthenie leiden. Diese tritt in verschiedenen Ausprägungen und Stärkegraden auf. Trotz umfangreicher Forschungen auf dem Gebiet der Legasthenie sind deren Ursachen bis heute nicht vollständig geklärt. Sie liegen tief in der Informationsaufnahme und -speicherung des menschlichen Gehirns verborgen. Trotz der Vielfalt der vorhandenen Therapiemethoden für Legasthenie, fehlt es nach wie vor an Werkzeugen, die wirksames Rechtschreibtraining ermöglichen.

Am Departement Informatik der ETH Zürich wurde von Prof. Dr. Markus Gross in mehrjähriger, intensiver Forschung ein neuartiges, computerbasiertes Therapie- und Lernkonzept für Legasthenie entwickelt: *Dybuster*. Es basiert auf den universellen Prinzipien der Informationstheorie und des maschinellen Lernens, womit Dybuster ein mathematisches Modell für den Sprachlernprozess im menschlichen Gehirn zugrunde liegt. Im Zuge dieser Forschung werden Erkenntnisse aus der Psychologie mit wissenschaftlichen Resultaten aus der Informatik verbunden. Dieser Ansatz ist einzigartig und viel versprechend.



Das Konzept von Dybuster

Um ein möglichst effizientes Lernen zu ermöglichen, verwendet das Konzept neueste wissenschaftliche Erkenntnisse und Prinzipien aus der Informatik. Dabei nutzt Dybuster Erkenntnisse aus den folgenden Teilgebieten:

- Informationstheorie
- Codierungstheorie
- Mathematischer Statistik
- Maschinellem Lernen
- Künstlicher Intelligenz
- Linguistik
- 3D-Computergraphik und Spieltechnologie
- Psychophysik

Das Lernkonzept von Dybuster ist als Softwarepaket implementiert, welches auf einer PC-Umgebung unter MS-Windows läuft. Während Teile der Theorie vor dem Benutzer verborgen bleiben und das Programm intern optimal steuern, bestimmen andere die Darstellung der Worte auf dem Bildschirm (siehe „Funktionsprinzip“). Die Spieltechnologie wiederum spricht den Benutzer direkt an, was speziell die Lernmotivation von Kindern steigern soll. Die Leistungsmerkmale der Software umfassen weiterhin:

- Fortschrittliche dreidimensionale Computergraphik zur Wortcodierung
- Eindrucksvolle visuelle Effekte zur Erhaltung der Lernmotivation
- Klangsynthese über Midi mit mehr als 100 Instrumenten
- Datenbasis mit den 10'000 häufigsten Deutschen Wörtern (90% Wortschatz), inklusive Sprachausgabe
- Eingabe neuer Wörter mit Rechtschreibkontrolle und automatischer Silbentrennung
- Mehrsprachiger Vokabeltrainer für Deutsch, Englisch und Französisch
- Mehrbenutzersystem mit automatischer Benutzermodellierung und Login
- Wortauswahl und Lernoptimierung auf Basis der Informationstheorie

Das Funktionsprinzip von Dybuster

Information ist ein abstrakter Begriff, dessen präzise mathematische Beschreibung Gegenstand der Informationstheorie, eine der grossen Theorien der Informatik des 20. Jahrhunderts, ist. Das menschliche Gehirn nimmt Information über viele verschiedene Kanäle auf, welche in unterschiedlicher Form codiert sind. Diese Kanäle (auch cues genannt) befinden sich meist auf einer höheren semantischen Ebene und umfassen: geometrische Form, Textur, Farbe, Topologie, Phoneme, musikalische Klänge etc. sowie ihre zeitliche Änderungen. Viele dieser Kanäle werden beim klassischen Erlernen von Orthographie nicht angesprochen.

Das grundlegende Funktionsprinzip von Dybuster basiert auf der Erkenntnis, dass Legasthenie sehr oft mit einer Schwäche in der so genannten Serialwahrnehmung verbunden ist. Diese beschreibt die Fähigkeit des Gehirns, lange, zeitlich aufeinander folgende Symbolsequenzen, wie z.B. Texte, langfristig korrekt abzuspeichern. Umgekehrt zeigt sich, dass Legastheniker oft einen ausgeprägten Sinn für visuelle Reize, wie sie z.B. in Computerspielen vermittelt werden sowie Stärken bei der Erfassung geometrisch-topologischer Zusammenhänge besitzen.

Dybuster bildet nun die Symbolsequenz eines Wortes auf diese ungenutzten Informationskanäle ab. Hierbei wird der reine Text in eine geometrische Darstellung, eine topologische Darstellung, einen Farbcode sowie einen musikalischen Code



umcodiert. Dies ist in Bild 1 dargestellt. Das Wort „Dy-bus-ter“ ist als so genannter *Graph* dargestellt, wobei die Silbenstruktur deutlich wird und jedem Symbol eindeutig eine Farbe zugeordnet ist. Ferner synthetisiert Dybuster zu jedem Wort eine einfache *Wortmelodie*, einen musikalischen Code (Synthese), der sich aus Buchstaben und Silbenlänge berechnet. Zudem werden einfache Formen verwendet: Grossbuchstaben werden beispielsweise durch Zylinder von Kleinbuchstaben unterschieden, welche als Kugeln dargestellt werden. Dabei bleibt die Zuordnung der Symbole zu den Farben und Klängen für eine bestimmte Sprache immer gleich.

Die oben veranschaulichte *Recodierung* erfolgt nach den Gesetzen der Informationstheorie und verwendet die so genannte *Entropie*, den Informationsgehalt des Wortes. Diese universelle Grösse erlaubt eine statistische Messung der Information, die in Farb- Graph- und musikalischem Code enthalten ist, aber auch des Fehlerverhaltens eines Legasthenikers. Die Recodierung in Dybuster ist entropieneutral, d.h. es wird keine zusätzliche Information erzeugt, sondern die Wortinformation lediglich umgewandelt, so dass sie über andere Informationskanäle vom Üben gelernt werden kann.

Die Berechnung der Art und Anzahl der verwendeten Farben und Töne in Dybuster sowie ihre Abbildung auf die Buchstaben des Deutschen Alphabetes ist das Resultat eines komplexen mathematischen Optimierungsprozesses und berücksichtigt folgende Aspekte:

- o Statistische Eigenschaften der Deutschen Sprache, wie z. B. relative Buchstaben- und Worthäufigkeiten
- o Minimierung der Mehrdeutigkeiten bei der Abbildung
- o „Legasthenische“ Buchstabenpaare, welche für Legastheniker besondere Schwierigkeiten darstellen, wie z. B. „d-t“, „p-b“, „a-h“ usw.
- o Informationsgehalt (Entropie)
- o Erkenntnisse aus der Wahrnehmungspsychologie und Psychophysik

Die Optimierung wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes am Labor für Graphische Datenverarbeitung der ETH Zürich durchgeführt. Ihr Ergebnis ist in Bild 2 dargestellt. So werden beispielsweise Vokale auf verschiedene Farben abgebildet. Buchstaben wie „f“ und „v“, welche von Legasthenikern oft vertauscht werden, sind in den Komplementärfarben blau und gelb dargestellt. Man verwendet für eine solche Optimierung standardisierte Sprachcorpora mit mehr als 30 Mio. Worten.

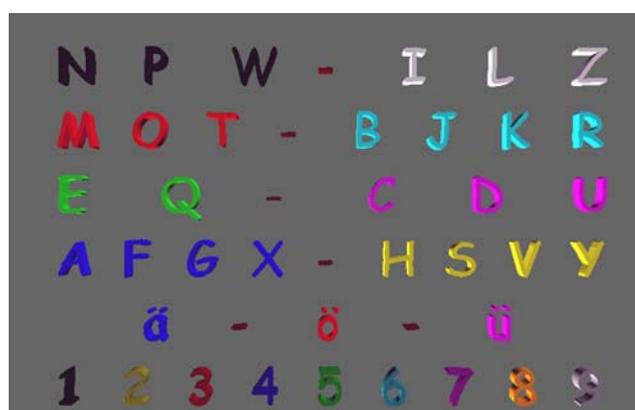


Bild 2: Resultierender Farbcode für die Deutsche Sprache

Folglich ergeben sich unterschiedliche Codes für Deutsch, Englisch und Französisch, welche im mehrsprachigen Teil der Software, dem Vokabeltrainer, enthalten sind.



Die Hypothese ist, dass durch das Ansprechen der verschiedenen Kanäle die Schwäche in der Serialwahrnehmung umgangen werden kann und dass den Legasthenikern ermöglicht wird, ihre besonderen Stärken gezielt für den Spracherwerb einzusetzen. Idealerweise sollten die in Dybuster erlernten Muster und Strukturen auch auf neue Worte übertragbar sein.

Der Lernprozess

Das Lernsystem in Dybuster umfasst einen *unüberwachten* Modus und einen *überwachten* Modus. Der unüberwachte Modus ist für die mehrsprachige Verwendung entwickelt und ermöglicht einen Betrieb als Vokabeltrainer. Der überwachte Modus repräsentiert die zentrale Komponente von Dybuster, die eigentliche Legasthenie-Therapie, und kontrolliert den Lernprozess. Dybuster kann begleitend zu weiteren Therapien eingesetzt werden und täglich für etwa 15-20 Minuten im überwachten Modus gespielt werden.

Der überwachte Modus

Im überwachten Modus kontrollieren Verfahren des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz den Lernprozess und berechnen zu jedem Zeitpunkt den optimalen, nächsten Lernschritt für den jeweiligen Benutzer. Die entsprechenden Regler verwenden eine Datenbank der 10'000 häufigsten deutschen Wörter. Das Grundkonzept der räumlich-farblich-musikalischen Recodierung von Wörtern vermittelt die Software über drei verschiedene, einfach Lernspiele:

- o das Farbspiel
- o das Graphspiel
- o das eigentliche Wortlernspiel

Ein so genanntes *Bayes-Netz* modelliert und überwacht während des gesamten Lernvorganges das Fehlerverhalten des Benutzers und ordnet jedem Eingabefehler einen Fehlertyp zu. Abhängig von der aktuellen Fehlerstatistik des Benutzers entscheidet das Netz, welches der drei Spiele für wie lange gelernt werden muss. Ebenso stellt es fest, ob die Aufmerksamkeitsspanne des Benutzers überschritten ist. In diesem Falle wird empfohlen, die aktuelle Sitzung zu beenden.

Farbspiel

Das Farbspiel dient zum Erlernen des Farbcodes. Es präsentiert dem Benutzer einzelne Buchstaben, die von ihm durch Mausklick auf den korrekten Farbknopf bestätigt werden müssen. Die Farbsättigung der Buchstaben nimmt mit zunehmendem Lernerfolg ab (d.h. die Buchstaben werden immer weisser), so dass der Benutzer zunehmend die jeweilige Buchstabenfarbe aus dem Gedächtnis assoziieren muss. Der Erfolg honoriert das System mit Punkten. Mausklicks werden von einem entsprechenden Midi-Ton eines Instrumentes der Wahl begleitet. Ein Beispiel ist in Bild 3 gezeigt.



Bild 3: Farbspiel zum Erlernen des Farbcodes in Dybuster

Graphspiel

Ebenso vermittelt ein einfaches Graphspiel das Konzept der Graphcodierung von Silben, Artikeln und Buchstaben. Dazu präsentiert das System ein getrenntes Wort aus der Datenbasis. Der Benutzer muss nun den entsprechenden Graphcode durch Mausklicks auf dem Bildschirm konstruieren und erlernt so die Silbentrennung und das Codierungsprinzip. Entsprechende Midi-Töne begleiten den Lernvorgang. Ein Beispiel für das Graphspiel zeigt Bild 4.

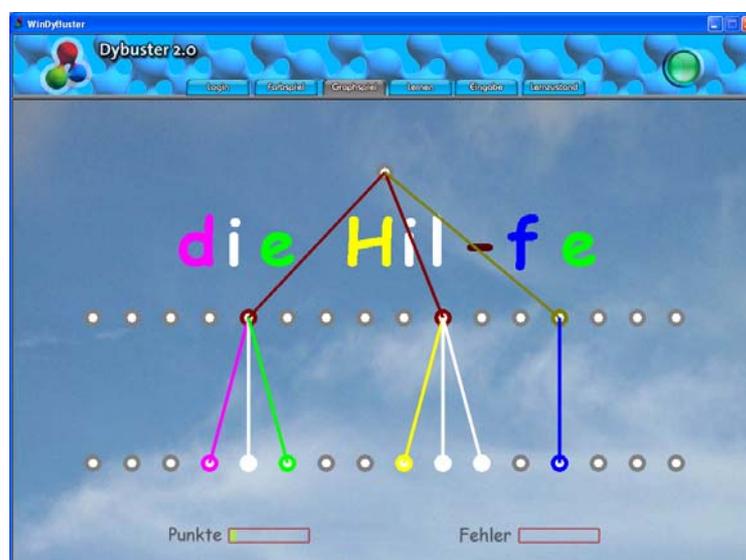


Bild 4: Graphspiel zum Erlernen des Graphcodes in Dybuster

Wortlernspiel

Das Wortlernspiel stellt die eigentliche Methode zum effizienten Erlernen der Deutschen Rechtschreibung dar. Ziel dieses Spiels ist es, die ca. 10'000 häufigsten Deutschen Wörter orthographisch korrekt zu erlernen. Hierzu ist der Lerndatensatz in Module zu je 100 Wörtern steigenden Schwierigkeitsgrades aufgeteilt. Der Schwierigkeitsgrad berechnet sich aus der Wortlänge, der Anzahl der „legasthenischen“ Buchstabenkombinationen sowie anderer Parameter. Um ein möglichst effizientes und



benutzerangepasstes Lernen zu gewährleisten, modelliert Dybuster mittels statistischer Verfahren des maschinellen Lernens das Fehlerverhalten des Benutzers und selektiert die zu lernenden Wörter und Module gemäss Fehlerwahrscheinlichkeit, Häufigkeit, Schwierigkeit, Vergessensrate und anderer Einflussfaktoren. Diese optimale Wortselektion minimiert gemäss den Gesetzen der Informationstheorie die so genannte *Fehlerentropie* des Benutzers.

Nach Auswahl des Wortes zeigt Dybuster dessen Graph- und Farbcode auf dem Bildschirm (Bild 5), spricht das vorab aufgenommene Wort vor und spielt die dazugehörige Wortmelodie ab. Diese berechnet sich aus der Tonhöhenzuordnung der Buchstaben sowie aus der Silbenlänge für die Tondauer. Nun muss der Benutzer das Wort über die Tastatur eingeben. Für jeden korrekten Buchstaben gibt es einen Punkt. Tonsignale zeigen inkorrekte Eingaben an.

Der dargestellte Graph wird dreidimensional animiert und kann vom Benutzer interaktiv manipuliert werden. Ein dreidimensionaler visueller Effekt schliesst jedes erfolgreich eingegebene Wort ab.

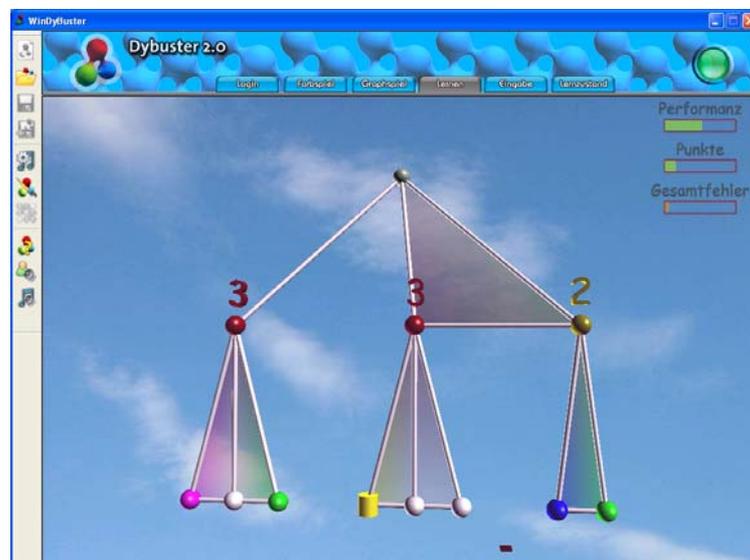


Bild 5: Das Wortlernspiel in Dybuster: Der Graph von „die Hilfe“ wird dargestellt und dreidimensional animiert.

Entsprechende Hilfsfunktionen zeigen das gesuchte Wort für kurze Zeit an oder sprechen das Wort nochmals vor und unterstützen den Benutzer in der frühen Lernphase.

Der unüberwachte Modus

Im unüberwachten Modus können neue Wortmodule erstellt, mit Spracheingaben versehen und dann gelernt werden. So können z.B. zur Vorbereitung eines Diktats die schwierigsten Wörter in Dybuster eingegeben und gezielt gelernt werden. Die Spracheingabe in Dybuster erfolgt über ein Mikrofon oder über ein Headset.

Insbesondere unterstützt Dybuster einen Mehrsprachenmodus, welcher bequemes Vokabellernen in den Sprachen Französisch, Englisch und Deutsch ermöglicht. Dazu zeigt Dybuster das gesuchte Wort in einer Sprache an und stellt den Graphen des dazugehörigen Wortes in der zweiten Sprache, wie in Bild 6 veranschaulicht, dar. Der Benutzer gibt dieses nun über die Tastatur ein.

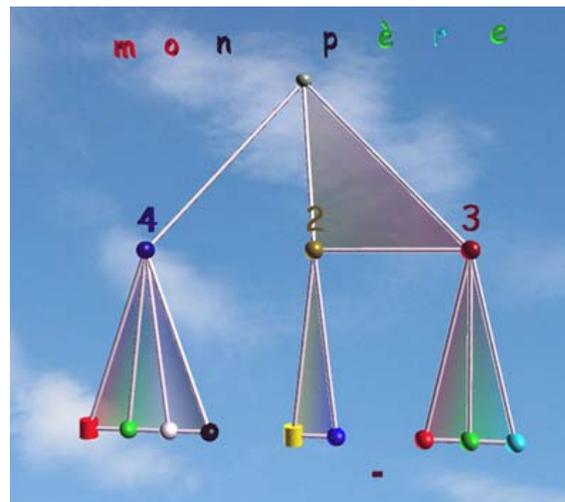


Bild 6: Dybuster im unüberwachten Mehrsprachenmodus zum Erlernen von Vokabeln.

Stand der Entwicklung

Dybuster befindet sich aktuell im Prototypenstadium. Diverse Feinabstimmungen der Software hinsichtlich Sprachausgabe, maschinelles Lernen, Benutzermodellierung und Design werden im Moment vorgenommen. Dazu werden auch Meinungen von Logopäden und Psychologen eingeholt, welche Erfahrung in der Arbeit mit legasthenischen Kindern haben.

In einem nächsten Schritt sind wir bestrebt, einen wissenschaftlichen Beweis der Wirksamkeit des Konzeptes zu erbringen. Dazu werden wir im Frühling 2006 zusammen mit unseren Kooperationspartnern vom Psychologischen Institut der Universität Zürich eine Studie mit einer grösseren Anzahl von Probanden durchführen. Um gezielte Aussagen über das Lernverhalten und den Lernerfolg zu erhalten, wird dazu die Funktionalität und der Wortumfang von Dybuster eingeschränkt.



Involvierte Personen

Prof. Dr.-Ing. Markus Gross



Prof. Dr.-Ing. Markus Gross ist Leiter des Instituts für Computational Science sowie des Labors für Graphische Datenverarbeitung am Department Informatik der ETH Zürich. Prof. Gross forscht seit fast 20 Jahren auf den Gebieten der Bildgenerierung, der Computergraphik, der Bildverarbeitung, der Modellierung und Simulation sowie der Technologie für Computerspiele. Er hat mehr als 100 internationale Veröffentlichungen geschrieben. In der jüngsten Zeit gilt sein Interesse vermehrt dem Einsatz multimedialer Technologien zur Therapie von Lernbehinderungen sowie der mathematischen Modellierung menschlichen Lernverhaltens. Er ist der Vater von Dybuster und hat selber die erste Version der Software geschrieben.

Kontaktadresse:
Prof. Dr.-Ing. Markus Gross
Departement Informatik
ETH Zentrum
CH 8092 Zürich, Schweiz
Tel: + 41 44 632 7114, 7945 (Sokr.)
FAX: +41 44 632 1596
grossm@inf.ethz.ch

Dipl. Ing. Christian Vögeli



Christian Vögeli studierte bis Herbst 2005 Informatik an der ETH Zürich. In seiner Master-Arbeit beschäftigte er sich eingehend mit dem informationstheoretischen Modell hinter Dybuster, der idealen Zuordnung der Buchstaben zu den Farben und der idealen Wortsequenz, mit der die Worte gelernt werden sollen. Im Oktober 2005 erhielt er sein Diplom mit Auszeichnung von der ETH Zürich. Er arbeitet als wissenschaftlicher Assistent in der Gruppe von Prof. Dr. Markus Gross und ist Hauptverantwortlicher und wichtigste Anlaufstelle für den experimentellen Versuch.

Kontaktadresse:
Dipl. Ing. Christian Vögeli
Departement Informatik
ETH Zentrum
CH 8092 Zürich, Schweiz
Tel: 044 632 7548
cvoegeli@inf.ethz.ch