

# Interfaces, die Schüler beim Denken unterstützen

Martin Jäger

Universität Ulm, Institut für Medieninformatik  
*Proseminar Mensch-Computer-Interaktion*  
martin.jaeger@uni-ulm.de

**Zusammenfassung** Die vorliegende Arbeit erläutert eine Studie, die verschiedene Benutzerschnittstellen auf ihre Tauglichkeit zur Unterstützung bei der Lösung von mathematischen Problemen untersucht. Somit beschäftigt sich die Ausarbeitung zu Beginn mit der „Cognitive Load Theory“, die Belastungen beim Lernen erläutert. Ferner werden Ziele der Forschungsstudie genannt, sowie Einblicke in die verwendeten Interfaces, als auch Bewertungskriterien gegeben. Nach der Vorstellung der Ergebnisse bildet eine Zusammenfassung den Schlusspunkt.

## 1 Einführung

### 1.1 Einleitung

In der heutigen Zeit nimmt die Verwendung von neuen Technologien, so auch die Benutzung von Computern, in vielen Fachbereichen immer weiter zu. In der alltäglichen Schulmathematik konnten sich moderne Techniken, wie z.B. eine digitale stiftbasierte Grafikeingabe bisher gar nicht durchsetzen. Normale Mathematikaufgaben werden üblicherweise traditionell mit Stift und Papier gelöst, was vor allem den Grund hat, dass wir es gewohnt sind, diese Technik zu verwenden. Stiftbasierte digitale Eingabemethoden oder grafische Benutzeroberflächen mit Eingabe über Tastatur und Maus sind uns bei mathematischen Problemen eher fremd, können aber durchaus einige Vorteile bieten. Die stiftbasierte grafische Eingabe ist der bekannten „Stift und Papier“-Methode natürlich sehr ähnlich und somit nicht ganz so befremdlich wie eine Eingabe über Tastatur. Grafische Interfaces mit Tastatureingabe bieten allerdings den Vorteil, dass Inhalte meist wesentlich übersichtlicher und klarer dargestellt werden. Somit bieten die sogenannten GUIs (**G**raphical **U**ser **I**nterface) eine bessere Unterstützung für sprachlichen und numerischen Inhalt. Die Eingabe von Diagrammen und Zeichnungen erweist sich jedoch über die Tastatur als schwierig und umständlich. Hier sind die digitalen, stiftbasierten Eingabemethoden wieder von Vorteil, da solche graphischen Elemente wesentlich leichter erfasst werden können.

### 1.2 Kurzzinhalt der Studie

In der Studie „Quiet Interfaces that Help Students Think“ von S. Oviatt, A. Arthur und J. Cohen [4] bekamen 20 Schüler die Aufgabe, Matheaufgaben von unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad unter Zuhilfenahme von Stift und Papier oder drei anderen Interfaces zu lösen: ein digitaler Stift und Papier, ein Tablet PC mit Stifteingabe und ein grafischer Tablet PC mit Eingabe über Tastatur und Maus oder digitalem Stift. Somit sollte also die Leistungsfähigkeit der Schüler beim Lösen von geometrischen Problemen mit unterschiedlichen Hilfsmitteln verglichen werden.

### 1.3 Cognitive Load Theory

Die Cognitive Load Theory (CLT) beschäftigt sich mit der kognitiven Belastung beim Lernen (kognitiv = [lat.]: die Erkenntnis betreffend). Es wird also beschrieben, wodurch Lernen erleichtert und erschwert werden kann. Man unterscheidet drei verschiedene Arten von kognitiver Belastung [5]:

- *intrinsische Belastung (intrinsic load)*

Die intrinsische Belastung hängt direkt vom Lernmaterial ab, d.h. mit steigendem Schwierigkeits- bzw. Komplexitätsgrad des Lernmaterials steigt auch die intrinsische Belastung an.

- *extrinsische Belastung (extraneous load)*

Diese Art der kognitiven Belastung beschreibt die Darstellung und Gestaltung des Lernmaterials. Je mehr unwichtige, überflüssige Informationen im Lernmaterial enthalten sind, desto höher ist auch die extrinsische Belastung.

- *lernbezogene Belastung (germane load)*

Die lernbezogene Belastung beschreibt den Aufwand, den der Einzelne betreiben muss, um das zu lernende Material zu verstehen. Durch Verringerung von intrinsischer und extrinsischer Belastung wird die lernbezogene Belastung gefördert, wodurch der Lernende das Lernmaterial besser in sein Arbeitsgedächtnis aufnehmen kann.

### 1.4 Ziele der Studie

Die Minimierung der kognitiven Belastung spielte auch in der hier vorliegenden Studie eine wichtige Rolle. Interfaces sollten also nicht mit Funktionen und Features überfüllt sein, sondern sich an der bisherigen Arbeitserfahrung der Schüler orientieren (Reduzierung der extrinsischen Belastung). Außerdem erhielt man durch den Versuch eine Rangliste der verwendeten Hilfsmittel und kann dadurch herausfinden, welches Interface sich am besten für den praktischen Einsatz eignet. Dazu trug die intrinsische Belastung bei, die sich in unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad in den Matheaufgaben widerspiegelte. Zusätzlich brachte der Test noch Informationen über die Unterstützung der Interfaces für begabte bzw. unbegabte Mathematiker. Aufgaben wurden in unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad, mit verschiedenen Hilfsmitteln und von unterschiedlich begabten Schülern bearbeitet. Diese realistische Einschätzung trägt später dazu bei, für alle Schülerarten die bestmögliche Unterstützung durch neue Technologien zu finden.

## 2 Rahmenbedingungen

### 2.1 Teilnehmer

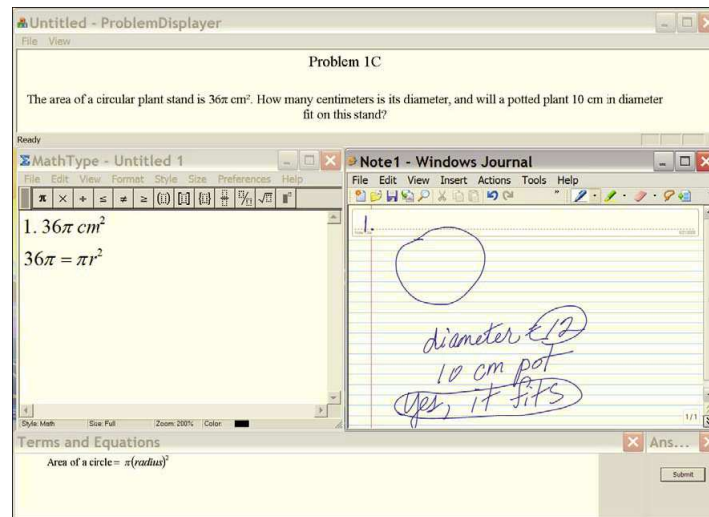
Sieben Männer und 13 Frauen, also insgesamt 20 Schüler einer High School, die alle ein Interesse an neuen Technologien hatten, nahmen als bezahlte Freiwillige teil. Elf der Schüler galten als begabte, die anderen als eher schlechte bis mittelmäßige Mathematiker. Alle hatten in ihrer Schulzeit Matheaufgaben traditionell mit Stift und Papier gelöst und waren erfahrene Nutzer von Computern mit Tastatur und Mauseingabe.

### 2.2 Schwierigkeitsgrad der Matheaufgaben

Bei den Matheaufgaben, die die Schüler zu bearbeiten hatten, handelte es sich ausschließlich um Textaufgaben, die alle geometrische Probleme veranschaulichten. Pro verwendetem Interface waren vier Aufgaben zu bearbeiten, die alle Schwierigkeitsgrade abdeckten (von einfach bis sehr schwer). Zur Lösung der Problemstellungen benötigten die Schüler sprachliche, symbolische und natürlich auch rechnerische Fähigkeiten, wobei sich sehr häufig Zeichnungen oder Diagramme als Lösung anboten.

### 2.3 Die zur Verfügung gestellten Interfaces

Die Schüler mussten je vier Aufgaben (von jedem Schwierigkeitsgrad eine) mit jedem Interface lösen. Vor der Studie wurde den Testpersonen eine Einführung in die Interfaces gegeben, so dass alle mit der Bedienung vertraut waren. Alle Eingabehilfen boten einen ähnlichen Bildschirminhalt (siehe Abb. 1). Je nach Interface standen verschiedene Funktionen zur Verfügung. Die Aufgaben wurden mit zwei papierbezogenen und zwei Tablet-Interfaces bearbeitet.



**Abbildung 1.** Bildschirmoberfläche, die die Matheaufgaben darstellt, sowie Möglichkeiten zur Eingabe bietet. Oben wird die Aufgabenstellung erläutert. „MathType“ wird für die Tastatureingabe, „Windows Journal“ für die Stifteingabe bereitgestellt [4].

**Stift und Papier (pencil and paper)** Rechenwege und Lösungen werden auf Papier notiert. Ein Bildschirm steht nur für die Aufgabenstellung zur Verfügung.

**Digitaler Stift und Papier (digital stylus and paper)** Hierbei handelt es sich um einen Stift, in dessen Spitze sich neben einer normalen Mine eine kleine Infrarotkamera befindet. Mit einem digitalen Stift wird üblicherweise auf digitales Papier geschrieben (hier wurde Papier mit der Anoto-Technologie verwendet). Anoto-basiertes digitales Papier ist normales Papier, bedruckt mit einem Punkteraster. Hierzu kann jedes beliebige Papier verwendet und mit einem üblichen Drucker bedruckt werden. Der Stift speichert dann während des Schreibens die Punktstruktur auf dem Raster mit Hilfe der Infrarotkamera [1][2].

**Tablet PC mit Stifteingabe (pen tablet interface)** Bei einem Tablet PC wird die Eingabe mit Hilfe eines Stifts direkt auf den Bildschirm geschrieben. Als Eingabemöglichkeit wurde Windows Journal angeboten (siehe Abb. 1).

**Grafischer Tablet PC (graphical tablet interface)** Die Eingabe von Lösungen wurde hier im Vergleich zur vorher genannten Möglichkeit noch um eine grafische Oberfläche, sowie um Tastatur- und Mauseingabe erweitert. Die Testpersonen konnten selbst entscheiden, was sie mit Tastatur oder mit dem Stift eingeben. In der GUI stand mit „MathType“ (siehe Abb. 1) ein einfacher Formeleditor zur Verfügung.

### 3 Testmethoden und Resultate

#### 3.1 Ablauf des Tests

Zu Beginn erhielten alle Testpersonen eine Einweisung zur richtigen Verwendung der Interfaces, um sicherzustellen, dass durch unnötige Bedienungslernphasen keine Bearbeitungszeit verloren geht. Danach bekam jeder Schüler 16 Matheaufgaben, wobei je vier in einer Interface-Umgebung zu lösen waren. Nachdem eine Aufgabe bearbeitet wurde, musste jeder Teilnehmer auf den „Submit-Button“ (siehe Abb. 1 rechts unten) klicken, um die Zeitmessung zu stoppen, die beim Erscheinen der Aufgabenstellung startete.

Alle Schüler bekamen während der Bearbeitungszeit die Anweisung, alle Gedanken, auch wenn sie überhaupt nichts mit der Aufgabe zu tun hatten, laut auszusprechen (Think Aloud Protokoll). Die mündlichen Kommentare wurden mit einem Headset – das jeder trug – aufgezeichnet und später ausgewertet.

Im Anschluss an die Haupttestphase mussten alle Teilnehmer einen Force-Choice Test ausfüllen. Dabei handelt es sich um eine Befragung mit begrenzter Antwortmöglichkeit, d.h. es muss eine von den möglichen Antworten ausgewählt werden [3]. Die Fragen des Tests bezogen sich auf die mathematischen Problemstellungen aus den vorgehenden Aufgaben. Danach musste ein weiterer Fragebogen bearbeitet werden, der sich auf die Arbeitserfahrung mit den Interfaces bezog. Die Schüler sollten eine Meinung darüber abgeben, welches Hilfsmittel sie am besten fanden und daraus eine Rangliste erstellen.

#### 3.2 Ergebnisse

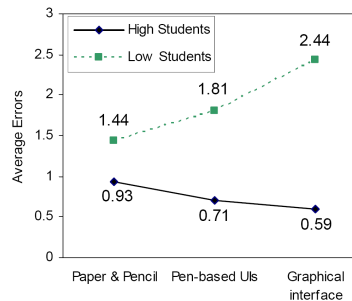


Abbildung 2. Durchschnittliche Fehler von begabten/unbegabten Schülern mit stift-basierten bzw. Tablet-Interfaces [4].

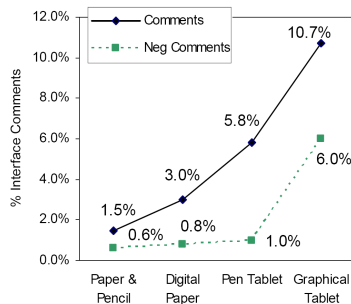
**Korrektheit der Lösungen** Auf die abgegebenen Lösungen wurden Punkte verteilt, die später für jeden Schüler aufsummiert wurden.

Mit Hilfe von „Stift und Papier“ sowie „digitalem Stift und Papier“ wurden ca. 70% aller Aufgaben richtig gelöst. Das Tablet-Interface mit Stifteingabe half den Schülern 68% der Aufgaben korrekt zu lösen. Nur 64% richtige Lösungen wurden mit dem „grafischen Tablet“ erzielt. Ein interessantes Ergebnis zeigte sich hier: Bei den eher unbegabten Mathematiker nahm die Fehlerrate von „Stift und Papier“ bis zum grafischen Tablet mit Tastatur- und Mauseingabe drastisch zu (von 64% auf 39% richtige Antworten). Begabte Schüler hatten mit der Umstellung weniger Probleme, die Fehler nahmen hin zu den Tablet-Interfaces sogar immer weiter ab (siehe Abb. 2).

**Aufmerksamkeit der Schüler** Basierend auf den Think Aloud Protokollen konnten unterschiedliche Arten von Kommentaren untersucht werden: mathematische, Interface bezogene und nicht themenbezogene Kommentare.

Bei allen Schülern nahm die durchschnittliche Anzahl von korrekten mathematischen Kommentaren von „Stift und Papier“ bis hin zum „grafischen Tablet“ konstant ab (ungefähr um die Hälfte).

Kommentare über die Interfaces wurden von schlechten, als auch von guten Schülern gleich viele abgegeben. Allerdings nahmen diese hin zum „Tablet mit Tastatureingabe“ immer mehr zu. Im Vergleich mit „Stift und Papier“ konnte ein Zuwachs von 326% hin zum stiftbasierten Tablet und 661% zum grafischen Tablet an Interface-Kommentaren festgestellt werden. Bei einer Aufteilung in positive bzw. negative Kommentare, erkennt man einen minimalen Zuwachs von negativen Interface-Kommentaren von „Stift und Papier“ zum stiftbasierten User Interface. Allerdings konnte ein signifikanter Anstieg von negativen Kommentaren bei Verwendung der GUI festgestellt werden (siehe Abb. 3).



**Abbildung 3.** Durchschnittliche Anzahl von Interface-Kommentaren von allen Schülern im Vergleich mit negativen Kommentaren über die Interfaces [4].

**Lernfähigkeit** Wie gut war das Lernvermögen mit dem jeweiligen Interface? Die Einschätzung wurde aus dem Force-Choice Test ermittelt.

Insgesamt gab es keine großen Unterschiede bezüglich der Erinnerungsfähigkeit an die mathematischen Probleme in Abhängigkeit von der Verwendung eines Interfaces. Bei schlechteren Schülern konnte man allerdings erkennen, dass die Erinnerungsfähigkeit vom verwendeten Interface abhing. Mit Hilfe der Tablet-Interfaces waren sie nicht in der Lage sich so viele Informationen zu merken, wie mit den papierbezogenen Eingabemethoden (12% weniger Lernfähigkeit bei den Tablet-Interfaces).

**Interface-Vorlieben der Testpersonen** Das „Lieblingsinterface“ eines Schülers wurde mit dem Fragebogen nach der Testphase ermittelt. Außerdem wurde ermittelt, was an einem Interface als gut, bzw. schlecht empfunden wurde.

Im Durchschnitt war „Stift und Papier“ das beliebteste Interface, danach kam der „digitale Stift“ und die Tablet-Interfaces. Auch in diesem Bereich wurde ein Unterschied zwischen den begabten und unbegabten Schülern festgestellt. 100% der guten Mathematiker würden sich im Falle einer Klausur für ein papierbezogenes Interface entscheiden. Von den unbegabten Schülern hätten sich nur 37% für ein solches entschieden. 63% der Schlechteren suchten sich die Tablet-Eingaben aus, obwohl sie mit diesen schlechtere Ergebnisse erzielten, als mit den papierbezogenen Interfaces (Performance Preference Paradox) (siehe Tab. 1).

	% richtige Antworten Papier	% richtige Antworten Tablet
schlechte Schüler	57,5%	50.0%
gute Schüler	82.5%	80.0%
	bevorzugen Papier-Interface	bevorzugen Tablet-Interface
schlechte Schüler	37,0%	63.0%
gute Schüler	100.0%	0.0%

**Tabelle 1.** Begabte Schüler entschieden sich für das Interface, mit dem sie weniger Fehler machten. Im Kontrast dazu bevorzugten unbegabte Schüler das Interface mit höheren Fehlerraten.

## 4 Zusammenfassung

Abschließend kann man sagen, dass im Schnitt mit den Interfaces die beste Leistung erzielt werden konnte, mit denen die Schüler die meiste Arbeitserfahrung hatten. Mit Stift und Papier lösten alle schon seit der Grundschule Matheaufgaben, die Verwendung eines PCs war in dem Fachbereich ungewohnt. Knapp vor dem normalen „Stift und Papier“-Interface wurden mit dem digitalen Stift am wenigsten Fehler gemacht und somit die beste Leistung erzielt. Dieses Interface brachte auch die beste Unterstützung in Geschwindigkeit, Korrektheit, Aufmerksamkeit und Lernvermögen.

Think-Aloud-Kommentare von den Testpersonen nahmen hin zum grafischen Interface immer mehr zu und auch die Leistung wurde schlechter. Dies wird auch durch die „Cognitive Load Theorie“ bestätigt, die besagt, dass die Leistung mit zunehmender extrinsischer Belastung abnimmt.

Obwohl alle Teilnehmer erfahrene GUI-Nutzer waren, stand am Ende der Studie das grafische Interface als unbeliebtestes Hilfsmittel fest. Für eine Klausur würden die meisten den digitalen Stift bevorzugen. Allerdings entschieden sich 63% der schlechteren Schüler für ein Tablet-Interface, obwohl sie damit schlechter abschnitten als mit papierbezogenen Interfaces (Performance Preference Paradox). Neue Technik bringt also nicht immer eine erhoffte Leistungssteigerung. Eine wichtige Folgerung aus dieser Studie ist somit, dass schlechtere Schüler weniger von den neuen Techniken profitieren als bessere. Im Gegenteil, ihre Leistung nimmt mit den neuen Technologien sogar noch ab, wohingegen die guten Schüler sich mit den Tablet-Interfaces im Vergleich zu Stift und Papier nicht verschlechterten. Die Wissenslücke zwischen guten und schlechten Schülern wird also nicht kleiner, sondern höchstwahrscheinlich noch größer. Zukünftige Forschung sollte ein größeres Augenmerk auf die Entwicklung stiftbasierter Technologien legen, da die Gewohnheit Stifte als Eingabe zu verwenden die Bedienung wesentlich unkomplizierter macht. Aufwendige GUIs sind ebenso unnötig wie komplizierte Eingabemethoden. Ziel muss es sein, die extrinsische Belastung weiter zu minimieren, um den Fokus der Nutzer auf dem eigentlichen Thema zu erhalten. Doch selbst das beste Interface kann dem Nutzer die nötige Denkarbeit nicht abnehmen.

## Literatur

1. Anoto. The Pen. <http://www.anoto.com/?id=908> (Zugriff: 29.05.07, 17:21 Uhr)
2. Anoto. The Paper. <http://www.anoto.com/?id=906> (Zugriff: 29.05.07, 17:30 Uhr)
3. Bauer, Eberhard. Parapsychologisches Glossar – Force Choice Test. <http://www.igpp.de/german/libarch/glossar.htm> (Zugriff: 04.05.07, 16:30 Uhr)
4. Oviatt, Sharon; Arthur, Alex; Cohen Julia. Quiet Interfaces that Help Students Think. UIST'06, October 15-18, 2006, Montreux, Switzerland, 191-200
5. Uni Bremen. Cognitive Load Theory. [http://www.ent-paed-psy.uni-bremen.de/lerntools/AG\\_2\\_WS\\_0506/Cognitive%20Load%20Theorie.html](http://www.ent-paed-psy.uni-bremen.de/lerntools/AG_2_WS_0506/Cognitive%20Load%20Theorie.html) (Zugriff: 29.05.07, 17:10 Uhr)