

# Design und Evaluation von interaktiven webbasierten Bruchrechenaufgaben

Anja Eichelmann, Lenka Schnaubert, Susanne Narciss

Institut für Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie  
Technische Universität Dresden  
01062 Dresden  
anja.eichelmann@tu-dresden.de  
lenka.schnaubert@tu-dresden.de  
susanne.narciss@tu-dresden.de

George Gogvadze, Erica Melis

Kompetenzzentrum für E-Learning  
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz  
66123 Saarbrücken  
George.Gogvadze@dfki.de  
melis@dfki.de

**Abstract:** Im Rahmen des Projektes „Adaptives tutorielles Feedback“ wurden interaktive webbasierte Aufgaben zur Bruchrechnung entwickelt und ein Interface entworfen, mit dem diese Aufgaben präsentiert werden können. Das Interface bietet neben der übersichtlichen Präsentation der Aufgaben- und Feedbackkomponenten ein interaktives Arbeitsfeld, das die Erfassung der Rechenschritte der Schüler ermöglicht. Erste Erfahrungen im Einsatz des Interface zeigen eine positive Bewertung durch die Schüler im Hinblick auf Übersichtlichkeit und Bedienbarkeit.

## 1 Problemstellung und Ziele

Im Rahmen des DFG-Projektes „Adaptives tutorielles Feedback“ (AtuF) werden die Ergebnisse empirisch psychologischer Forschung mit Erkenntnissen der Künstlichen Intelligenz verknüpft, um die internetbasierte Lernplattform ActiveMath um adaptives tutorielles Feedback zu erweitern. Zur Untersuchung der Effekte dieses adaptiven tutoriellen Feedbacks benötigt man interaktive Aufgaben. Im Gegensatz zu Testaufgaben bieten interaktive Aufgaben Interaktionsmöglichkeiten (z. B. Feedback, Lösungsbeispiele), die die Lernenden beim Lösen der Aufgabe unterstützen sollen [PKN11].

Möchte man mit Hilfe interaktiver Aufgaben Feedbackeffekte untersuchen, müssen diese Aufgaben so gestaltet sein, dass man die individuellen Schritte beim Bearbeiten der Aufgaben erfassen und protokollieren kann, um sie einerseits für die Diagnose nutzen, andererseits – ausgehend von dieser Diagnose – Feedback anbieten zu können.

Daher wurden im Rahmen des Projektes interaktive webbasierte Aufgaben zur Bruchrechnung entwickelt und ein Interface entworfen, mit dem diese Aufgaben präsentiert werden können. Grundlage für die Konstruktion der Aufgaben war der von Narciss, Proske und Kördle [NPK04] entwickelte Ansatz zur Konstruktion interaktiver Lernaufgaben. Dieser Ansatz schlägt vor, für die Konstruktion interaktiver Aufgaben vier Dimensionen zu berücksichtigen: (a) die Wissensinhalte, die Gegenstand der Aufgabe sein sollen, (b) die mit diesen Inhalten verknüpften kognitiven Operationen, (c) die formale Gestaltung (z. B. über ein Interface), in der Inhalte und Operatoren präsentiert werden und (d) die Gestaltung der Interaktivität der Aufgaben. Entsprechend dieser Dimensionen wurden psychologisch begründete Gestaltungsvorschläge entwickelt. Die technischen Voraussetzungen für die Implementierung der Aufgaben wurden am Deutschen Forschungsinstitut für Künstliche Intelligenz (DFKI) geschaffen [Gg09; GM08a; GM08b].

Ziele des vorliegenden Beitrags sind einerseits die Beschreibung des Prozesses der Aufgabenkonstruktion entlang der vier Dimensionen. Andererseits soll das für die interaktiven Lernaufgaben entwickelte Interface vorgestellt und über die Erfahrungen beim Einsatz sowie die Bewertung durch die Lernenden berichtet werden.

## **2 Auswahl von Inhalt und kognitiven Operatoren**

Für den Wissensbereich Addition von Brüchen wurde auf der Grundlage kognitiver Anforderungsanalysen und empirischer Fehleranalysen ein zweidimensionales Kompetenzmodell für die Addition von Brüchen entwickelt [Ea08; Me08]. Dieses Modell unterscheidet zwei Kategorien von Wissensinhalten (konzeptuelles Wissen zu Brüchen; prozedurales Wissen zu den Regeln bei der Addition von Brüchen) sowie sieben kognitive Operatoren (z. B. erinnern, vergleichen, repräsentieren).

Auf der Basis dieses zweidimensionalen Kompetenzmodells wurden insgesamt 91 Aufgaben entwickelt. Neben 48 herkömmlichen Rechenaufgaben (vgl. Abbildung 1) wurden auch 43 Task-With-Typical-Error-Aufgaben (Abbildung 2 und 3) konstruiert. Diese Task-With-Typical-Error-Aufgaben (TWTE-Aufgaben) sind Aufgaben, in die typische Fehler, die bei den Anforderungsbereichen auftreten, integriert sind. Sie basieren auf der Grundkonzeption, dass die Schüler zunächst den Fehler in einer Aufgabe finden müssen, bevor sie dann die Rechnung korrigieren sollen [EN09; MN06; MN09].

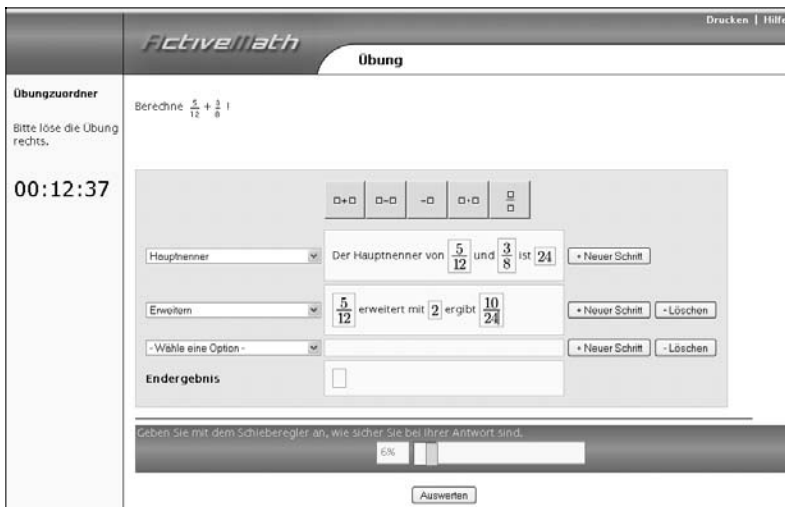


Abbildung 1: Screenshot einer herkömmlichen Rechenaufgabe

Die Aufgaben umfassen dabei mehrere Schritte. Im ersten Teil der Aufgabe werden die Schüler aufgefordert, aus der dargestellten Rechnung den Schritt auszuwählen, der einen Fehler enthält (Fehler-Finde-Teil, vgl. Abbildung 2).

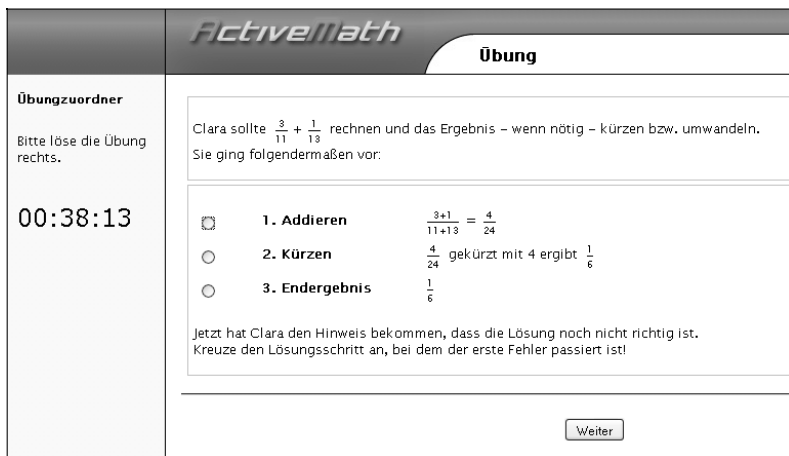


Abbildung 2: Screenshot-Ausschnitt des Fehler-Finde-Teils einer TWTE-Aufgabe

Im zweiten Teil der Aufgabe sollen sie den Fehler berichtigen, indem sie den korrekten Rechenweg angeben (Korrektur-Teil, Abbildung 3).

**Übungzuordner**  
Bitte löse die Übung rechts.

1. Addieren  $\frac{3+1}{11+13} = \frac{4}{24}$   
 2. Kürzen  $\frac{4}{24}$  gekürzt mit 4 ergibt  $\frac{1}{6}$   
 3. Endergebnis  $\frac{1}{6}$

Jetzt hat Clara den Hinweis bekommen, dass die Lösung noch nicht richtig ist. Kreuze den Lösungsschritt an, bei dem der erste Fehler passiert ist!

+ Antwort

-

Clara hat den Fehler beim Addieren gemacht. Hier siehst Du den falschen Schritt:

1. Addieren  $\frac{3+1}{11+13} = \frac{4}{24}$

Wie hätte Clara richtig vorgehen müssen? Setze ihre begonnene Rechnung mit dem richtigen Schritt im Arbeitsfeld fort!

**Aufgabe**  $\frac{3}{11} + \frac{1}{13}$

1. -Wähle eine Option -

+  -

Abbildung 3: Screenshot-Ausschnitt des Korrektur-Teils einer TWTE-Aufgabe

Für Aufgaben, die die kognitiven Operatoren „Repräsentieren“ oder „Vergleichen“ verlangten, erfolgte eine andere Aufgabendarstellung (vgl. Abbildungen 4 und 5).

**Activemath Übung**

**Übungzuordner**  
Bitte löse die Übung rechts.

Jan sollte angeben, welcher Bruchteil in der Abbildung dunkel markiert ist. Er kam auf  $\frac{2}{5}$ . Ist seine Lösung richtig?

**Nein** Jans Lösung ist falsch.  
 **Ja** Jans Lösung ist richtig.

-

Prima! Das war richtig.

Wie müsste die Lösung lauten? Gib die richtige Lösung als Ergebnis ein!

-Wähle eine Option -

+  -

Geben Sie mit dem Schieberegler an, wie sicher Sie bei Ihrer Antwort sind.

0%

Abbildung 4: Screenshot-Ausschnitt einer Aufgabe mit dem Operator „Repräsentieren“

Bei Aufgaben mit dem Operator „Repräsentieren“ müssen die Schüler im Fehler-Finde-Teil der Aufgabe entscheiden, ob die Aufgabe richtig oder falsch gelöst wurde und im zweiten Teil die korrekte Lösung angeben (Abbildung 4).

**ActiveMath** Übung

**Übungzuordner**  
Bitte löse die Übung rechts.

00:37:52

Die Schüler sollten  $\frac{6}{10}$ ,  $\frac{12}{18}$ ,  $\frac{2}{8}$  und  $\frac{5}{7}$  der Größe nach ordnen. Dabei gingen sie unterschiedlich vor:

- Christine kürzte die Brüche  $\frac{6}{10}$ ,  $\frac{12}{18}$ ,  $\frac{2}{8}$  und erhielt  $\frac{3}{5}$ ,  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{6}{7}$ .  
Dann ordnete sie die neuen Brüche nach den Zählern.
- Joachim kürzte die Brüche  $\frac{6}{10}$ ,  $\frac{12}{18}$ ,  $\frac{2}{8}$  und erhielt  $\frac{3}{5}$ ,  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{6}{7}$ .  
Dann ordnete er die neuen Brüche nach den Nennern.
- Sandra behielt die Brüche  $\frac{6}{10}$ ,  $\frac{12}{18}$ ,  $\frac{2}{8}$ ,  $\frac{5}{7}$  bei.  
Sie ordnete die Brüche nach den Nennern.
- Adrian kürzte  $\frac{12}{18}$  und erweiterte  $\frac{2}{8}$  und erhielt  $\frac{6}{10}$ ,  $\frac{6}{9}$ ,  $\frac{6}{24}$ ,  $\frac{6}{7}$ .  
Dann ordnete er die neuen Brüche nach den Nennern.

Klicke an, wer es richtig gemacht hat und trage das Ergebnis unten ein. Verwende dazu die neu errechneten Zahlen des jeweiligen Schülers.  
Die Lösung lautet:  
 <  <  <

Geben Sie mit dem Schieberegler an, wie sicher Sie bei Ihrer Antwort sind.  
0%

Weiter

Abbildung 5: Screenshot-Ausschnitt einer Aufgabe mit dem Operator „Ordnen“

Bei Aufgaben mit dem Operator „Ordnen“ wurden die beiden Aufgabenteile kombiniert, so dass in einem Schritt sowohl die Auswahl des (in diesem Fall richtigen) Lösungsweges, als auch die Eingabe der richtig geordneten Brüche verlangt wurde (Abbildung 5).

### 3 Formale und interaktive Gestaltung der Aufgaben

Für die technische Implementierung von herkömmlichen Aufgaben sowie TWTE-Aufgaben zur Addition von Brüchen wurde ein spezielles Interface benötigt, um die Bedienbarkeit und Übersichtlichkeit der Aufgaben zu bewahren. Da das Interface gleichzeitig sowohl für herkömmliche Rechenaufgaben als auch für TWTE-Aufgaben nutzbar sein sollte, wurden folgende Anforderungen an das Interface gestellt. Die Gestaltung des Interface sollte über alle Aufgaben(typen) hinweg konsistent und übersichtlich sein, indem die Elemente gleichartig aufgeteilt und angeordnet werden. Weiterhin sollten mehrschrittige Aufgaben umsetzbar sein, wobei die Aufgabenstellung, tutorielle Feedbackkomponenten und frühere Lösungsversuche jederzeit sichtbar sein sollten. Bei der Gestaltung des Interface müssen die beiden Aufgabendimensionen Präsentationsform und Interaktivität berücksichtigt werden. Das heißt, es müssen Entscheidungen getroffen werden zu den Fragen:

- In welchem Kodierungsformat und mit welchem Präsentationsmodus sollen die inhaltlichen Aufgabenelemente präsentiert werden?
- In welchem Kodierungsformat und mit welchem Präsentationsmodus soll die Eingabe der zur Lösung der Aufgabe notwendigen Arbeitsschritte implementiert werden?

- In welchem Kodierungsformat und mit welchem Präsentationsmodus sollen die interaktiven Aufgabenelemente (z. B. Feedback, tutorielle Komponenten) implementiert werden?

### **3.1 Präsentation der inhaltlichen Aufgabenelemente**

Wird die Aufgabenbearbeitung gestartet, öffnet sich die Übungsoberfläche (Abbildung 1) mit einer Aufgabe. Eine Leiste am linken Bildschirmrand beinhaltet die Arbeitsanweisungen („Bitte löse die Übung rechts“) und – sofern eingestellt – eine Anzeige der noch zur Verfügung stehenden Zeit. Im rechten Teil des Fensters wird die Aufgabe dargestellt. Bei den herkömmlichen Rechenaufgaben stehen ein spezielles Arbeitsfeld (vgl. Kap. 3.2) und ein Eingabefeld für die endgültige Lösung zur Verfügung. Nach der Bearbeitung klickt der Schüler auf den „Weiter“ Button und erhält je nach Experimentaleinstellung Feedback oder die nächste Aufgabe.

Bei den TWTE-Aufgaben wird zunächst der Fehler-Finde-Teil der Aufgabe präsentiert. Nach Bearbeitung dieser Single-Choice-Aufgabe kann über den „Weiter“ Button das Feedback angefordert werden. Die Eingabe der Antworten beim darauf folgenden Korrektur-Teil der Aufgabe erfolgt wiederum über das Arbeitsfeld. Bei fehlerhafter Eingabe ist eine Korrektur über die „Backspace“ Taste möglich. Ist die Aufgabe vollständig bearbeitet, kann über den „Weiter“ Button die Lösung abgesendet werden.

### **3.2 Implementierung der Eingabe der Arbeitsschritte**

Für die Eingabe der Rechenschritte beim Lösen der Aufgabe wurde am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken ein Arbeitsfeld (Abbildung 1) entwickelt. Dieses Arbeitsfeld bietet den Schülern die Möglichkeit, ihren gesamten Rechenweg am Computer auszuführen und einzugeben. Dadurch werden Nebenrechnungen auf dem Papier oder im Kopf verhindert und die Rechnung des Schülers sowie daraus entstehende Fehler nachvollziehbar.

Ein solches Arbeitsfeld für Bruchrechenaufgaben sollte neben der Eingabemöglichkeit für Brüche und gemischte Zahlen Bereiche bieten, in denen bruchrechenspezifische Schritte (z. B. Erweitern) ausgeführt werden können. Zur Auswahl standen verschiedene Lösungsansätze, die im Ausmaß der Offenheit variieren: a) das Anbieten einer Abfolge von „blanks“, in die die Lösung eingetragen wird, b) das Anbieten von Rechenschritten, für die sich nach der Auswahl eine Maske öffnet und c) freie Eingabe über ein Notizfeld mit Formeleditor. Variante a) bietet die besten Möglichkeiten zur Evaluierung der Eintragungen des Schülers, allerdings werden ihm Bearbeitungshinweise für die Aufgabe zur Verfügung gestellt. So stellt die Darbietung eines speziellen „blanks“ für die Eingabe einer gemischten Zahl als Lösung einen Hinweis auf die gesuchte Lösung dar. Ergebnisse in Form von ganzen Zahlen oder echten Brüchen können somit vom Schüler schnell als falsch identifiziert werden.

Die Variante c) des freien Notizfeldes kommt dem Rechnen auf Papier am nächsten, erschwert aber die Evaluierbarkeit, da aus den Eingaben der Schüler nicht nachvollzogen werden kann, welche Schritte sie geplant hatten. Bruchrechenspezifische Schritte (z. B. Erweitern) werden oft nicht gleich mathematisch dargestellt und sind daher schlecht auszuwerten.

Die Entscheidung für das entwickelte Arbeitsfeld (Variante b) wurde aufgrund der optimalen Kombination von Evaluierbarkeit, Bedienbarkeit und Offenheit getroffen. Zunächst wählt der Schüler den gewünschten Rechenschritt über ein pull down Menü aus. Je nach ausgewähltem Rechenschritt öffnet sich im Feld daneben eine Maske für die Eingabe der Zahlen. Da ein Standardbefehl für Brüche nicht existiert, wurde die Möglichkeit geschaffen, über den implementierten „Bruch“ Button oder die Tastenkombination „Shift“ und „7“ die „blanks“ einzeln in ein Eingabefeld für Brüche zu verwandeln. Bei fehlerhafter Eingabe ist eine Korrektur über die „Backspace“ Taste möglich. Je nach Länge der Aufgabe können über den „Neuer Schritt“ Button weitere benötigte Rechenschritte (z. B. Erweitern, Hauptnenner bilden, Kürzen, Primfaktorenzerlegung, Kehrwert bilden, KgV, GgT, Umwandeln) angefordert, beziehungsweise über den „Löschen“ Button wieder entfernt werden (Abbildung 6).

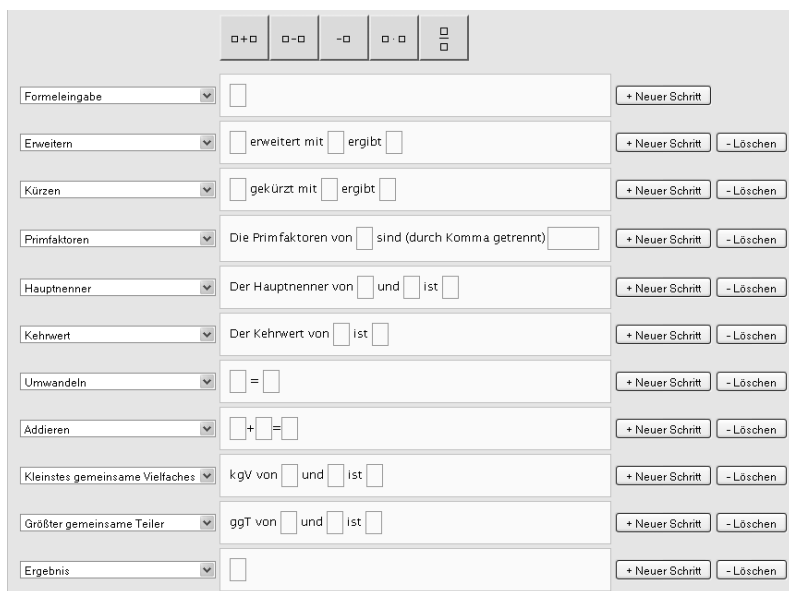


Abbildung 6: Screenshot-Ausschnitt aller möglichen Rechenschritte des Arbeitsfeldes

### 3.3 Implementierung der interaktiven Aufgabenelemente

Die computergestützten TWTE-Aufgaben wurden um tutorielle Feedbackkomponenten erweitert [EN08]. Für den ersten Fehler-Finde-Teil der Aufgabe erscheint je nach Lösung bestätigendes knowledge-of-result (KR) oder knowledge-of-correct-result (KCR) unter der Aufgabe (Abbildung 7). Zusätzlich erfolgt eine farbliche Hinterlegung der richtigen (grün) beziehungsweise der falschen (rot) Lösung (flag error). Nachdem die Lösung zum Korrektur-Teil der Aufgabe über das Arbeitsfeld eingegeben wurde, kann der Schüler über den „Weiter“ Button das Feedback anfordern. Je nach Lösung und Feedbackbedingung variiert das darauf folgende Feedback. Um bei den relativ umfangreichen tutoriellen Feedbackkomponenten die Übersichtlichkeit zu erhalten, wurden der Eingabe- und Feedbackbereich nebeneinander angeordnet (Abbildung 7). So kann das Feedback jederzeit dem zugehörigen Lösungsversuch zugeordnet werden.

Alle Eingaben und bereits gegebene Feedbacks bleiben bei jedem neuen Schritt erhalten, es sind aber nur die jeweils letzte Eingabe und das zugehörige Feedback sichtbar. Auf frühere Eingaben und tutorielle Feedbackkomponenten kann jedoch jederzeit zurückgegriffen werden, indem die entsprechenden Felder (gekennzeichnet mit plus/minus) aufgeklappt werden. Damit wird die Übersichtlichkeit des Interface gewährleistet, der Schüler behält aber die Möglichkeit, seine vorangegangenen Lösungsansätze und das tutorielle Feedback einzusehen.

The screenshot shows a learning management system interface for a fraction addition task. On the left, a sidebar contains a timer at 00:30 and instructions: "Bitte löse die Übung rechts." The main workspace is divided into several sections:

- Task List:** A vertical list of three steps: "1. Addieren" (with equation  $\frac{3+1}{11+13} = \frac{4}{24}$ ), "2. Kürzen" (with text " $\frac{4}{24}$  gekürzt mit 4 ergibt  $\frac{1}{6}$ "), and "3. Endergebnis" (with fraction  $\frac{1}{6}$ ).
- Feedback Message:** A grey box stating: "Jetzt hat Clara den Hinweis bekommen, dass die Lösung noch nicht richtig ist. Kreuze den Lösungsschritt an, bei dem der erste Fehler passiert ist!"
- Problem Statement:** A grey box stating: "Clara hat den Fehler beim Addieren gemacht. Hier siehst Du den falschen Schritt." Below it, the task "1. Addieren" is shown with the equation  $\frac{3+1}{11+13} = \frac{4}{24}$ .
- Instruction:** A grey box asking: "Wie hätte Clara richtig vorgehen müssen? Setze ihre begonnene Rechnung mit dem richtigen Schritt im Arbeitsfeld fort!"
- Task Area:** A section titled "Aufgabe" showing the problem  $\frac{3}{11} + \frac{1}{13}$  and the student's incorrect solution  $\frac{3+1}{11+13} = \frac{4}{24}$ .
- Hint Panel:** A grey box with a "Hinweis" (Hint) stating: "Wenn zwei Brüche nicht den gleichen Nenner haben, bestehen sie aus unterschiedlich großen Teilen."
- Input Field:** A dropdown menu with the text "1. -Wähle eine Option -" and a set of five buttons:  $\square + \square$ ,  $\square - \square$ ,  $\square \cdot \square$ ,  $\square \div \square$ , and  $\square \square$ .

Abbildung 7: Screenshot-Ausschnitt des Korrektur-Teils nach dem ersten Hinweis



## **4 Untersuchung zum Einsatz der Aufgaben und des Interface**

Die Aufgaben und das Interface wurden im Rahmen einer Studie im DFG-Projekt „Adaptives tutorielles Feedback“ eingesetzt. Dabei wurde untersucht, wie Schüler unterschiedlichen Leistungsniveaus, unterschiedlicher Motivation und metakognitiver Fähigkeiten die Fehler in den Aufgaben finden und berichtigen können, wenn sie dabei durch tutorielle Feedbackkomponenten unterstützt werden. Im Rahmen der Studie wurde auch eine Bewertung des Interface durch die Schüler durchgeführt. Die Erfassung und Auswertung dieser Usability-Daten wird im Folgenden dargestellt.

### **4.1 Stichprobenbeschreibung**

Im Rahmen der Studie wurden Usability-Daten von 186 Schülerinnen und Schülern aus der Region Dresden erhoben, die über Aufrufe in der Zeitung und in den Schulen gewonnen wurden. Die Schüler besuchten die 5., 6. oder 7. Klasse des Gymnasiums (78.5 %), der Mittelschule (17.2 %) oder einer anderen Schule (4.3 %, z. B. Gemeinschaftsschule). Das Alter der Schüler lag zwischen 10 und 15 Jahren (87 weiblich, 99 männlich). Sie erhielten für ihre Teilnahme eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 10 Euro.

### **4.2 Versuchsablauf**

Die Untersuchung fand an 10 Laptops im Lehr-Lernlabor der Professur für Psychologie des Lehrens und Lernens an der TU Dresden statt. Bis auf den Abschlussfragebogen wurden alle Tests und Fragebögen am Computer bearbeitet. Die Erklärungen wurden direkt durch den Versuchsleiter gegeben, unterstützt durch Präsentation mit Hilfe eines Beamers.

Die Untersuchung startete nach der Begrüßung mit einem kurzen Fragebogen zu allgemeinen Angaben der Schüler. Im Anschluss folgte eine Einführung in die Lernumgebung ActiveMath durch den Versuchsleiter, wobei eine Übungsaufgabe gemeinsam unter Anleitung gelöst wurde. Dabei wurden auch die Funktionen des Arbeitsfeldes vorgestellt. Danach hatten die Schüler die Möglichkeit, zwei weitere Übungsaufgaben zu bearbeiten und auftretende Fragen zu klären.

Im Anschluss bearbeiteten die Schüler zwei Tests mit herkömmlichen Rechenaufgaben und einen Test mit TWTE-Aufgaben, unterbrochen durch Pausen und Fragebögen der Studie. Nach Abschluss der Aufgabenbearbeitung wurden die Schüler im Abschlussfragebogen gebeten, die Lernumgebung und die TWTE-Aufgaben zu bewerten.

### 4.3 Datenerhebung

**Vorerfahrung mit dem Computer.** Die Schüler wurden gebeten, anzugeben, wie häufig sie den Computer nutzen. Zur Beantwortung der Frage standen ihnen die Auswahlmöglichkeiten „fast täglich“, „1-2 x pro Woche“, „1-2 x pro Monat“, „selten“ und „nie“ zur Verfügung.

**Bewertung der Lernumgebung.** Im Anschluss an die Bearbeitung aller Aufgaben der Studie wurden die Schüler um eine Bewertung der Lernumgebung gebeten. Dazu sollten sie die drei Items zur Arbeit mit dem Arbeitsfeld („Ich fand das Eingeben der Rechenschritte kompliziert.“), zur Übersichtlichkeit der Seiten („Den Aufbau der Seiten fand ich übersichtlich.“) und zum Umgang mit der Lernumgebung allgemein („Insgesamt war der Umgang mit dem Programm schwierig.“) auf einer vierstufigen Rating-Skala („trifft zu“, „trifft eher zu“, „trifft eher nicht zu“, „trifft nicht zu“) beantworten. Zusätzlich bestand die Möglichkeit, Bemerkungen zur Lernumgebung zu notieren.

**Beobachtungen der Versuchsleiter.** Während der Durchführung der Versuche wurden durch die Versuchsleiter auftretende Probleme und Fragen der Schüler notiert.

## 5 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

### 5.1 Vorerfahrung mit dem Computer

Die Datenauswertung zeigte, dass ein Großteil der Schüler den Computer sehr häufig nutzt. Mehr als die Hälfte (52.2 %) der Schüler nutzen den Computer fast täglich, weitere 34.4 % ein- bis zweimal pro Woche. Lediglich ein geringer Teil nutzt nur ein- bis zweimal pro Monat (5.9 %) oder selten (7.5 %) den Computer. Damit kann davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der Schüler mit dem Medium Computer vertraut ist und Schwierigkeiten im Umgang mit der Lernumgebung nicht aus fehlender Erfahrung mit dem Computer allgemein resultieren.

### 5.2 Bewertung der Lernumgebung durch die Schüler

N=184	Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich fand das Eingeben der Rechenschritte kompliziert.	4.3 %	16.4 %	23.3 %	56.0 %
Den Aufbau der Seiten fand ich übersichtlich.	75.0 %	14.7 %	7.0 %	3.3 %
Insgesamt war der Umgang mit dem Programm schwierig.	0.5 %	3.3 %	30.4 %	65.8 %

Tabelle 1: Bewertung der Usability durch die Schüler

Die Mehrheit der Schüler schätzte den Aufbau der Seiten als übersichtlich ein (89.7 % trifft (eher) zu) und empfand die Bedienung in der Lernumgebung allgemein nicht als schwierig (96.2 % trifft (eher) nicht zu). Das Eingeben der Rechenschritte wurde ebenso als nicht kompliziert empfunden (79.3 % trifft (eher) nicht zu). Dabei gab es auch keine Unterschiede zwischen den computererfahrenen Schülern (Nutzung fast täglich oder 1-2 x pro Woche) und den weniger Erfahrenen (Nutzung 1-2 x pro Monat oder selten).

Die das Interface betreffenden offenen Bemerkungen der Schüler wurden nach Ziel (positives Feedback, negatives Feedback, Verbesserungsvorschläge) und Kriterium (z. B. Übersichtlichkeit, Spaß an der Arbeit mit der Lernumgebung) geordnet. Nach Auswahl der Bemerkungen, die sich auf das Interface und den Umgang mit der Lernumgebung bezogen, wurden ähnliche Aussagen zusammengefasst und nach Häufigkeit der Nennung geordnet.

Insgesamt gab es über alle Schüler hinweg 95 positive und 48 negative Bemerkungen zur Lernumgebung. Bei den positiven Bewertungen standen allgemeine Aussagen im Vordergrund: So wurde die Lernumgebung allgemein „gut“ oder „sehr gut“ genannt (21 Nennungen) oder berichtet, dass es abwechslungsreich war (10 Nennungen) und Spaß gemacht hat (11 Nennungen). Acht Schüler bemerkten, dass die Lernumgebung gut zum Üben beziehungsweise Lernen sei, jeweils sieben Schüler erwähnten noch einmal explizit die Übersichtlichkeit und einfache Bedienung der Lernumgebung. Weitere Einzelaussagen bezogen sich auf spezielle Aspekte der Lernumgebung (z. B., dass die Uhr gut sei). Bei den negativen Bewertungen dominierten zwei Themenbereiche: zum einen wurde die lange Ladezeit kritisiert (11 Nennungen), zum anderen gab es Kritik beziehungsweise Vorschläge zur Eingabe der Schritte im Arbeitsfeld (16 Nennungen). So wurde von fünf Schülern kritisiert, dass zum Eingeben der Schritte zu viele „Klicks“ notwendig sind, was die Eingabe umständlich macht. Vier Schüler fanden es generell zu aufwändig, alle Zwischenschritte eingeben zu müssen. Der Großteil der übrigen Aussagen bezog sich auf einzelne Aspekte (z. B., auf Papier sei es besser als am Computer). Lediglich drei Schüler erwähnten noch einmal, dass sie die Lernumgebung kompliziert fanden.

### **5.3 Beobachtungen der Versuchsleiter**

Ergänzt wurden die Bewertungen der Schüler durch die Beobachtungen der Versuchsleiter. So waren einige der gängigen Tastaturbefehle (z. B. Wechseln zwischen Eingabefeldern durch Tabulator, Kopieren von eingegebenen Brüchen) nicht verfügbar, was besonders von den erfahreneren Schülern bemängelt wurde. Weiterhin müssen einige der Schritte im Arbeitsfeld erweitert werden. So sollten die Grundrechenarten mit mehreren Zahlen ermöglicht werden, ebenso die Bildung eines Hauptnenners bei mehr als zwei Brüchen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein Großteil der an das Interface gestellten Anforderungen erfüllt werden konnte. So wurden alle Aufgaben(typen) konsistent und übersichtlich gestaltet und mehrschrittige Aufgaben umgesetzt, bei denen das Feedback und frühere Lösungsversuche im Aufgabenverlauf sichtbar bleiben.

Mit dem Arbeitsfeld wurde zum einen ein Eingabefeld geschaffen, das ausgewertet werden kann, ohne selbst Lösungshinweise (wie z. B. die Vorgabe von Eingabefeldern für einen Bruch oder eine gemischte Zahl) zu enthalten. Zum anderen wurde ein Arbeitsfeld für Zwischenschritte der Schüler entwickelt, mit dem der Rechenweg erfasst werden kann und in Zukunft auch evaluiert werden soll. Obwohl das Interface speziell für die eingesetzten Bruchrechenaufgaben entwickelt wurde, ist eine vergleichbare Umsetzung auch für andere Inhaltsbereiche denkbar. Insbesondere die Möglichkeit, den Rechenweg mit Hilfe des Arbeitsfeldes schrittweise zu erfassen, lässt sich auch für andere Aufgabenbereiche einsetzen, in denen Schritte abgearbeitet werden müssen (zum Beispiel in der Physik).

## Literaturverzeichnis

- [EN08] Eichelmann, A.; Narciss, S.: Prozedurale und konzeptuelle Feedback-Hinweise und Erklärungen zu Bruchrechenaufgaben. Eine Befragung bei Mathematikdidaktikern, -lehrern und Schülern. Unveröffentlichter Arbeitsbericht zu WP3. Technische Universität Dresden; 2008.
- [EN09] Eichelmann, A.; Narciss, S.: Tasks with Typical Errors – Impact on Achievement, Motivation, and Meta-Cognition. Paper accepted for presentation at the European Association for Research on Learning and Instruction Junior Researcher Pre-Conference, Amsterdam; 2009.
- [Ea08] Eichelmann, A.; Narciss, S.; Faulhaber, A.; Melis, E.: Analyzing computer-based fraction tasks on the basis of a two-dimensional view of mathematics competences. In (Seyfert, T.; Zumbach, J.; Schwartz, N.; Kester, L. Hrsg.): Beyond knowledge: the legacy of competence. Springer Science+Business Media B.V; 2008; S. 125-134.
- [Gg09] Goguadze, G.: Representation for Interactive Exercises. In: Proceedings of 8th International Conference on Mathematical Knowledge Management; MKM 2009.
- [GM08a] Goguadze, G.; Melis, E.: One exercise - various tutorial strategies. In (Aimeur, E.; Woolf, B.; Nkambou, R. Hrsg): Proc. of the International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS-2008, volume 5091 of LNCS. Springer-Verlag; 2008; S. 755-757.
- [GM08b] Goguadze, G.; Melis, E.: Feedback in ActiveMath exercises. In: Proceedings of the International Conference on Mathematics Education, ICME-2008.
- [Me08] Melis, E.; Faulhaber, A.; Eichelmann, A.; Narciss, S.: Interoperable competencies characterizing learning objects. In (Aimeur, E.; Woolf, B.; Nkambou, R. Hrsg): Proceedings of the International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS-2008, volume 5091 of LNCS. Springer-Verlag; 2008; S. 416-425.
- [MN06] Melis, E.; Narciss, S.: Adaptives Tutorielles Feedback (AtuF): Gemeinschaftlicher Antrag auf Gewährung einer Sachbeihilfe. Unpublished document. German Research Centre of Artificial Intelligence/Technische Universität Dresden; 2006.
- [MN09] Melis, E.; Narciss, S.: Zwischenbericht zum Projekt Adaptives Tutorielles Feedback (AtuF), Unpublished document. German Research Centre of Artificial Intelligence/Technische Universität Dresden; 2009.
- [NPK04] Narciss, S.; Proske, A.; Kördle, H.: Interaktive Aufgaben für das computergestützte Lernen. In (Schmitz, U. Hrsg): Linguistik lernen im Internet. Gunter Narr, Tübingen; 2004; S. 193-206.
- [PKN11] Proske, A.; Kördle, H.; Narciss, S.: Interactive learning tasks. In (Seel, N.M. Hrsg.): Encyclopedia of the Sciences of Learning. Springer, Heidelberg; in press.