

- # Kap 1 & 2 einer Knopp
- ... (siehe Abb. 4) nicht ausgeschreiben

Virtuelle und erweiterte Realität*

Barbara Elias¹ und Yi Wang²

¹ Technische Universität Wien
Bachelorstudium Medizinische Informatik
e1028094@student.tuwien.ac.at
Matrikelnr.: 01028094

² Technische Universität Wien
Bachelorstudium Wirtschaftsinformatik
e1633407@student.tuwien.ac.at
Matrikelnr.: 01633407

Kurzfassung. Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Thema virtuelle und erweiterte Realität insbesondere zu Ausbildungszwecken. Im Speziellen werden Publikationen von Mag. Dr. Hannes Kaufmann zur näheren Erarbeitung der Nutzung erweiterter Realität im Hinblick auf den Geometrieunterricht herangezogen. Seine Arbeiten zielen darauf ab, Geometrie begreifbarer zu machen, als es mit der Konstruktion mit Papier und Bleistift möglich ist. Basierend auf schon vorhandener Geometriesoftware wurden VR-Anwendungen konstruiert, die Mathematik verständlicher machen sollen. Die Idee dabei ist, den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu geben, mittels VR-Brille um dreidimensionale Objekte zu gehen und diese von neuen, ungeahnten Perspektiven erkennen zu können und damit ein besseres Verständnis für räumliche Geometrie zu bekommen.

* Diese Arbeit wurde im Rahmen der LVA "Wissenschaftliches Arbeiten" (188.925) im WS18 erstellt.

1 Einleitung

Die Geschichte der virtuellen Realität reicht länger zurück als man auf den ersten Blick glauben möchte. Schon analoge Systeme der virtuellen Realität lassen sich finden, diese sind zu Trainingszwecken im militärischen Bereich eingesetzt worden [1]. Mittlerweile findet man zahlreiche Anwendungen der virtuellen und erweiterten Realität auch im Alltag, beispielsweise als Flugsimulatoren, in der Spieleindustrie (Konsolenspiele), in der Medizin zur Unterstützung bei Operationen und zu Therapiezwecken, auch im psychotherapeutischen Bereich oder aber um Lernstoff im wahrsten Sinn des Wortes "begreifbar" zu machen [4]. Flugsimulatoren dienen als frühes Beispiel für die Ausbildung und das Training von Piloten, das mit virtuellen Systemen realisiert wurde [4]. Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Thema virtuelle und erweiterte Realität, insbesondere damit, wie sich Anwendungen der erweiterten und virtuellen Realität in der Aus- und Weiterbildung nutzen lassen. Zunächst gilt es zu erklären, was sich hinter den Begriffen "virtuelle Realität" und "erweiterte Realität" verbirgt. Beispielsweise findet man sogenannte VR-Brillen, mit denen man Computerspiele ganz neu erleben kann.

f Produktionsbereich
aber

1.1 Virtuelle Realität

Unter virtueller Realität (Virtual Reality, VR) versteht man eine computergenerierte Welt, die in Echtzeit von ihrem Benutzer oder ihrer Benutzerin erforscht und erlebt werden kann und alle physikalischen Eigenschaften wahrheitsgetreu abbilden kann.

1.2 Erweiterte Realität

Augmented Reality (AR, bzw. erweiterte Realität) vermischt virtuelle Realität und physische Realität und wird daher auch als "mixed reality" bezeichnet, im Gegensatz zur virtuellen Realität ist man als Nutzer_in hier nicht von seiner Umwelt abgegrenzt. Als Beispiele für erweiterte Realität kann hier Googles "glass" genannt werden. Um sich unter erweiterter Realität etwas vorstellen zu können, nennt man am Besten "Pokemon Go" von Nintendo [4].

Die restliche Arbeit gliedert sich in 4 Kapitel wie folgt: Kapitel 2 gibt einen Einblick in State of the Art von VR und AR, in Kapitel 3 findet sich ein Einblick in die Arbeiten von Hannes Kaufmann, während Kapitel 4 eine Zusammenfassung und Kapitel 5 das Literaturverzeichnis enthält.

nichli

2 Einsatz in der Aus- und Weiterbildung

Seit den frühen 1990er Jahren wird an Software für den Einsatz in der Aus- und Weiterbildung geforscht, im Feld der Mathematik kann hier als herausragendstes Projekt "CyberMath" genannt werden. CyberMath verwendet eine virtuelle Lernumgebung, die mittels Avataren gesteuert werden kann.

VR und AR-Systeme generieren einen ganz neuen Zugang zum Lernen, weg von den traditionellen Methoden, wie wir sie alle noch kennen, hin auf den Lernende zentrierten Blickwinkel, wo die Lehrperson nur noch als Coach in anleitender Funktion anwesend ist. Modernes Lernen heißt, dass Wissen basierend auf authentischen Situationen vermittelt wird [4]. [12]

2.1 Output-Devices

Als Ausgabegeräte für VR kommen head-mounted-Displays (siehe dazu Abbildung 1) in Frage, welche auch für mixed Reality verwendet werden können. Weiters braucht man auch haptisches Feedback, beispielsweise Windgeneratoren oder sich bewegende Plattformen [4].

2.2 Input-Devices

Um die genaue Position eines Benutzers oder einer Benutzerin im Raum zu erkennen und im Rechner erfassen zu können, braucht man am besten möglichst viele Daten des Benutzers oder der Benutzerin, die über die Erfassung von Finger-, Augen-, oder Kopfbewegungen eingespeist werden. Man kann dazu sogar auch Ultraschall verwenden, momentan wird aber eher in Richtung optisches Erfassen entwickelt [4].

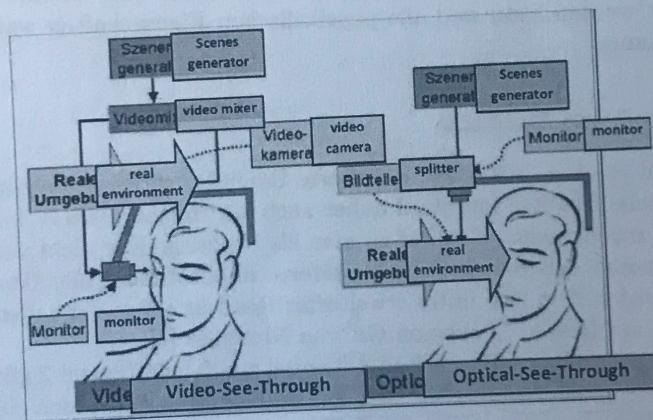


Abb. 1. Funktion von head-mounted Systemen
[4]

2.3 Lernen im Kontext des 21. Jahrhunderts

Schülerinnen und Schüler stellen immer mehr den Sinn dessen, was sie tagtäglich in der Schule lernen sollen, in Frage. Lehrerinnen und Lehrer wiederum sind oft

überfordert damit, wie sie den vorgeschriebenen Unterrichtsstoff zeitgemäß nahe bringen können. Um Schüler_innen und Studierende zeitgemäß zu unterrichten, müssen sich neue Methoden etablieren, bzw. haben sich bereits etabliert, da man sonst Gefahr läuft, dass Studierende die Lust am Lernen verlieren. Heutzutage geht man weg von Frontalvorträgen, die isoliert von ihrem Kontext vorgetragen werden, hin zum Einsatz von neuen Medien wie beispielsweise virtuelle Realität im Unterricht. Mehrere Studien [6] zeigen, dass man damit den Einsatz und die Begeisterungsfähigkeit von Studierenden massiv heben kann. Mehrere Aspekte, wie beispielsweise pädagogische und psychologische, aber auch auf welcher Plattform und mit welcher Hardware, müssen im Vorfeld betrachtet werden, damit man eine Software für Weiterbildungszwecke vernünftig und zielführend entwickeln kann [9].

2.4 Von der Zweidimensionalität in die dritte Dimension

Erfahrungsgemäß haben einige Schülerinnen und Schüler Probleme damit, sich geometrische Objekte, dargestellt auf Papier oder einer Schultafel vorzustellen und anhand dieser Skizzen mathematische Problemstellungen zu begreifen und zu lösen. Mit dem Einsatz von VR bzw. AR soll dieses Problem gelöst werden. Software, um die Ideen und Grundlagen der Geometrie zu lehren, existiert bereits seit Anfang der '90er, allerdings damals nur in 2D (GeoGebra als Beispiel). Construct3D ist die erste Software für die Aus- und Weiterbildung, die auch die 3. Dimension nutzt.

3 Virtuelle und erweiterte Realität in der Geometrie ~~unterricht~~ ?

3.1 Die Motivation, ein Tool für den Unterricht zu entwickeln

Auf der Basis, dass räumliches Vorstellungsvermögen einen wichtigen Teil menschlicher Intelligenz ausmacht [2], hat Hannes Kaufmann im Jahr 2002 seine Forschung auf dem Gebiet der virtuellen Realität begonnen. Wir leben in einer dreidimensionalen Welt und sind es gewohnt, Dinge von allen Seiten betrachten zu können, daher ist es naheliegend, dass man auch für den Geometrieunterricht ein System entwickelt, das dem menschlichen Denken in dieser Hinsicht entgegenkommen soll. Im Falle von Hannes Kaufmann war dies ein Tool, das sogenannte *Construct3D*, auf das weiter unten im Text noch näher eingegangen wird.

Schon in früheren Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich Geometrieunterricht positiv auf räumliche Intelligenz auswirkt [7]. Herkömmliche *computer-aided-design (CAD)*-Software ist nicht gleichzusetzen mit der Implementierungsidee von Hannes Kaufmann, denn im Unterschied zu CAD-Software, legt man im Geometrieunterricht keinen Wert darauf, feinsäuberliche Modelle zu kreieren, sondern auf die inhärente Konstruktion von geometrischen Objekten. Die kommerzielle CAD-Software, die verfügbar ist, ist meistens zu komplex und hat einen zu hohen Lernaufwand, um für den Geometrieunterricht

in Frage zu kommen [11].

Es muss bei Software als auch Hardware, die im Unterricht verwendet werden soll, bedacht werden, dass Schulen nicht den finanziellen Aufwand aufbringen können, der für eine Versuchsumgebung in der Forschung verwendet werden kann. Die Technologie die hier entwickelt wurde, soll zukünftig selbstverständlich keine Lehrenden ersetzen, es ist als Mittel zur Unterstützung im Unterricht gedacht [9].

Die wissenschaftliche Fragestellung von Hannes Kaufmann im Paper "Designing Immersive Virtual Reality for Geometry Education" als Zitat aus dem Paper:
"Our ultimate pedagogic goal is to verify if working directly in 3D space allows better and faster comprehension of complex spatial problems and relationships than traditional teaching methods." [8]

Der technische Aufbau

Ausgangspunkt für die Forschung ist die Software Construct3D, die mehrere Komponenten vereint: Geometrie, Pädagogik, Psychologie und erweiterte Realität *augmented reality (AR)*. Basierend auf dieser schon existierenden Software, hat Hannes Kaufmann seine Forschungsumgebung eingerichtet [11]. Weiters wurde ein System namens *Studierstube* eingesetzt, welches mehreren Benutzerinnen und Benutzern erlaubt, einen gemeinsamen virtuellen Raum zu nutzen. In einer frühen Phase von Construct3D war es möglich primitive Funktionen wie beispielsweise Punkte, Linien, Zylinder und Kegel anzubieten. Ein weiteres Werkzeug, *OpenCascade*, bietet die Möglichkeit auch Boolesche-Operationen durchzuführen. An Hardware stehen *Head-mounted-Displays (HMDs)* zur Verfügung, konventionelle Monitore und diverse Eingabegeräte. Um Buttons, Sliders sowie andere Elemente in üblicher 2D-Grafik zu integrieren, existiert noch ein *PIP - personal interaction panel* zusätzlich, um haptisches Feedback für die Benutzerinnen und Benutzer zu simulieren. Die Umsetzung mittels AR bietet der Benutzerin/dem Benutzer die Möglichkeit, den eigenen Körper und die daraus folgende Beziehung im Raum zu den geometrischen Objekten, die virtuell erzeugt werden, besser wahrzunehmen. Ein System, bestehend aus mehreren Ebenen, ähnlich zu bekannter Photobearbeitungssoftware, wird verwendet, um Überlappungen in der Konstruktion der Objekte realistisch und verständlich darzustellen. Dies dient auch dazu, dass mehrere Benutzerinnen und Benutzer jeweils eine eigene Ansicht nutzen können und auch die Lehrer-Schüler-Interaktion besser abgebildet werden kann. Drei mögliche Benutzermodi (alle sehen alles, jeder und jede der Lernenden sehen nur die eigenen Konstruktionen oder ein Lehrermodus), existieren in einer frühen Version.

In weiterer Entwicklungsarbeit wurden im Jahr 2003 Tutorials eingeführt, die im Folgenden näher beschrieben werden:

Teacher-Mode

Eine Lehrperson kann in diesem Modus einen oder mehr Lernende unterrichten, indem er eine komplette Konstruktion mit all ihren Einzelschritten vorgibt.

Normal tutorial

Herrnile scope ?!

Hier wird dem/der Lernenden eine Art Video mit allen notwendigen Schritten gezeigt, die dieser dann reproduzieren soll.

Auto-tutorial

Schülerinnen und Schüler können sich selbstständig mit den einzelnen Schritten beschäftigen und mittels text-to-speech System Erklärungen anhören.

Exam-mode

Die Lernenden sollen hier ohne Anleitung selbst Konstruktionen bauen und können diese am Ende mit einer vorgegebenen Lösung vergleichen [9].

Um das Menü von Construct3D auf den HMDs gut lesbar zu machen und das Menü zu simplifizieren, wurden im Jahr 2006 entsprechende Anpassung vorgenommen. Auch die Anzahl an Funktionen hat seit der ersten Version im Jahr 2002 zugenommen, weshalb das Menü reorganisiert werden musste [8].

Visualisierungstechniken

Zu den Visualisierungstechniken, wie sie in Construct3D verwendet werden, gehört auch die Verwendung von Transparenz um das Verständnis für die Konstruktion zu verbessern und eine Farbcodierung zur Unterscheidung der Nutzer_innen. Derlei Anpassungen machen zwar Szenenverarbeitung und Rendering signifikant teurer, was aber für die Benutzerfreundlichkeit gerne in Kauf genommen wurde [8].

*** Transparenz**

Transparenzen werden immer wieder auch in technischen Zeichnungen und Computerspielen eingesetzt, um verdeckte Objekte darzustellen. Mittels Transparenz lassen sich Tiefe als auch räumliche Beziehung darstellen. Erst ließ man die Nutzer_innen selbst mittels Slider die transparenten Bereiche auswählen, diese Idee wurde aber wieder verworfen, da sie zu Verwirrungen geführt hatte. Transparenz erschwert auch den Prozess des Renderings, dadurch werden manche Objekte nicht mehr richtig dargestellt [8]. Abbildung 2

Es besteht daher die Möglichkeit für die Nutzer_innen, die Ansicht in den so genannten *wireframe-Modus* umzuschalten, was folglich bedeutet, dass nur eine Art Gitternetz-System die Form des Objekts, bzw. dessen Oberfläche markiert.

*** Einführung eines Ebenensystems**

Um ein übersichtliches System über die Eingaben der Nutzer_innen zu behalten, wurde ein Ebenensystem mit Farbschemata eingeführt. Jeweils eine Ebene ist aktiv und dies wird durch Farben gekennzeichnet. Man kann das System das hier umgesetzt wurde mit dem in der traditionellen Lehre vergleichen, wenn Lehrpersonen unterschiedliche Farben an der Tafel verwenden, um unterschiedliche Ebenen herauszustreichen. In der virtuellen Umgebung können diese Ebenen dann je nach Bedarf zu- und weggeschaltet werden. [8].

*** Vorschau und Highlighting**

Kommt der oder die Lernende mit dem Stift in die Nähe eines Objekts, wird dieses Objekt gehighlighted, was für den/die Nutzer_in bedeutet, dass dieses Objekt ausgewählt werden kann. Nun kann dieses Objekt im Raum bewegt werden [8].

2 Einsatz im Klassenzimmer

Das AR-Klassenzimmer

Es wurden Rucksäcke mit Rechnern ausgestattet, ein Tisch in der Mitte dient den Agierenden als Fixpunkt für die Zeichnungen. Jeder der Agierenden bekommt ein head-mounted-Display (HMD) mit Kamera und Handschuhen als Eingabegerät. Da alles batteriebetrieben ist und somit keine Kabel notwendig sind, kann sich jeder frei im Raum bewegen. Um mehrere Lernende partizipieren zu lassen, kann eine Projektion der Konstruktionen auf eine Tafel abgebildet werden. (Siehe Abbildung 3).

Das PIP (Personal Interaction Panel) und ein dazugehöriger Stift ermöglichen die Eingabe sowohl im dreidimensionalen als auch im herkömmlichen zweidimensionalen Stil [8].

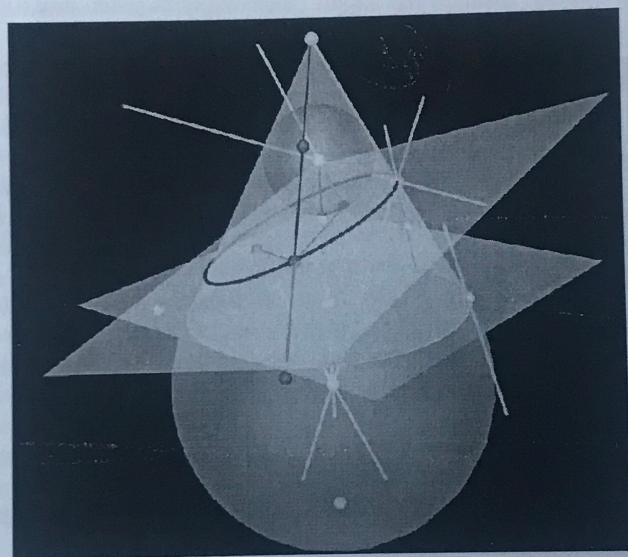


Abb. 2. Erfolgreich dargestellte Transparenz
[8]

3.2 Computergrafik know-how

Entwickelt und forscht man an der Darstellung von virtuellen Objekten im Raum, so tun sich mitunter ungeahnte Schwierigkeiten auf, auf diese wird im Folgenden eingegangen.

3.3 Statische und dynamische Geometrie

Analysen aus den ersten Forschungsergebnissen haben gezeigt, dass es signifikant schwieriger ist, vorgegebene Koordinaten in virtueller Realität zu finden

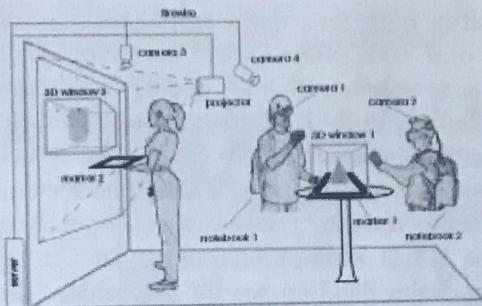


Abb. 3. Augmented Classroom [11]

, besserend auf E117

und Punkte zu manipulieren, als im zweidimensionalen Raum. Aufgrund von Tremor (natürliches Zittern der Hände) und mangels Hand-Augen-Koordination ist es schwierig, einen Punkt genau zu treffen [8]. Wie mehrere Studien zeigen, bietet es sich in manchen Situation trotzdem an, auf eine zweidimensionale Darstellung zurückzukommen, da die 6 Freiheitsgrade in der Darstellung nicht immer von Vorteil sind [5]. Die exakte Eingabe von Koordinaten ist allerdings notwendige Voraussetzung, um mittels dynamischer Geometrie Software starre Körper drehbar zu machen. Es sollte schließlich auch möglich sein, mehrere Objekte miteinander zu verbinden um "was-wäre-wenn-Szenarios" ausprobieren zu können. Mit traditionellen Methoden ist es wesentlich wichtiger, die Position des Objekts im Raum darstellen zu können, dieser Aspekt verliert im dreidimensionalen Raum etwas an Signifikanz [8].

3.4 Nebenwirkungen - Simulator Sickness

Ähnlich zu der schon bekannten Motion-Sickness [3], die manchmal bei Videospielen oder bei Reisen mit dem Auto, Zug oder Schiff auftritt, die zu Übelkeit und Schwindelgefühlen führen kann, da der Gleichgewichtssinn im Innenohr die Informationen, die die Augen liefern, nicht so schnell verarbeiten kann, wird dieser gestört und so es kann auch beim Arbeiten mit Construct3D zu einer Art Motion-Sickness, die hier allerdings Simulatur Sickness genannt wird, kommen. In der Evaluierung im Jahr 2003 wurde von einigen Lernenden über Simulator Sickness berichtet. 20 Minuten nach dem Beginn des Arbeitens in der virtuellen Umgebung tauchten Kopfschmerzen und Augenbelastungen bei einer Schülerin auf, trotzdem wollte sie damit weiterarbeiten. Nachträglich stellte sich heraus, dass die Zeiten für die kontinuierliche Arbeit mit einem HMD zu lang waren. Da negative Nebenwirkungen ein allgemeines potenzielles Problem bei der Arbeit mit HMDs darstellen und die subjektive Erfahrung der Benutzenden erheblich beeinflussen, sind sie für alle VR/AR-Anwendungen relevant, die diese Displays verwenden. Mögliche Gründe für diese Nebenwirkung sind Akkomodationsprobleme, niedrige Bildfrequenz, Verzögerung oder schlechtsitzende Helme. Folglich wurde in der dritten Studie im Jahr 2005 die Trainingsdauer pro Einheit

auf maximal 45 Minuten reduziert, der Hartplastikhelm durch einen leichteren Fahrradhelm ersetzt und vom Nutzer/der Nutzerin selbstbestimmte Ruhezeiten eingeführt. Trotzdem spürten 75,56% der 47 Teilnehmenden eine moderate Müdigkeit oder Erschöpfung und 61,36% berichteten von einer leichten Augenbelastung. Einige hatten Kopfschmerzen (37,78%) und Schwindelgefühl (35,56%). Im Allgemeinen berichteten die meisten Teilnehmenden jedoch, dass sie keine schwerwiegende Probleme hatten. Die meisten dieser Symptome könnten mit der Verwendung einer HMD zusammenhängen. In Übereinstimmung mit den Beobachtungen und anderen Studien wurde empfohlen, die HMD-Nutzungszeit auf 20-30 Minuten pro Einheit zu beschränken. Basierend auf der Erfahrung trägt die Bildqualität von HMDs, insbesondere die Verzögerung und Qualität der Tracking-Daten, am meisten zu den berichteten Effekten bei [10].

3.5 Evaluierungsergebnisse

Im Folgenden werden gesammelte Forschungsergebnisse aus dem Paper "Summary of Usability Evaluations of an Educational Augmented Reality Application zusammengefasst:

In einer ersten Evaluierung mit 14 Lernenden war eindeutig zu sehen, dass es nicht notwendig ist, den Schülerinnen und Schülern die Handhabung zu erklären und dass die Bereitschaft eine Umgebung der erweiterten Realität zu benutzen, auch besteht. Es konnte beobachtet werden, dass alle Teilnehmenden aber stolz auf ihre Konstruktionen waren und freudig ihr Werk rundherum begutachteten. Die Hand-Auge-Koordination war in erster Instanz noch etwas schwierig für die Versuchspersonen und alle hatten Probleme damit, Punkte an vorgegebene Koordinaten richtig zu setzen, woraufhin zusätzlich ein Raster eingebaut wurde [11]. Im Jahr 2003 wurde eine Studie auf Basis von Interviews und dem standardisierten Usability-Fragebogen ISONORM 9241/10 durchgeführt [10]. Eine Reihe von Trainingsübungen wurde entwickelt, die zum österreichischen deskriptiven Geometrie-Curriculum der 11. und 12. Klasse passen [10]. Daran arbeiteten die Teilnehmenden (9 Schüler, 6 Schülerinnen) mit Hilfe ihrer Lehrenden. Jede Person nahm an 5 Trainingseinheiten mit einer Dauer von insgesamt 6 Stunden teil. Die Bewertung danach zeigte, dass die von Lernenden hoch bewerteten Kategorien (siehe Abbildung 4) auch den subjektiv gesehenen höchsten Prioritäten einer Bildungsanwendung (einfach bedienbar, schnell erlernbar; ermutigend, neues auszuprobieren; konsistent und im Gedächtnis bleibend) entsprechen [10].

Aus den Evaluierungsergebnissen von 2003 lassen sich folgende Aspekte ableiten: Von technischer Seite gibt es noch Probleme mit der Benutzerfreundlichkeit von Hard-, und Software. Die Orientierung zwischen Benutzenden und konstruiertem Objekt muss verbessert werden. Weiters können noch Verbesserungen im Bereich des Wohlbefindens während der Verwendung und des kognitiven Verständnisses der Lernenden stattfinden. Es lässt sich aber schon jetzt extrapoliieren, dass ein messbarer Lernfortschritt mit der neuen Technologie erzielbar ist [9].

Qualitative Forschung im Jahr 2006 hat ergeben, dass sowohl die "Eignung zum Lernen", als auch die "Eignung zur Umsetzung der Aufgabe" mit dem vorgegebenen Setting für die Testpersonen zur vollsten Zufriedenheit ausgefallen ist,

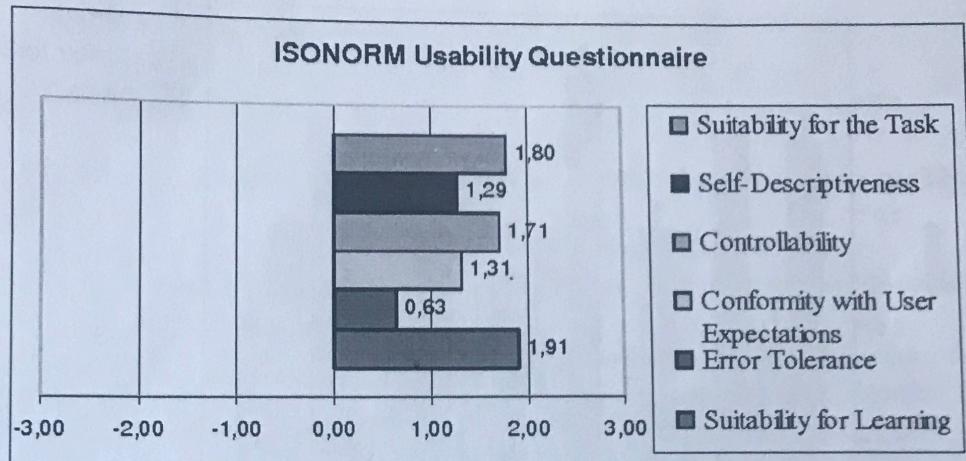


Abb. 4. Statistik über Symptome während der Benutzung [8]

was besonders wichtig für dieses Projekt ist. Auch insgesamt hat die Umfrage ergeben, dass die Benutzer_innen mit den Möglichkeiten, sowie mit der Handhabung und der konsistenten Benutzungsmöglichkeit sehr zufrieden waren [8].

Es wurden bessere Beschriftungen zu Construct3D hinzugefügt, sowie eine Hilfe-Box auf dem Panel, um alle Menüelemente zu erklären. Neben der neuen Strukturierung des Menüsystems wurde auch das visuelle Design von geometrischen Objekten verbessert [10]. Eingeführt wurden Transparenz-Verwendung, konsistente Farbcodierung, Ebene-Trennung und automatische Vorschau neuer Objekte [10]. Nähere Informationen zu den Verbesserungen siehe *Designing Immersive Virtual Reality for Geometry Education*.

Die dritte Auswertung war im Jahr 2005 [10]. Verglichen wurde das Lösen von geometrischen Problemen mit Construct3D mit einer pädagogischen Desktop-Anwendung namens CAD3D. Teilnehmenden waren österreichische Oberstufenschüler_innen im Alter zwischen 16 und 19 Jahren ($M = 17,49$, $SD = .79$; 44 (48,4%) männlich und 47 (51,6%) weiblich) [10]. Sie nahmen an 6 Trainingseinheiten teil, die 45 Minuten dauerten [10]. In beiden Gruppen betreute ein Tutor oder eine Tutorin zwei Lernenden beim Arbeiten an den Geometrieaufgaben [10]. Zur Beurteilung der Benutzerfreundlichkeit wurden Fragenbogen entwickelt, die von 8 etablierten Usability-Fragebögen angepasst waren (7 Skalen (siehe Abbildung 5); insgesamt 28 Fragen) [10].

Die Analyse der Fragenbogen ergab, dass Construct3D ein hochgradig benutzerfreundliches System ist, das - aus Usability-Sicht - mehrere Vorteile gegenüber der traditionellen Desktop-basierten Anwendung aufweist [10]. Die niedrigen Bewertungen für technische Aspekte deuten jedoch darauf hin, dass es noch Probleme bezüglich der technischen Robustheit gibt, die angegangen werden müssen [10]. Seltene Systemabstürze und kleinere technische Probleme können die Motivation der Teilnehmer und die Benutzerfreundlichkeit des Systems beein-

5 Literaturverweise

Literaturverzeichnis

- [1] URL: <https://www.vrnerds.de/die-geschichte-der-virtuellen-realitaet/>.
- [2] URL: <http://cty.jhu.edu/talent/docs/SpatialMore.pdf>.
- [3] URL: https://www.brandeis.edu/graybiel/publications/docs/190_ms_encns.pdf.
- [4] Klampfer Alfred. (2016). „Virtual/Augmented Reality in Education. Analysis of the Potential Applications in the Teaching/Learning Process.“ In: *Athens: ATINER'S Conference Paper Series. EDU2017-2214.* 1-25.
- [5] Douglas A. Bowman. „Interaction Techniques for Common Tasks in Immersive Virtual Environments: Design, Evaluation, and Application“. AAI9953819. Dissertation. Atlanta, GA, USA, 1999. ISBN: 0-599-56986-7.
- [6] E. und J.J. (2017) Lee. „Virtual reality in education: a tool for learning in the experience age“. In:
- [7] Georg Gittler und Judith Glück. „Differential Transfer of Learning : Effects of Instruction in Descriptive Geometry on Spatial Test Performance“. In:
- [8] H. Kaufmann und D. Schmalstieg. „Designing Immersive Virtual Reality for Geometry Education“. In: *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*. 2006, Seiten 51–58. DOI: 10.1109/VR.2006.48.
- [9] Hannes Kaufmann. „Collaborative Augmented Reality in Education“. In: (März 2003).
- [10] Hannes Kaufmann und Andreas Duenser. „Summary of Usability Evaluations of an Educational Augmented Reality Application“. In: *IN VIRTUAL REALITY, LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE 4563*, 2007, Seiten 660–669.
- [11] Hannes Kaufmann und Dieter Schmalstieg. „Mathematics and Geometry Education with Collaborative Augmented Reality“. In: *ACM SIGGRAPH 2002 Conference Abstracts and Applications. SIGGRAPH '02*. San Antonio, Texas: ACM, 2002, Seiten 37–41. ISBN: 1-58113-525-4. DOI: 10.1145/1242073 . 1242086. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1242073.1242086>.
- [12] Hannes Kaufmann, Karin Steinbügl, Andreas Duenser und Judith Glück. *Improving Spatial Abilities by Geometry Education in Augmented Reality - Application and Evaluation Design Proceedings*. Jan. 2005.

Hannes

Dieter

Linn Zugriff
Sachenabgabe

21

Kaufmann und 2

Video

Springer LNCS¹¹