

Dynamische Geometrie in Virtual Reality

Construct3D für den Geometrie- und Mathematikunterricht

Hannes Kaufmann

Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme, Technische Universität Wien
Favoritenstrasse 9-11/188, A-1040 Wien
kaufmann@ims.tuwien.ac.at



Abb. 1: Die Arbeit in Augmented Reality mit Construct3D.

Kurzfassung

Construct3D ist eine Anwendung zur Konstruktion dreidimensionaler Geometrie basierend auf dem Augmented Reality (AR) System „Studierstube“. In Augmented Reality wird die reale Welt mit virtuellen Objekten überlagert und ergänzt (Abb. 1). Der Vorteil beim Einsatz von AR als Lernmedium liegt darin, dass Schüler dreidimensionale Objekte auch dreidimensional sehen und wahrnehmen können. Construct3D ermöglicht die dynamische Konstruktion sowie das gemeinsame Konstruieren mit dem Lehrer oder mit anderen Lernenden und unterstützt dadurch neue Lernmethoden. Durch die direkte Arbeit mit nahezu greifbaren virtuellen Objekten im dreidimensionalen Raum können räumliche Probleme und Beziehungen der Objekte zueinander schneller erfasst werden. Bisherige Versuche lassen darauf schließen, dass unter Verwendung von Construct3D das Raumvorstellungsvermögen verbessert werden kann.

Motivation – Vision

Zu Beginn meiner Arbeit an Construct3D stand die Überlegung was für mich den Kern der Geometrieausbildung in der Schule ausmacht. Die Förderung der Intelligenzkomponente Raumvorstellung halte ich für eine der wichtigsten Aufgaben des Geometrieunterrichts. Nach Maier (1997) wird das räumliche Vorstellungsvermögen in fünf Komponenten unterteilt: Räumliche Wahrnehmung, räumliche Visualisierung, mentale Rotationen, räumliche Beziehungen und räumliche Orientierung. Diese versuche ich mit meinem Programm zu verbessern.

Bei der Arbeit mit Construct3D rückt die Geometrie der Objekte in den Vordergrund, nicht ihre Abbildung in eine Ebene. Ursprünglich ist nach Gaspard Monge die Darstellende Geometrie als die Lehre von den gesetzmäßigen Abbildungen räumlicher Objekte in eine Ebene definiert. Schon seit längerer Zeit fassen wir allerdings unser Fachgebiet weiter. In der halbtransparenten Datenbrille (Head Mounted Display (HMD)) entstehen die beiden Bilder für linkes und rechtes Auge natürlich durch Zentralprojektionen. Sie werden über kleine LCD

Bildschirme auf die Projektionsfläche vor dem Auge eingespiegelt. Die Zentralprojektionen finden dabei allerdings für den Benutzer nahezu unbemerkt statt.

Der Schüler sieht dreidimensional, er braucht sich keine Sichtbarkeiten vorstellen, er sieht was vorne und hinten liegt und kann um Objekte herumgehen und sie von allen Seiten betrachten. Durch den Einsatz des ganzen Körpers beim Betrachten und Konstruieren der Objekte entsteht auch ein neues, direkteres Verhältnis zum geometrischen Objekt. Die Konstruktion wirkt realer, greifbar und ist nicht mehr auf ein Blatt gebannt. Insgesamt erhoffe ich mir, dass das Verständnis geometrischer Eigenschaften und geometrischer Zusammenhänge verbessert werden kann.

Relevante Arbeiten

Construct3D als AR Anwendung für den Bildungsbereich zur Förderung der Raumvorstellung vereint 4 Fachgebiete: Geometrie, Augmented Reality, Pädagogik und Psychologie. Die relevante Literatur in diesen Fachgebieten hier auch nur anzureißen würde den Rahmen sprengen, es sei jedoch ein Programm erwähnt, das die Bereiche Virtual Reality, Pädagogik und Mathematik vereint. Hierbei handelt es sich um die VR Anwendung Cybermath [Taxén und Naeve, 2001] für den Mathematikunterricht. In verschiedenen Räumen werden geometrische Körper oder mathematische Funktionen dreidimensional visualisiert. Es können Parameter variiert werden und Informationen über Flächenklassen werden im Hintergrund eingeblendet. Zur Zeit unterstützt das System leider nur die Bildschirmausgabe und keine anderen Ausgabegeräte wie Head Mounted Displays (HMDs). Speziell für den Einsatz im Unterricht zur Förderung der Raumvorstellung wurde bisher noch kein VR/AR Programm entwickelt.

Studierstube

Ursprünglich 1995 am Institut für Computergraphik entwickelt, wird das „Studierstube“ System [Schmalstieg et al., 2002] laufend in den verschiedensten Forschungsprojekten weiterentwickelt. Construct3D basiert auf diesem verteilten, mobilen, collaborativen Augmented Reality Softwaresystem. Die collaborativen Funktionen der Software erlauben die Zusammenarbeit von mehreren Benutzern. Die Verteilung ermöglicht den gleichzeitigen, synchronen Ablauf derselben Anwendung auf mehreren Rechnern. Das verwenden wir hauptsächlich zur Verteilung der Rechenlast bei der Berechnung der Grafik für mehrere Benutzer. Die Zusammenarbeit im Netzwerk (auch über große Distanzen) wird dadurch möglich. Seit kurzem arbeiten wir an einer Hardwareplattform um die Studierstube Software mobil, also auch außerhalb des Labors, einsetzen zu können. Dazu werden lediglich handelsübliche Komponenten (Notebook mit eingebauter 3D-Grafikbeschleunigung, Wireless LAN, u.s.w.) verwendet um die mobile „Studierstube“ in absehbarer Zeit auch z.B. im Klassenraum einsetzen zu können (Abb. 2).

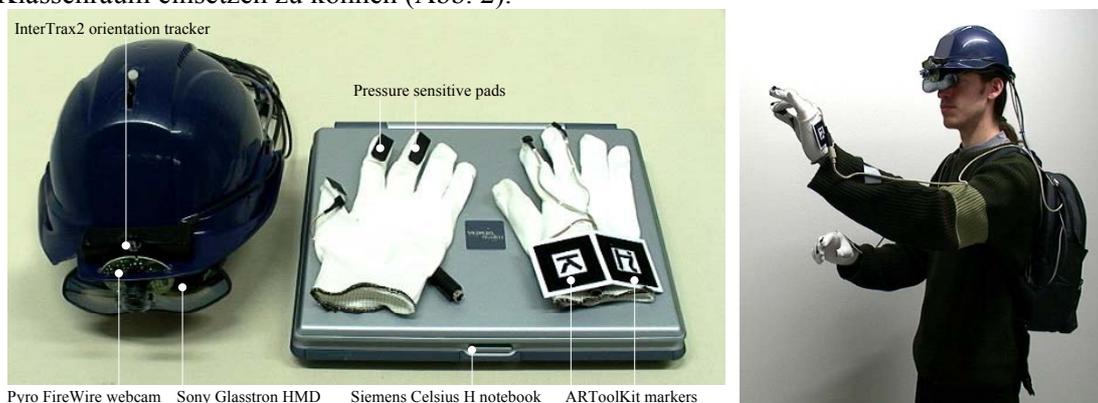


Abb. 2: Das mobile AR Kit: Links – Übersicht über die Komponenten, rechts – ein Benutzer, der das mobile System trägt.

Construct3D - Funktionsbeschreibung

Neben der Konstruktion der Grundobjekte Punkt, Linie, Ebene, Quader, Kugel, Kegel und Zylinder stehen auch einige einfache Konstruktionen zur Auswahl: Konstruktion von Normalebene, Ebenennormale, Symmetrieebene zweier Punkte, sowie das Schneiden einer Geraden mit allen Grundobjekten. Damit lassen sich einfache Dinge wie z.B. Aufgaben aus der Vektoralgebra realisieren (Abb. 3). Construct3D erlaubt als dynamisches Konstruktionspaket die Veränderung aller Grundelemente (= Punkte). Alle mit diesen Punkten verknüpfte Objekte werden sofort in Echtzeit neu berechnet und angezeigt.

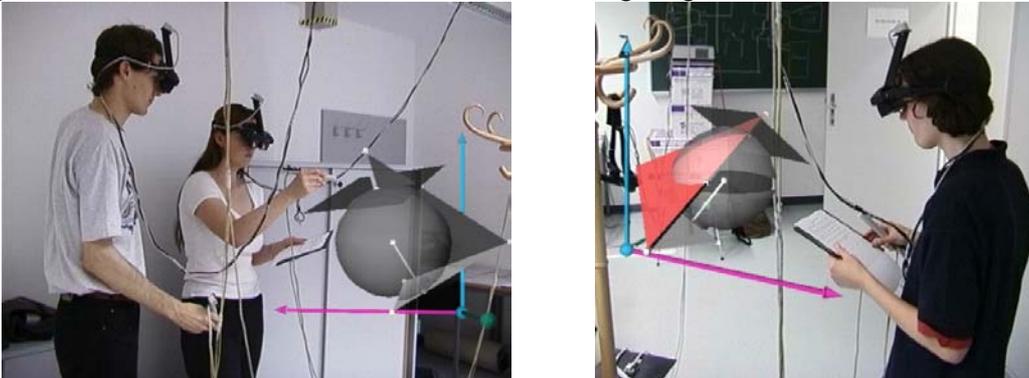


Abb. 3: In diesem Beispiel war von Studenten eine Kugel zu konstruieren, von der Mittelpunkt und Tangentialebene gegeben waren. Diese Kugel wird von einer gegebenen Geraden geschnitten. Um die räumliche Orientierung der Studenten zu überprüfen war vom hinteren Schnittpunkt aus die Tangentialebene an die Kugel einzuzeichnen.

Seit kurzem sind auch Boole'sche Operationen integriert. Es können aus Grundkörpern durch Anwendung Boole'scher Operationen neue Körper erzeugt werden. Ändert man die Grundkörper dynamisch, so verändert sich der daraus entstandene Körper sofort mit. Alle Änderungen können in Echtzeit verfolgt werden.

Zusätzliche Funktionen von Construct3D sind das Messen der Distanz zweier Punkte, Systemfunktionen wie das Löschen von Objekten, Laden und Speichern von Konstruktionen und ein Raster zur zentimetergenauen Konstruktion. Die Transparenz jedes Objekts kann individuell eingestellt werden um das Innere von Objekten oder Durchdringungen besser sehen zu können. Es gibt weiters die Möglichkeit Objekte in verschiedenen dreidimensionalen Layer zu konstruieren, wie es auch in Bildbearbeitungsprogrammen üblich ist. Zum Beispiel kann ein Quader in Layer 1 mit einer Kugel in Layer 1 geschnitten werden, wobei das resultierende Objekt in Layer 2 abgelegt wird. Die Layer können beliebig angezeigt oder ausgeschaltet werden.

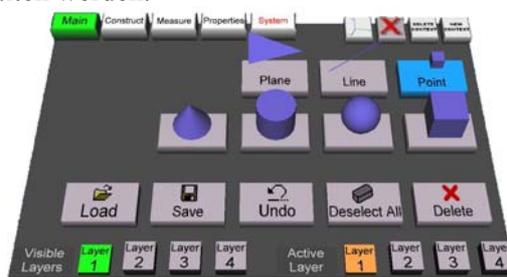


Abb. 4: Hauptmenü von Construct3D auf dem Personal Interaction Panel (PIP)

In naher Zukunft wird das Layerkonzept insofern erweitert, dass der Lehrende flexibel für einzelne Schüler Teile ein- oder ausblenden kann. Grund- und Aufriss sollen etwa in einem Layer angezeigt werden können und die Lösung einer Aufgabe sollte für den Lehrer in einem eigenen Layer sichtbar sein u.v.m. Da verschiedene Mathematik und CAD Pakete dreidimensionale Objekte als VRML Dateien exportieren, soll der Import von VRML Dateien entwickelt werden, sodass jederzeit Flächen oder Objekte, die aus anderen Programmen stammen, weiterbearbeitet oder betrachtet werden können.

Die Funktionalität von Construct3D kommt bei weitem nicht an professionelle CAD Pakete heran. Das ist aber bisher auch nicht das Ziel der Entwicklungen. Die Fragen sind eher: Wie kann ich mit diesem Werkzeug die Raumvorstellung fördern? Wie kann ich ein funktionstüchtiges AR System im Unterricht einsetzen? Welche Methoden sind dabei zu verwenden? Wie gestalte ich die Benutzerschnittstelle, das Menü, damit es Schüler und Lehrer einfach, komfortabel und schnell bedienen können?

VR Hardware

Eine Beschreibung der von uns verwendeten Hardware würde hier den mir zur Verfügung stehenden Rahmen sprengen. Die Vorstellung der verschiedenen Methoden zur Ausgabe von Stereo-Grafik (einem Bildpaar für rechtes und linkes Auge), der verschiedenen Ausgabegeräte (Displays) sowie zur Positionsbestimmung im Raum (Tracking) würde einen eigenen Artikel rechtfertigen. Verschiedene Trackingverfahren wurden bei meinem Vortrag in Strobl erwähnt auf den ich in diesem Zusammenhang hinweisen muss [Kaufmann, 2001]. Das in Strobl gezeigte Video über Construct3D (beim Autor des Artikels zu beziehen) gibt ebenfalls nähere Auskünfte über unser Hardwaresetup im Labor.

Als Eingabegerät verwenden wir einen frei im Raum beweglichen Stift mit einem Knopf und ein Tablett, das sogenannte Personal Interaction Panel (PIP) [Szalavári und Gervautz, 1997] (siehe Abb. 4), auf dem das Menü der Anwendung angezeigt wird. Für das mobile System werden Handschuhe mit Drucksensoren auf Daumen und Zeigefinger verwendet (Abb. 2).

Bisheriger Einsatz und Einsatzmöglichkeiten im Unterricht

Bei einer ersten Benutzerbefragung [Kaufmann, 2000] haben 14 Studenten eine Aufgabe in Construct3D gelöst (siehe Abb. 3). Dabei lag das Hauptinteresse darin wie das System von den Studenten aufgenommen wurde, wie die persönlichen Eindrücke waren, womit sie Schwierigkeiten oder Probleme hatten und wie einfach die Bedienung empfunden wurde. Das System wurde durchwegs positiv beurteilt und es ergaben sich interessante Verbesserungsvorschläge, die in die weitere Arbeit eingeflossen sind und sehr hilfreich waren.

Da es nicht realistisch ist anzunehmen, dass mittelfristig (Zeitraumen 5-10 Jahre) genug finanzielle Mittel in den Schulen vorhanden sein werden um für jeden Schüler Datenbrillen oder andere kostspielige Geräte anzuschaffen und auch die Preisentwicklung dieser Geräte schwer abgeschätzt werden kann, entwickeln wir zur Zeit Mischsysteme für den Einsatz im Unterricht, die mit günstiger Hardware realisiert werden können:

1. Der Lehrer konstruiert entweder alleine oder zusammen mit einem Schüler mit dem mobilen System im Klassenraum, wobei alle anderen Schüler auf einer Projektionsleinwand die Konstruktion mitverfolgen können (siehe Abb. 5 links). Auf einer anderen Projektionsfläche oder der Tafel kann zusätzlich noch Hintergrundwissen zum aktuellen Stoff lesbar sein.
2. Der Lehrende konstruiert mit seinem System im PC Raum wobei die Lernenden auf eigenen PCs die Konstruktion mitverfolgen und (sofern erwünscht) selbst eingreifen können (siehe Abb. 5 rechts). Dazu haben wir ein Desktop VR System entwickelt, das auf jedem PC neuerer Bauart eingesetzt werden kann. Benötigt wird eine Firewire Webcam für optisches Tracking sowie eine 3D Grafikkarte mit Shutter Glasses (geringe Kosten pro Arbeitsplatz). Mit Hilfe von Markierungen, die auf einem Stift und Tablett (aus Karton) des Benutzer angebracht sind können mit optischem Tracking die Positionen dieser Eingabegeräte im Raum festgestellt werden. Durch die Benützung von Shutter Glasses erhält der Benutzer am Monitor ein dreidimensionales Bild seiner Konstruktion. Der Bereich vor dem Bildschirm kann als Eingabebereich verwendet werden und wird am Monitor abgebildet.
3. Bei der Zusammenarbeit in einem Netzwerk über größere Distanzen hinweg gehen Vorteile von direkter zwischenmenschlicher Interaktion verloren. Trotzdem können dieselben oben genannten Systeme auch hier zum Einsatz kommen. Der Lehrer kann zum

Beispiel von zu Hause aus Schüler bei der Hausübung unterstützen und direkt mit Ihnen konstruieren, oder mehrere Schüler können (von zu Hause aus) an einer Konstruktion arbeiten. Dabei hat jeder die freie Wahl der Eingabe- und Ausgabegeräte. Ein Benutzer kann z.B. ein HMD benutzen während ein anderer mit einem Desktop VR System arbeitet.

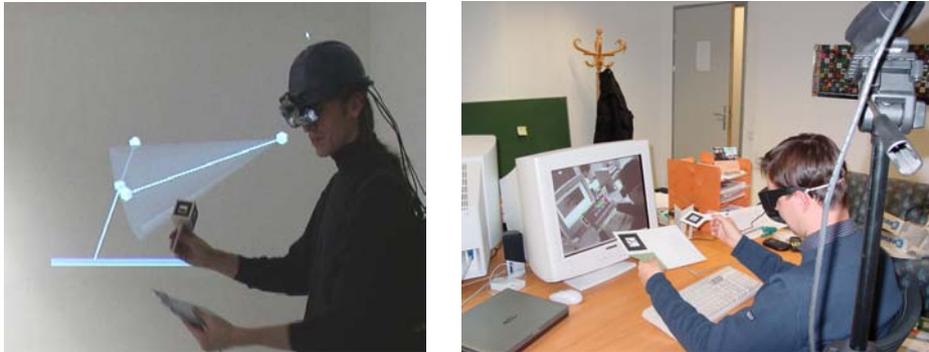


Abb. 5: Links: Auf der Projektionswand können Lernende sehen und mitverfolgen was der Lehrer durch seine Datenbrille sieht und demonstriert. Rechts: Eine Firewire Kamera (rechts oben) überblickt den gesamten Arbeitsbereich vor dem Bildschirm. Der Benutzer trägt Shutter Glasses und sieht damit seine Eingabegeräte Stift und Tablett, die in der Realität aus Karton bestehen, im Bild am Monitor jedoch mit einem virtuellen Stift und Tablett überlagert werden, sowie die Konstruktion dreidimensional am Bildschirm.

Ziele und zukünftige Arbeit

Ein Ziel ist die Erweiterung der Funktionalität von Construct3D um auch komplexere geometrische Aufgaben lösen zu können z.B. Implementierung von Kegelschnitten und allgemeinen Kurven, erweiterte dynamische Funktionen wie das Fixieren von einzelnen Elementen während nur ausgewählte Objekte beweglich bleiben und vieles mehr.

Die oben genannten Mischsysteme sollen innerhalb der nächsten 2-3 Jahre in Zusammenarbeit mit Psychologen im direkten Unterrichtseinsatz getestet und evaluiert werden. Schlussendlich soll eine erste umfangreiche Evaluation Aufschluss über die Förderung des Raumvorstellungsvermögens beim Einsatz dieser neuen Systeme geben.

Was die Förderung der Raumvorstellung betrifft möchte ich einige Gedanken festhalten, Diskussionsstoff liefern und hoffe teilweise auf Antworten oder Erfahrungsberichte: Wenn Schüler dreidimensionale Objekte sehen und sie fast angreifen können, stellt sich die Frage, ob dabei ihre Raumvorstellung im selben Ausmaß gefördert wird, wie wenn sie sich anhand zweidimensionaler Bilder dreidimensionale Objekte vorstellen müssen. Eine weitere Frage ist ob man das wirkliche Hantieren mit dreidimensionalen Objekten, das sofortige Sehen der Zusammenhänge, im Geometrieunterricht fördern will oder ob das abstrakte Raumvorstellungsvermögen anhand zweidimensionaler Bilder gefördert werden sollte – oder beides? Was ist für den Menschen im welchem Umfang von Nutzen, was braucht er täglich – welche Fähigkeiten, welche Komponenten der Raumvorstellung werden durch diese verschiedenen Unterrichtsmethoden in der Ausbildung gefördert? Welche werden benötigt bei so unterschiedlichen Tätigkeiten wie z.B. bei Orientierungsproblemen im Freien, beim Zusammenbauen eines IKEA Schrankes nach Bauanleitung, beim Fliegen eines Flugzeugs, beim Skizzieren der eigenen Wohnung?

Das sind großteils offene Fragen. Eines meiner Ziele ist zu untersuchen, wie VR/AR Technologie eingesetzt werden kann um die räumliche Vorstellung, die räumliche Intelligenz zu verbessern.

Danksagung

Der Autor dankt Dieter Schmalstieg für seine ausgezeichnete Betreuung und Gerhard Reitmayr für seine Unterstützung während der Arbeit an diesem Projekt, weiters Klaus Feiler und Reinhard Steiner für die Integration der Boole'schen Operationen und dem gesamten Studierstube Team. Diese Arbeit wurde zum Teil vom Fonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung (FWF) im Projekt P14470-INF gefördert sowie im EU Projekt IST-2001-34204 (Lab@Future).

Referenzen

1. Maier P.H. (1997). Räumliches Vorstellungsvermögen – Unterschiede zwischen Mann und Frau, IBDG 1/1998, 1998.
2. Kaufmann H., Schmalstieg D. and Wagner M.(2000). Construct3D: A Virtual Reality Application for Mathematics and Geometry Education, Journal of Education and Information Technologies, Vol. 5, No. 4, pp. 263-276, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2000.
3. Kaufmann H. (2001). Vortrag „Dynamische Geometrie in Virtual Reality“. Fortbildungstagung des ADG in Strobl, November 2001. PowerPoint Folien URL: <http://www.ims.tuwien.ac.at/~kaufmann/Construct3D-Vortrag/>
4. Kaufmann H., and Schmalstieg D. (2002). Mathematics And Geometry Education With Collaborative Augmented Reality. Submitted to SIGGRAPH Educators Program, 2002. URL: http://www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/Construct3D_SIG_Edu.pdf
5. Schmalstieg D., Fuhrmann A., Hesina G., Szalavari Z., Encarnação M., Gervautz M., and Purgathofer W (2002). The Studierstube Augmented Reality Project. To appear in PRESENCE - Teleoperators and Virtual Environments, MIT Press, 2002.
6. Szalavári Z., and Gervautz M. The Personal Interaction Panel - A Two-Handed Interface for Augmented Reality, *Computer Graphics Forum*, 16, 3, pp. 335-346, 1997.
7. Taxén G., und Naeve A. CyberMath: Exploring Open Issues in VR-Based Learning. SIGGRAPH 2001 Educators Program. In *SIGGRAPH 2001 Conference Abstracts and Applications*, 49-51, 2001. URL: <http://www.nada.kth.se/~gustavt/cybermath/>