

Stereoskopische 3D-Videos selbst erstellen

Beat Trachsler^a, Martin Guggisberg^b, Martin Lehmann^c

^aKantonsschule Zürcher
Oberland
Bühlstrasse 36
CH-8620 Wetzikon
beat.trachsler@kzo.ch

^bDepartement Informatik
Universität Basel
Klingelbergstrasse 50
CH-4056 Basel
martin.guggisberg@unibas.ch

^cPHBern
Institut Sekundarstufe II
Muesmattstrasse 27a
CH-3012 Bern
martin.lehmann@phbern.ch

Abstract: 3D-Filme respektive stereoskopische 3D-Videos sind spätestens seit dem Kinoerfolg des “Fantasy-Films“ *Avatar* sehr populär. Die Thematik 3D-Film stößt bei Schülerinnen und Schülern auf großes Interesse. In diesem Artikel wird ein gangbarer Weg zur Erstellung eines computergenerierten 3D-Videos im Klassenzimmer beschrieben. Es werden die verschiedenen Stationen vom 3D-Modell der räumlichen Szene zum Webvideo im Internet aufgezeigt. Im Weiteren wird eine *low-cost* Lösung zur Präsentation eines 3D-Videos im Klassenzimmer auf der Basis der Polarisationsfiltertechnik vorgestellt.

1 Einleitung

Das Jahr 2010 war in vieler Hinsicht das Jahr des stereoskopischen Films. Nicht nur dass Hollywood nach dem gewaltigen Erfolg von *Avatar* im Herbst 2009 mit einer ganzen Reihe von stereoskopischen Produktionen nachzog. Auch die Internationale Funkausstellung Berlin (IFA 2010) stand unter dem Motto 3D. Wie sich diese Euphorie um den 3D-Film als Motivation für den Programmierunterricht nutzen lässt, wird in [MR10] aufgezeigt. Genau wie in jenem Artikel beschrieben, wird auch in diesem Beitrag der Raytracer POV-Ray¹ zur Bildsynthese eingesetzt. Dabei lässt sich die Theater-Metapher in der Schule gut ausreizen: Die Schülerinnen und Schüler planen die Positionierung von Kamera, Lichtquelle und den darzustellenden Objekten in ihrer Szene im Rahmen einer kleinen Projektarbeit. Ihren Plan setzen sie hinterher in der POV-Ray eigenen Programmiersprache um. Oft bestehen die darzustellenden Objekte aus mehreren Teilobjekten, welche mit Hilfe eines Algorithmus dargestellt werden können. Im nachfolgend beschriebenen Beispiel mit dem Menger-Schwamm wird beispielsweise ein rekursiv definiertes Makro eingesetzt. Damit die Schülerinnen und Schüler erfolgreich mit POV-Ray arbeiten können, müssen sie das von ihnen geplante 3D-Objekt formal erfassen und beschreiben können. In dieser Beschreibung sind neben der geometrischen Anordnung auch physikalische Parameter wie die Lichtintensität, die Durchlässigkeit von Medien oder die Art der Lichtquelle erforderlich. Im zweiten Teil dieses Artikels wird in Anlehnung an [ZF04] aufgezeigt, wie auch im Klassenzimmer mit vertretbarem Aufwand 3D-Videos erstellt und vorgeführt werden können.

¹ Siehe <http://www.povray.org>.

Im Rahmen eines Projektkurses zur 3D-Computergrafik werden an der Kantonsschule Zürcher Oberland, einem Schweizer Gymnasium, 3D-Videos erstellt und am Ende im Klassenzimmer vorgeführt. Der Projektkurs richtet sich in erster Linie an Gymnasiastinnen und Gymnasiasten mit Schwerpunktfächern Anwendungen der Mathematik und Physik im letzten Jahr vor der Maturprüfung², die bereits über ein Jahr Programmiererfahrung verfügen. In diesem Fall lässt sich das Werkzeug POV-Ray in drei Doppellektionen einführen³. In einer weiteren Doppellektion werden die Grundlagen der Stereoskopie vermittelt. Die bereits erwähnte Projektarbeit bildet schließlich den Höhepunkt des Kurses. Als Vorbereitung darauf erhalten die Schülerinnen und Schüler eine kurze Einführung ins agile Projektmanagement bei Softwareentwicklungsprozessen. Erfahrungsgemäß stecken sie sehr viel Zeit in die detailgetreue Ausarbeitung der Szene, wie das folgende Beispiel auf YouTube zeigt: <http://www.youtube.com/watch?v=hTl4yKFFhmg>. Vergleichbare Informatik Projektkurse⁴, bei welchen in Teams über einen längeren Zeitraum gearbeitet wird, wurden von Schülerinnen und Schülern ausschließlich positiv bewertet. Eine umfangreiche Sammlung von POV-Ray Projekten dieser Art ist auf <http://goodpractice.epistemis.com/> zu finden. Die dort beschriebenen Projektideen reichen vom virtuellen Vergnügungspark über die animierte DNA bis hin zum Schwarmverhalten von Zugvögeln. Aus Sicht der Lehrpersonen beobachten wir eine sehr hohe Motivation bei Schülerinnen und Schülern und einen hohen Einsatz auch über die Unterrichtszeiten hinaus. Das didaktische Potenzial liegt zentral in der direkten und raschen visuellen Verifikation der geplanten Realisierung der 3D-Szenen mit POV-Ray im Sinne eines explorativen Lernprozesses.

2 Vom POV-Ray Programm zum stereoskopischen 3D-Video

Ein stereoskopisches Einzelbild (engl. Frame, beim Video) besteht aus zwei Teilbildern, einem Bild für das linke Auge und einem Bild für das rechte Auge, welche im Gehirn des Betrachters zu einer räumlichen Wahrnehmung verschmelzen. Zur Erzeugung dieser Teilbilder werden zwei Kameraobjektive verwendet, wobei deren Abstand idealerweise gerade dem Augenabstand eines durchschnittlichen Betrachters (ca. 6.5 cm) entsprechen sollte. In diesem Abschnitt wird der Herstellungsprozess eines 3D-Videos im Detail beschrieben. Als erstes wird die Visualisierung mit dem Werkzeug POV-Ray diskutiert. Das zweite Unterkapitel beschreibt die Herstellung eines Webvideos. Im letzten Unterkapitel wird eine Möglichkeit zur Publikation des 3D-Videos im Internet vorgestellt.

Die Abbildung 1 zeigt ein Einzelbild aus einem 3D-Video. Bei dem dargestellten Objekt handelt es sich um einen Menger-Schwamm, ein dreidimensionales Fraktal. Im 3D-Video nähert sich die Kamera dem Fraktal und dringt schließlich ins Innere ein, wo sie auf einer gewundenen Bahn mehrere Ebenen des Fraktals passiert. Sämtliche Werkzeuge (Skripte und Programme) zur Erstellung dieses 3D-Videos sowie das 3D-Video selbst können auf http://goodpractice.epistemis.com/menger_schwamm.html bezogen werden.

² Schweiz. Abitur

³ Geeignete Tutorials zur Einführung in POV-Ray sind in [Hi03] und [Lo10] zu finden.

⁴ Informatik Studienwochen von Schweizer Jugend forscht, <http://fgb.informatik.unibas.ch/activities/index.html>

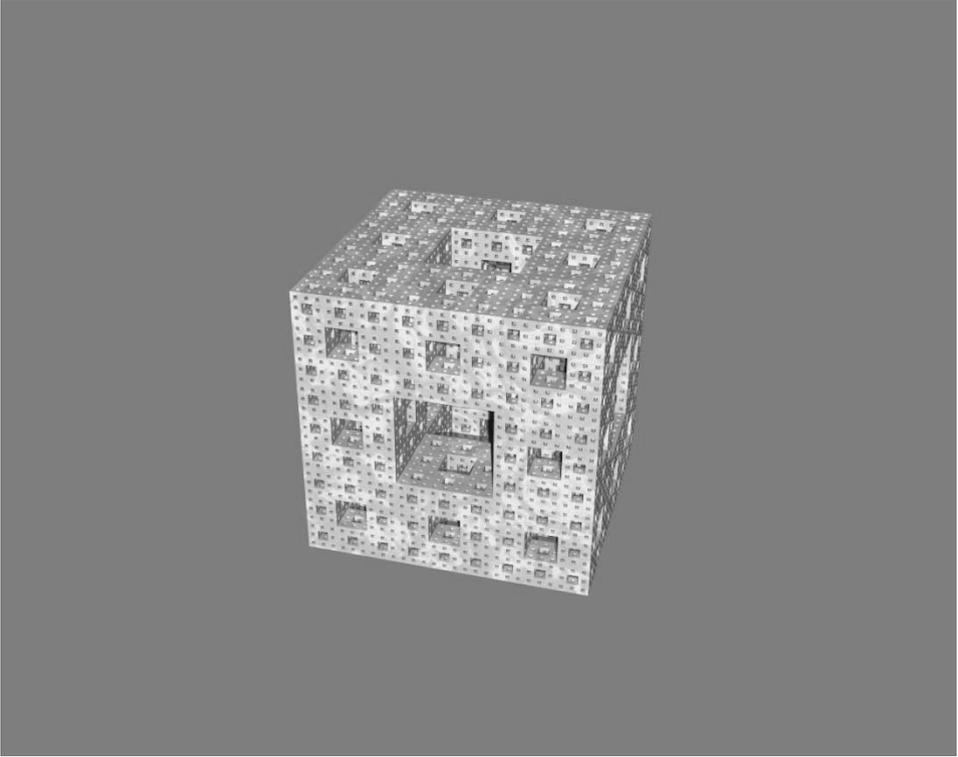


Abbildung 1: Menger-Schwamm mit Rekursionstiefe 4

2.1 Visualisierung des Menger-Schwamms mit POV-Ray

Ein Menger-Schwamm Fraktal kann wie folgt erzeugt werden: Als Ausgangspunkt dient ein Würfel. Jede Seitenfläche wird schachbrettartig in 9 gleich große Quadrate eingeteilt. Jeweils das mittlere Quadrat wird durchgehend von vorne nach hinten durchgestanzt. Es entsteht ein quaderförmiges Loch. Dieser Vorgang wird mit allen Seitenflächen des Würfels durchgeführt. Es verbleiben 20 Teilwürfel, die teilweise miteinander verbunden sind. Nun wird der Vorgang auf alle verbliebenen Teilwürfel angewendet. Mit Hilfe der Rekursion wird der Vorgang über mehrere Stufen wiederholt. In POV-Ray lässt sich diese Rekursion mithilfe von Constructive Solid Geometry (CSG) genau wie beschrieben realisieren.

Beim Raytracing mit POV-Ray werden ausgehend von der Kameraposition Sehstrahlen durch sämtliche Pixel der Bildebene geschickt. Diese Sehstrahlen werden rekursiv durch die virtuelle Szene verfolgt, wobei die Gesetze der Strahlenoptik (Reflexion, Brechung, etc.) berücksichtigt werden. Die Szene wird mit zwei virtuellen Objektiven gerendert, einmal für das linke und einmal für das rechte Auge. Die Einstellung der stereoskopischen Kamera erfordert zwei zusätzliche Parameter, den halben Augenabstand (Abstand der Linse vom Mittelpunkt der Kamera) und den Abstand zum Fokuspunkt, auf den die beiden virtuellen Objektive fokussieren (Vgl. Abbildung 2). Dafür wird in Anlehnung an Arbeiten von Paul Bourke [Bo07] und Wolfgang Wieser [Wi04] ein Makro `setSimpleStereoCam` verwendet. Das Makro berechnet die Ausrichtung der Kamera derart, dass mit beiden Objektiven derselbe Ausschnitt der Szene fokussiert wird. Die folgenden Zeilen zeigen, wie das Makro eingesetzt wird:

```
//CAMERA
#declare EYE = 1; // 1 for right eye, -1 for left eye
#declare FL = vlength(LOOK_AT-CAMERA_POSITION); // focal length
#declare EYSEP = FL/30; // eye separation
camera {
    perspective
    setSimpleStereoCam(SKY, LOOK_AT, CAMERA_POSITION,
                      45, EYE * EYSEP / 2, FL)
}
```

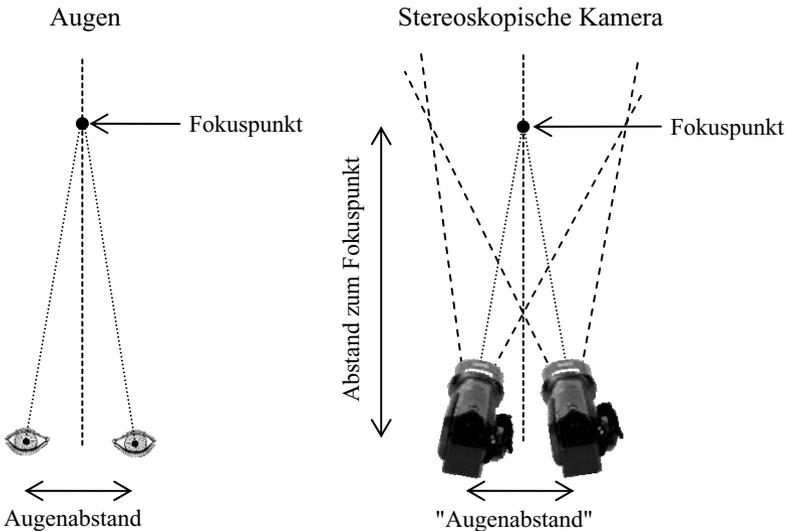


Abbildung 2: Stereoskopisches Sehen mit den Augen vs. stereoskopische Kamera

Mit der Variablen EYE lässt sich das Objektiv (linkes oder rechtes Auge) auswählen, mit dem die Szene gerendert werden soll. FL bezeichnet den Abstand zum Fokuspunkt LOOK_AT und CAMERA_POSITION steht für die Position der Kamera (genauer: für den Mittelpunkt zwischen dem linken und dem rechten Objektiv). Der Vektor SKY bestimmt die Ausrichtung der Kamera. Für den Augenabstand EYSEPP gilt die Faustregel, dass er gerade einen Dreißigstel des Abstandes zum Fokuspunkt betragen soll, damit die räumliche Wirkung der Szene optimal zu Geltung kommt. Dieser Wert lässt sich wie folgt motivieren: Schaut man im Abstand von 2 m durch ein Fenster nach draußen, so sieht man sowohl den Fensterrahmen als auch die Objekte draußen, vor dem Fenster scharf. Ein Dreißigstel von 2 m beträgt aber ungefähr 6.5 cm, entspricht also ziemlich genau dem durchschnittlichen Augenabstand beim Menschen.

Die Schülerinnen und Schüler sammeln bei ihrer Projektarbeit eigene Erfahrungen und probieren verschiedene Kameraeinstellungen selbst aus. Wie eine Schülerbefragung mit 50 Befragten gezeigt hat, schätzen es die meisten Schülerinnen und Schüler, wenn die Objekte vor der Leinwand erscheinen, weil dann der 3D-Effekt besonders stark zur Geltung kommt. Andererseits wird es in der Regel als unangenehm empfunden, wenn die virtuellen Objekte dem Auge zu nah kommen. Der Abstand der Objekte zur Kamera sollte daher immer mindestens so groß sein wie die Hälfte des Abstandes der Kamera zum Fokuspunkt. Weitere Tipps dieser Art sind beispielsweise in [Bo03] zu finden. Während der Projektarbeit verbessern und modifizieren die Schülerinnen und Schüler ihre Entwürfe kontinuierlich und motivieren sich dabei gegenseitig mit ansprechenden 3D-Visualisierungen. Bei der Animation von Objekten oder bei der Berechnung einer geeigneten Kamerafahrt setzen sie sich zudem mit der Parametrisierung von Bahnkurven im dreidimensionalen Raum auseinander.

2.2 Von der Bildsequenz zum Webvideo

POV-Ray liefert am Ende zwei Bildsequenzen, eine für das linke Auge und eine für das rechte Auge. Diese Bildsequenzen können nun beispielsweise mit einem Python Skript⁵ zu einer einzigen Bildsequenz von Megaframes der doppelten Breite zusammengefügt werden. In dieser neuen Bildsequenz sind die beiden Teilframes für das linke und das rechte Auge im Side-by-Side-Format nebeneinander abgelegt. Mit dem Add-on Firefogg⁶ zum Firefox Browser 4 lässt sich daraus direkt im Webbrowser ein Webvideo im webM-Containerformat⁷ erzeugen. Wie das geht, wird im Tutorial auf unserer Webplattform ausführlich beschrieben. Alternativ kann das proprietäre Transkodierungsprogramm QuickTime Pro⁸ verwendet werden, um aus einer Bildsequenz ein Webvideo im mp4-Containerformat zu erstellen.

⁵ Ein passendes Python Skript findet sich auf http://goodpractice.epistemis.com/menger_schwamm.html.

⁶ Siehe <http://firefogg.org>.

⁷ Siehe <http://www.webmproject.org>.

⁸ Siehe <http://www.apple.com/de/quicktime/extending/>.

2.3 Publikation des 3D-Videos auf YouTube

Ziel der Projektarbeit ist eine Veröffentlichung des 3D-Videos auf YouTube. Diese Plattform verfügt seit Mitte 2009 über einen integrierten 3D-Player zur Wiedergabe von stereoskopischen 3D-Videos. Dabei lässt sich im 3D-Menü des YouTube Players die passende Einstellung auswählen (Vgl. Abbildung 3). Das Video zum Menger-Schwamm ist zu finden unter <http://www.youtube.com/watch?v=SFcH6YcSp6c>.

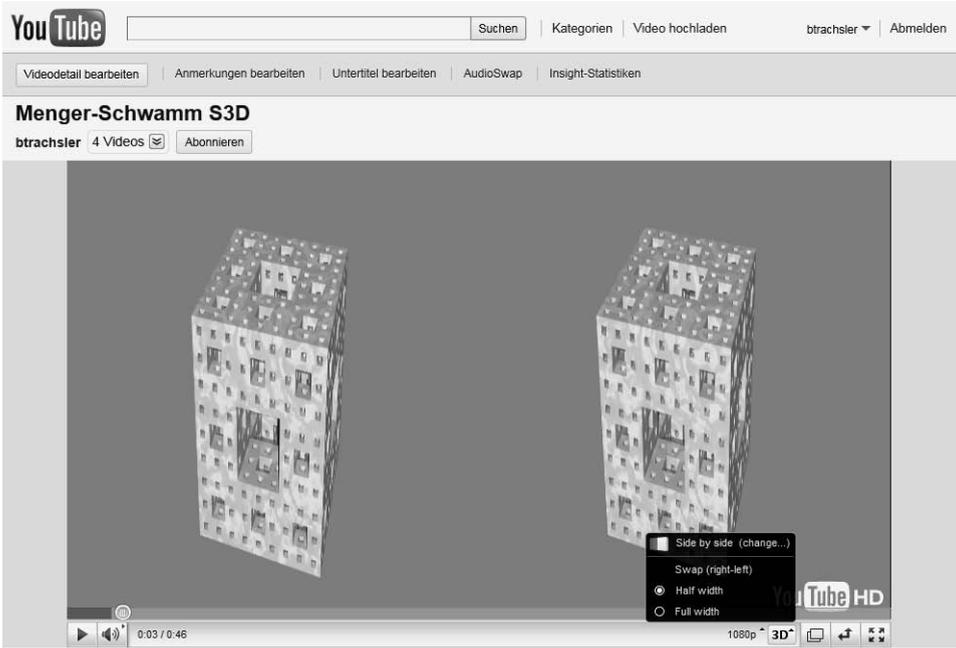


Abbildung 3: 3D-Video im YouTube 3D-Player

Zum Abspeichern des 3D-Videos auf YouTube wird ein YouTube oder Google Account benötigt. Das 3D-Video kann nun wie gewohnt hochgeladen werden. Bei den Einstellungen muss zusätzlich im Textfeld "Tags" das Tag `yt3d:enable=true` gesetzt sein, damit der 3D-Modus des YouTube Players aktiviert wird. Dabei ist zu beachten, dass der 3D-Modus von YouTube noch immer im Testbetrieb läuft. Eine detaillierte Dokumentation der `yt3d`-Tags existiert daher leider noch nicht. Im Folgenden eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Tags:

- `yt3d:enable=true` aktiviert den 3D-Modus des Webplayers.
- `yt3d:aspect=16:9` legt das Seitenverhältnis des Videos fest, in der Regel 16:9.
- `yt3d:swap=true` vertauscht das linke und das rechte Teilbild. Da der YouTube Player das rechte Teilbild in der linken Hälfte des Megaframes erwartet, ist die Standardeinstellung für unsere Videos „true“.

3 3D-Projektion im Klassenzimmer

Für die räumliche Wahrnehmung eines stereoskopischen Bildes ist entscheidend, dass jedes Auge nur das passende Teilbild und nicht auch noch Teile des anderen Teilbilds, sogenannte Geisterbilder, wahrnimmt. Dies wird mit einem 3D-Display erreicht. Für den Heimgebrauch werden mehrheitlich 3D-Displays mit Shutter-Brillen verwendet. Dabei tragen die Zuschauerinnen und Zuschauer Shutter-Brillen, welche abwechselnd ein Auge abdunkeln. Das Display sorgt dafür, dass zu jedem Zeitpunkt das passende Teilbild gezeigt wird. Damit kein Flimmern entsteht, sind Bildfrequenzen von über 100 Hz erforderlich. Daneben sind vor allem in den Kinos auch Displays im Umlauf, welche auf der Polarisations- oder Interferenzfiltertechnik beruhen. Dabei werden die Projektionsstrahlen für die beiden Teilbilder so modifiziert, dass sie mit einer zugehörigen Brille je nach Auge passend gefiltert werden können. Da sich Polarisationsfilterbrillen für wenig Geld erstehen lassen, konzentrieren wir uns auf diese Technologie. Dabei genügt es unserer Meinung nach, mit linearen Polarisationsfiltern zu arbeiten. Die zirkulare Polarisationsfiltertechnik, die derzeit im Kino eingesetzt wird, hat zwar demgegenüber den Vorteil, dass man den Kopf während der Filmvorführung auch neigen kann. Dies spielt aber erst bei längeren Videosequenzen eine Rolle.

3.1 Materialliste

1. 2 identische Beamer
Die Beamer sollten in der Vertikalen justierbar sein, damit man die beiden Projektionen auf der Leinwand zur Deckung bringen kann. Zudem sollten sie über eine möglichst große Leuchtkraft verfügen, da die Polarisationsfilter die Lichtintensität auf unter 50% reduzieren.
2. Polarisationsfilterbrillen für linear polarisiertes Licht
Die beiden Filter für das linke und das rechte Auge sind dabei gegenüber der Horizontalen um 45° verdreht und weisen untereinander einen Winkel von 90° auf.
3. 2 lineare Polarisationsfilter
Die Filter werden vor den Objektiven der beiden Projektoren montiert. Dabei müssen sie genau wie die Brillen mit einem Winkel von 90° gegeneinander verdreht montiert werden, so dass die Polarisationsrichtung verschieden ist. Außerdem müssen die Polarisationsfilter auf die Polarisationsfilterbrillen abgestimmt werden, damit das Licht des linken Projektors auch tatsächlich das linke Auge erreicht.
4. Metallische Leinwand
Damit die Polarisation nicht verloren geht, braucht man eine metallische Leinwand. Die Leinwand kann auch selbst lackiert werden. Der Lack sollte in diesem Fall einen hohen Anteil Zink oder Aluminium enthalten.
5. Screen Splitter
Falls die Grafikkarte des PCs, mit dem man die Videos abspielen möchte, nur über einen zu den Beamern kompatiblen Ausgang verfügt, benötigt man zusätzlich einen Screen Splitter. Dieser kann in einem Fachgeschäft bezogen werden.

3.2 Installationsanleitung

Zunächst müssen die beiden Projektoren übereinander aufgebaut werden. Wir haben dieses Problem mit einer selbstgebauten Beamerhalterung aus Holz gelöst (Vgl. Abbildung 4). Die beiden Polarisationsfilter können dann mit einem Stativ vor die Objektive gespannt werden. Verbindet man nun die beiden Beamer beispielsweise über den Screen Splitter mit der Grafikkarte des PCs, ist die Hardware bereit. Auf der Softwareseite lassen sich die Videos im Prinzip direkt aus dem Browser abspielen. Falls bei der Einstellung der Grafikkarte oder des Screen Splitters Schwierigkeiten auftreten sollten, empfiehlt sich der Einsatz des Stereoscopic Players⁹. In diesem Tool lässt sich angeben, dass die stereoskopische Ausgabe auf zwei Displays erfolgen soll, was besonders für erste Tests sehr hilfreich ist. Damit die Videos im webM-Containerformat lokal abgespielt werden können, ist eventuell die Installation eines Plug-Ins¹⁰ erforderlich.

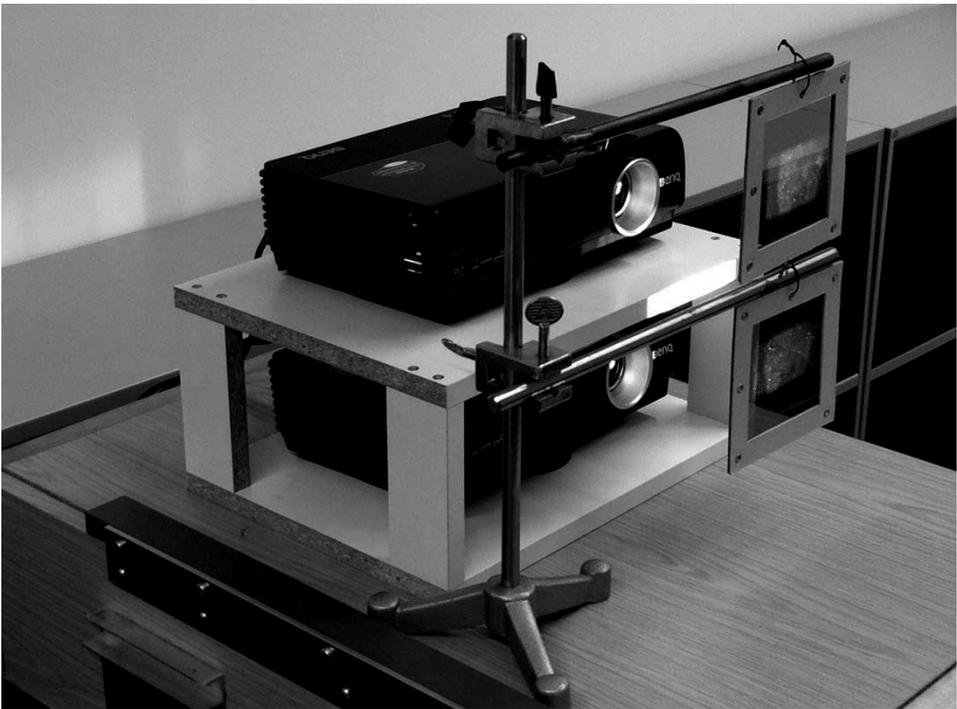


Abbildung 4: Beamerhalterung mit zwei DLP-Beamern und linearen Polarisationsfiltern

⁹ Siehe http://www.3dtv.at/Products/Player/Index_de.aspx.

¹⁰ Siehe <http://www.webmproject.org/tools/>.

4 Fazit

Das Paper stellt ein einfaches Verfahren zur Herstellung von computergenerierten 3D-Videos im Klassenzimmer vor und zeigt das didaktische Potenzial einer Projektarbeit mit 3D-Videos auf. Technisch lässt sich dies mit Makros für den Raytracer POV-Ray und geeigneten Tools zur Nachbearbeitung der Bildsequenzen an einer Schule problemlos umsetzen. Die Parametrisierung von bewegten Objekten im dreidimensionalen Raum ist nicht trivial und kann auf unterschiedlichen Niveaus mit Schülerinnen und Schülern erprobt werden. Dabei wird die räumliche Vorstellung wie auch die Modellierung physikalischer Eigenschaften von Lichtstrahlen geschult. Zudem ist die Thematik 3D-Film für die Schülerinnen und Schüler spannend. Mit der linearen Polarisationsfiltertechnik wurde ein Verfahren vorgestellt, mit dem sich solche 3D-Videos ohne große Kosten im Klassenzimmer vorführen lassen. Die stereoskopische Präsentationstechnik entwickelt sich derzeit sehr schnell und gewiss sind mancherorts bereits ähnliche 3D-Videoprojekte in Vorbereitung. Daher freuen wir uns auf neue 3D-Videos aus unseren Reihen und auf den Erfahrungsaustausch mit interessierten Kolleginnen und Kollegen.

Literaturverzeichnis

- [Bo03] Bourke, P: Creating stereoscopic images that are easy on the eyes. Februar 2003.
<http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/miscellaneous/stereographics/stereorender/>.
- [Bo07] Bourke, P: Additional cameras, mostly stereoscopic, for PovRay. Oktober 2007.
<http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/miscellaneous/stereographics/povcameras/>.
- [Hi03] Hidber, H-R: POV-Ray Tutorial. September 2003.
http://goodpractice.epistemis.com/media/pdf/povray_tutorial.pdf.
- [Lo10] Lohmüller, F. A: Eine Einführung in die Szenenbeschreibungssprache von POV-Ray. April 2010. http://www.f-lohmueller.de/pov_tut/basic/povkurs0.htm.
- [MR10] Marinescu, I. L.; Rick, D: Ein 3-D-Grafik-Projekt für viele. LOG IN Nr. 163/164, 2010.
- [Wi04] Wieser, W: Creating stereoscopic left-right image pairs with POV-Ray, 2004.
<http://www.triplespark.net/render/stereo/create.html>.
- [ZF04] Zelle, J. M.; Figura, Ch: Simple, Low-Cost Stereographics: VR for Everyone. Norfolk, Virginia, USA : ACM, 2004. SIGCSE.

