

Zentrum für schulpraktische Lehrerbildung Bocholt
Seminar für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen

**„Rotieren, Skalieren, Verschieben“ -
Erkundung geometrischer Transformationen mit Hilfe des
3D-Computergrafikprogramms POV-Ray
Entwurf zum zweiten Unterrichtsbesuch im Fach Informatik**

Ausbildungsschule: Städtisches Ganztagsgymnasium Nepomucenum
Holtwicker Straße 8
48653 Coesfeld

Datum: Dienstag, 23.02.2016

Lerngruppe: Differenzierungskurs Informatik Klasse 9

Anzahl der SuS: 23 (Mädchen: 2, Jungen: 21)

Zeit, Raum: 4. Stunde (10:45 – 11:30 Uhr), Raum 231

Referendar: Julian Hundt

Ausbildungsbeauftragte(r):

Schulleiterin:

Fachleiter:

Kernseminarleiter:

1 Längerfristige Unterrichtszusammenhänge

1.1 Thema der Unterrichtsreihe

Von der graphischen zur textbasierten Programmierung - Modellieren und Implementieren von dreidimensionalen Objekten mit POV-Ray.

1.2 Schwerpunktlernziel der Unterrichtsreihe

Die Schülerinnen und Schüler (kurz: SuS) erweitern ihre Fähigkeit, informatische Modelle zu entwickeln und implementieren, indem sie Objekte aus ihrer Vorstellung oder der Realität geeignet modellieren und in eine textbasierte Programmiersprache übersetzen. Schließlich ermöglicht diese Implementierung, dass ein Informatiksystem (hier: POV-Ray) daraus ein Bild einer dreidimensionalen Szene erstellt.

1.3 Lehrplanbezug

1.3.1 Schulinternes Curriculum

In der Jahrgangsstufe 9 steht das Programmieren mit Hilfe von Informatiksystemen im Fokus. Dabei werden verschiedene Entwicklungsumgebungen verwendet. Im ersten Halbjahr wurde mit der visuellen Programmierung von LEGO-Robotern ein schülerfreundlicher Einstieg gewählt, der von einem oberflächen- und ereignisorientierten Programmieransatz mit dem MIT AppInventor abgerundet wurde.

Ab dem zweiten Schulhalbjahr steht textbasiertes Programmieren im Vordergrund. Dazu wird der Raytracer POV-Ray verwendet. Damit können komplexe dreidimensionale Bilder und Animationen erstellt werden, wobei die Darstellung der Szene programmiert wird. Die Übersetzung in ein nahezu fotorealistisches Bild übernimmt die Software. Bei der Arbeit mit POV-Ray wird in hohem Maße das räumliche Vorstellungsvermögen trainiert. Während der Unterrichtsreihe zu POV-Ray werden zudem folgende Inhaltsbereiche mit dem Gewicht auf Algorithmen abgedeckt:

- Variablenkonzept
- Schleifen und Verzweigungen
- (Modularisierung)

Das schulinterne Curriculum ist noch nicht kompetenzorientiert formuliert, daher wird für eine kompetenzorientierte Einordnung der Unterrichtsreihe der Kernlehrplan für Gesamt- und Sekundarschulen herangezogen.

1.3.2 Kernlehrplan (KLP Ges/Sek WP IF [1])

Da in NRW noch kein Kernlehrplan Informatik für die Sekundarstufe I für Gymnasien vorliegt, wird stattdessen Bezug zum Kernlehrplan für Gesamtschulen und Sekundarschulen genommen.

Die zweite Unterrichtssequenz der Reihe setzt den Kompetenzschwerpunkt bezüglich der prozessbezogenen Kompetenzen im Bereich „Modellieren und Implementieren“. SuS strukturieren informatische Sachverhalte, indem sie einzelne Bestandteile identifizieren und Beziehungen und Wirkungen zwischen ihnen beschreiben. Sie beurteilen Auswirkungen von Änderungen am Modell bzw. sagen Folgen einer Modelländerung vorher.

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen	
Kompetenzerwartungen	Modellieren und Implementieren	Kommunizieren und Kooperieren
Algorithmen <ul style="list-style-type: none"> • Strukturen und Prinzipien der Algorithmisierung • Überführen umgangssprachlich gegebener Handlungsvorschriften in formale Darstellung 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Implementieren informatischer Modelle • Umsetzung eines Modells in eine textbasierte Programmiersprache • Überführen umgangssprachlich gegebener Handlungsvorschriften in formale Darstellung 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnehmen und Verstehen von Informationen und deren Weitergabe • Sachadäquate Darstellung und Dokumentation • Arbeit im Team

1.4 Einordnung der Unterrichtsstunde in den Kontext der Reihe

1. Sequenz	1. UE	„3D-Programmierung mit POV-Ray“ – Einstieg in Programmierumgebung und das Prinzip eines Raytracers
	2. UE	„Informatisch Modellieren mit Mathematik“ – Beschreibung von 3D-Objekten mit Hilfe eines linkshändigen Koordinatensystems und Erstellen von Draufsichten einer Szene
	3. UE	„Kugeln, Quader & Zylinder“ – Übungen erster eigener 3D-Darstellungen mit POV-Ray
	4. UE	„Impulsreferate Kugeln, Quader & Zylinder“ – Präsentation und Diskussion der Erkenntnisse
2. Sequenz	1. UE	„Error! Vom guten Umgang mit Fehlern.“ – Untersuchen von Fehlerarten beim Programmieren und Modellieren mit POV-Ray
	2. UE	„Rotieren, Skalieren, Verschieben“ – Erkundung geometrischer Transformationen mit Hilfe des 3D-Computergrafikprogramms POV-Ray
	3. UE	„Rotieren, Skalieren, Verschieben“ – Vermischte Übungen zur Anwendung geometrischer Transformationen
3. Sequenz	1. UE	„Constructive Solid Geometry“ – Entwicklung komplexer Objekte durch Vereinigung, Schnitt- und Differenzbildung (Baukastenprinzip)
	2. UE	„Daumenkino digital!“ – Exkurs zur Erstellung von Animationen mit Hilfe von POV-Ray

Anmerkung: In der ersten Unterrichtsstunde haben zusätzlich ein Kennenlernen und eine Erläuterung der Leistungsbeurteilung stattgefunden, da der LAA den Kurs im Rahmen des selbstständigen Unterrichts übernommen hat.

2 Planung der Unterrichtsstunde

2.1 Bedingungsanalyse

Den Differenzierungskurs Informatik der neunten Klassen unterrichtet der LAA im Rahmen des selbständigen Unterrichts seit Beginn des zweiten Schulhalbjahres. Da die Teilnehmezahlen in den Klassenstufen acht und neun besonders hoch sind, werden die Kurse jeweils zweizügig unterrichtet. Den weiteren 9er-Kurs unterrichtet Herr Brumma. Grundsätzlich erstreckt sich der Differenzierungsbereich Informatik über die Schulhalbjahre acht und neun.

Der Kurs wird pro Woche dreistündig (inkl. einer Doppelstunde) unterrichtet und besteht aus 21 Schülern und zwei Schülerinnen.

Zur genauen Zusammensetzung der Lerngruppe hat sich der LAA aufgrund der erst kurzen Übernahme des Kurses noch kein detailliertes Bild machen können. Bei einigen Hospitationen in dem Kurs ist jedoch aufgefallen, dass die SuS bei der Projektarbeit im hohen Maße eigenständig arbeiten und sich untereinander unterstützen. Das Arbeitsklima wurde als lernförderlich wahrgenommen. Ebenfalls hat der SuS bisher keine auffälligen SuS erkennen können, die einen besonders gezielten Förderbedarf haben. Im selbstständigen Unterricht hat der LAA bemerkt, dass sich alle an vereinbarte Regeln halten. Aus positiven Erfahrungen und SuS-Rückmeldungen im Ausbildungsunterricht im Differenzierungskurs der achten Klasse hat sich der LAA vorgenommen, Arbeitsgruppen in Phasen der Gruppenarbeit eigenständig aber variabel zu bestimmen sowie Phasen mit Schülerpräsentationen zu stärken.

Im Hinblick auf jene Präsentationsphasen wurden zu Beginn der Unterrichtsreihe gemeinsame Kriterien entwickelt, anhand derer Präsentationsphasen bewertet und bei der Leistungsbeurteilung berücksichtigt werden.

2.2 Leitgedanken und Ziele der Stunde

Im ersten Teil des ersten Schulhalbjahres haben sich die SuS mit der Konstruktion und Programmierung von Robotern befasst. Sie haben erste Erfahrungen mit Programmierkonzepten mit Hilfe einer visuellen Programmiersprache sammeln können. Im zweiten Teil sind eigene mobile Applikationen (Apps) mit Hilfe des App Inventors von MIT programmiert worden. Im zweiten Schulhalbjahr wird nun auf Basis der visuellen Programmiersprache der Übergang zu einer textbasierten Sprache besprochen. Der Einsatz der Software POV-Ray liefert für SuS ein schnelles Produkt in Form eines Bildes und sorgt damit für ausreichende Motivation. Dies ist ein bedeutender Faktor, da bei ersten Schritten mit einer textbasierten Programmierung häufig Syntaxfehler auftauchen, die i.d.R. mit einer Demotivation durch mühsame Fehlersuchen einhergehen.

Ziel dieser Stunde ist, dass die SuS sich im hohen Maße eigenständig in einen ihnen unbekanntem Themenbereich der geometrischen Transformationen einarbeiten. Sie sollen sich in recht knapper Zeit einen Überblick über die Syntax und Semantik der drei Transformationen Drehung, Skalierung und Bewegung verschaffen. Da es in einer Stunde unrealistisch ist, dass sich alle SuS gleichermaßen mit den drei Transformationen vertieft auseinandersetzen, hat sich der LAA für eine gruppenteilige Arbeit entschieden.

Jede Gruppe (die max. aus drei SuS besteht) bereitet dazu eine Kurzpräsentation vor, die den übrigen vorgestellt werden kann. Die Auswahl der jeweiligen Präsentationsgruppen legt der LAA zufällig fest, sodass jede Gruppe in der Verantwortung ist, ein vorzeigbares Ergebnis zu Stande zu bringen.

Damit die Endprodukte einem ausreichenden Qualitätsniveau genügen, werden Aspekte genannt, die zwingend in der Präsentation vorkommen sollen. Damit erhofft sich der LAA eine Fokussierung im Hinblick auf die angelegte Kompetenzprogression.

Während der Präsentationsphase (mit ggf. einer zweiten Iteration) ergänzen die SuS ihr Notizblatt, auf dem die wichtigsten Fakten zu Transformationen, Skalierungen und Drehungen

festgehalten werden sollen. Dieses Blatt fungiert – neben den im Kurslaufwerk gespeicherten Präsentationen – als Sicherung der erworbenen inhaltsbezogenen Kompetenzen.

Der Planung liegt die Idee zu Grunde, dass erst eine ausreichende Sachkenntnis über die nicht-trivialen Transformationen nötig ist, damit in der darauf folgenden Unterrichtseinheit vertiefend geübt und angewandt werden kann.

Ein weiteres Lernziel entsteht aus der Vorbereitung und möglichen Durchführung einer Kurzpräsentation. Es ist eine besondere Leistung, einen komplizierten Sachverhalt in sehr kurzer Zeit so vorzubereiten, dass die übrigen Teilnehmer einen Mehrwert davon haben. Damit ist eine Vertiefung der kommunikativen und kooperativen Fähigkeiten intendiert.

Durch die methodische Gestaltung der Unterrichtsstunde, mit der ein hoher Grad an Schüleraktivität durch Präsentationsphasen erreicht werden soll, versucht der LAA das vereinbarte Trainingsziel (Reduktion der Lehrerlenkung) anzustreben.

Die geplante Unterrichtsstunde ist der zweite Teil einer Doppelstunde. In der ersten Stunde werden Fehlerarten beim Programmieren und Modellieren mit POV-Ray genauer untersucht. Insbesondere werden die Begriffe Syntax und Semantik wiederholt bzw. definiert.

2.2.1 Gegenstand

Geometrische Transformationen (Translation (Bewegung), Rotation (Drehung) sowie Skalierung) mit einem 3D-Computergrafikprogramm.

2.2.2 Thema

„Rotieren, Skalieren, Verschieben“ – Erkundung geometrischer Transformationen mit Hilfe des 3D-Computergrafikprogramms POV-Ray.

2.2.3 Schwerpunktlernziel

Die SuS erweitern ihre Fähigkeit, informatische Modelle zu entwickeln und implementieren, indem sie die Syntax und Semantik der drei geometrischen Transformationsarten mit Hilfe des 3D-Computergrafikprogramms erkunden.

2.2.4 Sekundäres Lernziel

Die SuS recherchieren in kurzer Zeit Informationen und erweitern ihre kommunikativen Fähigkeiten, indem sie eine Impulspräsentation vorbereiten, welche vereinbarte Kriterien berücksichtigt.

2.2.5 Stundeneinstieg

Der geplante Stundeneinstieg soll die Lernenden neugierig auf ein neues Thema machen und Interesse wecken [4]. Daher hat der LAA eine Animation verschiedener Objekte erstellt, auf die verschiedene geometrische Transformationen angewandt werden. Dieser Einstieg kann als sinnlich-anschaulich charakterisiert werden. Die Animation führt zu einem zunächst offenen Unterrichtsgespräch, bei dem der LAA nach einiger Zeit auf das Ziel der Stunde lenkt: der Erkundung der Grundtypen geometrischer Transformationen.

2.2.6 Kooperative Lernformen

Während der geplanten Unterrichtsstunde sind verschiedene Aspekte kooperativer Lern- und Arbeitsformen – wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung - intendiert. Beispielsweise wird positive Abhängigkeit durch kleine Gruppengrößen bestärkt und die Auswahl der Präsentationen geschieht nach dem Zufall. Da der Einsatz einer bestimmten kooperativen Lernmethode jedoch nicht im Vordergrund steht, wird auf eine vertiefende Ausführung an dieser Stelle verzichtet.

2.3 Planung des Stundenverlaufs

Name: Julian Hundt Lerngruppe: 9Diff-IF Datum: 23.02.2016 10:45 – 11:30		STUDENTHEMA: „Rotieren, Skalieren, Verschieben“ – Erkundung geometrischer Transformationen mit Hilfe des 3D-Computergrafikprogramms POV-Ray. ZIEL: Die SuS erweitern ihre Fähigkeit, informatische Modelle zu entwickeln und implementieren, indem sie die Syntax und Semantik der drei geometrischen Transformationsarten mit Hilfe des 3D-Computergrafikprogrammms erkunden.		
Phasen	Unterrichtsgeschehen	Did./Meth. Kommentar	Sozial form	Medien
Begrüßung/ Organisatorisches	Begrüßung und Vorstellung der Gäste			
Einstieg <i>Aktivierung von Vorwissen</i> <i>Ankommen im Lernkontext</i> (~5min)	L. zeigt Animation und gibt Impuls: „Beschreibt die Szene.“ L. moderiert offenes UG Provokation: „Ich behaupte, im Grunde sind es nur drei Arten der Bewegung.“... Lenkt auf Ziel der Stunde: Erkundung geometrischer Transformationen mit POV-Ray. L. erläutert Arbeitsauftrag (Kärtchen) blendet Gruppeneinteilung ein.	Sinnlich-anschaulicher Einstieg, siehe 2.2.5. „Öffnung“, keine Bewertung der SuS-Äußerungen vornehmen Bezug zur Lebenswelt der SuS, die Bewegungen sind „natürlich“ und existieren in unserem Alltag.	UG	Animation I (ActivBoard) 11 farbige Karten zur Zuordnung Gruppe → Thema
Erarbeitung <i>Erkundung und Lernprodukt herstellen/ diskutieren</i> (~20min)	SuS bearbeiten Aufgabe zu <u>einer</u> geometrischen Transformation und bereiten Kurzpräsentation vor. L. gibt rechtzeitig akustisches Signal zur Überleitung der Phasen. L.: „Sichert die Ergebnisse im Kursordner.“	Gruppeneinteilung durch L. L. hat die Möglichkeit, gezielt und individuell zu unterstützen 11 Gruppen à 2 SuS	PA	Computer

<p>Sicherung</p> <p><i>Lernprodukt festhalten</i></p> <p>(~15min)</p>	<p>L. teilt Notizzettel aus und erläutert, dass dieser während der Präsentation vervollständigt werden soll. Er dient morgen als Hilfe bei der Bearbeitung eigener Transformationen.</p> <p>Zufällig ausgewählte SuS-Gruppen präsentieren die Arbeitsergebnisse (jeweils Translation, Skalierung, Rotation, (T-S-R). Nach Zeitmöglichkeit zweiter Durchlauf.</p> <p>L. unterstützt Moderation, sofern es notwendig ist. L. erstellt <i>Stichpunkte</i> für eine spätere Leistungsbeurteilung.</p> <p>Zuhörende SuS notieren Relevantes auf dem Zettel.</p> <p>L.: „Morgen habt ihr ausführlich Gelegenheit, die Kenntnisse von heute praktisch umzusetzen.“</p> <p>L. moderiert zum Schluss. Offene Fragen, die wir <u>jetzt</u> noch klären müssen?</p>	<p>Ergebnissicherung auf Notizzettel.</p> <p>Sinnstiftung, dass SuS von den Präsentationen der anderen wirklich profitieren.</p> <p>SuS-Moderation hoch, L-Lenkung niedrig (Trainingsziel des LAA).</p> <p>Je nach Zeit: methodisches Feedback anschließen.</p>	<p>SuS-Präsentation</p>	
<p>Sicherung / Vertiefung</p>	<p>Zweite Animation (Meer) zeigen</p> <p>Welche geometrischen Transformationen sind wiederzuerkennen?</p>	<p>Did. Reserve - Rückbezug zum Beginn der Stunde</p> <p>Vertiefung / Bewusstwerdung über den gewonnenen Lernzugewinn</p>	<p>UG</p>	<p>Animation II („Meer“) (ActivBoard)</p>

2.4 Hausaufgaben

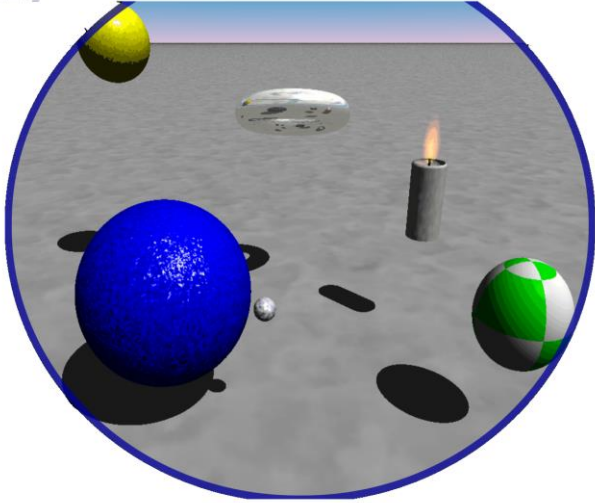
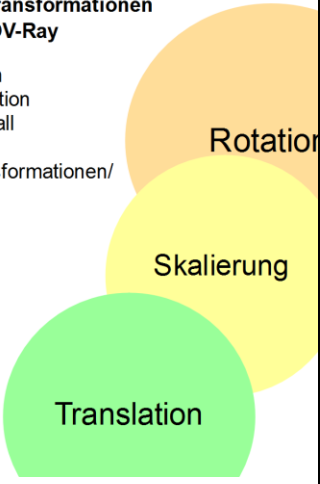
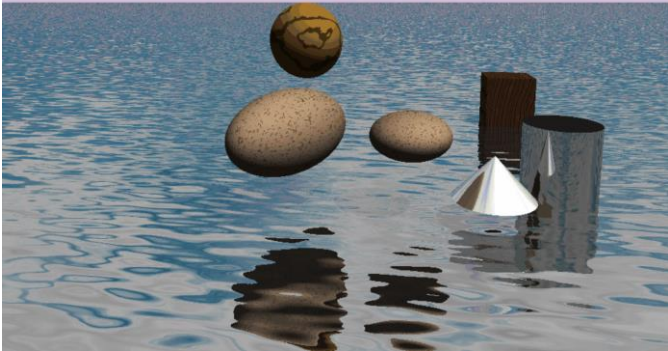
Im Rahmen des Ganztagskonzepts des Nepomucenum werden in der Sekundarstufe I keine Hausaufgaben erteilt.

3 Anhang

3.1 Quellen

- [1]: Kernlehrplan für die Gesamtschule/Sekundarschule in NRW: Wahlpflichtfach Informatik
- [2]: Schulinternes Curriculum für den Wahlpflichtbereich der 9. Klasse
- [3]: POV-Ray-Tutorials (Friedrich A. Lohmüller), Internetquelle: www.f-lohmueller.de
- [4]: Unterrichtseinstiege für den Informatikunterricht – Reader: Interne Seminarfortbildung (ZfsL Bocholt, 2016)

3.2 Geplante ActivBoard-Folien

 <p>(Animation I)</p>	<p>Geometrische Transformationen mit POV-Ray</p> <p>Arbeitsauftrag:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Verstehen einer Transformation2. Vorbereiten einer Kurzpräsentation3. Präsentation von (2.) nach Zufall <p>Details: Kursordner unter : Povray/04-Transformationen/</p> <p>Zeitvorgabe: 20 min (für 1. und 2.) Arbeitsgruppen:</p> <table><tr><td>Svenja Luca V.</td><td>Claas Katja</td></tr><tr><td>David Daniel</td><td>Niklas B. Maximilian</td></tr><tr><td>Jannik Timon</td><td>Leon Lars</td></tr><tr><td>Tim Jun Yi</td><td>Mario Paul Luca B.</td></tr><tr><td>Nicolas Jonas</td><td>Niklas V. Niklas R.</td></tr><tr><td></td><td>Marco Luca T.</td></tr></table> 	Svenja Luca V.	Claas Katja	David Daniel	Niklas B. Maximilian	Jannik Timon	Leon Lars	Tim Jun Yi	Mario Paul Luca B.	Nicolas Jonas	Niklas V. Niklas R.		Marco Luca T.
Svenja Luca V.	Claas Katja												
David Daniel	Niklas B. Maximilian												
Jannik Timon	Leon Lars												
Tim Jun Yi	Mario Paul Luca B.												
Nicolas Jonas	Niklas V. Niklas R.												
	Marco Luca T.												
<p>Rückschau</p> <p>a) Beschreibe, welche geometrischen Transformationen zu erkennen sind! b) Kannst du diese detaillierter spezifizieren, als zu Beginn der Stunde?</p>  <p>(Animation II)</p>													

3.3 Ergänzendes Material

3.3.1 Zusatzaufgaben

Zusatzaufgaben stehen den Schülern insofern zur Verfügung, dass sie ihre Präsentation beliebig erweitern können (z.B. um die Vorführung eines eigens programmierten Beispiels). Da dies wohl nur den wenigsten Gruppen in der knappen Zeit gelingen wird, verzichtet der LAA auf weiteres Material. Das vorhandene Material ist unterschiedlich anspruchsvoll gestaltet, sodass hier unterschiedliche kognitiven Anforderungen der SuS berücksichtigt werden. Beispielsweise ist die Website von Herrn Lohmüller mit deutlich umfangreicheren Beispielen ausgestattet als die PDF „POV-Ray-Guide“ der Universität Hamburg.

3.4 Arbeitsmaterialien

3.4.1 Arbeitsaufträge



23.02.2016

Geometrische Transformationen mit POV-Ray

Arbeitsauftrag:

Macht euch mit der **Transformation** bzw. **Rotation** bzw. **Skalierung** vertraut, indem ihr Teile des unten verlinkten Materials erkundet.

Bereitet daraufhin eine Impulspräsentation vor (**max. 3 Minuten!**), in der ihr euren Mitschülern eure Erkenntnisse erläutert.

Die *Form der Präsentation* bleibt euch überlassen (Impress, Textdokument, Tafelanschrieb, Vorführung eines Beispiels).

Inhalte der Präsentation

Erläuterung der Syntax und Semantik der Transformation

optional:

- + Vorführung eines eigenen Beispiels (Zeit beachten!)
- + Verwendung einer Draufsicht, + weitere eigene Ideen ?!

Materialangebot

- www.f-lohmueller.de/pov_tut/trans/trans_100d.htm (**Translation**)
- www.f-lohmueller.de/pov_tut/trans/trans_200d.htm (**Rotation**)
- www.f-lohmueller.de/pov_tut/trans/trans_300d.htm (**Skalierung**)
- POV-Ray-Guide (PDF im Kursordner) ab S. 12 (**Translation, Rotation, Skalierung**)
- Offizielle POV-Ray-Dokumentation (übersetzt, PDF im Kursordner) ab S. 12 (**Translation, Rotation, Skalierung**)

Fertig? Nutzt eure farbige Karten für Notizen, die euch bei der Präsentation helfen oder schaut euch doch schon eine andere Transformation an!

3.4.2 Notizzettel



Geometrische Transformationen: Rotation, Skalierung & Translation

Vervollständige während der Präsentationsphase dieses Notizblatt und notiere Fragen und Unklarheiten.

Rotation

Skalierung

Translation

Merke: Erst _____, dann _____, dann _____

3.5 Antizipierte Schülerlösungen der Arbeitsmaterialien

Im Unterricht sind zuvor Kriterien guter Präsentationen gemeinsam entwickelt worden: Struktur & Aufbau, Sprache & Akustik, Qualität, Verständlichkeit & Anschaulichkeit. Wünschenswert ist es, wenn sich die SuS bei der Präsentation der Ergebnisse an diesen Kriterien orientieren. Im Folgenden werden einige inhaltliche antizipierte Schülerlösungen skizziert.

Rotation (=Drehung)

Syntax: **rotate** <w₁, w₂, w₃>

Semantik: bewirkt eine Rotation (Drehung) eines Objektes um die jeweilige Koordinatenachse der drei Grundrichtungen, also um einen Winkel von **w₁** Grad in x-Achse, um einen Winkel von **w₂** in y-Achse und um einen Winkel von **w₃** Grad in z-Achse.

Drehrichtung von Winkel im „Gegenuhrzeigersinn“ (math. Positiv), sofern man in die jeweilige positive Achsenrichtung blickt.

Wichtig: Die Drehung erfolgt nicht um eventuelle Symmetrieachsen durch den Mittelpunkt des Objektes und die Drehungen werden in der aufgezählten Reihenfolge ausgeführt.

Rotationen sind nicht kommutativ, i.A. ist rotate<20,0,0>, rotate<0,30,0> ≠ rotate<0,30,0>, rotate<20,0,0>.

Optional:

- ❖ Kurzbeispiel, Grafik, Rollenspiel o.Ä.
- ❖ auf häufige Fehlerquelle mit der Nicht-Kommutativität hinweisen.
- ❖ Vorgehensweise, wenn Objekt um eigene Symmetrieachsen gedreht werden soll.
- ❖ Rotate kann auch auf andere Objekte wie Lichtquellen und Texturen angewandt werden.
- ❖ Drehung bei einem Objekt, das nicht auf einer Koordinatenachse liegt, sorgt für ein „Umkreisen“ und keine „Eigenrotation“.

Skalierung (=skalieren, Maßstab ändern)

Syntax: **scale** < s_x, s_y, s_z>

Semantik: bewirkt eine Multiplikation (Vergrößerung bzw. Verkleinerung) der Dimensionen eines Objektes in den 3 Grundrichtungen. Dabei werden die x-Werte (Breite) mit **s_x**, die y-Werte (Höhe) mit **s_y** und die z-Werte (Tiefe) mit **s_z** multipliziert.

Optional:

- ❖ Kurzbeispiel, Grafik, Rollenspiel o.Ä.
- ❖ scale <1,1,1> bewirkt nichts.
- ❖ Hinweis auf Möglichkeit der Realisierung einer Spiegelung.
- ❖ Alle Argumente müssen von Null verschieden sein.
- ❖ scale kann auch auf andere Objekte wie Texturen oder Farbmuster angewandt werden.

Kurzschreibweise scale 5 anstatt scale <5,5,5>

Translation (=Verschiebung)

Syntax: **translate** <x₁, y₂, z₃>

Semantik: bewirkt eine Translation (=Parallel-Verschiebung) eines Objektes um x₁ in x-Richtung (Daumenrichtung, Breite), um y₂ in y-Richtung (Zeigefingerrichtung, Höhe) und um z₃ in z-Richtung (Mittelfingerrichtung, Tiefe).

Bewegung erfolgt relativ zur jeweiligen Ausgangslänge.

Optional:

- ❖ Kurzbeispiel, Grafik, Rollenspiel o.Ä.
- ❖ Hinweis, dass „translate“ auch auf andere Objekte wie Lichtquellen und Texturen uvm. angewandt werden kann.
- ❖ Translate sollte nach scale und rotate als letzte Anweisung verwendet werden (ggf. mit Begründung).