

## **Entwicklung eines dreidimensionalen Koordinatensystems mit Rastfunktion im virtuellen Raum**

Das Bauen von Konstruktionen und Objekten im virtuellen Raum kann auf verschiedene Arten erfolgen. Am häufigsten ist in virtuellen Umgebungen das freie Bauen verfügbar. Mit den Controllern, die in der virtuellen Umgebung als Hände dargestellt werden, können Objekte gegriffen und frei positioniert werden.

Für den Geometrieunterricht wäre es jedoch auch notwendig, Objekte in vorgegebene geometrische Beziehungen zueinander setzen zu können. Neben dem freien Bauen wäre es daher sinnvoll, in einer virtuellen Umgebung auch die Möglichkeit zu haben, Objekte gezielt an vorgegebenen Positionen zu platzieren. Um ein gezieltes Bauen zu ermöglichen, wurden verschiedene Varianten eines Rasters entwickelt, die im Rahmen dieses Beitrages vorgestellt werden.

### **Raster im virtuellen Raum**

Unter einem Raster wird in diesem Beitrag die Darstellung von Punkten verstanden, die einen konstanten Abstand in x-, y- und z-Richtung zueinander haben. Die Rasterpunkte haben die Eigenschaft, andere Objekte in einem bestimmten Radius „magnetisch“ anzuziehen, so dass diese Objekte an den Rasterpunkten andocken können. Das bedeutet, dass ein Objekt die Position des Rasterpunktes übernimmt und seine alte Position verliert. Das Objekt „rastet“ in den Rasterpunkt ein.

### **Vorgehen**

Ausgehend von der Frage, wie ein Raster im virtuellen Raum gestaltet sein muss, um eine positive Nutzererfahrung zu erzeugen, wurden mehrere Parameter definiert. Diese werden im Folgenden beschrieben:

- **Darstellung:** In einem Raster können sowohl die Rasterpunkte als auch die Rasterlinien, d.h. die Verbindung zwischen zwei Rasterpunkten, visuell dargestellt werden. Rasterpunkte können in verschiedenen Formen (z.B. als Kugel oder Würfel), Farben und Größen dargestellt werden. Rasterlinien können mit unterschiedlichen Konturen (z.B. gestrichelt), Farben und Linienstärken visualisiert werden. Sowohl für Rasterpunkte als auch für Rasterlinien kann eine Transparenz eingestellt werden.
- **Ton:** Beim Einrasten kann ein Ton abgespielt werden. Eigenschaften wie Lautstärke, Länge und Klang des Tons sind hier relevant.

- Radius: Der Radius beschreibt den Abstand zwischen Rasterpunkt und Objekt, der benötigt wird, um das Objekt anzuziehen. Er ist abhängig vom allgemeinen Abstand der Rasterpunkte zueinander.
- Vibration: Bei der Verwendung von Controllern kann eine Vibration als Feedback für das erfolgreiche Einrasten übertragen werden. Hier ist vor allem die Dauer der Vibration von Bedeutung.
- Einrastdauer: Einrastdauer meint die Dauer, wie lange ein Objekt an einem Rasterpunkt andockt, d.h. die Position des Rasterpunktes übernimmt, bevor es „losgelassen“ wird und wieder frei durch die Anwender\*in steuerbar ist.

Während der Entwicklung des Rasters wurden die dargestellten Parameter kontinuierlich angepasst.

### **Weltkoordinatensystem**

Der erste Ansatz bestand darin, ein Weltkoordinatensystem für den virtuellen Raum zu entwickeln. Die Achsen des Koordinatensystems wurden im Zentrum positioniert. Das Raster wurde in der *Unity Engine* erstellt und mit einer *Meta Quest 2* getestet. Es wurden jedoch einige Schwierigkeiten identifiziert.

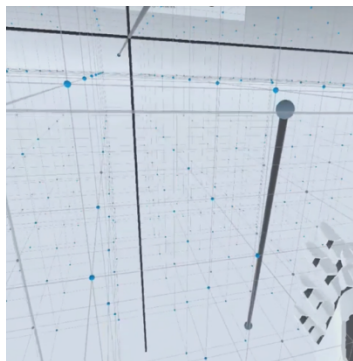


Abb. 1: Weltkoordinatensystem im virtuellen Raum

### **Renderleistung**

Die Erzeugung der Rasterpunkte erfordert eine hohe Renderleistung. Die ursprüngliche Idee, das Raster vollflächig über den gesamten virtuellen Raum zu erzeugen, scheidet aufgrund der Renderleistung zwangsläufig aus. Die Größe des Rasters musste begrenzt werden.

### **Benutzersicht und visuelle Darstellung**

Es war für die Anwender\*innen sehr leicht, die Orientierung zu verlieren, wenn sie komplett im Raster standen. Hinzu kamen weitere optische Effekte wie Interferenzmuster durch die Überlagerung der Rasterlinien, die das Sehen im Raster zusätzlich erschwerten.

## Magnetische Verankerung

Die Rasterpunkte haben einen Abstand von 10 Zentimetern zueinander. Bewegten die Anwender\*innen ihr Objekt innerhalb des Rasters, so rastet das Objekt, oft ungewollt, in die Rasterpunkte ein. Dieser ungewollte Effekt kann zwar durch Parametereinstellungen für Radius und Einrastdauer reduziert werden, verschwindet aber nie ganz und wurde weiterhin als negativ empfunden.

Allerdings empfanden die Anwender\*innen die Arbeit mit dem Raster angenehmer, wenn sie außerhalb des Rasters standen. Daher wurden weitere Ansätze entwickelt, wie z.B. eine Spur mit Rastfunktion, die der virtuellen Hand folgt. Im Laufe der Entwicklung wurde schließlich ein Referenzkoordinatensystem als Raster festgelegt.

## Referenzkoordinatensystem

Das Referenzkoordinatensystem wurde in der virtuellen Umgebung so gestaltet, dass ein beliebiger Punkt ausgewählt werden kann, der dann als Referenzpunkt dient. Das Raster richtet sich nach dem Referenzpunkt aus, sobald das Objekt bewegt wird.

Für das Referenzkoordinatensystem wurden drei Varianten entworfen, die sich in der Darstellung an der Strecke, der Ebene und dem Quader orientieren.

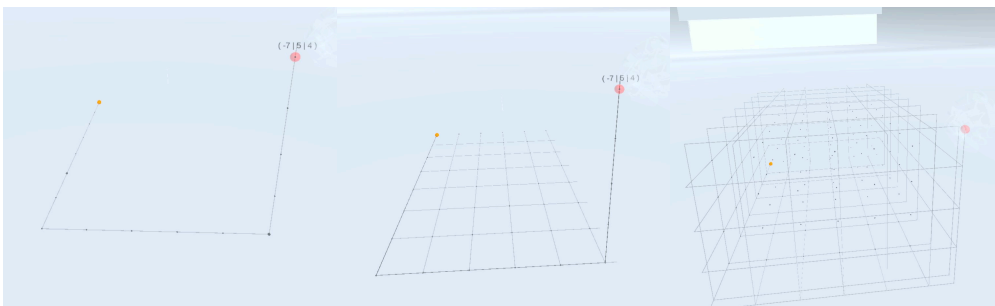


Abb. 2: Darstellungsvarianten Strecke, Ebene und Quader im virtuellen Raum

## Benutzerinput

Die drei Varianten wurden zu Beginn der Entwurfsphase unterschiedlich bedient.

Bei der Strecken-Variante wurden x, y und z nacheinander durch Drücken einer Taste am Controller eingestellt, in Anlehnung an die Funktionsweise des Rasters in *GeoGebra*.

Bei der Ebenen-Variante wurden x und y gleichzeitig gesetzt, während z durch Gedrückthalten einer Taste am Controller gesetzt wurde. Die Ebenen-Variante ist an die Funktionsweise des Rasters in *Cabri* angelehnt.

Bei der Quader-Variante wurden  $x$ ,  $y$  und  $z$  gleichzeitig gesetzt.

Alle Anwender\*innen haben in der Entwicklungsphase die Quader-Variante als am angenehmsten empfunden, weil in dieser Variante kein Tastendruck erforderlich war. Trotzdem wurde die optische Darstellung des Quaders im Gegensatz zu den anderen Varianten als „überladen“ empfunden. Aus diesem Grund wurden alle Varianten so angepasst, dass keine Benutzereingaben mehr erforderlich sind. D.h. die Anwender\*innen müssen „nur“ noch einen Referenzpunkt auswählen und das Objekt, welches sie platzieren möchten, mit der virtuellen Hand ergreifen. Durch diese Änderung wurden nun auch andere Darstellungsformen abseits des Quaders von den Anwender\*innen präferiert.

### **Einführung des Tripels**

Durch die Einführung des Tripels, d.h. einer Anzeige der  $x$ -,  $y$ - und  $z$ -Koordinaten am zu bewegendem Objekt, wurde das Nutzererlebnis laut Aussagen der Anwender\*innen verbessert. Das Tripel trägt wesentlich zur räumlichen Orientierung bei.

Einige zuvor definierte Parameter, wie z.B. der Ton beim Einrasten in einen Rasterpunkt, verlieren durch die Koordinatenanzeige an Bedeutung.

Um auszuschließen, dass nur ein Tripel für das präzise Konstruieren im virtuellen Raum ausreicht, wurde eine vierte Darstellungsvariante entwickelt. In dieser Variante werden im Gegensatz zu Strecke, Ebene und Quader weder Rasterlinien noch Rasterpunkte dargestellt. In dieser Variante wird nur das Tripel dargestellt, die Einrastfunktion der (nun transparenten) Rasterpunkte bleibt jedoch erhalten.

### **Ausblick**

In diesem Beitrag wurde der Entwicklungsweg von Rastern im virtuellen Raum dargestellt.

Um zu evaluieren, welche der vier Darstellungsvarianten von den Anwender\*innen am positivsten wahrgenommen wird, ist eine Untersuchung mit ca. 40 Lehramtsstudent\*innen der Mathematik geplant. Innerhalb der Untersuchung soll ermittelt werden, ob sich die Darstellungsvarianten in ihrer Usability voneinander unterscheiden. Darüber hinaus soll der Einfluss der persönlichen Vorgehensweise beim Setzen eines Punktes im Raum auf die wahrgenommene Usability überprüft werden. Die Teilnehmer\*innen sollen anhand eines Fragebogens ihre Wahrnehmung der einzelnen Varianten bewerten. Zudem werden Bild- und Tonaufnahmen des virtuellen Raumes gemacht und ausgewertet.