

Navigation mit dem Kugelfisch

Jan Hochstrate, Marcel Pfothenhauer
Bauhaus-Universität Weimar

Abstract: Der Kugelfisch ist ein Eingabegerät für dreidimensionale Desktop-Anwendungen, das die Bedienung von sechs Freiheitsgraden einfacher und intuitiver gestalten soll. In vorangegangenen Studien erwies sich das Gerät für Objektmanipulationen bereits als effizienter und leichter erlernbar als die kommerziell verfügbare SpaceMouse™. In dieser Arbeit beschreiben wir eine Interaktionsmetapher für die Navigation mit dem Kugelfisch. Unser Ansatz unterstützt die vier Modi Stehen, Gehen, Fahren und Fliegen, die durch geeignete hysteresebehaftete Übergänge verbunden werden. Unsere Nutzerstudie zeigt, dass es einen geringen, aber signifikanten Vorteil für die SpaceMouse™ gegenüber dem Kugelfisch gibt, der auch durch subjektive Bewertungen bestätigt wurde. Unsere beschleunigungsbasierte Navigationsmetapher zeigte sich gut beherrschbar und wurde insgesamt positiv aufgenommen.

Stichworte: Interaktionstechniken, Kugelfisch, 3D Navigation, Beschleunigungssteuerung

1 Einleitung

Anwendungen mit dreidimensionaler Computergrafik setzen seit vielen Jahren besondere Ausgabe- und Darstellungstechniken ein, die dem Anwender bei der Wahrnehmung des Programms ein lebendiges Gefühl der Dreidimensionalität vermitteln. Doch auf der Seite der Interaktion, der aktiven Beeinflussung des dreidimensionalen Raumes durch den Nutzer, hängt die Entwicklung hinterher. Zur Interaktion in drei Dimensionen (3D) müssen Drehung (Rotation) und Verschiebung (Translation) in Bezug auf jeweils drei Raumachsen manipuliert und kontrolliert werden. Insgesamt müssen sechs Freiheitsgrade (DoF) vom Nutzer bedient werden. Eine Lösung zur Eingabe von sechs Freiheitsgraden in Desktop-Umgebungen stellt der an der Bauhaus-Universität Weimar entwickelte Kugelfisch dar [FHS06].

Die hervorragende Nutzbarkeit des Geräteentwurfs für Objektmanipulationen in drei Dimensionen motivierte uns, eine angepasste Interaktionstechnik zu entwickeln, um damit auch Kamerabewegungen in grafischen Raumsimulationen gut beherrschen zu können. Ein Vergleich mit dem SpaceMouse™ 6-DoF Eingabegerät zur Bedienung der neuen Interaktionstechnik zeigt, dass der Kugelfisch auch für Navigationsaufgaben vergleichsweise gut verwendbar ist.

1.1 Der Kugelfisch als Alternative zur SpaceMouse™

Als Desktopeingabegerät mit 6-DoF Funktionalität hat sich weitestgehend die SpaceMouse™ etabliert. Die selbstzentrierenden, elastischen Kraftsensoren werden zur Steuerung von Bewegungsgeschwindigkeiten eingesetzt (vgl. [Zha95]). Das Konzept des integrierten 6-DoF

Sensors bringt den Nachteil mit sich, dass Nutzer bei Translationen oft ungewollt Rotationen auslösen und umgekehrt. Mit der Zielstellung einer leichteren Trennbarkeit von Translationen und Rotationen wurde der Kugelfisch entwickelt.

Der Kugelfisch nutzt für die Rotation einen frei drehbaren isotonischen 3-DoF Trackball, der zur Steuerung der Verschiebung zusätzlich in alle drei räumlichen Richtungen elastisch auslenkbar ist. Dieser Ansatz trennt die Rotation und die Verschiebung in zwei eigenständige Bewegungsabläufe.

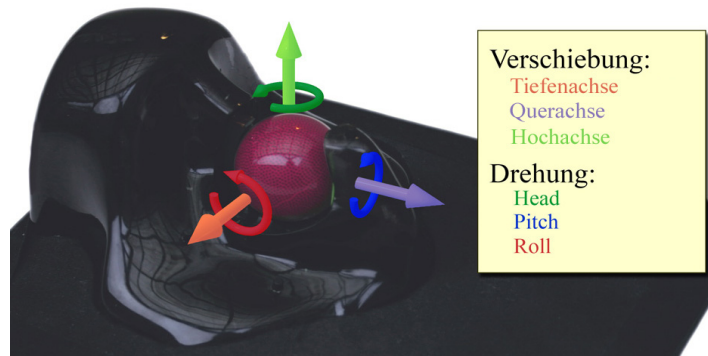


Abbildung 1: Kugelfisch der Bauhaus-Universität Weimar.

Rotationen werden mit dem Kugelfisch positionsgesteuert durch Drehen an der Kugel eingegeben, während die elastischen Verschiebungen durch Kraftereinwirkung an der Kugel in die jeweilige Richtung mit Geschwindigkeitssteuerung interpretiert wird. Bei Positionssteuerung wird der gemessene Sensorwert direkt als Positionsänderung eines virtuellen Objektes bzw. der virtuellen Kamera umgesetzt. Bei Geschwindigkeitssteuerung werden die Sensormesswerte entsprechend als Bewegungsgeschwindigkeit des virtuellen Objekts oder Kamera umgesetzt. Im Vergleich zur handelsüblichen SpaceMouse™ erwies sich das Konzept der Separation von Translationen und Rotationen als effizienter und leichter erlernbar für die Manipulation von dreidimensionalen Objekten [FHS06]. Ob der Kugelfisch auch für Navigationsaufgaben einsetzbar ist, war bisher ungeklärt.

1.2 Navigation

Interaktionstechniken für 3D Computeranwendungen werden für gewöhnlich in vier Hauptgruppen unterteilt: Navigation, Selektion, Manipulation und Systemkontrolle [BKL05]. Navigation steht im Kontext von interaktiver dreidimensionaler Computergrafik für die Kontrolle des Beobachtungspunktes und der Blickrichtung.

2 Navigationstechniken

Mit gängigen Metaphern des Fahrens bzw. Fliegens, muss meist ein "Vorwärts"-Schub gehalten werden, während gleichzeitige Rotationseingaben das Lenken und damit die Ansteuerung von Zielen ermöglichen. Jacob et al. [JSP94] haben bewiesen, dass Anwender effektiver arbeiten können, wenn die integralen und separierten Bestandteile einer Aufgabe den gleichzeitig bzw.

getrennt bedienbaren Freiheitsgraden des verwendeten Eingabegerätes entsprechen. Die 3-DoF + 3-DoF Architektur des Kugelfisches entspricht per se gerade nicht der für Navigationsaufgaben benötigten Simultanität. Während die Kugel elastisch verschoben wird, können nur geringe Rotationswinkel bedient werden.

Um dem Benutzer die Bedienung der Rotation dennoch zu vereinfachen, wurde der Aufwand für die Schubkontrolle durch eine Beschleunigungssteuerung minimiert. Schub und Lenkung sind damit getrennt bedienbar und könnten mit dem Kugelfisch-Eingabegerät, das diese Separation unterstützt, sogar besser bedienbar sein. Um dies zu untersuchen, testen wir das Gerät gegen den SpaceMouse-Eingabesensor, der alle sechs Freiheitsgrade simultan anbietet.

3 Navigationsmetaphern

Für die Navigation mit dem Kugelfisch wurde eine Steuerung entwickelt, die aus vier ineinander übergehenden Modi besteht. Nach Bowman et al. [BKL05] werden Bewegungen des Beobachtungspunktes nach ihrer Motivation in Erkundung, Suche und Manövrieren unterteilt. Ansatz unserer Interaktionstechnik ist die bestmögliche Anpassung der Eingabemöglichkeiten an die entsprechenden Anforderungen durch automatisch wechselnde Modi.

Doulis et al. [DZP06] zeigten bereits einen gestenbasierten Ansatz zum Wechsel zwischen den Modi Fahren und Fliegen.

3.1 Translationen

Für Translationseingaben nutzen wir eine Beschleunigungssteuerung. Sie ermöglicht die Festeinstellung von Bewegungsgeschwindigkeiten ähnlich einem Tempomat in Automobilen. Der Anwender muss sich folglich einzig auf die Kontrolle der Lenkung konzentrieren. Durch Verschieben der Kugel nach vorne oder hinten wird beschleunigt oder gebremst. Die verwendeten Transferfunktionen wurden im Hinblick auf Kontrollsicherheit optimiert. Um sicherzustellen, dass Nutzer nicht übersteuern und überhöhte Geschwindigkeit schnell verringern können, wirken Eingaben zum Bremsen dreimal stärker als zur Beschleunigung. Informelle Vortests mit gleicher Verstärkung für Schub- und Bremsbeschleunigung zeigten die Notwendigkeit dessen. Bei niedrigen Geschwindigkeiten sind zudem die Beschleunigungs- und Bremswirkungen verringert. Ähnlich wie gängige Beschleunigungsfunktionen für die Positionssteuerung des Mauszeigers, erleichtert hier eine exponentielle Transferfunktion Feinjustagen, wie sie zum genauen Manövrieren benötigt werden.

3.2 Rotationen

Für Rotationen, gleich ob isotonisch durch Kugeldrehung oder elastisch eingegeben, werden die jeweiligen isomorphen Sensorwerte linear als Winkeländerungen bzw. Rotationsgeschwindigkeiten interpretiert. Der Trackball als isotonischer Sensor ist nicht selbstzentrierend. Um nach einer Kurve, wieder eine geradlinige Bewegung aufzunehmen, müsste der Nutzer bei Geschwindigkeitssteuerung die Kugel exakt in ihre Ausgangsposition zurückdrehen. Um dem

abzuhelfen wird die Eingabe nicht direkt verwendet, sondern von einem Puffer gefiltert. Dieser bewirkt die langsame Abnahme der eingestellten Geschwindigkeit, wenn die Kugel nicht weiter gedreht wird. Für elastische Eingaben wird die automatische Rückstellung nicht verwendet, da die Sensoren selbstständig in Nullstellung zurückkehren.

3.3 Modus „Stand“

Zu Beginn befindet man sich im Modus „Stand“ (Abb. 2 rechts unten), dieser ermöglicht nur die Orientierung in der virtuellen Welt. Der Blickwinkel um Hoch- und Querachse kann mit dem Trackball direkt (Positionssteuerung), oder mit der SpaceMouse durch Geschwindigkeitssteuerung eingestellt werden. Schiebt man die Kugel vorwärts oder rückwärts, begibt man sich in den Modus „Walk“. Außerdem hat man im Modus „Stand“ die Möglichkeit durch Translation nach oben vom Boden abzuheben und damit in den Modus „Fly“ zu wechseln.

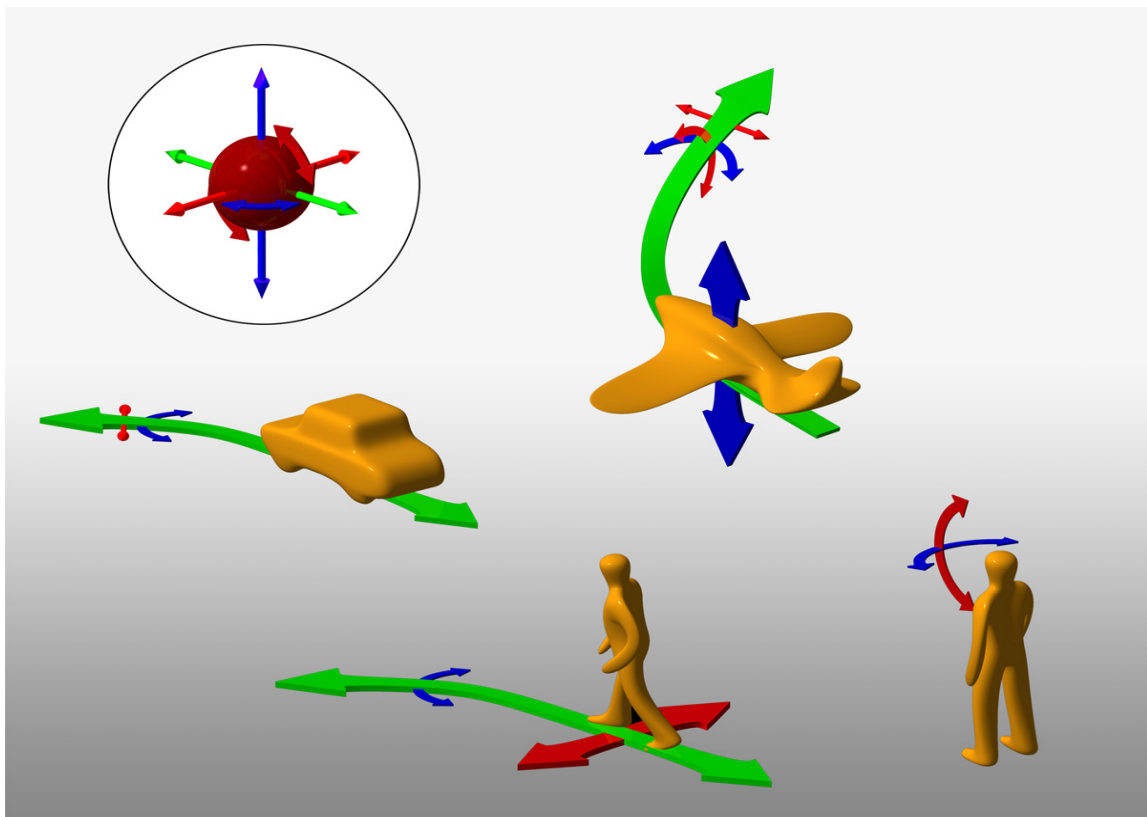


Abbildung 2: Navigationsmodi: Breite Pfeile stehen für Bewegungspfade. Schmale Pfeile für den Einfluss der Rotationseingaben auf die Bewegungsrichtung, bzw. den Beobachtungspunkt selbst.

3.4 Modus „Walk“

Der Modus „Walk“ (Abb. 2 links unten) ist auf das Manövrieren in der virtuellen Raumsimulation ausgelegt. Die Steuerung der Blickrichtung ist konsistent zum Modus "Stand". Translationseingaben nach links und rechts steuern die Geschwindigkeit seitlicher "Strafe"-Bewegungen. Beschleunigung auf "Fahrgeschwindigkeit" löst den Moduswechsel zu

„Drive“ aus. Abbremsen auf Null, durch Rückbewegung der Kugel oder einen diskreten Tastendruck, aktiviert den Modus „Stand“.

3.5 Modus „Drive“

Der Modus „Drive“ (Abb. 2 links unten) ist an das Auto fahren angelehnt und unterstützt gezielte als auch freie Erkundung der virtuellen Welt. Zum Lenken dreht der Anwender die Kugel nach links oder rechts. Alternativ kann er dazu auch die Kugel elastisch verschieben (rechts/links).

In den Modus „Fly“ gelangt man durch Translationseingabe nach oben. Ein Abbremsen unter eine gewisse Geschwindigkeit hat den Wechsel in den Modus „Walk“ zur Folge.

3.6 Modus „Fly“

Der Modus „Fly“ (Abb. 2 rechts unten) vereinfacht die Überbrückung großer Distanzen zur Exploration der Umgebung. Die Rotation um die Hochachse (Lenken) ist konsistent zum Modus „Drive“. Zur Flugsteuerung kann zusätzlich die Querachse (Höhenruder) durch Rotation bedient werden. Translationseingaben nach oben bzw. unten steuern die Flughöhe. Durch Landen auf der Landschaftsebene der Simulation gelangt man zurück in den Modus „Drive“. Abbremsen auf Null aktiviert den Modus „Stand“. Da Flughöhe den Überblick erleichtert, erlaubt „Fly“ fünfzig Prozent höhere Geschwindigkeiten als „Drive“.

3.7 Transitionen

Transitionen (Abb. 3) sind stufenlose Übergänge zwischen den verschiedenen Interaktionsmodi. Um ein ständiges Wechseln zwischen den Modi im Grenzbereich zu vermeiden, wurden sie mit Hysteresefunktionen implementiert. Der Wechsel zwischen zwei Modi hat also verschiedene Schwellenwerte in beide Wechselrichtungen.

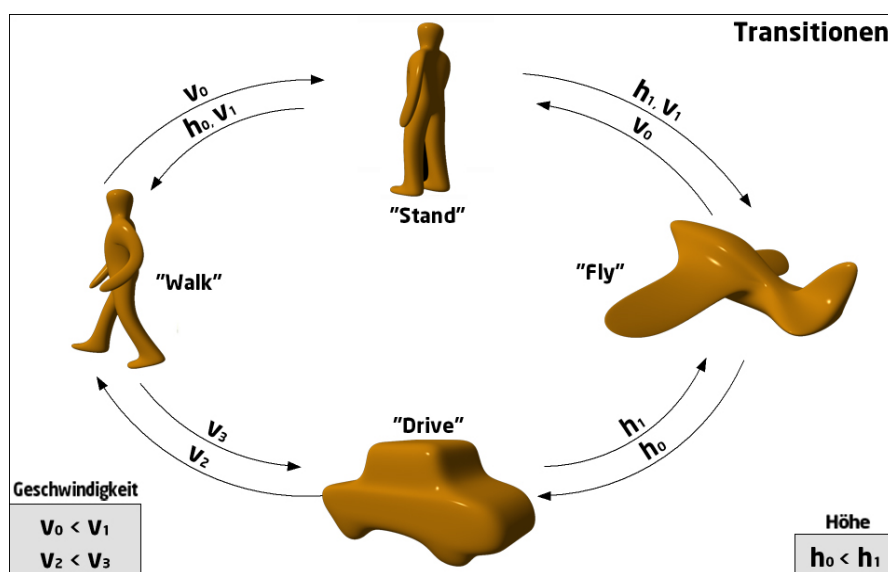


Abbildung 3: Visualisierung der Transitionen

4 Evaluation

Die Aufgabe besteht darin, einen vorgezeichneten Parcours zu passieren. Er wird durch 30 transparente kugelförmige Ziele unterschiedlicher Größe visualisiert. Zur Interaktion wurden die SpaceMouse™ und der Kugelfisch, mit der oben beschriebenen Interaktionstechnik, verwendet. Als Testumgebung (Abb. 4) zur Evaluation wurde SGI Performertown verwendet (vgl. [DZP06]).



Abbildung 4: Testumgebung

4.1 Testablauf

Zuerst sind zehn kleine Ziele im Modus „Walk“ zu durchlaufen. Im Anschluss daran folgen zehn mittelgroße Ziele, die im Modus „Drive“ zu absolvieren sind. Zum Abschluss sind die zehn größten Ziele im Modus „Fly“ zu durchfliegen. Das jeweils nächste Pfadziel wird blau dargestellt und wechselt die Farbe zu Orange, wenn es passiert wurde.

An der Evaluation haben 26 freiwillige Versuchspersonen im Alter von 17 bis 31 Jahren teilgenommen. Zwei der Versuchspersonen waren Linkshänder, bedienten die Geräte aber trotzdem mit rechts. Nur zwei der Teilnehmer an der Studie gaben an, noch keine Erfahrung im Umgang mit dreidimensionalen Computergrafikanwendungen zu haben.

Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wurde abwechselnd mit Kugelfisch oder SpaceMouse™ begonnen. Den Versuchspersonen wurde als erstes die Steuerung am jeweiligen Gerät erklärt. Daran schloss sich eine Übungsphase an, deren Dauer die Versuchspersonen selbst bestimmten. Als nächstes wurde die Strecke zum Kennenlernen einmal abgeflogen. Diese prägte sich bei allen Testpersonen sehr schnell ein. Nun wurden vier Versuche mit Zeitmessung durchgeführt. Im Anschluss folgte der Wechsel auf das alternative Gerät, mit weiteren vier Durchgängen. Vor den Versuchen wurden die Testpersonen darauf hingewiesen, die Strecke so schnell wie möglich zu bewältigen. Zum Abschluss mussten die Testpersonen einen Fragebogen ausfüllen, um auch subjektive Einschätzungen reflektieren zu können.

4.2 Ergebnisse

Die gemessenen Zeiten (Tab. 1) wurden mit einem t-Test (Signifikanzniveau von 0,05) gegeneinander getestet. Hierbei ergab sich ein signifikanter Performancevorteil für die SpaceMouse™. Dies deutet darauf hin, dass Rotationsgeschwindigkeiten mit einem elastischen Sensor tendenziell besser bedienbar sind. Nach [Zha95] ist dies folgerichtig, da es sich um eine Geschwindigkeitssteuerung handelt.

	Zeit (Kugelfisch)	Zeit (SpaceMouse™)
die 4 Wertungstrials (Mittelwert)	121,67 s	113,82 s
die besten 3 Trials (Mittelwert)	115,24 s	109,11 s
der beste Trial (Mittelwert)	108,73 s	104,58 s
der schnellste Trial	92,37 s	91,94 s

Tabelle 1: Die gemessenen Zeiten.

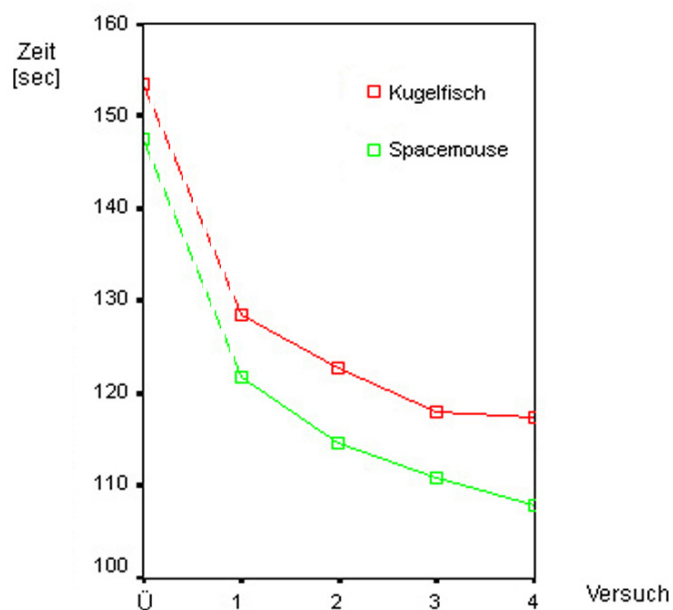


Abbildung 5: Lernkurven SpaceMouse™ und Kugelfisch

Das Lernverhalten für die beiden Eingabegeräte ist ähnlich, wobei der Zeitvorteil der SpaceMouse™ mit zunehmender Versuchsdauer leicht zunimmt (Abb. 5).

Bei der Nutzerbefragung bezüglich der Geräte zeigte sich eine Präferenz der SpaceMouse™ (61%). Die Interaktionstechnik mit automatisch wechselnden Modi wurde als durchweg leicht verständlich und bedienbar eingeschätzt. Die Übergänge zwischen den einzelnen Modi führten nicht zu Verwirrung.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Beschleunigungsbasierte Fortbewegungsmetaphern zur Veränderung der Beobachtungssituation sind aus zahlreichen Fahrzeugsimulationen in Computerspielen bekannt und lassen sich im Allgemeinen intuitiv bedienen. Wir haben gezeigt, dass diese Interaktionsform auch mit 6-DoF Eingabegeräten genutzt werden kann. Zur Erkundung weitläufiger Umgebungen (Exploration) in der Realität als auch in virtuellen Simulationen ist es hilfreich, eine konstante Geschwindigkeit leicht beibehalten zu können. Der ruhige Bewegungsablauf erleichtert die Konzentration auf Details der Umgebung. Durch Beschleunigungsteuerung für die Hauptbewegungsrichtung, kann der Nutzer eine feste Geschwindigkeit zur Raumnavigation festlegen und muss sich anschließend nur noch nötigen Anpassungen von Flug- bzw. Fahrriechtung widmen. Seine Aufmerksamkeit gilt hauptsächlich der Wahrnehmung der Umgebung.

Es ist vorstellbar, dass Beschleunigungssteuerungen gegenüber Geschwindigkeitssteuerungen vorteilhaft sind zur Sammlung von Rauminformationen, da sie vom Nutzer weniger gleichzeitige Kontrolleingaben benötigen. Dies zu untersuchen, bedarf einer weiteren Nutzerstudie.

Wir haben gezeigt, dass zur Kontrolle der Bewegungsrichtung einer solchen Beschleunigungssteuerung sowohl isotonische als auch elastische Rotationssensoren gut eingesetzt werden können. Der Performance-Vorteil des elastischen Eingabegerätes ist signifikant, aber gering (durchschnittlich 6,5% kürzere TCT's für die SpaceMouse™).

Zum besseren Verständnis der Relation zwischen Schub und Lenkung sind weitere Untersuchungen nötig. Mit optimierten Transferfunktionen können wahrscheinlich mit beiden Interaktionsgeräten bessere Ergebnisse erzielt werden.

Literatur

- [BKL05] BOWMAN, D., KRUIJFF, E., LaVIOLA Jr., J., POUPYREV, I.: *3D User Interfaces: theory and practice*, Boston, Mass. [u.a.] : Addison-Wesley, c2005
- [FHS06] FRÖHLICH, B., HOCHSTRATE, J., SKUK, V., HUCKAUF, A.: *The GlobeFish and the GlobeMouse: Two New Six Degree of Freedom Input Devices for Graphics Applications*, ACM CHI 2006, Seite 191-199
- [JSP94] JACOB, R., SILBERT L., PRESTON, M., Mc FARLANE, D.: *Integrality and Separability of Input Devices*. Proc. of CHI 1994, Seite 3-26.
- [Zha95] ZHAI S.: *Human Performance in Six Degree of Freedom Input Control*, Doktorarbeit, University of Toronto, 1995
- [DZP06] DOULIS, M., ZWIMPFER, V., PFLUGER, J., SIMON, A., STERN, C., HALDIMANN, T., JENNI, C., *SpaceActor - Interface Prototypes for Virtual Environments*, 3D User Interfaces (3DUI), 2006, Seite 171-174.