

Konzept zur Verbesserung des realitätsgetreuen, visuellen Erlebens in virtuellen Umgebungen durch Eye-Tracking

Benjamin Gerschütz, Marius Fechter, Benjamin Schleich und Sandro Wartzack

1. Innovative Bewertung von Prototypen durch Virtuelle Realität

Ein positives Nutzungserlebnis (engl. User Experience) ist einer der Schlüsselaspekte erfolgreicher Produkte und damit auch eine der Grundlagen für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens. Ergonomische Bedienbarkeit und ansprechende Gestaltung des Produkts haben hierauf einen starken Einfluss (Schröppel & Wartzack, 2018). Entwickler und Designer versuchen deshalb, dieses Erlebnis bereits in einer möglichst frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses zu erfassen und zu bewerten.

Ein in der Automobilbranche erfolgreich eingesetztes Werkzeug zur Bewertung des Nutzungserlebnisses ist der Prototypenbau. Der Einsatz von solchen prototypischen Realaufbauten ist allerdings mit einem hohen finanziellen und vor allem mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden. Deshalb werden diese meistens erst relativ spät im Produktentwicklungsprozess verwendet. Im Sinne des „Frontloadings“ wäre es vielmehr wünschenswert und sinnvoll, früh zur Verfügung stehende, digitale Modelle für die Bewertung des Nutzererlebnisses zu verwenden. Damit könnten bereits in einer frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses Erkenntnisse über das Nutzungserlebnis unterschiedlicher Konzepte in die Entwicklung des Produkts einfließen.

Fechter & Wartzack (2017) verwenden Virtuelle Realität insbesondere zur intuitiven Produktgestaltung durch direkte Fingerinteraktion. Weiterhin ermöglichen die Methoden der Virtuellen Realität (VR) die Bewertung des Produkts hinsichtlich Design und Ergonomie bereits in einer frühen Phase des Pro-

duktentwicklungsprozesses (Riedl, 2012). Zur Bewertung von Fahrzeuginnenraumkonzepten kann eine Kombination aus einem Direktsicht Head-Mounted Display (HMD) und einem variablen Ergonomiemodell verwendet werden. Dies birgt den großen Vorteil, dass neben den visuellen Reizen auch haptische Reize zur Verfügung stehen. So kann der Nutzer im variablen Ergonomiemodell wichtige Elemente, wie den Sitz, Bedienungselemente in der Mittelkonsole oder das Lenkrad spüren.

Jedoch besteht eine signifikante Diskrepanz bei der visuellen Wahrnehmung von Größe, Distanz und Form zwischen der virtuellen Darstellung eines Modells in aktuellen HMDs (z. B. Rift CV 1 oder HTC Vive Pro) und einem prototypischen realen Aufbau. Als Folge der vorhandenen Diskrepanzen zwischen virtueller Umgebung und Realität sind Ergebnisse aus virtuellen Studien, insbesondere für die Evaluierung ergonomischer Aspekte wie der Erreichbarkeit einzelner Bedienelemente, nur bedingt belastbar (Moehring et al., 2009).

Zur Berechnung der visuellen Darstellung der Objekte verwenden die meisten HMDs bisher eine vereinfachte Modellbildung. Dabei wird von der räumlichen Lage des Kopfes auf die Position der Pupillen geschlossen, anstatt die exakten Pupillenpositionen heranzuziehen. Durch den Einsatz von Eye-Tracking innerhalb von HMDs eröffnet sich die Möglichkeit, die genaue Pupillenposition bei der Berechnung der visuellen Darstellung zu berücksichtigen. Bisherige Anwendungsgebiete von Eye-Tracking in der technischen Produktentwicklung sind insbesondere das Verstehen des menschlichen Verhaltens bei der Analyse technischer Systeme (Matthiesen et al., 2013).

Das Potential von Eye-Tracking für die möglichst realitätsgetreue Darstellung von Objekten bleibt bislang weitgehend ungenutzt. Ziel dieses Beitrags ist die Entwicklung eines Konzepts, das mithilfe von Eye-Tracking Hardware eine gezielte Anpassung der Darstellung an die aktuelle Pupillenposition des Nutzers und damit insbesondere eine korrekte Wahrnehmung von Größe und Distanz von Objekten im Nahbereich erlaubt.

Hierzu erfolgt die Betrachtung verschiedener Tiefenhinweise, die bei der Wahrnehmung im Nahbereich dominanten Einfluss besitzen und in bisherigen technischen Lösungen unzureichend angesprochen werden. Zusätzlich wird der Einfluss der Verzerrung der im HMD verbauten Linsen aufgezeigt,

sowie die Blickrichtungsabhängigkeit der Darstellung aufgrund der auftretenden Verzerrungen betrachtet. Ausgehend von den beschriebenen Faktoren werden Lösungskonzepte präzisiert, um die bisherigen Einschränkungen zu überwinden. Der Beitrag endet mit einer Zusammenfassung sowie einem Ausblick auf nachfolgende Schritte zur Überwindung der Wahrnehmungsdiscrepanzen um ein realitätsgetreues, visuelles Nutzungserlebnis des Produkts in der virtuellen Realität zu ermöglichen.

2. Wahrnehmungsaspekte in virtuellen Welten

2.1 Wahrnehmung von Größen und Distanzen

Zur Abschätzung von Distanzen und Objektgrößen verarbeitet der Mensch verschiedene visuelle Signale (Carbon, 2015). In Abhängigkeit von der Entfernung zum Betrachter, wird der wahrgenommene Raum in drei Bereiche aufgeteilt. Der „*personal space*“ umgibt den Betrachter in einem Radius von bis zu ca. 2 Meter, an diesen schließt sich der „*action space*“ (bis ca. 30 Meter) an, welcher schließlich in den „*vista space*“ mündet, der ca. einen Radius von 5 Kilometern umfasst (Cutting & Vishton, 1995). In diesen Bereichen sind verschiedenen Tiefenhinweise dominierend. Bei der Betrachtung von nahen Gegenständen sind die Gewichte von Disparität, Konvergenz und Akkommodation höher als bei weiter entfernten (Cutting & Vishton, 1995). Einen Überblick über die Gewichtung der verschiedenen Tiefenhinweise bietet Abbildung 1. Diejenigen Aspekte, die für die Raumwahrnehmung im Nahbereich große Relevanz besitzen, werden im Folgenden betrachtet.

2.1.1 Verdeckung

Verdeckung tritt auf, wenn die Sichtlinie auf ein Objekt oder Teile eines Objekts durch ein anderes gestört/unterbrochen wird. Das verdeckte Objekt wird als weiter entfernt wahrgenommen. Zur quantitativen Abschätzung, wie weit verschiedenen Objekte voneinander entfernt sind, eignet sich die Verdeckung alleine nicht, da hier lediglich wahrgenommen werden kann, dass ein Tiefenunterschied besteht, aber keine Folgerungen auf die Größe dieses Unterschieds gezogen werden können (Cutting & Vishton, 1995).

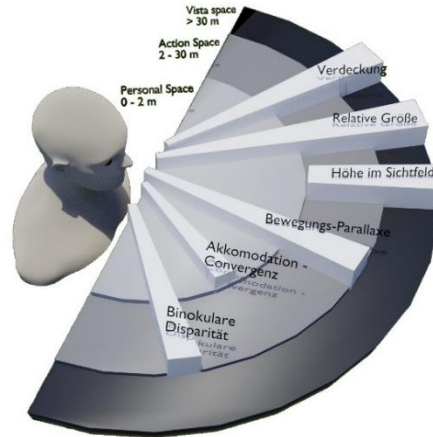


Abbildung 1: Übersicht über verschiedenen Tiefenhinweise
(eigene Darstellung nach Cutting & Vishton (1995))

2.1.2 Akkommodation und Konvergenz

Die beiden Tiefenhinweise Akkommodation und Konvergenz sind im menschlichen Gehirn gekoppelt und können so nur zusammen betrachtet werden. Im Allgemeinen werden diese nach Cutting & Vishton (1995) eher schwach im Vergleich zu anderen Hinweisen gewichtet. Bei Konflikten zwischen einzelnen Tiefenhinweisen sind sie jedoch dominierend.

Konvergenz beschreibt die Veränderung des Pupillenabstandes beziehungsweise der Änderung des Winkels der optischen Achse zwischen beiden Augen. So wird die Abbildung des Objekts auf der „fovea centralis“, der Stelle des schärfsten Sehens, für Objekte unterschiedlicher Entfernung ermöglicht.

Akkommodation beeinflusst die Brechkraft der Linsen im Auge. Die Ziliarmuskeln verformen die Linse so, dass ein scharfes Bild auf die Netzhaut fällt. Als Nebeneffekt erscheinen alle Objekte, die nicht in der aktuellen Fokusebene liegen, unscharf, was als Tiefenschärfe bezeichnet wird.

2.1.3 Binokulare Disparität

Der relative Positionsunterschied der Projektion eines Objekts auf der Netzhaut wird als Disparität bezeichnet. Im menschlichen Gehirn entsteht aus diesen Informationen die dreidimensionale Wahrnehmung der Welt, aus der Tiefeninformationen abgeleitet werden können.

2.2 Wahrnehmungsdiskrepanzen

Beim Einsatz eines HMD treten technisch bedingte Einschränkungen auf, durch welche die visuelle Wahrnehmung des Menschen beeinflusst wird. Eine Vielzahl von Studien, über die Renner et al. (2013) einen guten Überblick geben, zeigt, dass Distanzen in virtuellen Umgebungen bei der Verwendung von HMDs im Durchschnitt um mehr als 25% unterschätzt werden. Im Gegensatz hierzu schätzen Menschen egozentrische Entfernungen in realen Umgebungen relativ genau ein (Renner et al., 2014). Die meisten der genannten Studien zur Raumwahrnehmung in virtuellen Umgebungen betrachten Bereiche in mehr als 2 m Entfernung.

2.2.1 Einfluss der Kameraposition auf die Wahrnehmung

Bei der Berechnung der Sicht auf die virtuelle Umgebung wird für jedes der beiden Augen eine separate virtuelle Kamera verwendet. Position und Orientierung dieser Kameras werden in aktuellen HMDs alleine durch die Lage des Kopfes berechnet, die Bewegung der Pupillen relativ zum Kopf bleibt außer Betracht. Durch diese Vereinfachung entsteht eine Abweichung, die zu Fehlwahrnehmungen führt. Diese Problematik wird in Abbildung 2 in einer vereinfachten Darstellung verdeutlicht. Die Vergrößerung der Displays mit Sammellinsen wird vernachlässigt und der Sachverhalt an den wahrgenommenen, virtuellen Displays erläutert. Die virtuellen Kameras befinden sich in den schwarzen Punkten V, als würden die Augen parallel geradeaus in die Ferne schauen. Wenn das Bild der virtuellen Kameras berechnet wird, werden ausgehend vom Objektpunkt D Strahlen in den Punkt V gelegt. Dadurch lässt sich bestimmen, wo der Punkt D auf dem virtuellen Display für das linke (B_L) und rechte Auge (B_R) dargestellt werden muss. Konvergieren die Augen nach innen, stimmt die Position der virtuellen Kamera nicht mehr mit der tatsächlichen Pupillenposition P überein. Die vom Bildschirm ausgesandten Strahlen kommen so an einem anderen Punkt der Netzhaut an. Der Punkt D des dargestellten Objekts wird dann im Punkt W wahrgenommen. Das gesamte in durchgezogener Linie dargestellte Objekt wird ins gestrichelte Objekt verschoben und verzerrt wahrgenommen. Hierbei besteht insbesondere eine Abweichung bei der wahrgenommenen und der tatsächlichen Tiefeninformation.

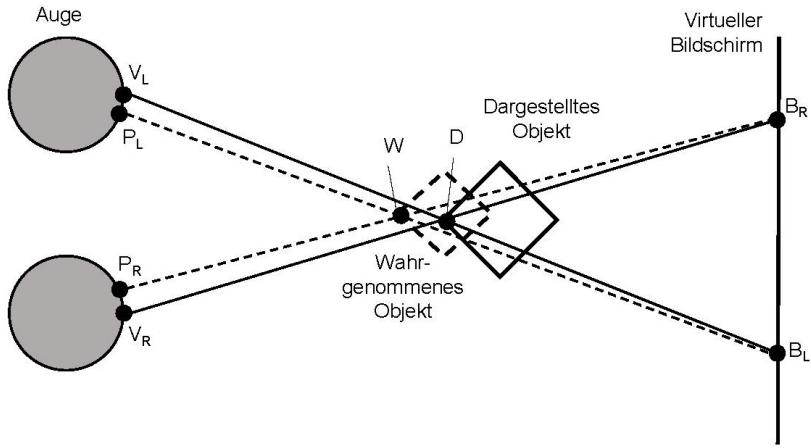


Abbildung 2: Wahrnehmungsfehler durch eine Abweichung der realen und virtuellen Pupillenposition

2.2.2 Disparität und Interpupillardistanz

Für nahe Objekte konnte der Einfluss der Disparität auf die Distanzwahrnehmung aufgezeigt werden (Renner et al., 2013). Zusätzlich hat die Interpupillardistanz (IPD) einen Einfluss auf die Disparität, obwohl sich bisher wenige Literaturbeiträge mit dieser beschäftigen. Bruder et al. (2012) und Renner et al. (2015) zeigen in verschiedenen Studien zur Wahrnehmung von Objekten im Nahbereich, dass die Probanden bei größer eingestelltem IPD die Entfernung zu Objekten unterschätzen.

2.2.3 Tiefenschärfe

Ein weiteres Problem bei Direktsicht-HMDs ist die fehlende Akkommodation-Konvergenz-Abhängigkeit. Nachdem der Bildschirm in einem HMD einen festen Abstand zur Pupille hat und die verschiedenen Objekte nicht wie in einer realen Szene unterschiedlich weit vom Betrachter entfernt sind, ist diese Abhängigkeit gestört. Dadurch können Verfälschungen in der Tiefenwahrnehmung entstehen. Zusätzlich kann dies bei einigen Nutzern zu Übelkeit (sog. „cyber-sickness“) führen. Zur Kompensation der Verfälschungen in der Raumwahrnehmung aufgrund der gestörten Abhängigkeit, gibt es den Ansatz, die Tiefenschärfe softwareseitig durch Anpassung der graphischen Berechnung nachzubilden (Carnegie & Rhee, 2015; Moehring et al., 2009, Xiao et al., 2018).

Durch Verwendung von Eye-Tracking-Methoden können diejenigen Objekte oder Teile von Objekten verschwommen dargestellt werden, die in einer vom Fokus abweichenden Tiefenebene liegen.

Im menschlichen Auge werden lediglich 2° bis 3° des Sichtfelds auf die Fovea, dem Punkt auf der Netzhaut mit der höchsten Abbildungsschärfe, projiziert (Dörner et al. 2014). Guenter et al. (2012) präsentieren hierzu einen Ansatz, bei dem Daten aus der Pupillenverfolgung verwendet werden, um lediglich für die Fovea eine hochaufgelöste Darstellung zu berechnen. Der Aufwand zur Grafikberechnung sinkt dadurch signifikant. Diese als „foveated rendering“ bezeichnete Technik wurde unter anderem in der *HTC VivePro Eye*, einem HMD der neuesten Generation, bereits fest integriert.

2.2.4 Auswirkung des Blickfeldes auf die visuelle Wahrnehmung

Das menschliche Blickfeld (engl. field of view, FOV) umfasst etwa 200° . Im Gegensatz hierzu bieten aktuelle HMDs ein Blickfeld von ca. 110° . Mehrere Arbeiten (Bruder et al., 2012; Kellner et al. 2012) untersuchen den Einfluss des FOV und versuchen die angesprochene Unterschätzung von Distanzen durch Anpassung des Sichtfeldes im HMD zu beheben. Um eine korrekte Darstellung zu erhalten, muss der, durch die optischen Parameter des HMDs sowie die Entfernung zwischen Linsen, Displays und Augen festgelegte, Öffnungswinkel des Displays (display field of view DFOV) exakt mit dem durch die Kamera aufgespannten geometrischen Blickfeld (geometric field of view, GOF) übereinstimmen (Kellner et al., 2012). Eine ungenügend genaue Abstimmung hat eine verfälschte Größen- und Distanzwahrnehmung zur Folge.

2.3 Linsen in HMDs

Um in einem Direktsicht-HMD ein möglichst großes Sichtfeld zu erhalten und um die Fokussierung auf die virtuelle Szene zu ermöglichen, werden Linsen verwendet. In aktuell verwendeter Hardware werden hierbei primär Fresnel-Linsen verbaut, die verschiedene Darstellungsartefakte mit sich bringen. Linzenverzerrung und chromatische Aberration zählen zu den Artefakten, die in begrenztem Maße digital behoben werden können, indem die angezeigten Bilder gezielt vorverzerrt dargestellt werden. Wenig beeinflussbar ist der Glare-Effekt, bei dem Licht an den Fresnel-Ringen bricht und diese sichtbar macht. Der Effekt ist umso stärker, je heller das dargestellte Bild ist.

Der sogenannte Fliegengittereffekt ist bereits von alten Fernsehgeräten und Videoprojektoren bekannt. Ist der Abstand zwischen den einzelnen Pixeln zu groß, lassen sich, aufgrund der schwarzen Grundfarbe der verbauten Elemente, schwarze Linien erkennen. Aufgrund zunehmender Bildschirmauflösung ist dieses Problem bei den meisten Anzeigegeräten weitgehend gelöst. Durch die Verwendung von Linsen in HMDs und der damit einhergehenden Vergrößerung und Verzerrung des Bildes, tritt der Effekt jedoch bei HMDs, insbesondere bei solchen mit großem Sichtfeld, in den Randbereichen des Displays vermehrt auf. Ein softwareseitiger Eingriff zur Behebung des Fliegengittereffekts ist nicht möglich, eine höhere Pixeldichte der Displays kann den Effekt hingegen soweit reduzieren, dass er mit dem menschlichen Auge nicht mehr wahrnehmbar ist.

3. Einfluss der Pupillenposition auf die Linsenverzerrung

Der Nutzer eines HMDs blickt in den meisten Fällen „in die Ferne“, auf einen Punkt, der sich im „*action space*“ oder im „*vista space*“ befindet. Die Augen sind quasi parallel ausgerichtet und der Beobachter blickt durch die optische Achse der Linse. Für diese „Standard-Pupillenposition“ wird die Verzeichniskorrektur automatisch im HMD angewendet. Aktuell unberücksichtigt bleibt der Einfluss unterschiedlicher Pupillenpositionen auf die nötige Vorverzerrung des Bildes.

Abbildung 3 zeigt den Einfluss der Linsenverzerrung, wenn sich die Augen und die virtuellen Kameras in der gleichen Position befinden. Das wahrgenommene Objekt (dargestellt in gestrichelter Linie) und das dargestellte Objekt stimmen gut überein.

Im Gegensatz dazu zeigt Abbildung 4 den Einfluss einer Abweichung, um wenige Millimeter, zwischen virtueller Kamera und Auge. Die Bilder wurden in einer HTC Vive Pro aufgenommen, ohne die integrierte Vorverzerrung anzuwenden. Der Kameraabstand betrug 7 mm. Insbesondere in den Randbereichen, im Bereich der weißen Rechtecke, ist ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Positionen festzustellen, der in den bisherigen Lösungen unzureichend berücksichtigt wird.

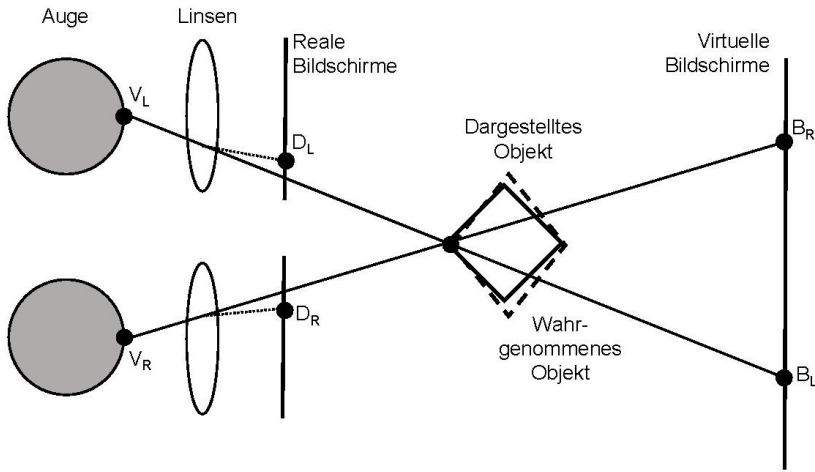


Abbildung 3: Einfluss der Linsen bei korrekter Pupillenposition

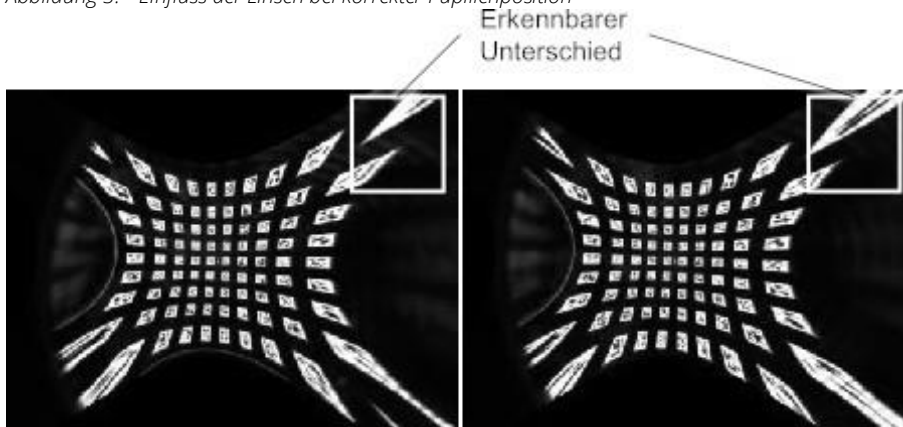


Abbildung 4: Einfluss der Linsen bei vom Standard abweichender Pupillenposition

4. Konzept zur Verbesserung der Darstellung

Die bisher unzureichenden Möglichkeiten der Bewertung von frühen Produktkonzepten mit HMDs wurden in den vorherigen Abschnitten bereits aufgezeigt. Im Folgenden wird ein Konzept präzisiert, das eine optisch korrekte Wahrnehmung im Nahbereich und somit eine unverfälschte Bewertungsleistung des Betrachters in einer virtuellen Umgebung ermöglichen.

4.1 Verwendete Hardware

Zur korrekten optischen Darstellung der virtuellen Szene ist es erforderlich auf Positionsdaten von Kopf und Pupillen zugreifen zu können. Nachdem alle HMDs der neuesten Generation eine Möglichkeit zur Positions- und Orientierungserfassung mitbringen, wird hierauf zurückgegriffen. Weiterhin ist es erforderlich, dass sowohl Auflösung als auch Blickfeld des HMD möglichst nah an denen des menschlichen Sehens liegen. Für die Verfolgung der Pupillenposition ist eine Messung beider Augen erforderlich, um auch Konvergenzinformationen vollständig ermitteln zu können. Weiterhin ist eine Trackingrate von mindestens 120 Hz notwendig, um die visuelle Darstellung für den Betrachter passend zu berechnen, ohne dass dieser eine Latenz wahrnimmt. Aufgrund der aktuell besten Auflösung und Trackinggenauigkeit in Verbindung mit einer stabilen Softwareumgebung wird eine *HTC Vive Pro* verwendet, welche durch einen *PupilLabs Eye-Tracker* (Kassner et al., 2014) um die Funktion der Pupillenverfolgung erweitert wird.

4.2 Softwarearchitektur

Um eine korrekte Visualisierung zu ermöglichen, sind drei primäre Programmmodule notwendig, die in Abbildung 5 gezeigt werden. Die notwendigen Funktionen zur Verfolgung des Kopfes und zur Darstellung der berechneten Visualisierung im HMD werden durch die Programmierschnittstelle der *HTC Vive Pro*, *OpenVR* zur Verfügung gestellt. Die *PupilLabs* Software stellt die Daten der Pupillenverfolgung in einem sogenannten Backbone zur Verfügung. Aus diesem können die Daten von weiteren Anwendungen abgerufen werden. Zur hochrealistischen Darstellung wird das High-End 3D-Visualisierungswerzeug *Deltagen* verwendet, welches modular um die verwendeten Methoden erweitert wird.

4.3 Methoden für eine optisch korrekte Wahrnehmung im Nahbereich

Wesentliches Kriterium bei der Konzeption und späteren Implementierung der geplanten Methoden ist die Echtzeitfähigkeit des VR-Systems. Dies ist von besonderem Interesse, um Störeinflüsse auf den Anwender auszuschließen.

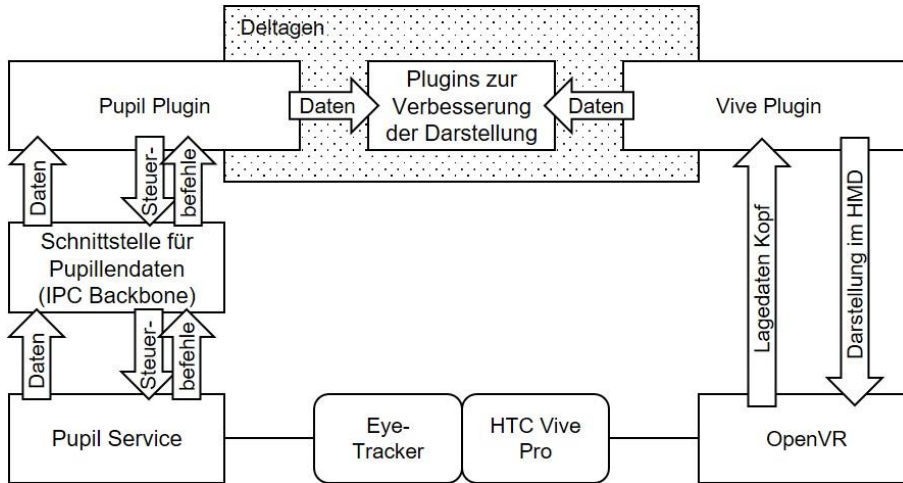


Abbildung 5: Softwarearchitektur

4.3.1 Tiefenschärfe

Um dem Akkommodation-Konvergenz-Konflikt entgegenzuwirken, lassen sich softwareseitige Tiefenschärfe-Effekte verwenden. Hierzu ist der aktuelle Fokuspunkt durch Eye-Tracking zu bestimmen und lediglich Objekte, die eine ähnliche Entfernung zu diesem Fokuspunkt haben, scharf darzustellen. Objekte mit abweichender Entfernung erscheinen verschwommen. Es wird davon ausgegangen, dass die von Moehring (2009) beschriebenen Akzeptanzprobleme der Nutzer durch Berücksichtigung der aktuellen Pupillenposition umgangen werden, da der Nutzer den fokussierten Punkt in jedem Fall scharf dargestellt wahrnimmt.

4.3.2 Foveated Rendering

Um die Echtzeitfähigkeit des gesamten Systems zu unterstützen, soll Berechnungsaufwand durch den Einsatz des sogenannten „foveated rendering“ reduziert werden. Hierbei werden nur die Bildbereiche hochdetailliert gerendert, die am Punkt des schärfsten Sehens ankommen. Bereiche außerhalb der Fovea werden weniger detailliert berechnet. Der Detailgrad nimmt dabei mit zunehmender Entfernung zur Fovea immer weiter ab. Die durch diese Methode der Bildberechnung erzeugten Darstellungen kommen dem menschlichen Sehen näher, als die bisherige Darstellung, die das Bild überall im gleichen Detailgrad visualisiert. Aus diesem Grund besteht die Vermutung,

zusätzlich zur Reduktion des Berechnungsaufwandes einen positiven Einfluss auf den Akkommodation-Konvergenz-Konflikt zu erzielen.

4.3.3 Positionsabhängige Linsenverzerrung

Zur Berücksichtigung der für alle Pupillenpositionen unterschiedlichen Verzerrung der Optiken, soll diese für jedes dargestellte Bild einzeln berechnet und angewendet werden. Voraussetzung für diese Berücksichtigung ist Kenntnis über die optischen Spezifikationen des HMDs. Da in OpenVR nur der Abruf der Verzerrungsinformationen für die zentrale Pupillenposition möglich ist, sind die Verzeichnungsparameter für dezentrale Pupillenpositionen separat zu ermitteln. Hierfür ist die Konstruktion einer Prüfvorrichtung geplant, die das exakte Positionieren einer kalibrierten Kamera vor dem HMD ermöglicht. Dies erlaubt die Aufnahme von Kalibriermustern, aus denen die nötigen Parameter ermittelt werden können. Mit den so ermittelten Parametern kann das im HMD dargestellte Bild zusätzlich zur berücksichtigten Standardverzeichnung weiter (vor-)verzerrt werden.

4.3.4 Korrekte Position der virtuellen Kameras

Die bereits erläuterte Abweichung zwischen der Position der virtuellen Kameras und der wirklichen Pupillenposition wird als Hauptgrund für die Fehlwahrnehmung erachtet. Deshalb soll die vom Eye-Tracking-System bestimmten Pupillenpositionen auf die virtuellen Kameras übertragen werden, um die exakte Perspektive berechnen zu können.

5. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Konzept vorgestellt, das die optisch korrekte Darstellung in Head-Mounted-Displays durch Unterstützung von Eye-Tracking ermöglicht. Durch die realistische Wahrnehmung von Größen und Entfernungen, insbesondere im Nahbereich, ist eine Bewertbarkeit von Konzepten in virtuellen Umgebungen analog zu physischen Prototypen gegeben.

In einem ersten Schritt werden relevante Wahrnehmungsaspekte erläutert und bestehende Probleme benannt. Anschließend wird auf die verwendeten optischen Komponenten in aktuellen HMDs und ihren Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung eingegangen. Insbesondere ist der Einfluss der Pupillenposition auf die Verzeichnung der Optiken Gegenstand detaillierter Betrachtungen.

Ausgehend von den beschriebenen Faktoren wird im zweiten Schritt ein Konzept präzisiert um die Einschränkungen zu überwinden. Verschiedene Methoden zur Unterstützung einer realistischen visuellen Wahrnehmung werden ebenso präsentiert, wie verwendete Hard- und Software.

Im weiteren Projektverlauf sollen die konzeptionierten Methoden in ein Demonstrator-System überführt werden, wobei der Einfluss verschiedener Algorithmen zur Berücksichtigung von Tiefenschärfe und „*foveated rendering*“ auf die Tiefenwahrnehmung getestet werden sollte. Dieses ist insbesondere im Hinblick auf die geforderte Echtzeitfähigkeit zu evaluieren. Außerdem ist zu prüfen, inwieweit die entwickelten Methoden durch den Nutzer akzeptiert werden. Im Rahmen einer Nutzerstudie wird ein Vergleich des entwickelten Gesamtkonzepts mit der herkömmlichen Visualisierung hinsichtlich der Wahrnehmung von Größen und Distanzen durchgeführt.

Literaturverzeichnis

- Bruder, G., Pusch, A. & Steinicke, F. 2012: Analyzing Effects of Geometric Rendering Parameters on Size and Distance Estimation in On-axis Stereographics. In: Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception, SAP' 12, 111–118, New York, NY, USA: ACM.
- Carbon, C. C. 2015: Wahrnehmungspsychologie. In: Schütz, A., Brand, M., Selg, H. & Lautenbacher, S. (Hrsg.): Psychologie: Eine Einführung in ihre Grundlagen und Anwendungsfelder, 73–84, 5. Auflage, Stuttgart: Kohlhammer.
- Carnegie, K. & Rhee, T. 2015: Reducing Visual Discomfort with HMDs Using Dynamic Depth of Field. In: IEEE Computer Graphics and Applications, 35 (5), 34–41.
- Cutting, J. E. & Vishton, P. M. 1995: Percieving Layout and Knowing Distances: The Integration, Relative Potency and Contextual Use of Different Information about Depth. In W. Epstein & S. Rogers (Hrsg.): Handbook of perception and cognition, Perception of Space and Motion, 69–117, 2. Auflage, San Diego: Academic Press.
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jugn, B., 2014: Virtual und Augmented Reality (VR/AR), Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Berlin: Springer Vieweg.
- Fechter, M., Wartzack, S., 2017: Natural Finger Interaction for CAD Assembly Modeling. In: ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Volume 1: 37th Computers and Information in Engineering Conference, V001T02A041, Cleveland, Ohio, USA: ASME.
- Guenter, B., Finch, M., Drucker, S., Tan, D. & Snyder, J. 2012: Foveated 3D Graphics. In: ACM Transactions on Graphics, 31 (6), 164:1–164:10

- Kassner, M., Patera, W. & Bulling, A. 2014: Pupil: an open source platform for pervasive eye tracking and mobile gaze-based interactions. In: Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication, 1151-1160, New York, NY, USA: ACM.
- Kellner, F., Bolte, B., Bruder, G., Rautenberg, U., Steinicke, F., Lappe, M. & Koch, R. 2012: Geometric Calibration of Head-Mounted Displays and its Effect on Distance Estimation. In: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18 (4), 589–596
- Matthiesen, S., Meboldt, M., Ruckpaul, A. & Mussnug, M. 2013: Eye tracking, a method for engineering design research on engineers' behavior while analyzing technical systems. In: Lindemann, U., Srinivasan, V., Kim, Y. S., Lee, S. W., Clarkson, J. & Cascini G. (Hrsg.): Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13), Design for Harmonies, Vol7: Human Behaviour in Design, 277–286, Seoul, Korea.
- Moehring, M., Gloystein, A. & Doerner, R. 2009: Issues with Virtual Space Perception within Reaching Distance: Mitigating Adverse Effects on Applications Using HMDs in the Automotive Industrie. In: 2009 IEEE Virtual Reality Conference, 223–226
- Renner, R. S., Steindecker, E., Müller, M., Velichkovsky, B. M., Stelzer, R. Pannasch, S. & Helmert, J. R. 2015: The influence of the Stereo Base on Blind and Sighted Reaches in a Virtual Environment. In: ACM Transactions on Applied Perception, 12 (2), 7:1–7:18
- Renner, R. S., Velichkovsky, B. M. & Helmert J. R. 2013: The Perception of Egocentric Distances in Virtual Environments – A Review. In: ACM Computing Surveys, 46 (2), 23:1–23:40
- Renner, R. S., Velichkovsky, B. M., Stelzer, R. H. & Helmert, J.R. 2014: Virtuelle Psychophysik Psychologische - Untersuchungen zur räumlichen Wahrnehmung in virtuellen Umgebungen. In: Jeschke, S., Kobbelt, L. & Dröge, A. (Hrsg.): Exploring Virtuality. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Riedl, M. 2012: Potential eines virtuellen Fahrerplatzmodells in der Fahrzeugkonzeptentwicklung. Dissertation. München: Technische Universität München.
- Schröppel, T. & Wartzack, S. 2018: Making a difference: Integrating physiological and psychological needs in user description. In: Ekströmer, P., Schüte, S. & Ölvander J. (Hrsg.): Proceedings of NordDesign 2018. Linköping, Sweden.
- Xiao, L., Kaplanyan, A., Fix, A., Chapman, M. & Lanman, D. 2018: DeepFocus: Learned Image Synthesis for Computational Display (SIGGRAPH '18). In: ACM SIGGRAPH 2018 Talks, 4:1–4:2. New York, NY, USA: ACM.

Danksagung

Die vorgestellte Forschungsarbeit ist Teil des Forschungsprojekts „Methoden für die realitätsgetreue visuelle Wahrnehmung durch Eye-Tracking im Head-Mounted Display“ und gefördert durch die Bayerische Forschungsstiftung

(BFS). Die Autoren danken der Bayerischen Forschungsstiftung (BFS) und den Industriepartnern BMW AG und Dassault Systemes 3DExcite GmbH für die finanzielle Unterstützung.

Die Autoren danken der NVIDIA Corporation und dem akademischen GPU Grant Programm für die Bereitstellung einer Tesla Titan XP GPU.

Für den Inhalt dieser Publikation sind die Autoren verantwortlich.

Kontakt

Benjamin Gerschütz, M.Sc.

Marius Fechter, M.Sc.

Dr.-Ing. Benjamin Schleich

Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack

Universität Erlangen-Nürnberg

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)

Martensstraße 9

91058 Erlangen

www.mfk.fau.de