

## **2 Experimentelle Untersuchungen**

In Kapitel 1 wurde ausführlich auf die relevanten Fragestellungen eingegangen und welche Versuche zu deren Beantwortung beitragen können. Diese Versuche werden nun im Einzelnen erläutert, neben Aufbau und Durchführung gilt dies insbesondere für die Ergebnisse. Begonnen wird mit der Divergenz zwischen visueller und haptischer Wahrnehmung. Nach dem Zusammenführen und Interpretieren der Ergebnisse wird die Bewertung eines Fahrzeugmodells in realer und in virtueller Umgebung verglichen. Ziel dieser Versuche ist es, aus den Ergebnissen Rückschlüsse über die Qualität der verwendeten virtuellen Umgebung zu erhalten.

### **2.1 Die Wahrnehmungsschwellen für die Divergenz zwischen visueller und haptischer Wahrnehmung**

In den nächsten Kapiteln wird die Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle für die Divergenz zwischen visueller und haptischer Wahrnehmung erklärt. Hier wird besonders das verwendete Virtual-Reality System näher beschrieben. Anschließend folgen die Durchführung der Versuche und die Ergebnisse. Begonnen wird mit den Versuchen in virtueller Umgebung, anschließend folgen die Versuche in realer Umgebung.

#### ***2.1.1 Versuche in virtueller Umgebung***

##### **2.1.1.1 Versuchsaufbau – Virtuelle Sitzkiste**

Die Versuche in virtueller Umgebung wurden mit der Virtuellen Sitzkiste der AUDI AG durchgeführt. Grundsätzlich besteht das System (Abbildung 9) aus den fünf Hauptgruppen: Trackingsystem, Datenhandschuh, virtuelles Menschmodell RAMSIS-VR, Grafikkberechnung sowie dem HMD. Die Systemkomponenten an sich entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Dies betrifft neben der Software insbesondere Rechner, Grafikkarten und HMD.

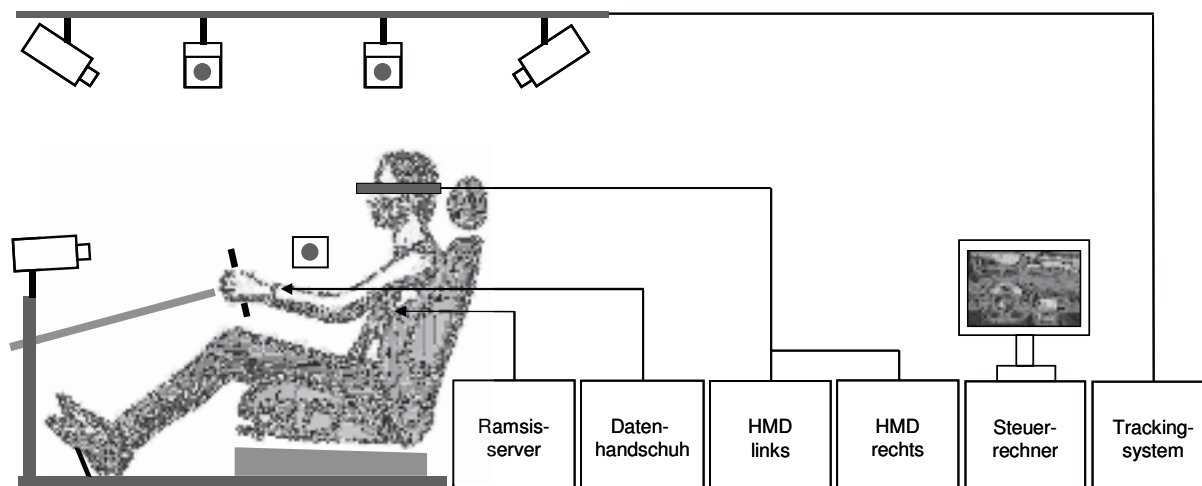


Abbildung 9: Überblick über die Systemkomponenten der Virtuellen Sitzkiste.

Die Sitzkiste, in der die Versuchspersonen Platz nehmen, bildet einen Fahrer-arbeitsplatz nach. Dieser ist hinsichtlich Lenkrad, Sitz und Pedalerie so variabel, dass sich vom Sportwagen bis zum SUV alle Fahrzeugklassen abbilden lassen.

#### 2.1.1.1 Trackingsystem

Ein Trackingsystem erfüllt innerhalb des VR-Systems zwei wichtige Aufgaben. Einerseits wird über das Tracking des Kopfes der Grafikberechnung mitgeteilt, in welche Richtung der Anwender sieht, so kann das entsprechende Bild berechnet werden. Andererseits wird es durch das Tracking möglich, die Bewegung von realen Objekten in die virtuelle Umgebung zu übertragen. Beispielsweise kann die Bewegung des realen Lenkrades getrackt und dann in der virtuellen Umgebung visualisiert werden.

Das hier verwendete Trackingsystem der Firma A.R.T. gehört zu der Gruppe der aktiven optischen Systeme und arbeitet mit Infrarot. Es besteht im Wesentlichen aus sechs Kameras, einem Steuerrechner und der dazugehörigen Software DTrack (hier Version 1.23.6). Vier der Kameras sind über der Sitzkiste positioniert. Zwei weitere Kameras sind in Höhe des Lenkrades auf der rechten Seite bzw. schräg vorne angebracht, um Trackingbereich und Genauigkeit des Tracking der rechten Hand zu verbessern (vgl. Abbildung 9).

Die zu trackenden Objekte sind mit sogenannten Markern versehen. Ein Marker besteht aus je vier Kugeln, die mit einer infrarotreflektierenden Beschichtung versehen sind. Um die Entfernung zwischen Markern und Kamera zu bestimmen,

senden die Kameras synchronisierte Infrarotblitze aus, die von den Kugeln reflektiert werden. Nach der Reflektion des Blitzes ergibt sich aus der Laufzeit des Signals die Entfernung. Auf diese Weise kann das System Position und Orientierung von jedem Objekt ermitteln, das mit einem Marker versehen ist. Im Regelfall sind dies HMD, Hände und Lenkrad, hinzu kommen je nach Anwendung noch Bedienelemente oder Versuchsobjekte.

Laut Schrader (2003) ist das Tracking-System speziell für VR-Anwendungen konstruiert und ausreichend genau. Die mittlere Abweichung liegt laut A.R.T. (2007) bei 0,43 mm, die maximale bei 1,7 mm.

Einziges Nachteil des Systems ist der zwingend erforderliche direkte Sichtkontakt zwischen Markern und Kameras. Reißt dieser mehrmals kurzzeitig ab, beginnt die virtuelle Geometrie zu „ruckeln“. Wenn der Kontakt vollständig abreißt, verharrt die virtuelle Geometrie an der letzten bekannten Position. Für die hier durchgeführten Versuche wurde die Anordnung der Kameras entsprechend optimiert, sodass dieser Fall nicht auftrat.

### **2.1.1.1.2 Datenhandschuhe**

Die hier verwendeten Datenhandschuhe der Firma A.R.T. arbeiten wie das Trackingsystem auf Infrarotbasis, allerdings werden hier LEDs als aktive Marker verwendet. Jeweils eine LED ist mit einer kleinen Klammer an der jeweiligen Fingerkuppe befestigt. Die Position wird wie bei herkömmlichen Markern über die Laufzeit des Infrarotblitzes bestimmt, anschließend wird basierend auf einer kinematischen Kette die Fingerhaltung berechnet. Zur Positionsbestimmung der Hand wird ebenfalls ein aktiver Marker verwendet, der auf dem Handrücken angebracht ist. In Abbildung 10 ist der Datenhandschuh für die rechte Hand abgebildet. Wie deutlich erkennbar ist, verfügt das aktuelle Modell nur über drei getrackte Finger.



*Abbildung 10: Datenhandschuh der Firma A.R.T. mit drei getrackten Fingern (A.R.T., 2007a).*

Um verschiedene Fingergrößen abdecken zu können, gibt es die Fingerklammern in zwei verschiedenen Größen. Da die Hände jedes Menschen unterschiedlich groß bzw. unterschiedlich proportioniert sind, ist eine einmalige Kalibrierung erforderlich. Dabei ermittelt das System die Länge der Finger sowie der einzelnen Glieder. Damit keine störenden Kabel verlegt werden müssen, ist der Handschuh an sich kabellos, die Energieversorgung erfolgt über einen Akku.

Abgesehen von den etwas umständlichen Fingerklammern und der Tatsache, dass nur drei Finger getrackt werden, weist der Datenhandschuh keine offensichtlichen Schwachpunkte auf.

### **2.1.1.1.3 Virtuelles Menschmodell RAMSIS-VR**

Durch das Tragen eines HMDs sieht der Anwender nur die virtuelle Umgebung und ist visuell völlig von der realen Welt abgekoppelt. Damit der Anwender in der virtuellen Umgebung ein grafisches Abbild seines Körpers sieht, wird hier das virtuelle Menschmodell RAMSIS-VR der Firma HumanSolutions verwendet.

Das RAMSIS-VR Modell ist getrackt, vollbeweglich und anthropometrisch konfigurierbar. Entsprechend der zu visualisierenden Person können die Parameter Größe, Korpulenz und das Verhältnis von Torso- zu Beinlänge eingestellt werden. Daraus wird dann auf Basis des Anthropologischen Atlas (Flügel, Geil & Sommer, 1986), einer wissenschaftlichen Datenerhebung von realen Personen, das Modell des Anwenders erstellt. Mit diesen anthropometrischen Daten wird über inverse Kinematik die Position der ungetrackten Körperteile wie z.B. der Ellenbogen berechnet.

Die Positionierung des Modells im Fahrzeug in der virtuellen Umgebung erfolgt an Füßen und Becken, die beiden Hände und der Kopf sind über Marker getrackt. In Verbindung mit dem A.R.T.- Fingertracking ist der RAMSIS-VR in der Lage, Haltung und Bewegung von Daumen, Zeige- und Mittelfinger nachzubilden. In Abbildung 11 ist ein virtuelles Fahrzeugmodell zu sehen, indem der RAMSIS-VR positioniert ist.



*Abbildung 11: RAMSIS-VR in einem virtuellen Fahrzeugmodell.*

Der einzige Schwachpunkt des RAMSIS-VR ist die Positionierung von nicht getrackten Körperteilen wie Ellenbogen oder Knien. Um diese exakt zu visualisieren, müsste die Datengrundlage für die Berechnung verbessert werden. Das könnte durch eine Erweiterung des Tracking geschehen oder durch eine genauere Vermessung der Versuchspersonen.

#### **2.1.1.1.4 Grafikberechnung**

Für die Grafikberechnung wird ein Clustersystem, bestehend aus einem Masterrechner und drei Clientrechnern verwendet. Ein Clientrechner versorgt den Beamer für die Leinwand, die beiden anderen jeweils ein Auge des HMD.

Betrieben wird dieser Cluster mit der Software Virtual Design 2 (VD2) der Firma vrcom. VD2 ist eines der wenigen Softwareprodukte am Markt, das neben der echtzeitfähigen Grafikberechnung auch die Anbindung von Datenhandschuhen und Menschmodellen unterstützt. In Abbildung 12 sind die Zusammenhänge zwischen der Grafikberechnung und den anderen Systemkomponenten dargestellt.