

VORDIPLOMARBEIT

# Interface Datenhandschuh



von

mARTin Bierschenk



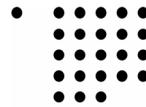
# Interface Datenhandschuh



Abb. 01 Frau mit Head Mounted Display und Datenhandschuhen [QW33]



# Interface Datenhandschuh



Köln  
International  
School  
of Design

Fachhochschule Köln  
University of Applied Sciences  
Cologne

## Vordiplom Nebenthema 1

Fachhochschule Köln,  
Fakultät für Kulturwissenschaften (F02),  
Köln International School of Design,  
Studiengang Design

Lehrgebiet: Interfacedesign (IF)  
Betreuung: Michael Eichhorn

Autor: mARTin Bierschenk  
<martinb@kisd.de>

geboren am: 26.07.1978

Matrikel Nr.: 11038821

Wintersemester 2003 / 2004  
(3. Fachsemester)

Stand : 15.03.2004



© 2004 mARTin Bierschenk alle Rechte vorbehalten

Der Text dieser Arbeit darf komplett oder in Teilen genutzt, gespeichert und publiziert werden, sofern der obige Urhebervermerk enthalten ist. Davon ausgenommen können Zitate und Verweise im Rahmen von Arbeiten der Lehre und Forschung, wie allgemein üblich, ohne den Urhebervermerk, aber unter Nennung des Autors erfolgen. Die weitere Nutzung der enthaltenen Abbildungen muss von dem jeweiligen Urheber gestattet werden.

# Dank

Mein Dank für Unterstützung und Kritik gilt:

Dr. Hartmut Bierschenk  
Benno Bittlmayer,  
Lisa Flanakin ,  
Olaf Schirm von noDNA

# Hinweise:

Zur Vereinfachung wird im vorliegenden Text bei Personengruppen immer die männliche Form verwendet. Wenn von Gestalten, Nutzern Betrachtern oder sonstigen Personen die Rede ist, sind selbstverständlich auch Gestalterinnen, Nutzerinnen, Betrachterinnen und alle weiteren weiblichen Vertreterinnen dieser Gruppen gemeint.

# Abkürzungsverzeichnis

Quellenangaben sind in eckigen Klammern gefasst.

An der Bezeichnung der Quelle ist erkennbar, um welches Medium es sich dabei handelt.

„QA“ Quelle Arbeit,  
„QB“ Quelle Buch,  
„QE“ Quelle E-Mail,  
„QF“ Quelle Film,  
„QP“ Quelle Persönliches Gespräch,  
„QW“ Quelle Webseite,  
„QZ“ Quelle Zeitschrift,

Beispiel: [QW01]

das „Q“ steht für Quelle und das „W“ für Web.

Gemeint ist die erste Quelle unter den Webseiten.

## Vorwort

Diese Arbeit befasst sich mit Datenhandschuhen. Es gibt erst wenig spezielle Literatur zu dieser Technik. Deswegen soll ein Einblick in die Funktionsweise und ein Überblick über die derzeitigen Systeme gegeben werden.

Dabei wird zunächst auf herkömmliche dreidimensionale Eingabegeräte eingegangen, um die Alternativen zum Datenhandschuh aufzuführen. Anschließend wird erläutert, was Datenhandschuhe sind, wozu man sie einsetzen kann und welche verschiedenen Systeme es gibt, z.B. optische oder mechanische Systeme. Es wird aufgezeigt, worin die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme liegen. Schließlich wird ein Ausblick auf die möglichen und denkbaren Einsatzgebiete für Datenhandschuhe gegeben. Diese Arbeit beschränkt sich auf die Hardware. Die Verarbeitung der aus den Datenhandschuhen gewonnenen Bewegungsinformation und die Immersion<sup>1</sup> wird hier nicht detailliert erläutert.

Köln der 15. 03 2004

---

mARTin Bierschenk

---

<sup>1</sup> **Immersion:** Eintauchen, eintreten in eine virtuelle Realität



# Inhaltsverzeichnis:

<b>1 Stand der Technik</b>	<b>1</b>
<b>2 Die Hand als Anforderungsprofil</b>	<b>2</b>
<b>3 Übersicht über dreidimensionale Eingabegeräte</b>	<b>3</b>
3.1 Von der 3D-Maus bis zu Kopfbewegungssensoren	3
3.2 Augen- und Kopfbewegungssensoren	5
3.3 Datenhandschuhe	6
<b>Unterscheidungskriterien von 3D-Eingabegeräten</b>	<b>7</b>
3.4 Freiheitsgrade	7
3.5 Positionserfassung	7
3.6 Schnelligkeit, Qualität und Zuverlässigkeit	8
3.7 Schnittstellen	9
<b>4 Sensoren und Bewegungsverfolgung</b>	<b>9</b>
4.1 Mechanische Trackingsysteme	9
4.2 mechanisches Messverfahren	10
4.3 Elektromagnetische Trackingsysteme	11
4.4 Akustische Trackingsysteme	12
4.5 Optische Trackingsysteme	13
4.5.1 Aktive optische Trackingverfahren	13
4.5.2 Passive Trackingverfahren	14
4.5.3 Lightglove	15
4.5.4 Erfassung der Hand mit einem Baum-Filter.	16
4.6 Kinematische Trackingsysteme	17
4.6.1 Kinematischer Datenhandschuh Scurry	17
4.7 fiberoptisches Messverfahren	18
4.8 elektrisches Messverfahren	19
<b>5 Simulation von Empfindungen</b>	<b>20</b>
5.1 Taktiles Feedback – Simulation des Tastsinns	20
5.1.1 Pneumatische Stimulation	21
5.1.2 Vibrotaktile Stimulation	22
5.1.3 elektrotaktile Stimulation	22
5.1.4 funktional-neuromuskuläre Stimulation	22
5.2 Funktionsprinzip Force Feedback	23
<b>6 Anwendungsbereiche</b>	<b>24</b>
6.1 Kommunikation	24
6.1.1 Gestenerkennung - Gebärdensprache	24
6.1.2 Mobile Schreibmaschine, Taschenrechner – Kitty	25
6.2 Wissenschaft und Forschung – Beispiel Chemie	25
6.3 Industrie und Militär – Steuerung, Simulation	26
6.4 Animation - Motioncapturing	27
6.5 Vermischung von Realität mit virtueller Realität	28
6.6 3D-Modellierung	28
6.7 Medizin	29
6.8 Musik	30
<b>Fazit und die Möglichkeiten für die Zukunft</b>	<b>31</b>
<b>Anhang</b>	<b>32</b>



# 1 Stand der Technik

Derzeit gibt es eine Vielzahl von Eingabegeräten für Computer. Neben Tastatur, Maus, Trackball, Grafiktablett, Touchscreen und Joystick gibt es andere Steuerungen. Diese Geräte sind meist nur für einen bestimmten Zweck geeignet. So gibt es spezielle Geräte zur Texteingabe, Navigation, Simulation- bzw. Spielsteuerung, grafischen oder akustischen Gestaltung. Der Umgang mit diesen Geräten muss meist erst erlernt werden.

Ein intuitives Interface, welches für alle erdenklichen Anwendungen geeignet ist, gibt es jedoch noch nicht. Dabei liegt die Lösung auf der Hand. Jedes der genannten Eingabegeräte wird mit der Hand bedient. Warum nicht gleich die Hände als Interface verwenden?

Es gibt eine Art von Eingabegeräten, welche wie ein Handschuh über die Hand gezogen werden und die die Position der Hand und die Krümmung der Finger erfassen und in den Computer eingeben. Datenhandschuhe können uns einen intuitiven Umgang mit dem Computer ermöglichen. Virtuelle Objekte können, wie in der realen Welt auch, angefasst, erfühlt und manipuliert werden. Es können nicht nur spezielle Aufgaben, wie z. B. die Übersetzung von Gebärdensprache in gesprochene Sprache, erfüllt werden, sondern auch die Eingabe von Texten sowie Navigation in zwei- und drei-dimensionalen virtuellen Räumen. Möglich ist auch die intuitive Steuerung von Spielen oder komplexen Robotern. Komplexe Bewegungsabläufe der Hände können per „motion capturing“<sup>2</sup> erfasst und in 3D-Programmen weiterverarbeitet werden. Es gibt Systeme mit Datenhandschuhen, mit denen das Ertasten, Greifen und Fühlen von virtuellen Objekten möglich ist. Datenhandschuhe könnten zu vielfältig nutzbaren Eingabegeräten werden, auch für mobile Systeme. Die meisten Datenhandschuhe sind noch im Prototyp-Stadium. Vergleichsweise wenige Systeme sind auf dem Markt erhältlich, keines hat sich etabliert. Bislang gibt es für Datenhandschuhe noch keine Notwendigkeit, denn die Computerwelt ist aufgrund der verbreiteten Displays eine zweidimensionale Welt. Dies wird sich ändern. 3D-Shutterbrillen<sup>3</sup> waren erst der Anfang. Head Mounted Displays (HMD Abb.02)<sup>4</sup> erreichen momentan das Preissegment des Endverbraucher Marktes. [QZ03] Erst der Einsatz von HMDs zur dreidimensionalen Darstellung von virtuellen Welten macht auch dreidimensionale Interfaces notwendig. Mit einer Kombination aus 2D Eingabegeräten, wie z.B. Tastatur und Maus, ist es schwierig, in einer echten 3D Anzeige ein Objekt im Raum zu treffen.



Abb. 02 Head Mounted Display HMD 800 von 5DT [QZ03]

<sup>2</sup> **Motion capturing:** Motion Capturing ist eine Methode, um menschliche oder tierische Bewegungsdaten oder von Objekten aufzunehmen und sie für weitere Analysen und Arbeiten auf einen Computer zu übertragen. Die Bewegungen (motion) werden also „aufgefangen“ bzw. aufgenommen (to capture). [QA02]

<sup>3</sup> **3D-Shutterbrille:** Eine Brille, die abwechselnd einem Auge die Sicht verdeckt. Synchron dazu wird auf dem Monitor abwechselnd jeweils ein leicht versetztes Bild für das rechte bzw. linke Auge angezeigt. Somit wird dreidimensionale Darstellung auf einem Monitor ermöglicht.

<sup>4</sup> **HMDs:** Am Kopf befestigte Mikrodisplays, jeweils eins pro Auge. Somit entsteht ein stereoskopisches Bild. [QZ03]

## Die Hand als Anforderungsprofil

Die Lösung der dreidimensionalen Erfassung und Eingabe liegt offenbar im Datenhandschuh. Um die Anforderungen an einen Datenhandschuh verstehen zu können, muss man die Eigenschaften der Hände verstehen.

## 2 Die Hand als Anforderungsprofil

Die Hand ist ein sehr komplexes biomechanisches Werkzeug. Das Handgelenk kann sich um ca.  $100^\circ$  Grad nach oben und unten bewegen und ca. um  $60^\circ$  Grad nach links und rechts. Dabei beeinflusst es auch die Bewegung des Unterarms. Die normale menschliche Hand hat jeweils fünf Finger mit drei Gelenken pro Finger. Jedes dieser Gelenke kann sich ca. um  $90^\circ$  Grad nach unten bewegen. Die Finger kann man ca. um  $45^\circ$  Grad voneinander spreizen. Den Daumen sogar um  $90^\circ$  Grad. Er ist besonders beweglich. Eine Handhaltung hat 27 Freiheitsgrade. 21 Freiheitsgrade für die gemeinsamen Winkel der Finger (fünf Finger mal drei Gelenke plus vier Winkel der Finger zueinander plus zwei für den beweglichen Daumen) und sechs für Lagebestimmung und Position der Hand im Raum [QB04] [eigene Hand und Winkelmesser].

Die Abbildung 4 zeigt die Bereiche der Hand, die die meisten Informationen aufnehmen können. Zwar umfassen die Finger nur einen kleinen Teil der gesamten Hautoberfläche, doch kommt gerade diesem Bereich eine enorme Bedeutung für Wahrnehmung zu. Um erfolgreich taktile Informationen zu synthetisieren, müssen Wege und Möglichkeiten erschlossen werden, die taktilen Rezeptoren, die sich unmittelbar unter der Haut befinden, zu stimulieren. Mehr als 17 Millionen dieser Rezeptoren befinden sich an der Hand unter der Haut. Sie teilen dem Gehirn detailliert die Beschaffenheit der Außenwelt mit. Diese so genannten Mechano - Rezeptoren<sup>5</sup> messen die Form, Beschaffenheit und Temperatur einer Oberfläche, die gegen die Hautoberfläche gedrückt wird. Es gibt vier verschiedene Typen an Mechano - Rezeptoren, die sich nach Anordnung, Orientierung, Häufigkeit, Menge und Reaktanz<sup>6</sup> unterscheiden. [QW01]

Von diesem hochkomplexen Erfassungssystem „Hand“ können nur wenige Komponenten von den modernen dreidimensionalen Eingabegeräten bzw. Sensoren realisiert werden.

<sup>5</sup> **Mechano-Rezeptoren:** sensible Endorgane (s.a. Corpuscula nervosa terminalia), die durch mechanische Reize (Dehnung, evtl. auch Druck) adäquat, u. zwar tonisch oder phasisch erregt werden; z.B. Muskel- u. Pressorezeptoren, Rezeptoren im Ohrlyrinth (in der Macula u. Cupula), Berührungsezeptoren der Haut (Hautrezeptoren). [QW16]

<sup>6</sup> **Reaktanz:** Widerstand

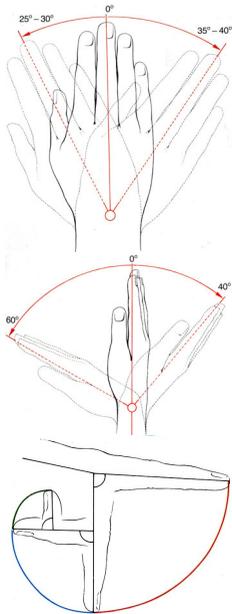


Abb. 03  
**Oben:** Mögliche Seitwärtsbewegung der Hand  
**Mitte:** Auf- und Ab- Bewegung der Hand.  
**Unten:** Die Bewegungsbahn bei Beugung der drei Fingergelenke liegt annähernd auf einer Spirale [QB05]

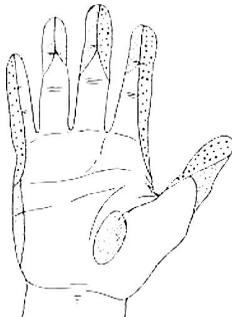


Abb. 04 Die Bereiche der Hand, die den Großteil taktiler Wahrnehmung ausmachen [QW01]

### 3 Übersicht über dreidimensionale Eingabegeräte

In dreidimensionalen Benutzerumgebungen erfüllen Eingabegeräte zwei grundlegende Aufgaben:

- Navigation in sechs Freiheitsgraden<sup>7</sup>
- Absetzen von Befehlen zur Selektion und Manipulation von Objekten.

In den heutigen grafischen Benutzeroberflächen erfüllt die Maus die Aufgabe der Navigation und dient in Verbindung mit der Tastatur zur Eingabe von Daten und zum Absetzen von Befehlen. Beide Eingabegeräte sind nur bedingt für den Einsatz in dreidimensionalen Benutzerumgebungen geeignet. Die Maus unterstützt nur zwei Freiheitsgrade, und die Tastatur ist in immersiven Umgebungen<sup>8</sup> allenfalls blind zu bedienen. [QB03]

Diese Art der Eingabe entspricht auch nicht der natürlichen Bewegung im Raum und muss erst durch den Benutzer erlernt werden. Eben diese natürliche Bewegung im Raum wird durch 3D-Eingabegeräte erreicht. [QW13]

Somit fordert virtuelle Realität (VR)<sup>9</sup> völlig neue Ansätze zur Gestaltung von Eingabegeräten. Über die letzten Jahre gab es beim Einsatz in virtuellen Umgebungen neben den isometrischen<sup>10</sup> Systemen nur den Datenhandschuh. [QB03]

#### 3.1 Von der 3D-Maus bis zu Kopfbewegungssensoren

Die von LOGITECH [QW11] entwickelte **3D-MAUS** ist die Erweiterung einer herkömmlichen Maus. Eine 2D-Maus wird an der Frontseite mit einem dreiecksförmigen Ultraschallempfänger versehen. Ein Ultraschallsender, bestehend aus drei Lautsprechern, die sich jeweils an den Ecken eines Dreiecks befinden, wird für die Anwendung einfach links, bzw. rechts, parallel vom Monitor platziert (je nachdem ob der Anwender Rechts- oder Linkshänder ist). Somit stehen sechs Freiheitsgrade zur Verfügung. Die Bedienung der Maus ist aufgrund der Eigenschaft von Ultraschallwellen nur in einem Bereich von 100° in Front des Senders möglich. Rotationen sind in y-Richtung nur um +/- 90° möglich. Ein Problem ist das ermüdende Arbeiten mit der Maus, da sie ja immer vom Benutzer in einer gewissen Höhe gehalten werden muss.



Abb. 05 LOGITECH 3D-MAUS von 1992 mit Ultraschall Sender und Empfänger [QW13]

<sup>7</sup> **Sechs Freiheitsgrade:** drei für die Position und drei für die Orientierung im Raum [QW13]

<sup>8</sup> **Immersiven Umgebungen:** VR in welche man per HMD eintauchen kann so dass man die reale Welt nicht mehr oder nur überlagert sieht.

<sup>9</sup> **Virtuelle Realität (VR):** Virtuelle Realität. Künstlich erschaffene gedachte Welt.

<sup>10</sup> **Isometrische Systeme:** Eingabegeräte, welche nur die Zustände „ein“ und „aus“ ermöglichen.. z.B. die Tastatur.

## Übersicht über dreidimensionale Eingabegeräte



Abb. 06 SPACE MOUSE CLASSIC von 3DCONNECTION [QW11]

Bei der **SPACE MOUSE** handelt es sich um ein stationäres Tischgerät mit einer beweglichen, flachen Kappe für die 3D-Eingaben und mehrere Tasten zum Auslösen von beliebigen Aktionen oder Umschalten der verschiedenen Betriebsmodi. Die SPACE MOUSE ist in der Lage, sich als 2D- oder 3D-Gerät zu verhalten und kann damit ohne zusätzliche 2D-Maus am Computer benutzt werden. Beim Umschalten der SPACE MOUSE in den 2D-Modus werden die Tasten der Maus in drei Gruppen eingeteilt, so dass jeder Knopf derselben Gruppe eine Maustaste repräsentiert. Die X- und Y-Achsen verhalten sich im 2D- wie im 3D-Modus gleich. [QW13]

Ein **3D-Trackball** funktioniert wie die SPACE MOUSE mit einem berührungslos arbeitenden, optoelektronischen Messsystem. Das System ist mit sechs Leuchtdioden ausgestattet, die durch drei senkrechte und drei waagrechte Schlitzblenden am Gehäuse leuchten. Sensoren, welche am äußeren Gehäuse angebracht sind, empfangen die Lichtstrahlen und errechnen je nach empfangener Lichtmenge der einzelnen Sensoren die gewünschte Bewegung. [QW13]



Abb. 07 SPACEBALL 5000 [QW15]

Im Gegensatz zur Space Mouse wird der **SPACE BALL** zusätzlich zur normalen Maus eingesetzt. Er wird mit der linken Hand (bei Linkshändern mit der rechten Hand) bedient und dient dazu, die Ansicht einer 3D-Szene einzurichten. Die Steuerung und der Aufbau des SPACE BALLS entspricht der SPACE MOUSE, mit dem Unterschied, dass Rotationen in der virtuellen Szene durch Drehen des SPACE BALLS in die entsprechende Richtung durchgeführt werden. Um die Rotationsachsen einzuschränken, befinden sich am Gehäuse des SPACE BALLS je nach Modell bis zu acht Tasten. Mit den Tasten kann auch die Empfindlichkeit auf Druck und Drehung eingestellt werden. [QW13]



Abb. 08 PHANTOM Premium 1.5 von Senseable [QW24]

Das **PHANTOM** von SENSABLE verfügt über 6 Freiheitsgrade (jeweils drei zur Bestimmung der Position und Orientierung)

Es ist ein 3D haptisches Eingabegerät. Das bedeutet, es verfügt über eine Krafterückkopplung „Force Feedback“(FFB). Durch Kollisionsabfragen ist es damit möglich, virtuelle Objekte zu spüren. Darauf wird in Kapitel 5 eingegangen. [QW24]

## 3.2 Augen- und Kopfbewegungssensoren

Diese Art von Sensoren stellen Informationen über die aktuelle Position und Orientierung sowie über die Blickrichtung des interagierenden Benutzers in Echtzeit zur Verfügung. Die Position und Orientierung des Kopfes wird meist mit Hilfe von am Hinterkopf des Benutzers befestigten Positionssensoren bestimmt. Diese Sensoren arbeiten mit magnetischen Feldern, Ultraschall oder Ähnlichem. Um die Blickrichtung des Benutzers bestimmen zu können, werden meist Infrarotkameras eingesetzt. Von den Kameras wird zum Auge Infrarotstrahlung gesendet, die dort von der Netzhaut reflektiert wird. Anhand der Reflektionen, die von der Pupille in die Kamera treffen, kann dann der Blickwinkel berechnet werden. Um vollkommene Bewegungsfreiheit des Benutzers zu ermöglichen, wird ein „Head- und Eyetracking“ Helm verwendet. Es gibt auch andere Systeme, bei denen der Betrachter keinen Helm tragen, dafür aber in einem bestimmten Winkel zu einem im Raum befindlichen Trackinggerät<sup>11</sup> einhalten muss.

Eyetracking - Systeme ermöglichen es zu bestimmen, wohin der Betrachter blickt; ob er sich auf einen bestimmten Teil des Bildes konzentriert (Messung anhand der Pupillengröße) oder ob er einen Text liest. Brillen, kleine Pupillen sowie Kontaktlinsen führen bei manchen Eyetracking - Systemen zu Problemen. [QW13]



Abb. 09 3D - CYBERHELM [QW17]



Abb. 10 Eyetrackingsystem VISIONTRACK 200 [QW34]

<sup>11</sup> Trackinggerät: Gerät zur Bewegungserfassung.

### 3.3 Datenhandschuhe



Abb. 11 5TH DATAGLOVE16 [QW02]

Datenhandschuhe haben sich im Laufe der Zeit zu den wohl gängigsten Eingabegeräten in virtuellen Umgebungen entwickelt. Es handelt sich dabei meist um einen Lycrahandschuh, der die Position der Hand sowie die Krümmung der Finger erfassen kann. Er erlaubt wie kein anderes Eingabegerät ein intuitives Agieren in dreidimensionalen Welten. Die Kommando-eingabe erfolgt über leicht erlernbare Gesten: Zur Navigation reicht es aus, in die entsprechende Richtung zu zeigen. Zur Selektion von Objekten packt man einfach zu, und nach getaner Arbeit lässt man das Objekt wieder los. Die Positionsbestimmung erfolgt bei den meisten heute auf dem Markt erhältlichen Systemen mit elektromagnetischen Sensoren, deren Leistungsdaten zum Teil drastisch variieren. Zur Messung der Fingerkrümmung haben sich inzwischen viele verschiedene Messmethoden herausgebildet. [QB03]



Abb. 12 Person mit Datenhandschuhen und Head Mounted Display. [QW33]

## Unterscheidungskriterien von 3D-Eingabegeräten

Abgesehen von den verschiedenen Techniken unterscheiden sich 3D-Eingabegeräte in ihren Eigenschaften im Wesentlichen durch die Freiheitsgrade, Positionserfassung, Schnelligkeit, Qualität und Zuverlässigkeit sowie durch die Leistungsfähigkeit der Schnittstellen.

### 3.4 Freiheitsgrade

Die wohl wichtigste Eigenschaft eines 3D-Eingabegerätes ist die Anzahl der Freiheitsgrade (engl. Degrees Of Freedom = DOFs). Die Freiheitsgrade geben Auskunft darüber, wie komplex das jeweilige Gerät aufgebaut ist. Die 3D-Maus besitzt z.B. sechs Freiheitsgrade, davon jeweils drei für Translation<sup>12</sup> und Rotation. Datenhandschuhe können über bis zu 27 Freiheitsgrade zur Erfassung der Fingerkrümmung verfügen [QW13]

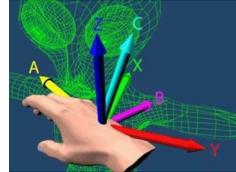


Abb. 13 Die sechs Freiheitsgrade. (XYZ) für die Position und (ABC) für die Rotation im Raum

### 3.5 Positionserfassung

Positions- oder Bewegungsdaten können entweder als absolute oder relative Daten geliefert werden.

Relative Daten werden immer relativ zu einem Bezugspunkt im Raum geliefert. Diese Art der Datenübermittlung findet sich bei mehrteiligen Geräten, die aus einem stationären Teil und einem beweglichen Teil bestehen, wie z.B. bei der LOGITECH 3D-MAUS.

Bei absoluter Datenübermittlung wird eine Auslenkung gegenüber einer Null-Lage geliefert. Eine konstante Auslenkung über einen größeren Zeitraum ergibt so z.B. eine größere Verschiebung. Geräte, die diese Übermittlungsart nutzen, reagieren direkt auf die Eingabe des Benutzers, ohne dass sie noch zusätzlich eine Position zum Benutzer einnehmen müssen, z.B. SPACE MOUSE. Beide Arten können natürlich auch kombiniert werden. Bestes Beispiel ist der Datenhandschuh, der für die Positionserfassung ein absolutes, zur Erfassung der Fingerbewegung ein relatives Koordinatensystem verwendet. [QW13]

<sup>12</sup> Translation (Physik) Parallelverschiebung eines starren Körpers

Im Normalfall setzt sich die Bewegung eines Körpers aus Translationen und Rotationen zusammen. [QW19]  
Rotation: Drehung um eigene Achse

### 3.6 Schnelligkeit, Qualität und Zuverlässigkeit

Die Update Rate gibt die Anzahl der aktualisierten Werte pro Sekunde an. Die Verzögerung zwischen einer ausgeführten Aktion und der Erfassung der Aktion am Rechner wird durch die Latenzzeit (Lag) ausgedrückt. Die Latenzzeit (Lag) und Update-Rate sind wechselseitig voneinander abhängig. Die Vorzüge eines schnellen Tracking Systems werden durch eine geringe Update-Rate zunichte gemacht. Beide Werte sind vom verwendeten Messsystem (Ultraschall, optische Sensoren...) abhängig und geben so auch Auskunft über die Präzision des Eingabegerätes.

[QW13] & [QB03]

Die Leistung eines Tracking System lässt sich durch folgende Parameter bestimmen:

Schnelligkeit

**Latenzzeit (Lag):** Verzögerung zwischen Sensorbewegung und dem resultierenden Signal

Gängige Werte: 4 -100ms

Ideal: möglichst geringe Werte

**Updaterate:** Die Frequenz, in der aktualisierte Werte vom Sensor geliefert werden.

Gängige Werte: 10 - 60 Hz

Ideal: möglichst hohe Werte

Qualität

**Genauigkeit:** Messtoleranz des Trackingverfahrens.

Gängige Werte: 0,125-3,2mm /0,05-0,5 Grad

Ideal: möglichst geringe Werte

**Auflösung:** Genauigkeit des Sensors in Positionierung und Orientierung

Gängige Werte: 0,25–6,35mm / 0,1–1 Grad

Ideal: möglichst geringe Werte

Zuverlässigkeit

**Reichweite:** Maximaler Abstand zwischen Sender und Empfänger bei drahtlosen Verfahren.

Gängige Werte: 45 – 2000cm

Ideal: möglichst hohe Werte

**Interferenz:** Anfälligkeit des Messverfahren gegenüber äußeren Einflüssen, wie z.B. elektromagnetischen Feldern, Metallen, Störsignalen und weiteren Sensoren des gleichen Typs. Wird Durch die Überlagerung von Signalen verursacht.  
[QB03]

## 3.7 Schnittstellen

Die Daten können mit Hilfe der genormten, praktisch an allen Computern verfügbaren, seriellen Schnittstellen, über eine LAN<sup>13</sup>- Schnittstelle oder eine spezielle gerätespezifische Schnittstelle zwischen Eingabegerät und Computer ausgetauscht werden. Am häufigsten wird die Übertragung über die serielle- oder USB<sup>14</sup>- Schnittstelle benutzt, wobei es große Unterschiede in den Übertragungsprotokollen (Datenrate, Parität, Datenformat, Aufbau eines Datenpaketes) gibt. [QW13]

Die Anforderungen an die Schnittstellen werden maßgeblich durch das Eingabegerät bestimmt.

## 4 Sensoren und Bewegungsverfolgung

Die Art der verwendeten Sensoren ist entscheidend für die Genauigkeit eines 3D-Eingabegerätes und somit dessen Einsatzmöglichkeiten. [QW13]

Die Bewegungsverfolgung eines Objektes nennt man Tracking. Folgende Trackingverfahren stehen heute zur Verfügung [QB03]

### 4.1 Mechanische Trackingsysteme

Schon bei frühen dreidimensionalen Anzeigen kamen mechanische Trackingverfahren zur Navigation zum Einsatz. Noch heute ist diese Methode in der Genauigkeit und Schnelligkeit unübertroffen. Bei diesen Trackingverfahren besteht immer eine direkte mechanische Verbindung, meist in Form eines Leichtbaugestänges zwischen dem verfolgten Objekt und einem fixen Referenzpunkt. Mehrere Gelenke erlauben fast beliebige Bewegungen in sechs Freiheitsgraden innerhalb eines gewissen Aktionsraumes. Das Erfassen der aktuellen Position erfolgt in den meisten Fällen über optische Sensoren, die an jedem Gelenk befestigt sind und miteinander verrechnet werden. Mechanische Trackingverfahren haben folgende Eigenschaften:

- ✓ sehr genaues und schnelles Verfahren (Lag < 5 ms)
- ✓ Force Feedback<sup>15</sup> möglich
- ✓ einfache Installation
- ✓ preisgünstig
- ✗ nicht berührungslos
- ✗ geringe Bewegungsfreiheit,
- ✗ eingeschränkter Aktionsraum [QB03]



Abb. 2 Immersion CyberForce [QW05]



Abb. 14 University of North Carolina, HAPTIC DISPLAY GROPE III [QB02] Mit diesem Haptic Device ist der erste und einzige Unfall passiert. Der Arm eines Benutzers wurde aufgrund einer Fehlfunktion gebrochen. [QP01]

<sup>13</sup> LAN ist die Abkürzung für Local Area Network. Gemeint ist ein Lokal begrenztes Computernetzwerk.

<sup>14</sup> USB ist die Abkürzung für Universal Serial Bus. Eine vielfältig einsetzbare Computerschnittstelle.

<sup>15</sup> Force Feedback System zur Übertragung von Kraftrückkopplungen. Siehe Kapitel 6.2

## 4.2 mechanisches Messverfahren



Abb. 15 Ein Prototy der DEXTEROUS HANDMASTER von EXOS. Ein Exoskeleton für einen Finger und Handrücken [QW01]

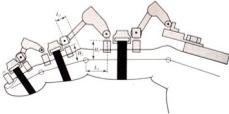


Abb. 16 EXOS'S DEXTEROUS HAND MASTER Schematische Ansicht [QB02]



Abb. 17 Exos's Dexterous Hand Master [QW01]

Der DEXTEROUS HANDMASTER der EXOS INC gilt heute gemeinhin nicht allein als Datenhandschuh, sondern auch als Exoskeletton, da er aus leichtem Aluminium besteht und wie ein Außenskelett angelegt wird. Ähnlich wie auf der Abbildung erkennbar, werden bei diesem Eingabegerät sämtliche Finger einer Hand mit dem Exoskeletton belegt. Die Apparatur misst die Beugung aller drei Fingergelenke des jeweiligen Fingers. In der ersten Nutzung wird die Stärke der Beugung und die Dehnungsfähigkeit eines jeden Gelenkes gemessen. Das System "kennt" von da ab die genauen Spezifikationen der jeweiligen Hand bzw. der einzelnen Gelenke. Genau wie das System Daten des Anwenders erfasst, kann es Daten an die einzelnen Gelenke weitergeben, so dass ein Gelenk "gebeugt wird" (Force Feedback). Der Dexterous Handmaster gilt als äußerst akkurat in der Erfassung und Vermittlung von Informationen taktiler Art und wird insbesondere in Teleexistenz-Systemen verwendet, in denen möglichst genau operiert werden muss. [QW 01]

Ein oberhalb des Handschuhs angebrachtes mechanisches Exoskelett erfasst die Krümmung eines jeden einzelnen Fingergelenks mit extrem hoher Präzision. Für den Normaleinsatz sind diese Geräte zu sperrig und auch zu teuer. Außerdem müssen sie auf jeden Benutzer angepasst werden. Eine Rekalibrierung während der Anwendung ist dagegen in der Regel nicht erforderlich. [QB03]

Eigenschaften:

- ✓ sehr intuitives Agieren im Raum
- ✓ hoher Tragekomfort bei geringem Gewicht
- ✓ Einsatz der eigenen Hand fördert die Immersion<sup>16</sup>
  
- ✗ für professionellen Einsatz z.Zt. nur bedingt geeignet
- ✗ aus Gründen der Hygiene und der Paßgenauigkeit nur schlecht von mehreren Benutzern zu verwenden
- ✗ je nach Messverfahren ungenau und langsam
- ✗ hoher Preis

[QB03]

<sup>16</sup> **Immersion:** Eintauchen, eintreten in eine Virtuelle Realität

### 4.3 Elektromagnetische Trackingsysteme

Elektromagnetisches Tracking ist wohl das heute am meisten verbreitete und flexibelste Verfahren. Dabei werden von einem Sender durch drei mit Strom durchflossene Spulen in sequentieller Folge drei senkrecht aufeinander stehende Magnetfelder erzeugt. Diese induzieren bei den drei in gleicher Weise ausgerichteten Spulen des Empfängers Strom. Daraus resultieren insgesamt neun Messwerte, die durch einen Computer (Controller) in räumliche Position und Ausrichtung umgerechnet werden können.

Bei der Arbeit mit elektromagnetischen Trackern ist zu beachten, dass der Bezugspunkt aller Messungen durch die Position des Empfängers bei der Initialisierung des Systems festgelegt wird. Nicht alle elektromagnetischen Trackingsysteme sind für den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Empfänger geeignet, wegen möglicher Interferenzen der elektromagnetischen Wellen. Oft muss für jeden Empfänger eine getrennte Messung durchgeführt werden. Dies vervielfacht die Verzögerungszeit entsprechend der Anzahl der verwendeten Empfänger. Neuere Systeme, wie zum Beispiel das FASTTRACK- oder ULTRATRACK-System der Firma POLHEMUS oder der ASCENSION BIRD, kennen dieses Problem nicht mehr.

Elektromagnetische Trackingsysteme haben folgende Eigenschaften:

- ✓ berührungslos, dadurch große Bewegungsfreiheit
- ✓ Empfänger sind klein und überall zu befestigen
- ✓ relativ hohe Genauigkeit
- ✗ elektromagnetische Felder und Metalle beeinflussen fast alle Leistungsdaten
- ✗ geringe Genauigkeit, Geschwindigkeit
- ✗ vor allem bei älteren Systemen (z. B. ISOTRACK) relativ lange Verzögerungszeiten
- ✗ anspruchsvollere Systeme sind relativ teuer

[QB03]

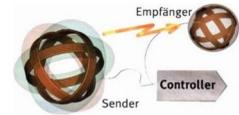


Abb. 18 Elektromagnetisches Trackingverfahren [QB03]



Abb. 19 IMMERSION CYBERGLOVE [QW11]

## 4.4 Akustische Trackingsysteme

Das Akustische Tracking als Ultraschallmessung ist eine preisgünstige Alternative zu den anderen Trackingverfahren. Je nach System werden zwischen einem beweglichen Sender in Form eines Lautsprechers und drei Mikrofonen als Empfänger Messungen durchgeführt.

Die Laufzeit- oder Phasendifferenzmessung ist genauer, aber auch komplizierter und somit teurer.

Allein aufgrund der großen Wellenlänge der Signale reichen akustische Verfahren nicht an die Genauigkeit anderer Messmethoden heran. [QB03]

Akustische Trackingsysteme haben folgende Eigenschaften:

- ✓ berührungslos, dadurch große Bewegungsfreiheit
- ✓ Empfänger ist klein und überall zu befestigen
- ✓ sehr preiswert
  
- ✗ akustische Signale aller Art beeinflussen die Genauigkeit des Systems
- ✗ der Sender muss direkt auf die Empfänger ausgerichtet sein
- ✗ kleiner Aktionsradius

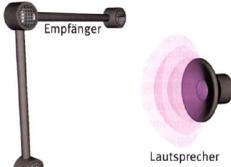


Abb. 20 Arkustisches Trackingverfahren [QB03]



Abb. 21 Der POWERGLOVE von MATTEL und NINTENDO [QW021]



Abb. 22 Arkustisches Tracking-system des POWERGLOVE von MATTEL und NINTENDO [QW211]

Der POWERGLOVE als Eingabegerät zur Positionsdatenerfassung via Ultraschall und Handschuhsensorik mittels Tintendruck eignet sich insbesondere für Einsteiger. Damit haben sie erstmalig das Gefühl der handgesteuerten Computernutzung und der 3D Interaktion mit einer virtuellen Umgebung. Der POWERGLOVE wurde in den 1980er Jahren von MATTEL (Chris Gentile) entwickelt und von NINTENDO vertrieben. Er gilt als die Alternative für die PC-orientierte Auseinandersetzung mit virtuellen Welten. Zu Beginn der 1990er Jahre wurde der POWERGLOVE für den Gebrauch am Personal Computer modifiziert. Dieses Eingabegerät hat zwar den Nachteil relativ ungenau zu arbeiten, eignet sich aber insbesondere für Einsteiger erstmalig das Gefühl der handgesteuerten Computernutzung und der 3-D Interaktion mit einer virtuellen Umgebung. [QW01]

## 4.5 Optische Trackingsysteme

Der Oberbegriff „optisches Tracking“ erfasst eine ganze Reihe völlig unterschiedlicher Messverfahren.

Es wird zwischen aktiven und passiven Trackingsystemen unterschieden. Bei aktiven Trackingsystemen sind die Marker (Trackingpoints) auf den Objekten selbstleuchtend. Dies sind z.B. Infrarot-Leuchtdioden.

Passive Trackingsysteme hingegen benutzen nicht selbstleuchtende Marker. Meist sind es helle Flächen auf einem dunklen Kontrast.

Diese bestehen z.B. aus Styroporkugeln, welche an dem zu verfolgenden Objekt befestigt sind.

### 4.5.1 Aktive optische Trackingverfahren

Aktive Optische Trackingverfahren funktionieren wie folgt:

- Am Objekt sind Infrarot-Dioden angebracht, die von einem Empfänger, erfasst werden.
- Eine am verfolgten Objekt fixierte Videokamera registriert mehrere hundert gleichmäßig an der Decke angebrachte Leuchtdioden, die zur besseren Erkennbarkeit in regelmäßigen Abständen aufblitzen.

Der P5 GLOVE von ESSENTIAL REALITY arbeitet beispielsweise mit dieser Methode. Um Position und Haltung des Handschuhs zu bestimmen, nutzt ESSENTIAL REALITY acht Infrarot-Leuchtdioden, die über das Gerät verteilt sind. Hinter der Sichtblende der 35 cm hoch aufragenden Basisstation sitzen entsprechende Sensoren. Dreht man die Oberseite der Hand auch nur leicht von der Basisstation weg, versagt die Lagebestimmung ganz. Nicht nur virtuelle Schwertkämpfe dürften deshalb mit dem P5 etwas Umsicht verlangen. In den 110 g leichten Handschuh schlüpft man nicht hinein, sondern bindet ihn auf den Handrücken. Auf allen fünf Fingerrücken liegen Gummistreifen. An ihren Enden tragen sie justierbare Ringe, durch die man die Fingerspitzen schiebt. So werden die Gummistreifen und die in ihnen versteckten Sensoren mitgebogen, wenn man die Finger krümmt. Die Biegesensoren liefern pro Finger etwa 30 Auflösungsstufen diese reichen für eine differenzierte Erfassung aus. Allerdings wird so nur die gesamte Krümmung des Fingers bestimmt, nicht der Knick pro Gelenk. Auch lässt sich beispielsweise nicht zwischen dem VULKANIER - Gruß (vgl. Abbildung 25) und einer ausgestreckten Hand unterscheiden. Der Handschuh ist durch ein 180 cm langes Kabel mit einer Basisstation verbunden. Diese wiederum nimmt per USB Kontakt zum Rechner auf. [QZ01]



Abb. 23 Aktiv Optisches Tracking Verfahren im Film MINORITY REPORT [QF02]



Abb. 25 Der P5 GLOVE von ESSENTIALREALITY [QW06]



Abb. 26 VULKANIER Gruß von Spock (Leonard Nimoy) [QW35]

## 4.5.2 Passive Trackingverfahren



Abb. 27 AR-Tracking Wireless Flystick, A.R.T. [QW09]

- Bei diesem Verfahren werden reflektierende Markierungen auf dem Objekt von Kameras erfasst und über Bilderkennungsalgorithmen in Position und Ausrichtung des verfolgten Objekts umgesetzt. Systeme dieser Art laufen unter dem Oberbegriff Optisches Radar (Optical Radar).
- Bilderkennungssysteme aus mehreren Infrarot Kameras verfolgen anhand charakteristischer optischer Merkmale Position und Ausrichtung eines aufgenommenen Objekts. Somit kann die Lage und Ausrichtung des Objektes im dreidimensionalen Raum bestimmt werden.

Der WIRELESS FLYSTICK von AR-TRACKING ist zwar kein Datenhandschuh aber ein Beispiel für ein passives Trackingverfahren. [QW09]

Während aktive Trackingverfahren wegen des hohen technischen Aufwands nur in besonderen Fällen in Betracht kommen, bei denen z. B. ein großer Aktionsradius benötigt wird, könnten sich passive optische Trackingverfahren zu einer sehr flexiblen Methode für eine berührungs- und kabellose Positionsverfolgung von Objekten entwickeln.

Ist die Hardware in Form von Kameras und Rechnern erst einmal angeschafft, kann die Bilderkennungssoftware auf verschiedene Einsatzbereiche fast beliebig angepasst werden. Noch macht sich der hohe Rechenaufwand der Bildanalyse durch eine große Verzögerungszeit bemerkbar; es ist jedoch davon auszugehen, dass dieses Problem durch weitere Optimierung in Soft- und Hardware schon bald in den Griff zu bekommen ist. [QB03], [QW09]

Eigenschaften dieses Verfahrens sind:

- ✓ drahtlos, dadurch große Bewegungsfreiheit
- ✓ flexibel an besondere Aufgaben anzupassen
- ✗ direkte Sichtverbindung zu Empfänger/Kamera nötig
- ✗ je nach Einsatz und Algorithmik hohe Verzögerungszeiten

### 4.5.3 Lightglove

LIGHTGLOVE ist ein unter dem Handgelenk getragenes optisches Sende- und Empfangsmodul von der Größe eines Pagers<sup>17</sup>. Für die Dateneingaben emittiert LIGHTGLOVE (das mit einem Handschuh außer dem Namen im Übrigen nicht viel gemein hat) für jeden Finger einen eigenen, von LEDs erzeugten Lichtstrahl. Bewegt der Anwender nun einen Finger – etwa indem er auf einer Tischplatte oder einfach in der Luft „tippt“ –, unterbricht er diesen Lichtstrahl, und ein optischer Sensor interpretiert die Fingerbewegung anhand der Lichtreflexion als Tastenклик.

Für jeden Finger ist dabei eine vertikale Buchstabenreihe der QWERTY-Tastatur vorgesehen, beispielsweise r, f und v für den Zeigefinger der linken Hand. Das Empfangsmodul überträgt die eingehenden Signale drahtlos an eine Basisstation, die wiederum per USB<sup>18</sup> an das Endgerät z.B. Laptop<sup>19</sup> oder PDA<sup>20</sup> angeschlossen ist. Auf dem Display zeigt die LIGHTGLOVE-Software dem Anwender dann in Form einer Mini-Tastatur an, welche Tastengruppe aktiviert wurde. Über eingebaute Trägheitssensoren ist LIGHTGLOVE zusätzlich in der Lage, Handbewegungen des Anwenders zu interpretieren und diese als Cursorbewegungen auf dem Bildschirm darzustellen – Dies ist entscheidend, um die Tastenwahlmöglichkeiten pro Finger einzuschränken. Wird der Cursor über die Grenzen der eingeblendeten Tastatur hinaus bewegt, agiert LIGHTGLOVE zudem als Mauszeiger. [QZ02]



Abb. 28 IR bzw. Laser Sensoren des LIGHTGLOVE [QW12]



Abb. 29 LIGHTGLOVE mit virtueller Keyboard Software [QZ02]



Abb. 30 LIGHTGLOVE in der Anwendung mit einem PDA [QW12]

<sup>17</sup> **Pager:** Gerät zum mobilen Empfang von Textnachrichten. Ist etwas kleiner als eine Zigarettenschachtel.

<sup>18</sup> **USB** ist die Abkürzung für Universal Serial Bus, eine vielfältig einsetzbare Computerschnittstelle.

<sup>19</sup> **Laptop / Notebook:** Tragbarer mobiler Computer.

<sup>20</sup> **PDA:** Ein kleines elektronisches Adress-, Termin- und Notizbuch, neuerdings auch in Kombination mit Handys, Anbindung an Personalcomputer, z. T. mit Internetanschluss. Personal Digital Assistant –persönlicher digitaler Assistent

### 4.5.4 Erfassung der Hand mit einem Baum-Filter.



Abb. 31 Videobild mit erkannter Handhaltung [QW10]



Abb. 32 erkannte 3D Referenz Handhaltung der Software [QW10]

Eine ganz neue Generation von passiven optischen Trackingverfahren ist momentan im Entwicklungsstadium.

Die Bilderkennungssoftware ist mittlerweile schon so ausgeklügelt, dass sie Gesichter und auch Hände erkennen kann.

Bei den Händen kommt das Problem der Fingerbewegung hinzu.

Die Bildverarbeitungssoftware hat 35.000 mögliche Handpositionen in einer systematisch aufgebauten Baumstruktur gespeichert. Diese wurden dem System mit einem Datenhandschuh in Verbindung mit einem Videobild angelernt. Die Software erkennt die Hand an den RGB - Werten der Hautfarben in Verbindung mit einem Filter, welcher durch den Farbkontrast Ränder aufspürt. Für Hintergrundpixel wird eine konstante Verteilung angenommen.

Die Lage der Hand in dem Videobild wird nun per Wahrscheinlichkeitsfunktion und Baumstruktur entschlüsselt.

Die Position der Hand wird automatisch initialisiert, indem der komplette Datenbestand in der Baumstruktur mit den ersten Bildern des Videomaterials verglichen wird. Wenn die Hand erkannt wurde wird die Position der Hand als Silhouette in das Video projiziert.

Das System versagt sobald die Hand einen Gegenstand aufnimmt. [QW10]

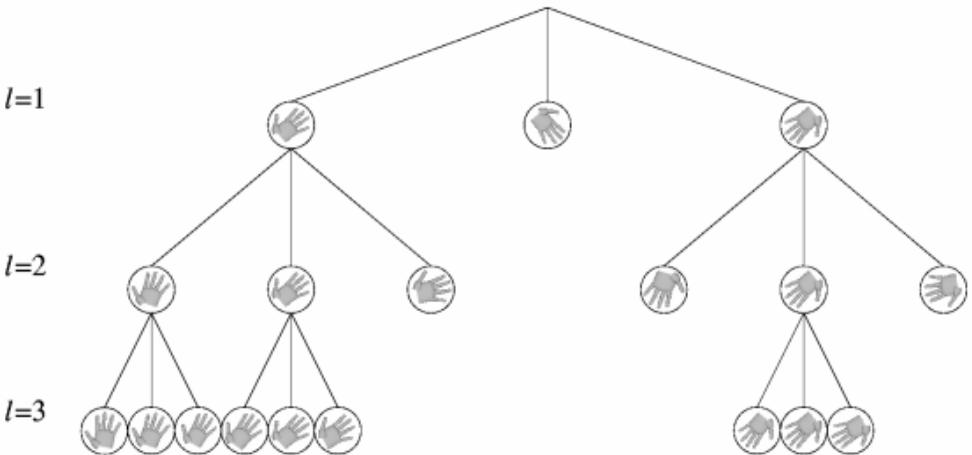


Abb. 33 Entscheidungsbaum der Wahrscheinlichkeitsfunktion des Videofilters [QW10]

## 4.6 Kinematische Trackingsysteme

Kinematische Trackingsysteme basieren wie unsere körpereigenen Positionssensoren im Innenohr auf der Messung von Rotationsbewegungen anhand der Trägheit der Masse. Ein Messen von Translationen<sup>21</sup> ist mit diesen Systemen nicht möglich. Das gängigste Verfahren arbeitet mit einem kleinen Kreisel, der durch einen Elektromotor auf eine Rotationsgeschwindigkeit von ca. 10.000 Umdrehungen pro Minute gebracht wird. Optische Sensoren erfassen Änderungen im Rotationsverhalten des Kreisels, wie sie bereits durch kleine Bewegungen entstehen. Da ein solcher Kreiselsensor nur zwei - Freiheitsgrade verfolgen kann, sind für die Erfassung aller drei Rotationsachsen mindestens zwei Sensoren nötig. [QB03]

Kinematische Trackingsysteme haben folgende Eigenschaften:

- ✓ schnell und genau
- ✓ kompakte Bauweise
- ✓ bilden eine in sich geschlossene Einheit
- ✓ benötigen keinen Sender/Empfänger
- ✗ nur Messung von Rotationsbewegungen möglich  
(2 Freiheitsgrade)
- ✗ z.Zt. noch teuer
- ✗ hoher Stromverbrauch
- ✗ Probleme bei ruckartigen Bewegungen

### 4.6.1 Kinematischer Datenhandschuh Scurry

SAMSUNG ADVANCED INSTITUTE OF TECHNOLOGY präsentierte die virtuelle Tastatur, SCURRY, erstmals auf der CeBit 2002.

Es existieren zwei Versionen: Eine Version als eine Art „halber Handschuh“ für Zeige-, Mittelfinger und Daumen (Glove-Type)

und eine Version als Ring-Type, der sich aus einer Manschette für das Handgelenk sowie ringähnlichen Strukturen für Daumen, Zeige-, Mittel- und Ringfinger zusammensetzt. Hand- und Fingerbewegungen interpretiert das SCURRY-System in beiden Versionen über unterschiedliche MEMS (Micro Electrical and Mechanical Systems): Kipp- und Seitwärtsbewegungen des Handgelenks werden von zwei einachsigen Kreiselsensoren erfasst, Bewegungen der Finger von einem Beschleunigungssensor. Die Datenübertragung zum Endgerät geschieht drahtlos zum Beispiel per BLUETOOTH<sup>22</sup>. Der Hauptanwendungsbereich ist momentan eher in der virtuellen (Spiele-)Realität zu sehen. [QZ02]



Abb. 34 Futuristisches Design aus Südkorea: SAMSUNGS SCURRY arbeitet mit Kreisel- und Beschleunigungssensoren, die Bewegungen der Hände und Finger erfassen [QZ02]

<sup>21</sup> **Translation** (Physik) Parallelverschiebung eines starren Körpers

Im Normalfall setzt sich die Bewegung eines Körpers aus Translationen und Rotationen zusammen. [QW19]  
Rotation: Drehung um eigene Achse

<sup>22</sup> **Bluetooth**: Bluetooth - Technologie zur Funkübermittlung von Sprache und Daten über kurze Strecken im global verfügbaren 2,4-GHz-ISM-Band (ISM - Industrial Scientific Medical). Mit Hilfe von Bluetooth können Einzelgeräte wie PCs, Faxgeräte und Mobiltelefone kabellos miteinander verbunden werden.

## 4.7 fiberoptisches Messverfahren

Bereits der erste Datenhandschuh, VPLS DATA GLOVE, bediente sich dieses Messverfahrens. Dabei wird für jedes Gelenk an der Oberseite jedes Fingers ein Glasfaserkabel in einer Schlaufe angebracht. Die Glasfaser lässt je nach Grad der Fingerkrümmung mehr oder weniger Licht durch. Durch eine Leuchtdiode und einen optischen Sensor kann dies gemessen und in die Krümmungswinkel der einzelnen Gelenke umgerechnet werden. Obwohl dieses Prinzip relativ einfach und zuverlässig funktioniert, sind die Glasfaserleitungen für viele Einsatzzwecke zu bruchempfindlich. Außerdem erfordert dieses Messverfahren bei längerer Anwendung in etwa 30-minütigen Intervallen, spätestens jedoch bei Wechsel des Benutzers, eine erneute Kalibrierung des Handschuhs. [QB03]

Der 5th GLOVE der Firma GENERAL REALITY ist das erste kabellose Eingabemedium der Datenhandschuhart. Das Gerät operiert ohne die Funktionen des TFB<sup>23</sup> oder FFB<sup>24</sup>. Es ist eines der populärsten Geräte im Bereich des Motion Capture<sup>25</sup> zur Erstellung von Computer- und Videoanimationen für die Filmindustrie und zur Produktion von Computerspielen. In erster Linie wird es daher zur Erfassung von Gesten der Hand und der Position und Ausrichtung im Raum verwendet. Dabei werden die Daten in den faseroptischen Kabeln im Handschuh bis zu 200 Mal in der Sekunde abgefragt und an die Schnittstelle weitergegeben. Der 5th GLOVE wurde der Öffentlichkeit zum ersten Mal auf der SIGGRAPH 1997 vorgestellt und ist im Unterschied zu den meisten seiner Vorgänger der Firma GENERAL REALITY kostengünstig. [QW01]&[QW06]



Abb. 35 Der DataGlove von VPL Research Funktionsweise [QB01]

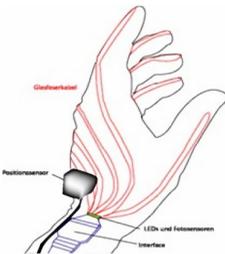


Abb. 36 Glasfaserleitung des VPL Dataglove [QW13]



Abb. 37 Der DataGlove von VPL Research [QW01]

Fiberoptische Systeme sind schon sehr genau und leicht, haben allerdings den Nachteil, dass sie sehr anfällig sind. Schon leichte Kratzer oder Risse in den Lichtleitern verfälschen die Messergebnisse drastisch. [QP01]

## 4.8

<sup>23</sup> **TFB**: Taktiles Feedback, Übermittlung von Gefühlsinformationen – Siehe Abschnitt 4.1 Taktiles Feedback

<sup>24</sup> **FFB**: Force Feedback Übermittlung von Krafrückkopplung – Siehe Abschnitt 4.2 Force Feedback

<sup>25</sup> **Motion Captureing**: ist eine Methode, um menschliche oder tierische Bewegungsdaten oder von Objekten aufzunehmen und sie für weitere Analysen und Arbeiten auf einen Computer zu übertragen. Die Bewegungen (motion) werden also „aufgefangen“ bzw. aufgenommen (to capture). [QA02]

## elektrisches Messverfahren

Der CYBERGLOVE von VIRTUAL TECHNOLOGIES nutzt zwischen 18 und 22 Winkel-sensoren, um die Position der Finger und der Hand zu verfolgen. Diese patentierten hochelastischen Sensoren aus Metallbändern sind in den Handschuh eingearbeitet und passen sich wie der gesamte Handschuh den individuellen Gegebenheiten der Hand an. Proportional mit dem Krümmungswinkel ändern sie ihren Widerstand.

Dies ist wesentlich genauer als fiberoptische Messmethoden und bedarf auch nicht so häufig einer erneuten Kalibrierung. [QB03], [QW01] & [QP01]



Abb. 41 CYBERGLOVE von IMMENSION [QW01]



Abb. 42 Der CYBERGLOVE von VIRTUAL TECHNOLOGIES in der Anwendung [QW01]



Abb. 38 Der CYBERGLOVE von IMMENSION [QB03]

Auch in dem für NINTENDO-Spielsysteme gefertigten POWER GLOVE kommt ein ähnliches Verfahren zum Einsatz. Dabei wird der Widerstand einer auf Polyesterstreifen aufgetragenen leitfähigen Tinte gemessen. Der POWER GLOVE ist zwar im Preis unschlagbar aber er liefert jedoch nur sehr ungenaue und über alle vier Fingergelenke gemittelte Werte. [QB03]

### X-IST Dataglove

Der X-IST DATAGLOVE von NODNA ist ein flexibler Lycrahandschuh. Eingenäht sind fünf patentierte Sensoren aus einer flexiblen Metallfolie, welche je nach Biegung ihren Widerstand ändert. Somit kann die Krümmung der Finger gemessen werden. Die gewonnenen Daten werden in der GLOVEBox verarbeitet und per RS232 oder USB Schnittstelle an einen Computer übermittelt. [QP01]



Abb. 39 Der POWERGLOVE von MATTEL und NINTENDO [QW01]



Abb. 40 NODNA X-IST DATAGLOVE [QW03]

## Simulation von Empfindungen

### 5.1 Taktiler Feedback – Simulation des Tastsinns



Abb. 43 Datenhandschuh mit vibrotaktile Stimulation  
IMMENSION CYBERTOUCH [QW05]

Die Vermittlung des Gefühls der Ertastbarkeit von Gegenständen bzw. von deren Oberflächen bis hin zum Be-Greifen virtueller Gegenstände stellt ein hochkomplexes und arbeitsintensives Problem dar. Denn während man dem Seh- und Hörsinn schnell und leicht Informationen zur Verfügung stellen kann, die das Gehirn zu Quasi- Wirklichkeiten zusammensetzt, ist die Simulation des Tastsinns äußerst kompliziert. [QW01]

Berührung ist der mechanische Kontakt mit der Haut. Berührung oder genauer die Empfindung der Haut ist ein komplizierter Vorgang. Dabei müssen eine Vielzahl von Einflüssen berücksichtigt werden, wie beispielsweise die Temperatur und Dichte des berührten Materials.

Bei der Konstruktion eines Systems, das die Berührung simuliert, muss man das menschliche Empfinden sehr genau verstehen. Andernfalls ist es schwierig ein System zu entwickeln, welches das Berührungsempfinden des Menschen brauchbar täuschen kann. [QB02]

Folgende Möglichkeiten werden unterschieden, um taktile Informationen zu synthetisieren und an die Wahrnehmungszellen der Hand des Anwenders weiterzugeben:

- die pneumatische Stimulation,
- die vibrotaktile Stimulation,
- die elektrotaktile Stimulation,
- die funktional-neuromuskuläre Stimulation.

Im Kapitel 2, die Hand in der Abbildung 3 „Die Bereiche der Hand, die den Großteil taktiler Wahrnehmung ausmachen“, ist illustriert wie komplex die Hand ist. [QW01]

## 5.1.1 Pneumatische Stimulation

Allgemein werden drei unterschiedliche Methoden zur pneumatischen Vermittlung synthetisch taktiler Reize unterschieden. Diese arbeiten entweder mit Luftdüsen (air jets), Luftpolstern (air pockets) oder mit Luftringen (air rings). Pneumatischer Systeme nutzen die Möglichkeit mittels Luft Druck auf die Haut zu geben. Luft bietet den Vorteil, Luftdruck rasch aufbauen und wieder abbauen zu können. [QW01]

Die Firma Advanced ROBOTIC RESEARCH CENTER in Salford, England, hat den ARRC TELETACT TACTILE FEEDBACK GLOVE entwickelt. Dieser Datenhandschuh verfügt über 20 kleine luftgefüllte Kammern an der Unterseite. Der Druck in den Kammern kann durch 20 pneumatische Minipumpen gesteuert werden. Das Pumpensystem wird von einem Computer gesteuert, welcher somit den Druck in jeder Kammer variieren kann. Haarfeine Mikroschläuche verbinden die Pumpen mit den Luftkammern im Handschuh. Doch 20 Kammern sind zuwenig um Berührungen zu simulieren. Die Firma ARRC entwickelte deswegen den TELETACT 2 mit 30 pneumatischen Pumpen und Luftkammern.

Es gibt eine höhere Dichte von Kammern an den Fingerspitzen, um das Druckempfinden besser simulieren zu können. Dort ist auch die höchste Dichte an Nervenzellen. Der erste Handschuh hatte auch keine Sensoren, mit denen man die Kräfte messen konnte, mit der die Hand etwas greift oder drückt. Dieses scheint vielleicht keine besonders wichtige Funktion zu sein. Aber beim Drücken eines virtuellen Knopfes ist es wichtig, mit welcher Kraft dieser gedrückt wird und somit auslöst oder nicht. [QB02]

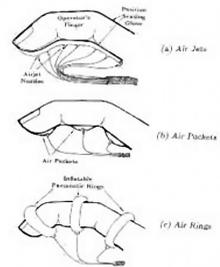


Abb. 44 Drei pneumatische Methoden zur Vermittlung taktiler Wahrnehmung [QW01]

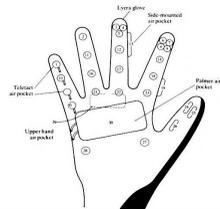


Abb. 45 TELETACT II anordnung der Luftkammern an den gefühlsensiblen Bereichen [QB02]



Abb. 46 ADVANCED ROBOTICS RESEARCH CENTER TELETACT I TACTILE FEEDBACK GLOVE [QB02]

## 5.1.2 Vibrotaktile Stimulation

Vibrotaktile Gerätschaften geben Oberflächenillusionen an die Finger ab, indem sie die Mechano-Rezeptoren an gewissen Stellen mit winzigen mechanischen Stiften stimulieren. Dabei wird das grafische Bild, das dem zu ertastenden Ebenbild entspricht, in eine Matrix umgesetzt, die wiederum auf die mechanischen Stifte übertragen wird. Dabei kann jedes Fingergelenk mit einer eigenen Matrix oder mit einem gewissen Matrixausschnitt versorgt werden. Die Intensität des Druckes variiert durch die Ausrichtung der einzelnen Stifte [QW01]

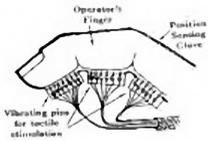


Abb. 48 Das Prinzip vibrotaktile Wahrnehmung [QW01]



Abb. 3 IMMERSION CYBERTOUCH mit Vibrotaktilem Feedback [QW05]



Abb. 4 VIRTUAL TECHNOLOGIES INC. CYBERTOUCH in der Anwendung [QW05]

## 5.1.3 elektrotaktile Stimulation

In der elektrotaktile Stimulation werden winzige Elektroden an bestimmte Bereiche der Hand angeschlossen. Elektrische Impulse regen die Mechano-Rezeptoren an und vermitteln das Gefühl, ein virtuelles Objekt zu berühren. [QW01]

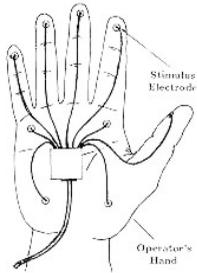


Abb. 49 Das Prinzip elektrotaktile Wahrnehmung [QW01]

## 5.1.4 funktional-neuromuskuläre Stimulation

Der Bereich der neuromuskulären Stimulation befindet sich erst in der Experimentierphase. Der Ansatz liegt in der direkten neurologischen Stimulation des Nervensystems. In einigen Fällen werden Elektroden unter der Haut an Muskelpartien angeschlossen und angeregt. [QW01]

Taktiler Feedback stellt nur eine Komponente des Körpergefühls des Menschen dar, es fehlt das Gefühl über die Wirkung der Kraft und Trägheit. Dies wird mit der Übermittlung der Kraftrückkopplung, dem Force Feedback angeregt.

## 5.2 Funktionsprinzip Force Feedback

Ausgehend von Ivan Sutherlands Überlegungen von 1960 geht die Wissenschaft von der Annahme aus, dass taktiler Feedback (TFB) allein nicht ausreicht, um eine virtuelle Umgebung so erfahrbar zu machen, dass sie für den Interagierenden "real" ist. Als maßgeblich sehen Wissenschaftler wie Rheingold, Minsky und Noll dabei das Körpergefühl des Menschen an. Die Hände vermitteln lediglich einen Teil der Informationen komplexer Empfindung. Beispielsweise werden beim Heben eines Gegenstandes die Rezeptoren großer Muskelgruppen der Arme in Anspruch genommen. Das bedeutet, wenn ein Mensch einen Gegenstand erfühlt oder einen Gegenstand hebt, wird ein Großteil der Informationen über diesen Gegenstand bzw. dessen physischer Beschaffenheit nicht über die Rezeptoren der Hand erfasst, sondern über Rezeptoren der Muskeln, Sehnen und Gelenke. Diese sind Teil des so genannten propriozeptiven Systems<sup>26</sup>, das unter anderem die Bewegung und Orientierung der Extremitäten im Raum koordiniert, die Gravitation erfährt und den Widerstand von Gegenständen bzw. dessen Oberfläche erfasst. Eine Möglichkeit der Vermittlung haptischer Illusionen liegt in der Überarbeitung traditioneller Eingabegeräte wie dem Joystick. Diese Geräte werden mit Rütteltechniken versorgt, die Vibrationen an die Hand und dadurch darüber hinaus an den Arm weitergeben. Entgegen dem taktilen Feedback werden hier auch weite Partien des Armes mit haptischen Informationen versorgt, wenngleich diese Informationen nicht differenziert sind. Die Nachteile eines derartigen Force Feedback Systems liegen darin, dass es nur bedingt Eigenschaften virtueller Umgebungen vermitteln kann, die Rezeption sich auf einige wenige Eigenschaften beschränkt und die Interaktionsweise enorm redundant ist. Das gegenwärtig zuverlässigste System zur Vermittlung haptischer Eindrücke ist ein Exoskeletton. Wie der Name sagt, wird bei der Technik des Exoskeletton ein externes "Skelett" z.B. an Finger- und Armgelenken, an Muskelpartien oder Sehnen angelegt und an den individuellen Merkmalen des jeweiligen Anwenders "verankert", konfiguriert. Über computergesteuerte Motoren können so komplexe Strukturen und Bewegungseindrücke simuliert und an den Nutzer weitergegeben werden. Insbesondere in den Systemen der Telepräsenz und Teleexistenz<sup>27</sup> finden derartige Geräte Anwendung. [QW01]

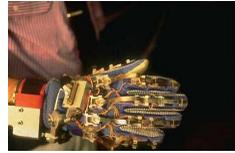


Abb. 50 Exoskeletton für eine Hand [QW01]



Abb. 51 V6 CYBERGRASP von IMMERSION mit Force Feedback [QW05]



Abb. 52 Exoskeletton für einen Arm und eine Schulter [QW01]



Abb. 53 Force Feedback - System CYBERFORCE für virtuelle Prototypen mit der HAPTIC WORKSTATION von IMMERSION [QW05]

<sup>26</sup> **propriozeptiven System:** Nervensystem, das Wahrnehmungen aus dem eigenen Körper vermittelt

<sup>27</sup> **Telepräsenz und Teleexistenz Systeme:** Dienen nicht nur dem Informationsaustausch, sondern auch der Teleoperation und ermöglichen neben räumlichem 3D-Sehen und -Hören auch das Begreifen, das Befühlen, das Berühren und das Manipulieren in realen und /oder virtuellen modellhaften Umgebungen in Realzeit über das Internet

## 6 Anwendungsbereiche

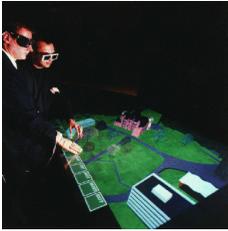


Abb. 54 Einsatz eines Datagloves an einer Responsive Workbench [QW31]



Abb. 55 VIRTUAL TECHNOLOGIES TALKING GLOVE für Gebärdensprache [QB03]



Abb. 56 Gebärdensprache mit dem VIRTUAL TECHNOLOGIES TALKING GLOVE [QB03]



Abb. 57 Amy (Lorene Noh & Misty Rosas), der Gebärdensprechende Gorilla aus dem Film Congo USA 1995 [QF02]

Datenhandschuhe werden bei computergestützten Entwürfen (CAD), in der virtuellen Realität und zur Visualisierung von mehrdimensionalen Daten in der Medizin und in der Architektur eingesetzt. Auch im Bereich der Computeranimation werden 3D-Eingabegeräte verwendet, um Bewegungsdaten von der realen Welt auf Computerfiguren zu übertragen. Ein weiteres Einsatzgebiet, vor allem für Kopf- und Augenbewegungssensoren, sind sensorisch gesteuerte Geräte im Haushalt oder im Büro. Diese ermöglichen es z.B. gehbehinderten Menschen ein selbstständigeres Leben zu führen. Auch die Steuerung eines Computers wird mittels Sensoren für gehlähmte Menschen ermöglicht. [QW13]

### 6.1 Kommunikation

#### 6.1.1 Gestenerkennung - Gebärdensprache

Es ist schwierig für stumme Menschen mit sprechenden Menschen zu kommunizieren. Eine Form der Kommunikation für diese Menschen ist die Gebärdensprache. Diese beherrscht aber nur eine kleine Minderheit der sprechenden Menschen. Die Firma VIRTUAL TECHNOLOGIES hat den TALKING GLOVE entwickelt. Ein Minicomputer erkennt die Haltung der Hände durch die Signale des TALKING GLOVE und gibt die gesprochene Übersetzung der Zeichen mit Hilfe einer synthetischen Stimme über einen Lautsprecher aus und zur Kontrolle auf einem Display am linken Arm. [QB02]

Dieser Handschuh kann aber nur das Fingeralphabet erfassen. Die Gesten der Gebärdensprache besteht jedoch aus einer Vielzahl von kombinierten Finger-, Hand- und Armhaltungen verbunden mit Körperhaltung und Mimik. Ein System, das alles erfassen und korrekt übersetzen kann, konnte in der Literatur nicht gefunden werden.

Hollywood geht noch einen Schritt weiter. Im Film Congo von Frank Marshall bringt der Urwaldkenner Peter Elliott (Dylan Walsh) die gebärdensprechende Gorilladame Amy in ihre Heimat zurück. Amy hat eben so ein mobiles System aus einem Datenhandschuh und einem Computer, das die Zeichen übersetzt. Somit kann das Tier mit einem Menschen sprechen.

## 6.1.2 Mobile Schreibmaschine, Taschenrechner – Kitty

Das Produkt KITTY (Keyboard Independent Touch Typing) von Dr. Carsten Mehring (University of California, Irvine USA) arbeitet mit zahlreichen elektrischen Sensoren an den Fingern. Jeder Kombination aus zwei Sensoren, die man miteinander in Kontakt bringt, ist ein ganz bestimmter Buchstabe, eine Zahl oder ein Befehl wie „Backspace“ oder „Enter“ zugeordnet. Die von den Kontaktplättchen generierten diskreten Signale werden über ein kurzes Kabel an einen Mini-Rechner am Handgelenk geführt, dort kodiert und anschließend als Tastaturbefehl an das Endgerät gefunkt. Nachdem Mehring die elektrischen Kontaktplättchen zunächst in Handschuhe eingearbeitet hatte, sind sie in der mittlerweile fertig gestellten KITTY-Endversion in flexiblen Kunststoffspiralen untergebracht. Zeige-, Ring- Mittel- und kleiner Finger werden dabei von drei Schlaufen umwickelt, von denen jede an der Daumenseite einen elektrischen Kontakt enthält. Zusätzlich stellen die Fingerkuppenschlaufen noch jeweils einen weiteren Kontakt zur Verfügung. Auch der Daumen wird dreimal umwickelt, allerdings befinden sich dort Kontakte auf beiden Seiten der Schlaufen. Der wichtigste Finger beim KITTY-Konzept ist der Daumen: Entweder löst der Anwender damit Kontakte an den anderen Fingern aus, oder aber die Kuppen der anderen Finger lösen einen der sechs Kontakte am Daumen aus. Das Tipprinzip ist der Zehn-Finger-Technik auf der Schreibmaschine durchaus ähnlich. Für Buchstaben sind die Kontakte an den Daumensegmenten vorgesehen und werden von den Kuppenkontakten der vier anderen Finger ausgelöst. Zahlen kann KITTY durch Tippen des inneren Daumenkuppenkontaktes auf die Segmentkontakte der anderen Finger wirken, für spezielle Eingabekommandos ist der äußere Daumenkuppenkontakt zuständig. Während versierte Maschinenschreiber KITTY mit etwas Übung schon bald 20 bis 30 Wörter pro Minute entlocken können, müssen Anfänger allerdings mit einer langen Eingewöhnungszeit rechnen. [QZ02]



Abb. 58 Carsten Mehring mit seinem neuentwickelten Fingertippsystem KITTY [QW04]



Abb. 59 KITTY arbeitet mit elektrischen Sensoren, die in flexiblen Kunststoffspiralen untergebracht sind. Jede Kombination aus zwei Sensoren, die man miteinander in Kontakt bringt, steht für ein anderes Eingabezeichen. [QZ02]

## 6.2 Wissenschaft und Forschung – Beispiel Chemie

In der Chemie arbeitet man mit der Visualisierung von Molekülen im atomaren Maßstab in einer Cyberspace-Umgebung. Mit einem Datenhandschuh lassen sich so gespeicherte Daten über Molekülstrukturen manipulieren und in einer dreidimensionalen Ansicht betrachten. Diese Simulation ist mit Informationen über die wirklichen Reaktionen der verschiedenen Atome untereinander aufgestellt worden, um das Zusammenwirken der neuen Strukturen zu untersuchen. [QW28]

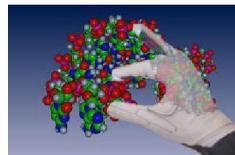


Abb. 60 Ausschnitt aus einer Molekülstruktur in der VR [QW28]

### 6.3 Industrie und Militär – Steuerung, Simulation



Abb. 61 BRITISH AEROSPACE VIRTUAL ENVIROMENT CONFIGURATION TRAINING AID (VECTA) 1992 [QB02]

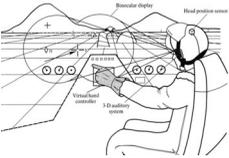


Abb. 62 Prinzip eines Virtual Hand Controller in einem Virtual Environment System. [QB02]

Datenhandschuhe werden in der britischen und amerikanischen Armee zu Forschungszwecken eingesetzt. Sie dienen als Interface für Piloten, welche virtuelle Prototypen von neuen Luft- und Bodenfahrzeugen testen. Sie werden auch für die Fernsteuerung von unbemannten Drohen verwendet. [QB02]

Da Exoskeletons nicht nur Informationen bereitstellen, sondern auch erfassen können, misst man mit diesen Systemen gewisse Bewegungsabläufe, z.B. die Beugung und Streckung des Unterarmes. Die so erfassten Bewegungsabläufe können dann beispielsweise an einen Roboter in der Tiefsee oder dem Weltraum weitergegeben werden. Dieser führt sie dann in diesem lebensfeindlichen Gebiet tatsächlich aus. [QW01]

Informationen, welche der Greifarm misst, könnten auch an den Force Feedback Datenhandschuh weitergegeben werden. Somit kann der Anwender spüren, dass er etwas mit dem Greifarm gegriffen hat. Viel agilere Tätigkeiten wären somit möglich.

Roboter könnten leicht programmiert werden. Einmal vormachen, der Roboter macht es nach. [QW26]



Abb. 63 SARCOS FORCE-REFLECTING MASTER-SLAVE TELEOPERATOR [QW25]



Abb. 66 Ein Bewegungsablauf wird mit einem Datenhandschuh vorgemacht. Die Bewegungsdaten werden an den Roboter weitergegeben [QW26]



Abb. 67 Der Roboterarm erhält die Daten des Handschuhs und wird somit programmiert. Der Bewegungsablauf wird nachgemacht [QW26]



Abb. 68 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Robotik und Mechatronik, Roboterfernsteuerung mit dem MARCO System. [QW26]



Abb. 64 zwei Hand CYBERFORCE System zum Testen von Virtuellen Prototypen [QW05]

Datenhandschuhe werden auch zum Bau und zur Navigation von virtuellen Prototypen eingesetzt. Hierbei werden digitale Produktmodelle entworfen. Mit den Daten aus CAD-Programmen und Informationen aus Simulationen über die Produkteigenschaften kann man ein virtuelles Modell erstellen, welches im Gegensatz zu herkömmlichen physischen Modellen, schnell herstellbar und modifizierbar ist. Es lassen sich so alle beliebigen Blickwinkel des Objektes betrachten und bei Bedarf näher heranzoomen. Diese Anwendung ist besonders bei Produkten einsetzbar, die viele aerodynamische Eigenschaften besitzen. So dient das „virtuelle Prototyping“ vor allem der Herstellung von Flugzeug-, Automobil- und Schiffsmodellen. Durch die Darstellung in der virtuellen Umgebung lassen sich auch diverse Messfehler, die in der Realität entstehen könnten, ausschließen. [QW28]

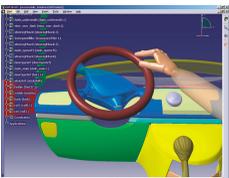


Abb. 65 Software VIRTUALHAND V5 Design von Immersion. Die 3D CAD Software unterstützt Vibrotaktilen Feedback des CYBER-TOUCH. [QW05]

## 6.4 Animation - Motioncapturing

Motion Capturing (in der Literatur oft kurz MoCa oder MoCap bezeichnet) ist eine Methode, um menschliche oder tierische Bewegungsdaten oder welche von Objekten in Echtzeit aufzunehmen und sie für weitere Analysen und Arbeiten auf einen Computer zu übertragen. Die Bewegungen (motion) werden also „aufgefangen“ bzw. aufgenommen (to capture). [QA02]

Diese Systeme wurden eigentlich zur medizinischen Anwendung bei Bewegungsanalysen für Hochleistungssportler oder zur Analyse von Bewegungserkrankungen entwickelt. Da die Bewegungen nur in Form eines Skeletts an den Computer weitergegeben werden, können sie mit ähnlichen Bewegungen anderer Patienten verglichen werden und somit Krankheitsbilder erfasst und analysiert werden. [QA01]

Während der letzten Jahre ist die Anwendung von Motion Capturing bei der Animation von computergenerierten Figuren zu den bekanntesten Anwendungen geworden. Virtuelle Charaktere sind heute nicht mehr nur Wesen aus Science Fiction Romanen, sondern bevölkern zunehmend unseren Alltag im Kino, auf Bildschirmen, als Verkäufer, Helden, Trainer usw. Die traditionelle manuelle Animation (z.B. Keyframing) dieser virtuellen Wesen ist teuer, zeitaufwendig und sehr schwierig. Bei Keyframing werden zwei oder mehrere Positionen festgelegt, zwischen denen der Computer die „fehlenden“ Bilder berechnet. Sie müssen nicht einzeln Bild für Bild von Hand vom Animationsteam gezeichnet werden. Bilder müssen aber immer noch von Hand gezeichnet werden. MoCap dagegen ermöglicht es in kürzester Zeit, einer Figur „Leben einzuhauchen“. Die Technik des Motion Capturing wird besonders von Spieleentwicklern und Special Effects Firmen verwendet, um realistische Animationen in ihre Werke einzufügen. Star Wars – Episode I, Titanic, Species, Gladiator, Max Pain, NBA, FIFA und NHL von EA Sports sind nur einige Beispiele aus einer sehr langen Liste von Filmen und Spielen, in denen MoCap für die realistische Animation zum Einsatz kam. [QA02]

Die Animation der Hände ist aufgrund der Komplexität der Gelenke auf so geringem Raum eine schwierige Angelegenheit. Zumal die Hände der Menschen fast immer in Bewegung sind. Menschen sprechen (gestikulieren) mit den Händen [QB04]

Bei der HERR DER RINGE Trilogie wurde Motion Capturing für die Gesichtsanimation und die Körperanimation verwendet. Die Hände wurden jedoch noch per Keyframe Animation animiert. Bisher gibt noch keine Gesamtlösung für die komplette kabellose Bewegungserfassung eines Darstellers.



Abb. 69 CYBERGLOVE mit der Software VIRTUALHAND für MOCAP von Immersion [QW05]



Abb. 70 DISCREET 3DS Max 4 mit Virtuellen Händen von NODNA [QW03]

## 6.5 Vermischung von Realität mit virtueller Realität

Virtual Reality (VR) / Augmented Reality (AR) System

TINMITH ist ein tragbares Computersystem, welches ein virtuelles 3D Bild per Head Mounted Display (HMD) über die reale Umgebung legt. Der Anwender kann sich mit dem System im Freien bewegen. Es gibt die Möglichkeit, die reale Umgebung simpel nachzubauen und somit eine 3D Karte zu erstellen.

Da im Freien keine Maus oder Keyboard funktioniert, basierte die intuitiv bedienbare Benutzeroberfläche auf Eingaben per Datenhandschuhe. Einige Anwendungen, welche zu Testzwecken des Systems geschrieben wurden, werden unterstützt.

Mit einer Anwendung ist es möglich reale Objekte in der VR grob nachzubauen. Texturen können von der Videokamera aufgenommen und den virtuellen Objekten zugewiesen werden. Mit Hilfe des GPS wird die Position im Freien bestimmt. Aufgrund der Ungenauigkeit des Systems kommt es zu Trackingproblemen.

AR-Quake ist eine Modifikation des Computerspiels Quake von ID- Software. Damit ist es möglich in einer realen Umgebung gegen virtuelle Gegner zu kämpfen. Das ist eine neue Generation von Computer Spielen.

Entwickelt wurde TINMITH zu Forschungszwecken im Freien an der SCHOOL OF COMPUTER AND INFORMATION SCIENCE, UNIVERSITY OF SOUTH AUSTRALIA. Hauptsächlich von Wayne Piekarski, unter der Aufsicht von PhD. Dr. Bruce Thomas.

Der Prototyp des TINMITH hat noch einige Schwierigkeiten, die die Genauigkeit und Geschwindigkeit der Sensoren betreffen. [QW23]

## 6.6 3D-Modellierung

Wäre es nicht gut, aus einem virtuellen Ton-Klumpen per Datenhandschuh Modelle zu formen? Mit Taktile Force Feedback Datenhandschuhen wäre das theoretisch denkbar. Praktisch hingegen gibt es noch zahlreiche Schwierigkeiten bei Sensorgenauigkeit, Gefühlsfeedback und Rechenleistung.



Abb. 76 Die Modellierung eines Objektes mit virtuellen Händen ist noch Fiktion. [Grafik erstellt mit 3DS Max]



Abb. 71 Mobiles Computersystem im Freien mit Datenhandschuh basiertem Interface [QW23]



Abb. 72 Datenhandschuh mit 2D/3D Cursor Überlagerung und Menü [QW23]



Abb. 73 Quader mit Textur, welche mit der Kamera erfasst wurde [QW23]



Abb. 74 AR Quake - Computer Gegner vermischt mit der Umgebung. [QW23]



Abb. 75 Wayne Piekarski mit seinem TINMITH System beim AR QUAKE Spielen. [QW23]

## 6.7 Medizin

Denkbar sind Fernoperationen oder virtuelle Simulationen für Medizinstudenten und Ärzte.

Neuartige bildgebende Systeme auf Basis von virtueller und erweiterter Realität (VR/AR) liefern dem Arzt bei der Operation hilfreiche Informationen und sind für den Patienten unter Umständen lebenswichtig. Das Blickfeld des Operateurs wird durch 3D-Patientendaten erweitert und er kann präzise die chirurgischen Instrumente im Körper navigieren. An neue Sensorsysteme gekoppelt helfen visualisierte Datensätze, um z. B. bei einer komplizierten Herzoperation einzelne Gewebeteile sicher zu lokalisieren und damit gefährliche Schädigungen zu vermeiden. [QW29]

In der Medizin gibt es zur Unterstützung von Feldsanitätern z.B. das System EVA (EXPERIENTIAL VIDEO AUDIO) von der Firma MINDTEL. Dieses System sammelt und archiviert Patientendaten und stellt diese im HMD<sup>28</sup> des Arztes dar. [QW22]

Denkbar wäre auch die Verbesserung von Arm- und Hand- Prothesen. Vom Datenhandschuh aufgenommene Bewegungen werden problemlos in Prothesenbewegungen transformiert. [QW27]

Rückgekoppelte Neuroprothesen sind künstlich intelligente Systeme, die eine tatsächliche Bewegung mit einer gewünschten vergleichen und sich dabei selbst regulieren. U.a. wird in Tübingen am Lehrstuhl für Technische Informatik versucht, gelähmten Patienten das Greifen zu ermöglichen, indem man Nerven im Unterarm mit implantierten Elektroden reizt. Ein neuronales Netz berechnet aus dem Wunsch des Patienten die notwendige Nervenstimulation. Der Wunsch, die Hand zu öffnen oder zu schließen, wird aus der Schulterbewegung erschlossen und die Position der Hand wird dem neuronalen Netz über einen Datenhandschuh vermittelt.

Der Computer lernt aus den ersten Greifversuchen und stellt sich auf den Patienten ein. Nicht der Patient muss lernen, mit seiner Neuroprothese umzugehen, sondern umgekehrt muss das neuronale Netz dieses lernen. Die Rückkopplung erfolgt über Sensoren am Datenhandschuh, die z.B. den Druck (des Greifens) messen und an den Patienten - über Vibration an sensiblen Hautpartien - zurück leiten. Diffizile Bewegungen - etwa Klavierspielen - sind zwar so noch nicht möglich, aber je mehr Elektroden implantiert werden und je genauer sie angesteuert werden, um so feiner wird die Beweglichkeit durch die Neuroprothese. Daran wird gearbeitet. [QW27]



Abb. 77 VITAL TOUCH - ein System das Sanitätern ermöglicht Vitalwerte zu erfassen und zur zukünftigen Beobachtung zu speichern. [QW22]



Abb. 78 VITAL TOUCH - aus der HMD Sicht des Sanitäters. [QW22]



Abb. 79 Künstliche Hand mit Tastsinn [QW27]

<sup>28</sup> HMDs: Am Kopf befestigte Mikrodисplays. Jeweils eins pro Auge. Somit entsteht ein stereoskopisches Bild. [QZ03]

## 6.8 Musik



Abb. 80 Laetitia Sonami macht Musik mit dem von Bert Bongers entwickelten Datenhandschuh THE LADY'S GLOVE [QW30]

Ausgehend von den Datenhandschuhen der 1980er Jahre baute Laetitia Sonami 1991 in Zusammenarbeit mit Paul DeMarinis für eine Performance bei der Ars Electronica in Linz ein Paar aus Gummihandschuhen gefertigte Datenhandschuhe. An den Fingerspitzen waren Halleffektschalter angebracht, die Signale an einen Mikroprozessor sendeten, sobald sie einen an der rechten Hand angebrachten Magneten berührten. Diese Signale wurden in MIDI-Daten umgewandelt und an diverse Synthesizer und Sampler geschickt. Danach entwickelte Sonami einen Handschuh mit Biegesensoren, die einem MATTEL POWERGLOVE entnommen worden waren. Dieser von ihr, ironisch LADY'S GLOVE genannte Controller konnte die Biegung der Finger und des Handgelenks sowie den Abstand der Hände zueinander und die Höhe der linken Hand messen. Zusätzlich besaß der Zeigefinger noch einen Drucksensor. (Abbildung 81) Der von Laetitia Sonami gebaute LADY'S GLOVE kann die Biegung der Finger und des Handgelenks sowie den Abstand der Hände zueinander und die Höhe der linken Hand messen. Die aktuelle Version des Lady's Glove wurde 1994 von Laetitia Sonami und Bert Bongers in Den Haag entwickelt. Das Design entspricht weitgehend dem seiner Vorgänger, hinzugefügt wurden nur ein Quecksilberschalter und ein Beschleunigungsmessgerät, das die Geschwindigkeit der Handbewegung erfasst. Die Daten werden ebenso wie bei den vorigen Versionen von einem von STEIM entwickelten Mikrorechner, genannt Sensorlab, verarbeitet und an einen Laptop weitergeleitet. Die Zuweisung der Parameter ist dabei stets ein spezifischer Teil der Komposition. Manchmal werden auch Servos und Lichter als integraler Bestandteil des Stücks angesteuert. Über die Beweggründe dieses Instrument zu bauen, schreibt Sonami:

*„The intention in building such a glove, was to allow movement without spatial reference (there is no need to position oneself in front or in the sight of another sensor), and to allow multiple, parallel controls. Through gestures, the performance aspect of computer music becomes alive, sounds are “embodied”, creating a new, seductive approach.“*

Als teil-immersives Instrument mit einer guten Expressivität besitzt das Gerät im Wesentlichen nur akustisches Feedback, wengleich dieses auch manchmal in Performances durch optische oder mechanische Aktuatoren erweitert wird. [QW30]

## Fazit und die Möglichkeiten für die Zukunft

Das ideale Tracking verfahren gibt es noch nicht, da jedes System Nachteile aufweist, die sich mit den Erfordernissen mancher Anwendungen nicht vereinbaren lassen. Aus diesem Grund unterstützen die meisten professionellen Entwicklungsumgebungen in der Regel die ganze Bandbreite der verfügbaren Technologien. In der Konzeptionsphase muss deshalb für jede Anwendung erneut festgelegt werden, welchen Anforderungen das Tracking - System gerecht werden muss.

Leider gibt es noch keine optimale Gesamtlösung. Einen preiswerten Datenhandschuh für Jedermann, der vielseitig einsetzbar ist, mobil, zuverlässig und einfach zu handhaben ist, gibt es noch nicht auf dem Markt. Eines der größten Probleme ist, dass bisher ein perfekter Lagesensor noch nicht entwickelt werden konnte. Die Lagesensoren müssen kleiner, robuster, günstiger, schneller und genauer werden. Es gibt auch keinen Lagesensor, der alle 3 Achsen zu jeweils 360° erfassen kann.

Es wird wohl noch etwas dauern bis sich Datenhandschuhe etablieren. Wenn die Bildqualität, der Tragekomfort und die Bedienbarkeit von Head Mounted Displays zufrieden stellend sind und sie das Preissegment erreichen, mit dem sie für eine größere Anzahl von potentiellen Nutzen erschwinglich sind, dann denke ich, wird es auch eine Vielzahl von Anwendungen geben, welche diese Displays unterstützen. Dadurch entsteht eine größere Nachfrage an Datenhandschuhen. Vielleicht gelingt es dann die technischen Schwierigkeiten zu überwinden. Auf diese Entwicklung kann man sehr gespannt sein. Wer weiß, wie weit sie gehen wird? Womöglich können wir uns eines Tages im Internet die Hände schütteln.

An einem eleganten System, zur gestenbasierten Interaktion ganz ohne Datenhandschuhe, arbeiten die Forscher der MEDIA ARTS UND RESEARCH STUDIES (MARS) des Fraunhofer Institutes.

Die dort angewandte POINTSCREEN-TECHNOLOGIE basiert auf dem sogenannten „ELECTRIC FIELD SENSING“ (EFS): Dabei wird mit Hilfe von Antennen ein schwaches elektromagnetisches Feld aufgebaut. Bewegungen des Körpers und Gesten beeinflussen dieses elektromagnetische Feld und werden in Koordinaten für den Cursor des Computers transformiert. Benutzer können so mit Hilfe einfacher und intuitiver Zeigegesten den Computer steuern. [QZ04] & [QW32]

# Anhang

## Abbildungsverzeichnis:

Bei jeder Abbildung ist ein Hinweis auf die Quellenangabe im Literaturverzeichnis angegeben. Ein Abbildungsverzeichnis ist daher nicht notwendig.

## Literaturverzeichnis:

### [QA] Quelle Arbeit

QA01 Feller, Uwe; Motioncapture; KISD Köln 2002, Nebenthema Vordiplom 2002

QA02 Horber, Eduard; Motion Capturing; Universität Ulm,  
Fakultät Informatik Abteilung Medieninformatik Seminar Modelling & Rendering  
<eh2@informatik.uni-ulm.de>

### [QB] Quelle Buch

QB01 Bürdek, Bernhard E.; Design Geschichte, Theorie und Praxis der Produktgestaltung; Köln, DuMont Buchverlag, 1991, ISBN 3-7701-2728-5

QB02 Kalawsky, Roy S; The Science of Virtual Reality and Visual Enviroments; Addison-Wesley Publishing Company 1994, ISBN 0-201-63171-7

QB03 Hennig, Alexander; Die andere Wirklichkeit – Virtual Reality Konzepte Standards Lösungen; Addison-Wesley Publishing Company 1997, ISBN 3-8273-1102-0

QB04 Kelly, Doug; Character Animation in Depth; Arizona USA,  
Coriolis 1998, ISBN 1-56604-771-4

QB05 Rauber/Kopsch; Anatomie des Menschen; Thieme Verlag Stuttgart 1998,  
ISBN 3-13-503303-1

### [QF] Quelle Film

QF01 Pro 7, Welt der Wunder, Sendung vom 04.01.2004

QF02 Congo USA 1995, Regie: Frank Marshall

## [QP] Quelle Persönliches Gespräch

QP01 Olaf Schirm, Geschäftsführer noDNA GmbH, Johannisstr. 60, 50668 Köln,  
Tel.: 0221 – 56024-0, e-mail: <o.schirm@noDNA.com>

## [QW] Quelle Webseite

### QW01 Ikarus Mediothek - Eingabegeräte: Datenhandschuh

<<http://www.ikarus.uni-dortmund.de/Archiv/Virtual%20Reality/Online-Seminare/Einfuehrung%20in%20die%20Thematik/2-Aufbau%20und%20Funktion/Datenhandschuh.shtml>>  
[Stand 01.02.2004] &

### Ikarus Mediothek - Funktionsprinzip Taktiles Feedback (TFB)

<<http://www.ikarus.uni-dortmund.de/Archiv/Virtual%20Reality/Online-Seminare/Einfuehrung%20in%20die%20Thematik/2-Aufbau%20und%20Funktion/Funktionsprinzip%20Force%20Feedback.shtml>>  
[Stand 01.02.2004]

### QW02 Fifth Dimension Technologies

< [www.5dt.com](http://www.5dt.com) >  
[Stand 01.02.2004]

### QW03 noDNA 3D Character Design and Animation

<[www.noDNA.com](http://www.noDNA.com)>  
[Stand 01.02.2004]

### QW04 Pro7 Welt der Wunder, Handschuh statt Tastatur -Die revolutionäre Idee eines Schwaben

<<http://wdw.prosieben.de/wdw/Technik/Hightech/HandschuhKITTY>>  
[Stand 01.02.2004]

### QW05 Immersion Corporation - 3D Interaction Products

< [www.immersion.com](http://www.immersion.com) >  
< [www.virtex.com/images/cbrtouch.jpg](http://www.virtex.com/images/cbrtouch.jpg) >  
<[www.deskeng.com/articles/03/april/briefings/main\\_dig.htm](http://www.deskeng.com/articles/03/april/briefings/main_dig.htm)>  
[Stand 01.02.2004]

### QW06 Essential Reality P5 Glove

< <http://www.mediadeal24.de> /> &  
< <http://www.essentialreality.com> >  
[Stand 01.02.2004]

### QW07 Polhemus the Fast ans Easy Digital Tracker

< <http://www.polhemus.com/fastrak.htm> >  
[Stand 01.02.2004]

- QW08 **Ascension Products**  
<<http://www.ascension-tech.com>>  
[Stand 01.02.2004]
- QW09 **A\_R\_T\_ GmbH - your expert for infrared optical tracking systems**  
< <http://www.ar-tracking.de> >  
[Stand 01.02.2004]
- QW10 **Hand Tracking Using a Tree-Based Filter**  
< <http://mi.eng.cam.ac.uk/~bdrs2/hand/hand.html> >  
[Stand 01.02.2004]
- QW11 **VRLOGIC Cyberglove, CyberForce, CyberGasp, GaspPack, CyberTouch**  
< <http://www.vrlogic.com/html/immersion/cyberglove.html> >  
[Stand 01.02.2004]
- QW12 **Lightglove**  
< <http://www.lightglove.com/> >  
[Stand 01.02.2004]
- QW 13 **HDM Stuttgart Arne Schnurr Mediajournal**  
< <http://schaugg.hdm-stuttgart.de/mj/pages/03ss/as45/as45.html> >  
[Stand 01.02.2004]
- QW 14 **Virtual Reality Lab**  
< [http://vrlab.epfl.ch/research/research\\_index.html](http://vrlab.epfl.ch/research/research_index.html) >  
[Stand 01.02.2004]
- QW15 **3Dconnexion Worldwide Spacemouse and Spaceball**  
< <http://www.3dconnexion.com> >  
[Stand 01.02.2004]
- QW16 **Roche Lexikon Medizin, 4.Auflage; © Urban & Fischer Verlag, München 1984/1987/1993/1999**  
< <http://www.gesundheit.de/roche/ro22500/r24077.html> >  
[Stand 01.02.2004]
- QW17 **Computerhändler Pearl – 3D Cyber Helm**  
<<http://www.pearl.de/> >  
[Stand 01.02.2004]
- QW18 **The Kitty Project**  
<<http://www.kittytech.com/> >  
[Stand 01.02.2004]
- QW19 **Wissen .de – Online Lexika & Wörterbücher**  
< <http://www.wissen.de/> >  
[Stand 15.02.2004]

- QW20 **Wissen.de – Online Lexika & Wörterbücher**  
< <http://www.wissen.de/> >  
[Stand 15.02.2004]
- QW21 **PowerGlove**  
<[www.eternal-games.fr.com](http://www.eternal-games.fr.com)> &  
<<http://www.inf.ufrgs.br/~nedel/cmp513/powerGlove/>>  
[Stand 15.02.2004]
- QW22 **Mindtel - EVA (Experiential Video Audio) Medical Intelligence**  
< <http://www.mindtel.com/projects/sa/projects/eva/> >  
[Stand 15.02.2004]
- QW23 **Tinmith system** is designed to support research into outdoor augmented reality  
<<http://wearables.unisa.edu.au/projects/Tinmith/www/index.html>>  
<<http://wearables.unisa.edu.au/projects/ARQuake/www/>>  
[Stand 15.02.2004]
- QW24 **Phantom Sensable Haptic device**  
<[http://www.sensable.com/products/phantom\\_ghost/](http://www.sensable.com/products/phantom_ghost/)>  
[Stand 15.02.2004]
- QW25 **Whole Hand Input Motivation**  
< <http://www.cs.brown.edu/courses/cs196-2/lectures/21Feb02.pdf> >  
[Stand 16.02.2004]
- QW26 **Programmierung mittels Datenhandschuh**  
<<http://www.smallrobots.de/ws2000/kran/greifarm/img5.htm> >  
<<http://www.robotic.dlr.de/Joerg.Vogel/Pub/2001/At01/article.pdf>>  
[Stand 16.02.2004]
- QW27 **Künstliche Hand mit Tastsinn – Prothesen**  
< [http://www.g-netz.de/Future\\_Health/Technik\\_fuers\\_Leben/Hand\\_mit\\_Tastsinn/hand\\_mit\\_tastsinn.shtml](http://www.g-netz.de/Future_Health/Technik_fuers_Leben/Hand_mit_Tastsinn/hand_mit_tastsinn.shtml) >  
<<http://www.schule.suedtirol.it/blick/angebote/schulegestalten/ne450.htm>  
> & <[http://www.serv2.iai.fzk.de/Institut/SK/Mitarbeiter/mikul/at0206\\_279.pdf](http://www.serv2.iai.fzk.de/Institut/SK/Mitarbeiter/mikul/at0206_279.pdf)>  
[Stand 16.02.2004]
- QW28 **Virtual Reality: Better Than Life?**  
< [http://www-user.tu-chemnitz.de/~acb/lehre/mse\\_vr\\_bt1.pdf](http://www-user.tu-chemnitz.de/~acb/lehre/mse_vr_bt1.pdf) >  
[Stand 16.02.2004]
- QW29 **Der medizinische Arbeitsplatz der Zukunft**  
<[http://www.inigraphics.net/press/presseinfos/pi\\_2003/presseinfo\\_4803.html](http://www.inigraphics.net/press/presseinfos/pi_2003/presseinfo_4803.html) >  
[Stand 16.02.2004]

- QW30 **The Lady's Glove**  
<<http://www.cdemusic.org/artists/sonami.html>>  
<<http://joerg.piringer.net/emui.pdf>>  
<[http://www.sonami.net/lady\\_glove2.htm](http://www.sonami.net/lady_glove2.htm)>  
[Stand 16.02.2004]
- QW31 **Navigation in virtuellen Umgebungen**  
< <http://www.upb.de/cs/domik/projektgruppen/pg-ss98/seminare/navigation/>>  
[Stand 20.02.2004]
- QW32 **Navigation in virtuellen Umgebungen**  
<<http://www.imk.fraunhofer.de>>  
[Stand 29.02.2004]
- QW33 **Mauritius Bildagentur**  
<<http://www.mauritius-images.com>>  
[Stand 29.02.2004]
- QW34 **Visiontrack Eye Tracking Technology**  
<<http://www.visiontrack.com>>  
[Stand 02.03.2004]
- QW35 **Treckiesworld**  
<<http://www.treckiesworld.de/Vulkanier/Vulkanpics.html>>  
[Stand 05.03.2004]

## [QZ] Quelle Zeitschrift

- QZ01 Loviscach, Jörn Dr.; **c't – Magazin für Computertechnik**, Ausgabe 02.2003, Artikel: **Datenhandschuh P5 von Essential Realit**; Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. KG, Hannover 2003
- QZ02 Nee, Hartmut & Ziegler, Peter-Michael; **c't – Magazin für Computertechnik**, Ausgabe 21.2003, Artikel: **Virtuelle Keyboards vor der Produktionsreife**; Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. KG, Hannover 2003
- QZ03 Jahn, Richard & Kuhlmann, Ulrike; **c't – Magazin für Computertechnik**, Artikel: Fremde Welten, **Head Mounted Displays im Test**; Ausgabe 03.2004, Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. KG, Hannover 2004
- QZ04 Tatiana Rosenstein; **digital production**, Artikel: Interface Design: In Echtzeit interaktiv agieren; Ausgabe 01/2004, ACT GmbH, München 2004

# Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt,

- dass ich die vorliegende Studienarbeit selbstständig angefertigt,
- keine anderen als die angegebenen Quellen benutze,
- die wörtlich oder dem Inhalt nach aus fremden Arbeiten entnommenen Stellen, bildlichen Darstellungen und dergleichen als solche genau kenntlich gemacht und
- keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen habe.

Köln der 15. März 2004

---

mARTin Bierschenk

