



# Virtuelle Realität Eingabegeräte




G. Zachmann  
Clausthal University, Germany  
[cg.in.tu-clausthal.de](http://cg.in.tu-clausthal.de)



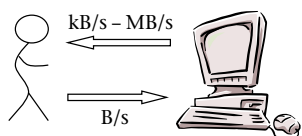


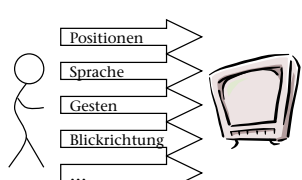
## Ein extremes Beispiel

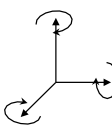


G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 2

- Die "Spielwiese" der VR
- Vision: *keine* Eingabegeräte
- Bandbreite:
 


- Freiheitsgrade (= "*degrees of freedom*", DOF)
- Multimodal:
 

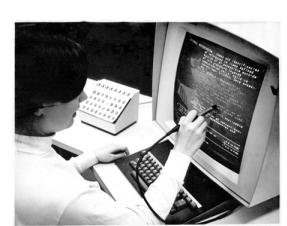




G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10
Eingabegeräte 3

## Klassische Eingabegeräte

- Maus:
  - Präzise, billig
  - Nur 2D, Eingabe von Orientierungen mühsam
- Zeichentablett:
  - Präzise, gut fürs Zeichnen
  - 2D, Eingabe von Orientierungen fast unmöglich
- Lichtgriffel?



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10
Eingabegeräte 4

## Virtueller Trackball

- Wie gibt man Orientierungen mit der Maus ein?
- Idee:
  - Lege Kugel um das Objekt / die Szene
  - Kugel kann um ihr Zentrum rotieren
  - Maus zieht Punkt auf Oberfläche der Kugel
- Berechnung:
  - $(x_1, y_1)$  Startpunkt,  $(x_2, y_2)$  Endpunkt
  - $z = \sqrt{x^2 + y^2}$
  - $\vec{r} = \vec{p}_1 \times \vec{p}_2$

Rot.achse  $r$

Weg der Maus im Fenster

Gedachter Weg auf der Kugel

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 5

- Man kann um alle Achsen (bis auf eine) direkt rotieren:

X

Y

≈Z

- Verbesserungen:
  - "*Spinning trackball*" (à la Inventor) vermeidet Nachfassen teilweise
  - "*Locking*" für exaktes Rotieren um eine Koord.achse

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 6

## Desktop-Geräte

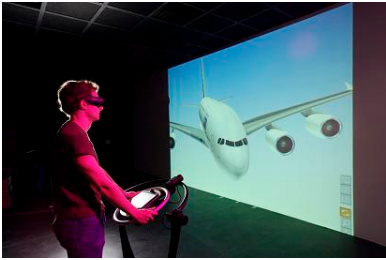
- Spacemouse:
  - 6 DOF
  - Gut für CAD, Viewpoint-Navigation, Szene rotieren
- Lenkrad
  - Mit Force-Feedback
- Weitere ? ...




G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 7

## Beyond Desktop: CAT – Control Action Table

- 6 DOF free-standing, plus tablet

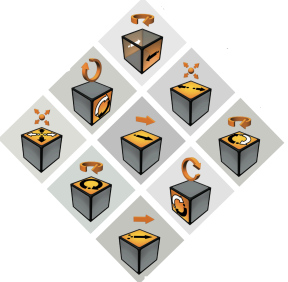




Auschnitte aus Movies/Lehre/VR-Vorlesung/The\_CAT\_-\_Control\_Action\_Table.mp4

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 8

## Cubtile

- 5 multi-touch-Flächen in einem Würfel
- Bonus: hübsche Beleuchtung ☺

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 9

## Tracking

- Aufgabe: "Wo befindet sich X des Users?"
  - X = Kopf, Hand, Augen, Füße, gesamter Körper, ...
- Anforderungen:
  - Non-intrusive
  - Hohe Genauigkeit (1 mm)
  - Geringe Latenz (1 msec)
  - Hohe Update-Rate (100 Hz)
  - In jeder Umgebung und Situation
  - Großer Bewegungsspielraum
- Existiert nicht!


G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 10


- Arten:
  - Mechanisch
  - Elektro-magnetisch
  - Akustisch (Ultraschall)
  - Optisch
  - Computer-Vision
  - Trägheitssensoren
  - Laser
  - GPS
  - Hybride

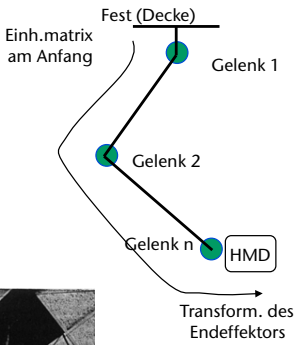
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 11

## Mechanisch

- Vorteile:
  - Präzision
  - Keine Latenz
  - Keine Störung durch Metall
- Nachteile:
  - Unbequem
  - Reichweite
  - "Tote" Winkel
  - Festmachen am Körper
  - Kalibrierung
  - Trägheit



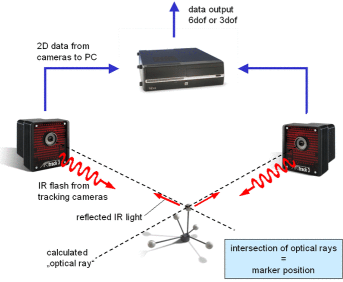




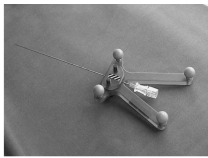
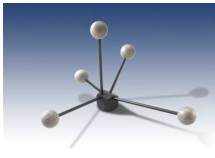
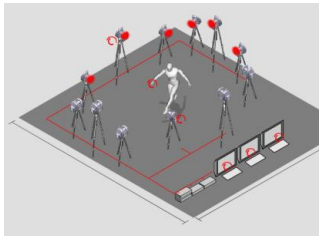
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 12

## Optisches Tracking

- Verfolgen von reflektierenden Markern mit IR-Kameras
- 1 Marker → Position
  - Mittels **Triangulation**
- $\geq 3$  Marker ("**rigid body**") → Position und Orientierung
- Standard-Technik für *Body-Tracking* in Animationsstudios und für Spiele
  - **Motion Capturing (MoCap)**



The diagram illustrates the principle of optical tracking. Two cameras (labeled 'tracking cameras') emit IR flashes. These flashes reflect off a marker on a rigid body. The reflected IR light is captured by the cameras. The intersection of the calculated optical rays from the two cameras is determined to be the marker's position. The system outputs 2D data from the cameras to a PC, which then provides data output for 6DOF or 3DOF.

The 3D visualization shows a virtual character model with multiple markers, positioned within a virtual studio environment with cameras and a floor plane.

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 13



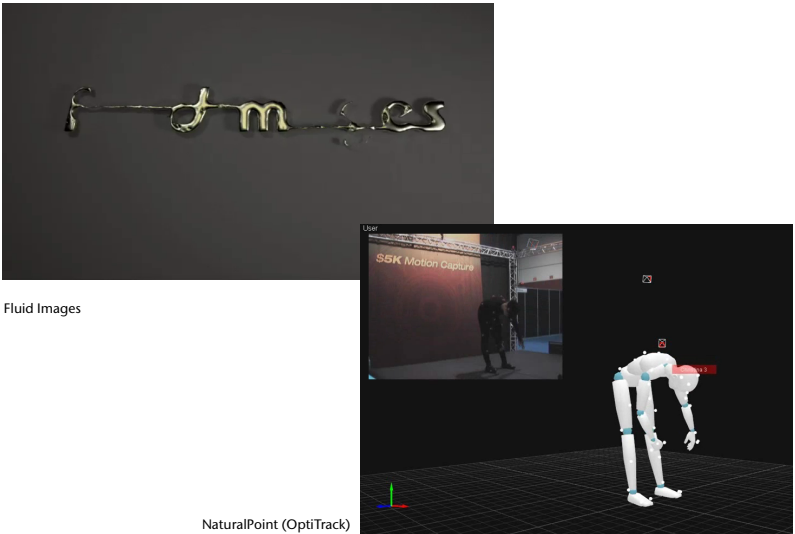



The images show various applications of motion capture technology. The top-left image shows a large elephant-like model covered in reflective markers. The top-right image shows a person performing a kick in a motion capture studio. The bottom-left image shows a person in a black suit with reflective markers, likely for a character in a game or film. The bottom-right image is a close-up of a person wearing a motion capture helmet with markers on the face.

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 14

- Vorteile:
  - Leicht
  - Freie Bewegung
  - großes Volumen
  - hohe *Sampling-Rate* (typ. 120-250 Hz)
  - *Facial animation* geht auch
- Nachteile:
  - *Line-of-sight* (viele Kameras)
  - Preis (\$40,000 – \$140,000)
    - Seit kurzem nur noch \$6,000
  - Inzwischen auch *real-time* (kein *post-processing*)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 15

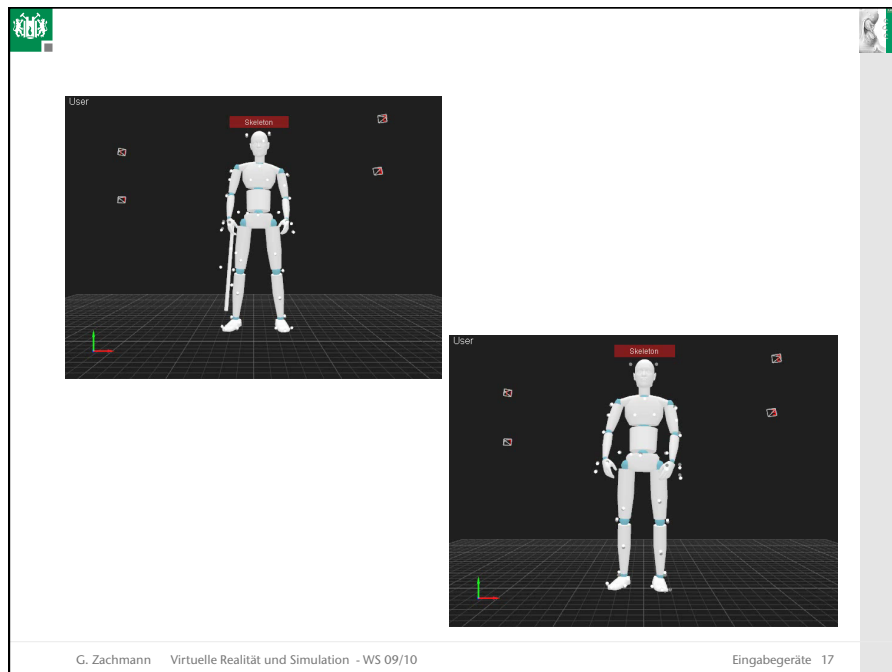


Fluid Images

NaturalPoint (OptiTrack)



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 16





### Optisches Tracking "inside out"

- Kamera auf dem Kopf,  
"sieht" Array gepulster LEDs an der Decke
- Vorteile:
  - Nur 1 Kamera nötig
  - Schnell (1 msec, 1500 Hz)
  - Genau (1/10 mm)
- Nachteile:
  - Wie trackt man die Hand?
  - Aufwendige Installation
- Beispiel: UNC's "HiBall"  
<http://www.cs.unc.edu/~tracker/>

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10

Eingabegeräte 18

## Eye-Tracking

- Wo befinden sich die Augen des Users?  
Wohin schaut der User gerade?
- Anwendungen:
  - Head-Tracking
  - LOD-Steuerung
  - Autostereo-Monitore
- Probleme:
  - Präzision, insbesondere bei Orientierung







G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10
Eingabegeräte 19

## Akustisch


- Ähnlich zu Echolot
  - 1 Ultraschall-Quelle
  - 3 Empfänger (für 3 DOF)
  - Laufzeit → Position
- Vorteile:
  - Billig
- Nachteile:
  - Echos
  - *Line-of-sight*
  - 3 Sender für 6DOF
  - Geringe Reichweite
  - Schallgeschwindigkeit hängt ab von Lufttemperatur



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10
Eingabegeräte 20

## Trägheitssensoren


- Misst Beschleunigung in eine Richtung
- Vorteile:
  - Kein Sender nötig
  - Klein
- Nachteile:
  - Drift
- Oft in Kombination mit anderen Tracking-Verfahren, z.B. Ultraschall:



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 21

## Laser



- Mißt i.A. nur Position
- Bisher nur in der Fertigungsindustrie (CNC-Maschinen)



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 22

## Elektro-magnetisch

- Sender stationär, Empfänger = Sensor
- Langwelliges Feld, Phasenverschiebung zwischen gesendetem u. empfangenem Signal → Entfernung
- 3 Spulen im Sender (3 versch. Frequenzen), pro Sensor 3 Empfängerspulen orthogonal zueinander, → 9 empfangene Feldstärken
- Vorteile:
  - Kleine Sensoren
  - Reichweite 3m (auch mehr)
- Nachteile:
  - Kabel
  - Fremdmetall stört
  - Rauschen

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10
Eingabegeräte 23

## Allg. Charakteristika

1. # DOFs
2. Präzision, Drift, Wiederholbarkeit
3. Update-Rate, Latenz
4. Rauschen
5. Zusätzliche Buttons
6. Bequemlichkeit ("*ease-of-use*"), kabellos/verkabelt
7. Arbeitsvolumen
8. Preis

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10
Eingabegeräte 24

## 3D-Zeiger

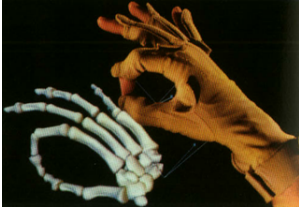
- Analogon zur 2D-Maus.
- Hardware = Tracker mit Buttons dran
  - Evtl. zusätzlich mit Joystick oder Jog-Dial
- Namen: *flying mouse*, *flying joystick*, *wand* (= Stab), *bone*, *fly-stick*, etc...
- Physisches Objekt ergibt starkes Präsenzgefühl, wenn man virtuelles Objekt gegriffen hat



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 26

## Datenhandschuh (data glove)

- "Trackt" Finger = mißt Winkel der Fingergelenke
- Das erste VR-Eingabegerät
- Verschieden viele Sensoren:
  - Min. 4x Daumen + 4x2 Finger = 12
  - Max. 4x Daumen + 4x3 Finger + 3x dazwischen + 2x Handgelenk + 1 Handrücken = 22
- Technik:
  - Glasfaser (nicht bewährt)
  - Bimetallstreifen
- Nachteile:
  - Niedrige Genauigkeit
  - Handschuh (umständlich, Akzeptanz)
  - (Mehr DOFs als gebraucht)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 27

## Varianten

- Pinch Glove:
  - Kein Tracking, misst nur Kontakt zweier Finger → jeder Finger ein Button
  - Nur 2 getrackte Gloves sinnvoll, damit recht pfiffige Navigation und Objektmanipulation möglich:
    - Greifen und Bewegen
    - Skalieren (*Handles à la Inventor*)
  - Virtuelle Hand nicht darstellbar



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 28

- Der P5 von Virtual Realities ([www.vrealities.com](http://www.vrealities.com)):



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 30

Fortbewegungseingabegeräte (*locomotion devices*)

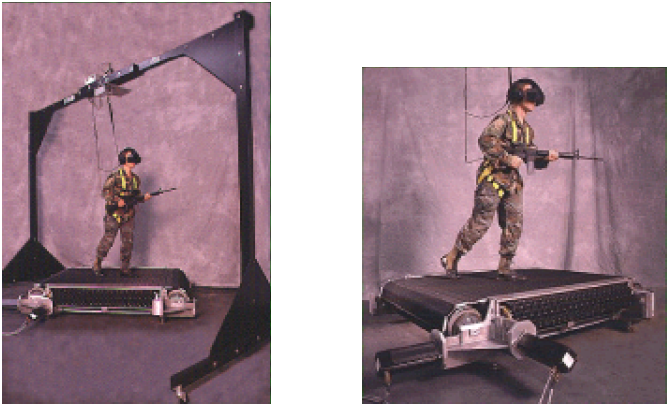


*Sarcos, Utah*      *Sarcos*      *Uni Tsukuba, Japan*



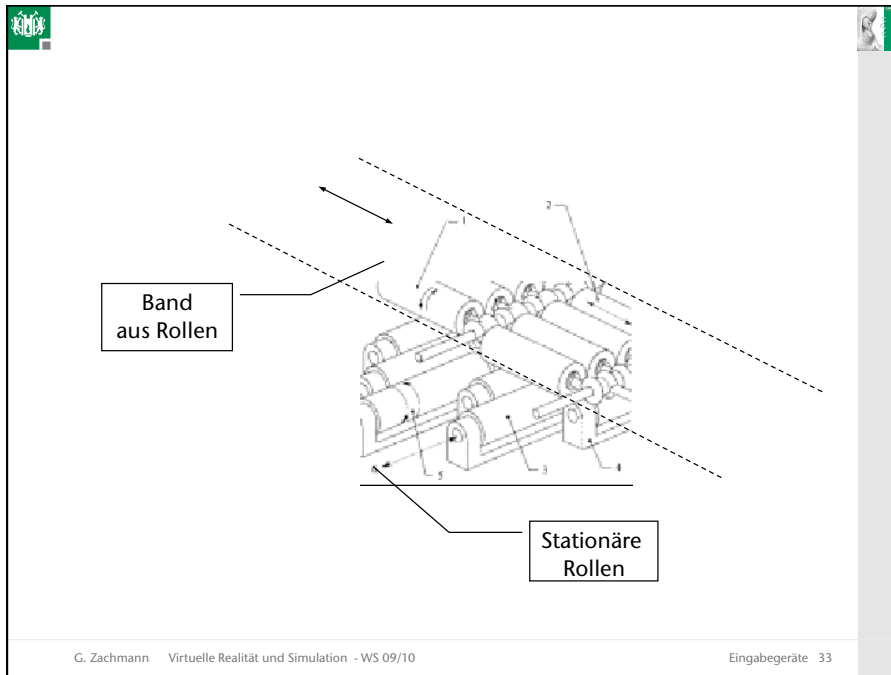
G. Zachmann    Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10      Eingabegeräte 31

Omni-Directional Treadmill (omni-direktionale Tretmühle)



*Virtual Space Devices, Inc.*

G. Zachmann    Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10      Eingabegeräte 32







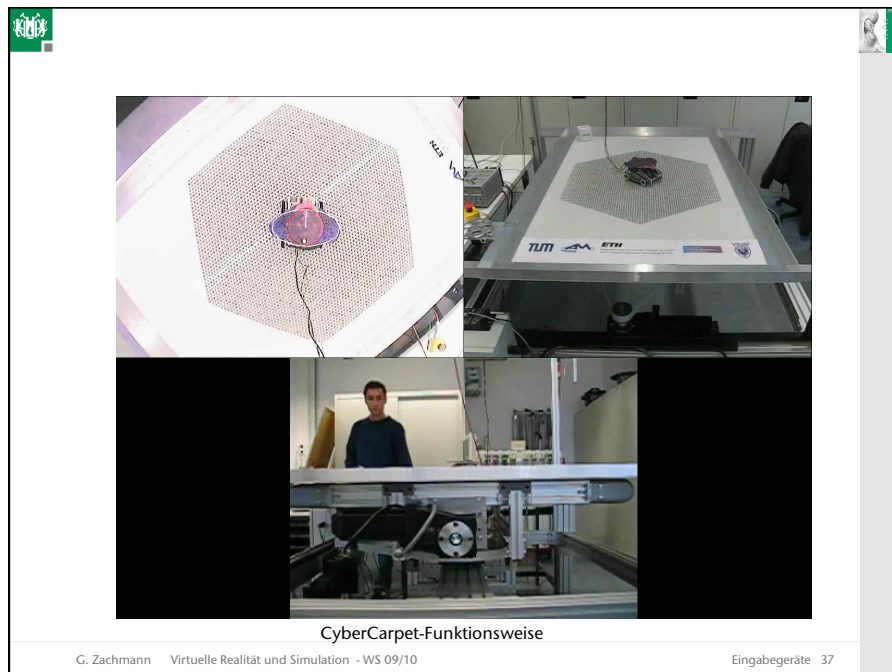
Funktionsweise der Cyberwalk omni-directional treadmill

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 35



CyberCarpet  
Martin Schwaiger, Dr. Thomas Thümmel, TU München

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 36



- Mögliche Anwendungen:
  - Verhaltensforschung, Gehirnforschung
  - Sportmedizin
  - Training von Soldaten und Sicherheitskräften
  - Fabrikplanung (?)
  - Erlebniswelten
  - Architektur:
    - Visualisierung und Begehbarmachung von Entwürfen
    - Test von Fluchtwegen
  - Test von humanoiden Robotern

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10Eingabegeräte 38



VirtuSphere

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10

Eingabegeräte 39



CirculaFloor, 2006

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10

Eingabegeräte 40

### Bodenoberflächensimulator

The diagram labels the following components:

- A pair of upper holding rollers
- One set of five lower supporting rollers
- One unit of the moving stage
- Tensional axis of the belt
- Actuator head (up/down)
- Hinge
- Triangle plate
- Steel vertical

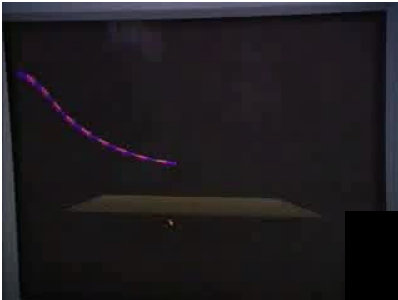
\* A part of the upper belt is omitted in the figure for your understanding

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 41

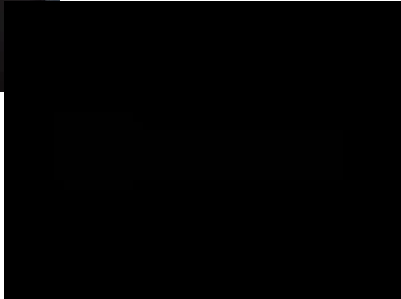
### Andere Locomotion Devices

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 42

## Unkonventionelle Eingabegeräte



Shape tape

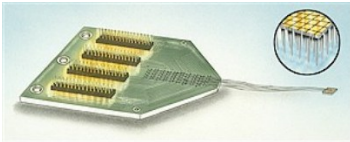



Virtual Keyboard

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 43

## Brain-Computer-Interfaces

- Steuerung durch:
  - EEG, oder
  - Implantat



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 44

## Exkurs: Affective Computing

- Sense user's attention and emotions, then alter system behavior accordingly.
- Parameters:
  - Gesture, posture
  - Voice
  - Eye gaze
  - Breathing
  - Pulse & blood pressure
  - Electrical activity of muscles
  - Skin conductance
- <http://www.media.mit.edu/affect/>
- Sense user's health: <http://www.bodymedia.com>,  
Pilotversuch in NRW(?) mit Herzpatienten

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 45

## System-Einbindung

1. Hole *Tracking-Daten*
2. Transformiere Geometrie und Viewpoint
3. Hole "binäre" Eingaben (Gesten, Sprache)
4. Simuliere und animiere Objekte
5. Rendere ...
  1. 2x Bild
  2. Sound
  3. Haptik

```

graph LR
    A[Tracking, Input] --> B[Simulation, Animation]
    B --> C[Szenengraph modifizieren]
    C --> D[Rendern]
    D --> A
    D --> B
  
```

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 46

## Logische Geräte

- Problem:
  - Relative / absolute Geräte
  - Verschiedene Dimensionalität
  - Verschiedene Interfaces
- Lösung:
  - Abstraktion "log. Gerät"
  - gemäß Dimension
  - Alle log. Geräte absolut (integrieren)
- Logische Geräte [angelehnt an Wallace 1976]:
  - 0D = "Button" (bool)
  - 1D = "Value" (float)
  - 6D = "Space" (matrix)
  - 1-aus-n = "Choice" (int)
  - Glove (float-array)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 47

## Abbildungsmatrix:

	Maus	Space- mouse	Trak- ker	Spra- che	Tasten	Lauf- band	Glove	Dial
Button	x	x	(x)	x	x	(x)	x	
Value	(x)	(x)	(x)	(x)		x	x	x
Space	(x)	x	x					
Choice	x	x					x	

- Ablauf:
  - Initialisierung mit Parametern (phys. Gerät, Port, ..)
  - Danach nur noch "logischen" Wert abholen
  - Relative Geräte müssen über die Zeit integrieren

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 48

- Anforderungen an Architektur:
  - Gerät an beliebigem Rechner → Client-Server
  - Viele Clients pro Server möglich
  - Fehlertolerant, falls falsche Parameter, Gerät nicht angeschaltet, etc.
  - Austauschbarkeit der Geräte
  - Unabhängige Sampling-Rate
- 2 QoS: schnell oder zuverlässig:

Datenart	Behandlung der Latenz	Transportart	Datenstruktur
kontinuierlich	"besser nie als spät"	UDP	Shared mem
diskret	"besser spät als nie"	TCP	Queue

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 49

- Virtuelle Geräte:
  - Virtueller Button
  - Virtueller Slider

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 09/10 Eingabegeräte 50