






# Virtuelle Realität Eingabegeräte

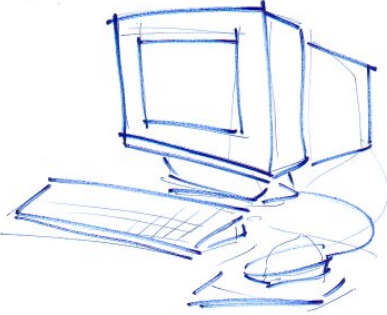


G. Zachmann  
Clausthal University, Germany  
[cg.in.tu-clausthal.de](http://cg.in.tu-clausthal.de)


## Der "Bill Buxton Test"

- Zeichnen Sie einen Computer in 15 Sek.
- Ca. 80% der Fälle
  - Monitor
  - Tastatur
  - Maus
- Interessant:
  - kein „Computer“ auf dem Bild
  - Benutzer nehmen „Computer“ hauptsächlich über Ein- und Ausgabegeräte wahr



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 2

Extreme Beispiele eines "intrusive" I/O-Gerätes



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 3

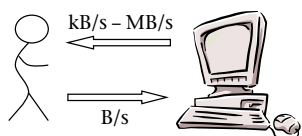
The image shows a person seated in a specialized motion simulator. The person is wearing a blue cap and a brown long-sleeved shirt. They are holding two large, black, ring-shaped controllers. The simulator consists of a black seat with the 'playseats' logo, mounted on a metal frame. To the left, there is a complex mechanical structure with several arms and sensors, likely for motion tracking or force feedback. The background is a plain, light-colored wall.

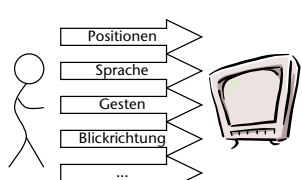


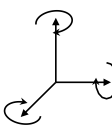
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 4

The image shows a person lying horizontally in a motion simulator. The person is wearing a grey t-shirt and dark shorts. They are suspended in the air by several ropes or cables. The simulator is a large, dark, enclosed space with blue lighting. The person's arms are bent at the elbows, and they appear to be holding something. The background is a plain, light-colored wall.

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


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






G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12
Eingabegeräte 5

## 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 11 /12
Eingabegeräte 6

## 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:
  1.  $(x_1, y_1)$  Startpunkt,  $(x_2, y_2)$  Endpunkt
  2.  $z = \sqrt{x^2 + y^2}$
  3.  $\vec{r} = \vec{p}_1 \times \vec{p}_2$

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 7

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

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 8

## Desktop-Geräte

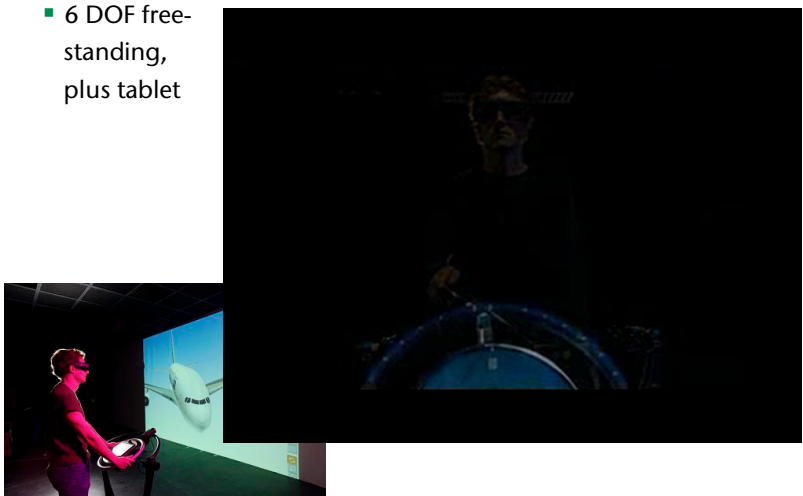
- Spacemouse:
  - 6 DOF
  - Gut für CAD, Viewpoint-Navigation, Szene rotieren
- Lenkrad
  - Mit Force-Feedback
- Weitere ? ...



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 9

## Beyond Desktop: CAT – Control Action Table

- 6 DOF free-standing, plus tablet

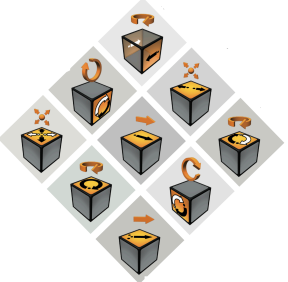




Project "IPARLA", INRIA, France

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 10

## Cubtile

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







G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 11

## 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 11 /12 Eingabegeräte 12

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


G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12

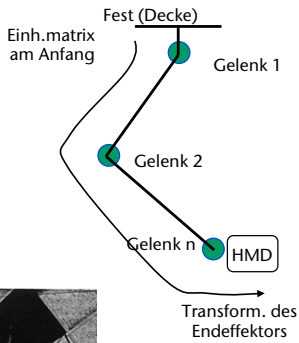
Eingabegeräte 13





## Mechanisch

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





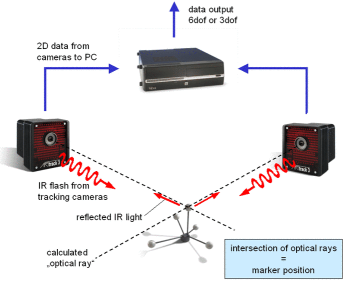


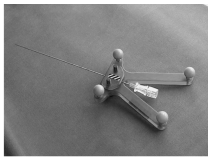
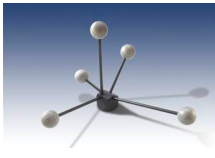
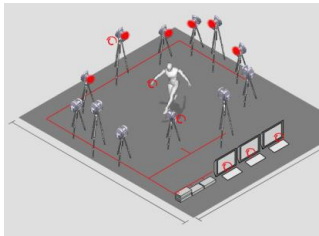
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12

Eingabegeräte 14


## 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)**



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12
Eingabegeräte 15

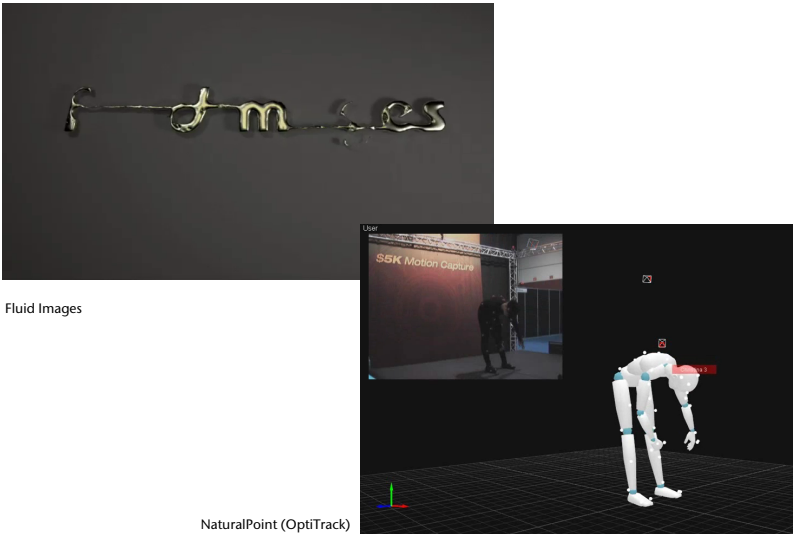


G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12
Eingabegeräte 16



- 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*)

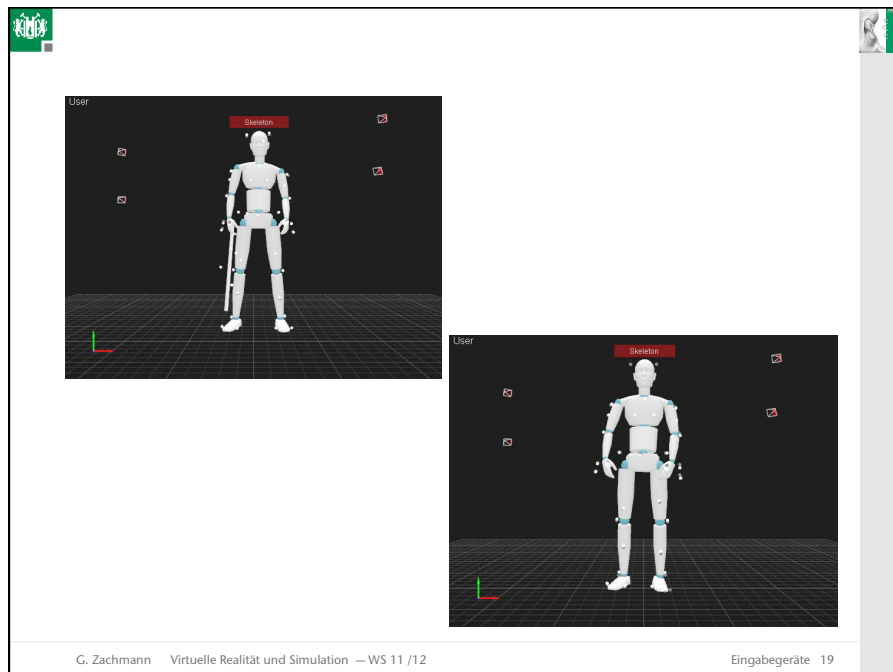
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 17



Fluid Images



NaturalPoint (OptiTrack)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 18



### 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 11 /12 Eingabegeräte 20

## 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 11 /12 Eingabegeräte 21

## 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 11 /12 Eingabegeräte 22

## 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 11 /12 Eingabegeräte 23

## Laser



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



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 24

## 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 11 /12
Eingabegeräte 25

## Allg. Charakteristika

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12
Eingabegeräte 26

## 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 11 /12 Eingabegeräte 28

## Datenhandschuh (data glove)

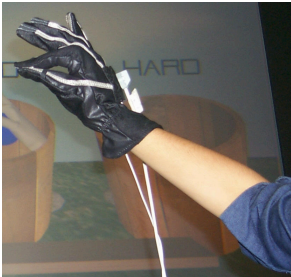
- "Trackt" Finger = mißt Winkel der Fingergelenke
- Das erste VR-Eingabegerät
- Verschieden viele Sensoren:
  - Min. 4x Daumen + 4x2 Finger = 12
  - Max. 4x Daumen + 4x3 Finger + 3x dazwischen + 2x Handgelenk + 1 Handrücken = 22
- Technik:
  - Glasfaser (nicht bewährt)
  - Bimetallstreifen
- Nachteile: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




G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 29

## 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 11 /12 Eingabegeräte 30

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




G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 32

Fortbewegungseingabegeräte (*locomotion devices*)

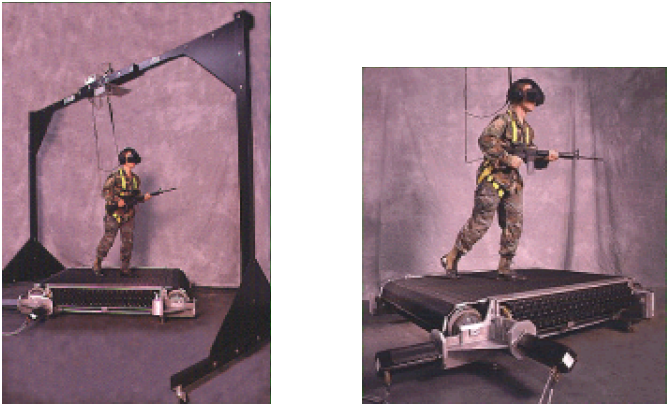


*Sarcos, Utah*      *Sarcos*      *Uni Tsukuba, Japan*



G. Zachmann    Virtuelle Realität und Simulation — WS 11 /12      Eingabegeräte 33

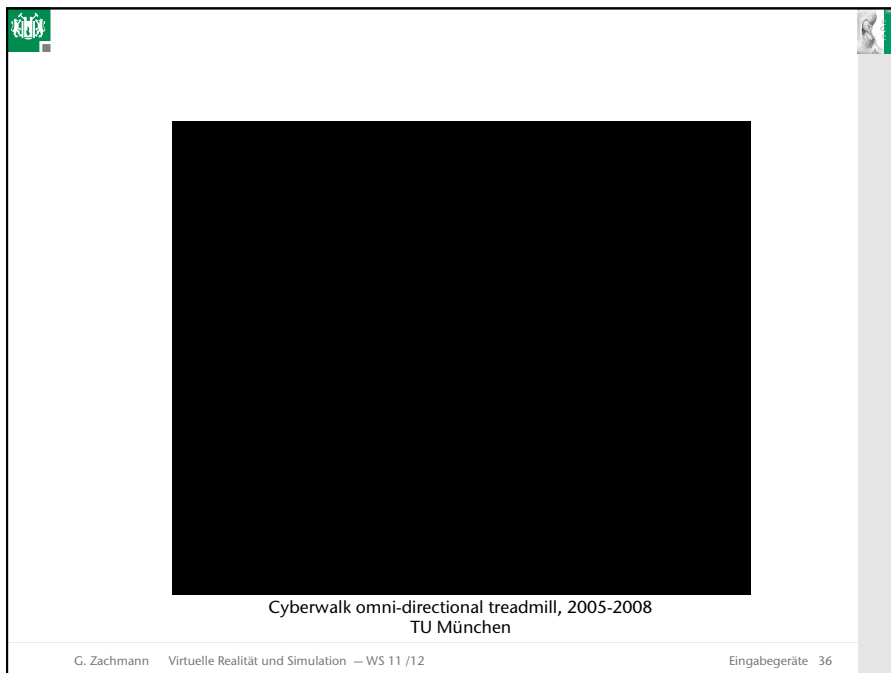
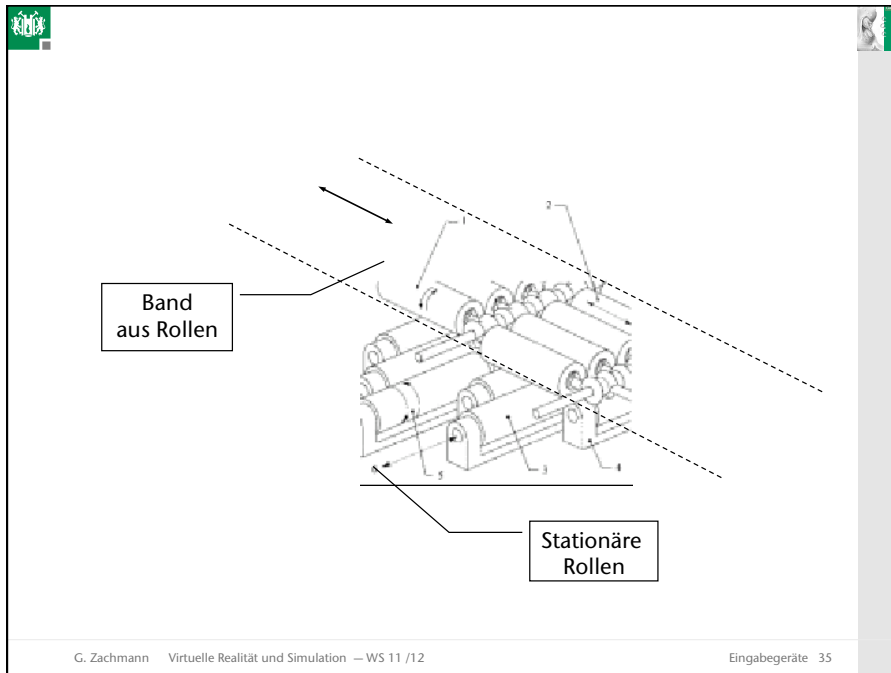
Omni-Directional Treadmill (omni-direktionale Tretmühle)



*Virtual Space Devices, Inc.*

G. Zachmann    Virtuelle Realität und Simulation — WS 11 /12      Eingabegeräte 34

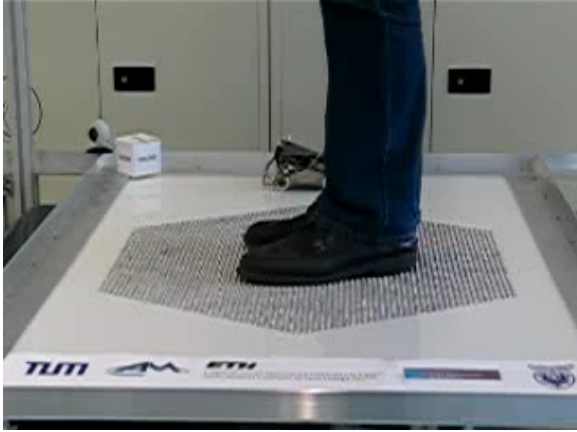






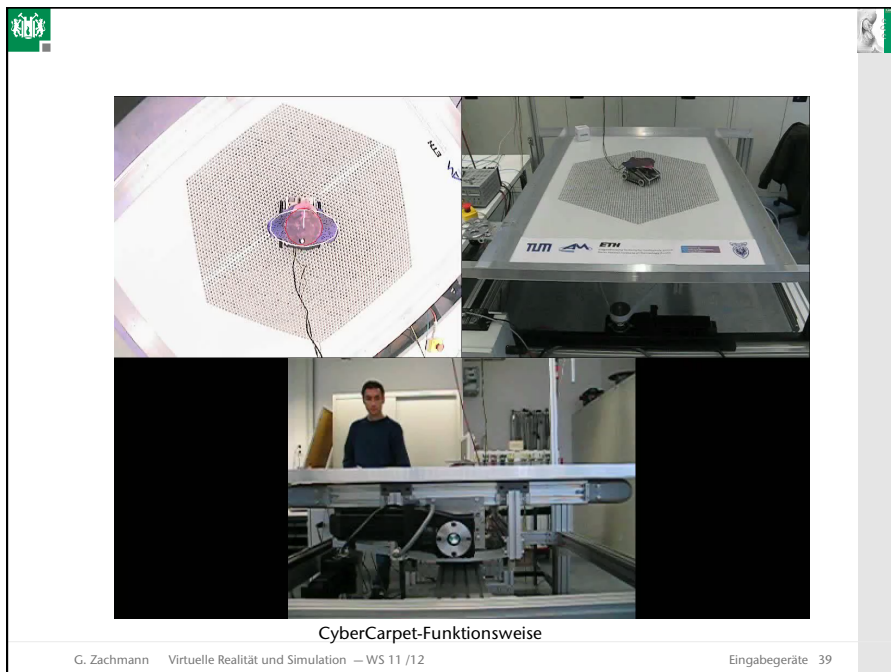
Funktionsweise der Cyberwalk omni-directional treadmill

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 37




CyberCarpet  
Martin Schwaiger, Dr. Thomas Thümmel, TU München

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 38



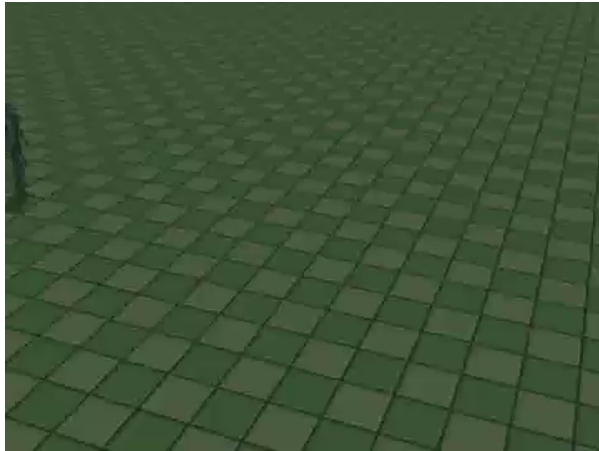
- Mögliche Anwendungen:
  - Verhaltensforschung, Gehirnforschung
  - Sportmedizin
  - Training von Soldaten und Sicherheitskräften
  - Fabrikplanung (?)
  - Erlebniswelten
  - Architektur:
    - Visualisierung und Begeharmachung von Entwürfen
    - Test von Fluchtwegen
  - Test von humanoiden Robotern

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 40



VirtuSphere

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 41



CirculaFloor, 2006

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 42



### Bodenoberflächensimulator


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

Hinge  
Actuator head (up/down)  
Triangle plate

A pair of upper holding rollers  
One set of five lower supporting rollers  
One unit of the moving stage  
Tensional axis of the belt

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12
Eingabegeräte 44

### Andere Locomotion Devices

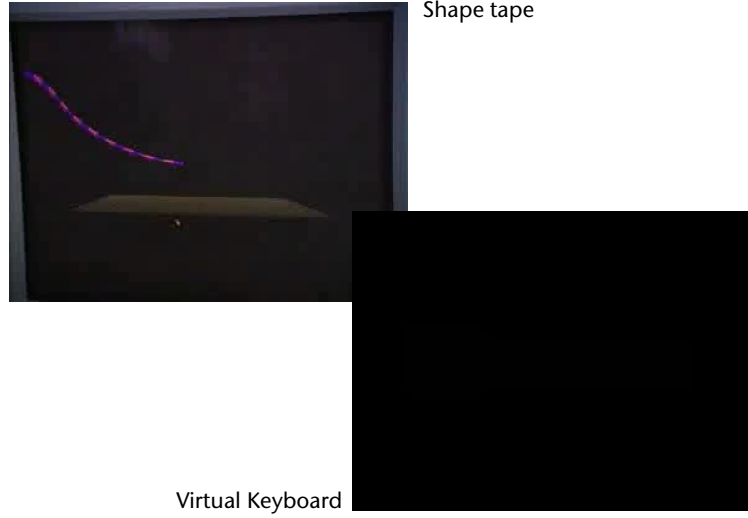


The slide displays four images related to locomotion devices in VR. The top-left image shows a virtual landscape with a yellow path and orange cones. The top-right image shows a person wearing a VR headset and holding a controller. The bottom-left image shows a person sitting at a desk with a computer. The bottom-right image shows a person standing and using a physical device, possibly a motion capture system or a specialized input device.

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 45

### Unkonventionelle Eingabegeräte

Shape tape




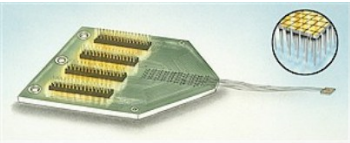
The slide shows two images of unconventional input devices. The top image is labeled 'Shape tape' and shows a glowing purple line on a dark screen. The bottom image is labeled 'Virtual Keyboard' and shows a dark screen with a keyboard layout.

Virtual Keyboard

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 46

## Brain-Computer-Interfaces

- Steuerung durch:
  - EEG, oder
  - Implantat

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 47

## 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 11 /12 Eingabegeräte 48

## 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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 49

## 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 11 /12 Eingabegeräte 50



▪ **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 11 /12 Eingabegeräte 51

▪ **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 11 /12 Eingabegeräte 52



■ Virtuelle Geräte:

- Virtueller Button
- Virtueller Slider

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 11 /12 Eingabegeräte 53