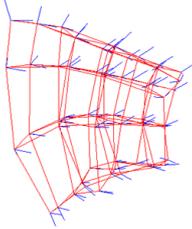





Virtuelle Realität

Darstellungsfehler und Korrektur

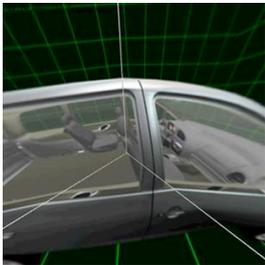
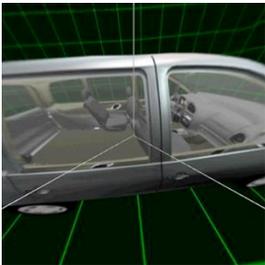


G. Zachmann
 Clausthal University, Germany
cg.in.tu-clausthal.de




Auswirkungen falscher Kamera-/Handpos.

- Cave: Bildverzerrung , "Schwanken" (wg. Latenz)
- HMD: präzise Manipulation/Positionierung wird erschwert
- Anwendungsbeispiele, wo das wichtig ist:
 - Styling review, ...
 - Einbausimulation, Ergonomieuntersuchung, ...

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 2

Verschiedene Auswirkung bei versch. Displays

- *Translational camera displacement*: HMD normalerweise besser
- *Rotational camera displacement*: Cave besser
- Problem in der Cave: statische und dynamische Bildverzerrung
- Problem im HMD: Propriozeption widerspricht visueller Wahrnehmung

Angular error, head displacement

Angular error, head rotation

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 3

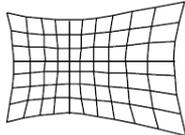
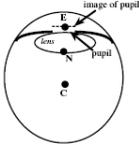
Fehlerquellen

1. Physikalische Fehlerquellen:
 1. Verzögerung (*Delay*, Latenz, Lag)
 2. *Tracking-System*
 3. *Transformations-Pipeline*
 4. Sonstige kleinere Quellen
2. Psychophysiologische Quellen:
 1. Berichte von Usern in der Cave (*Daimler*)
 2. Unerforscht! ...

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 4

Kleinere Fehlerquellen

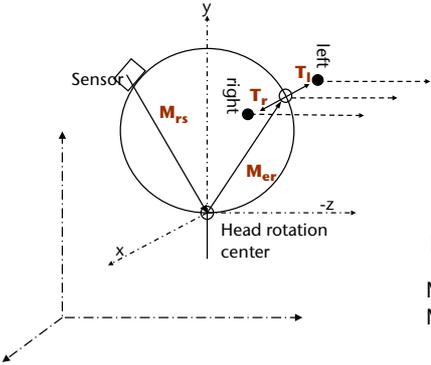
- **Optische Verzerrung durch das Display**
 - Mögliche Lösung:
2x rendern mit Texturverzerrung
- **Augen-Tracking?**
 - Fehler ist vernachlässigbar, falls
Projektionszentrum = Augenzentrum
gewählt wird

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 5

Transformationsfehler

- Fehler in der Bestimmung des User-Modells

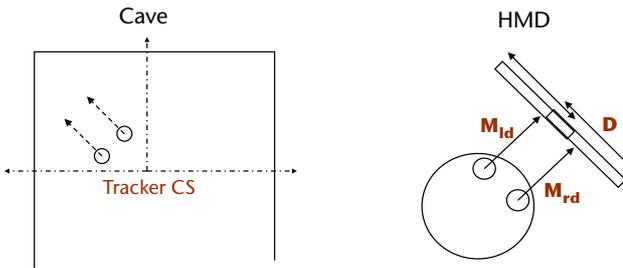


$$M_e = T_r M_{er} M_{rs} M_s$$

M_s = aktuelle Sensorposition
 M_e = Viewpoint-Transf.

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 6

■ Wo ist das Display / die Projektionsebene?



M_{*d} = Transf. vom linken/rechten Auge zum Display
 D = Display-Geometrie

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 7

■ Tracking-Korrektur

- Static:
 - Falsches Alignment des Koord.systems
 - Verzerrungen
- Dynamic:
 - Rauschen
 - Drift
 - Drop-outs

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 8

Verzerrung (z.B. durch Fremdmetall beim elektrom. Tr'ing)

2x2x1 m³

Ascension FoB + ERT

1x1x2 m³

Polhemus Fastrak & Longranger

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 9

Allgemeine Prozedur

```

    graph TD
      S1(sensor) --> A[alignment]
      A --> AD[Alignment data]
      S2(sensor) --> MF[measure field]
      AD --> MF
      MF --> FS[Field snapshot]
      S3(sensor) --> CS[Correct server]
      FS --> CS
      CS --> AP[application]
  
```

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 10

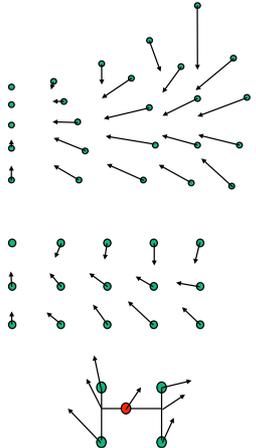
- Problem: Interpolation
- Ansätze:
 - Polynomiale Interpolation/Approximation (normal, Lagrange, ..)
 - B-Spline-Volumen
 - Shape functions (*scientific visualization*)
 - *Look-up tables*
 - Radiale Basisfunktionen (*Hardy's Multi-Quadric*)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 11

Lookup table

- Gegeben: Meßwerte und Sollwerte
- *Resampling* der Korrekturvektoren in reguläres Gitter mit Gauß-Kernel:

$$v_Q = \sum_p v_P e^{-\frac{|P-Q|^2}{h^2}}$$
- Korrektur zur Laufzeit: trilineare Interpolation der Korrekturvektoren
- Test, ob Gitter fein genug: berechne mittels *Lookup-Table* Korrekturvektoren für echte Messwerte, vergleiche mit echten Korrekturvektoren



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 12

Hardy's Multi-Quadric (HMQ)

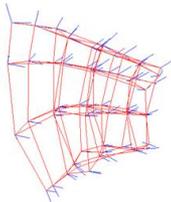
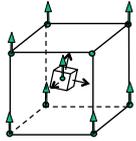
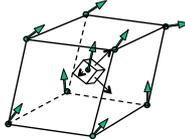
- Zunächst Korrektur der Translation mit $f : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$
- Ansatz: $f(P) = \sum A_i \omega_i(P), \quad A_i \in \mathbb{R}^3$
 $\omega_i(P) = \left[(P - P_i)^2 + R^2 \right]^\mu$ ← radiale Basisfunktionen
 $\mu = \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, 2, -\frac{1}{2}, \dots$
- Einsetzen:
 $f(P_j) = Q_j, \quad j = 1, \dots, N$
- liefert 3 LGS:

$$\begin{pmatrix} \omega_i(P_1) & \cdots & \omega_N(P_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_i(P_N) & \cdots & \omega_N(P_N) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ \vdots \\ A_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_N \end{pmatrix}$$

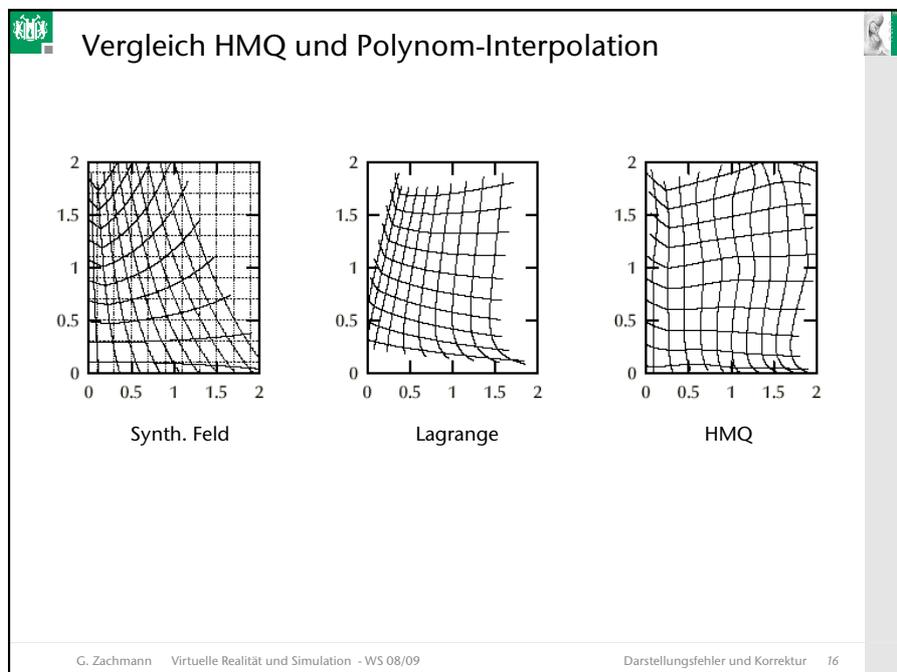
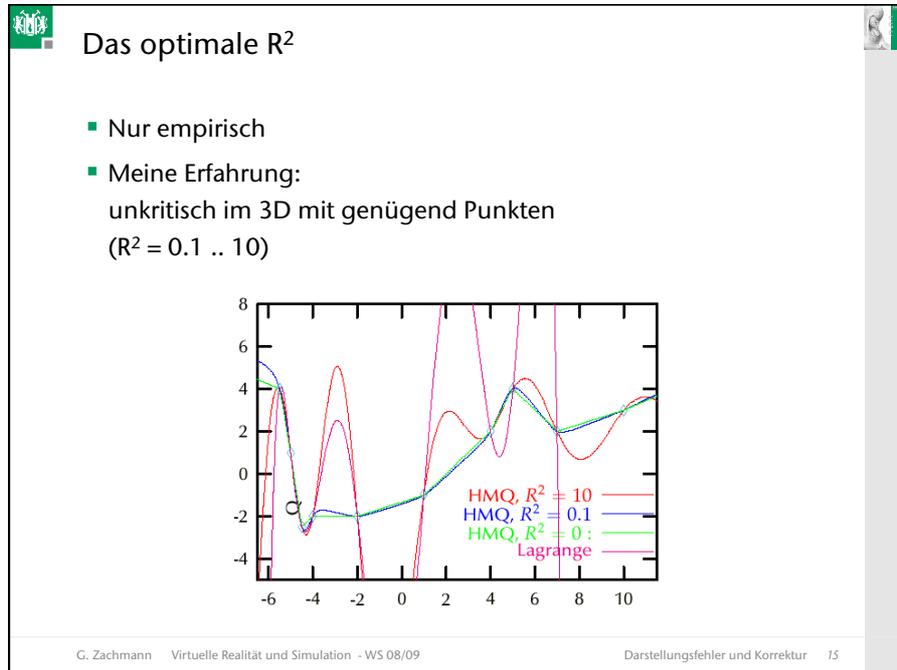
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 13

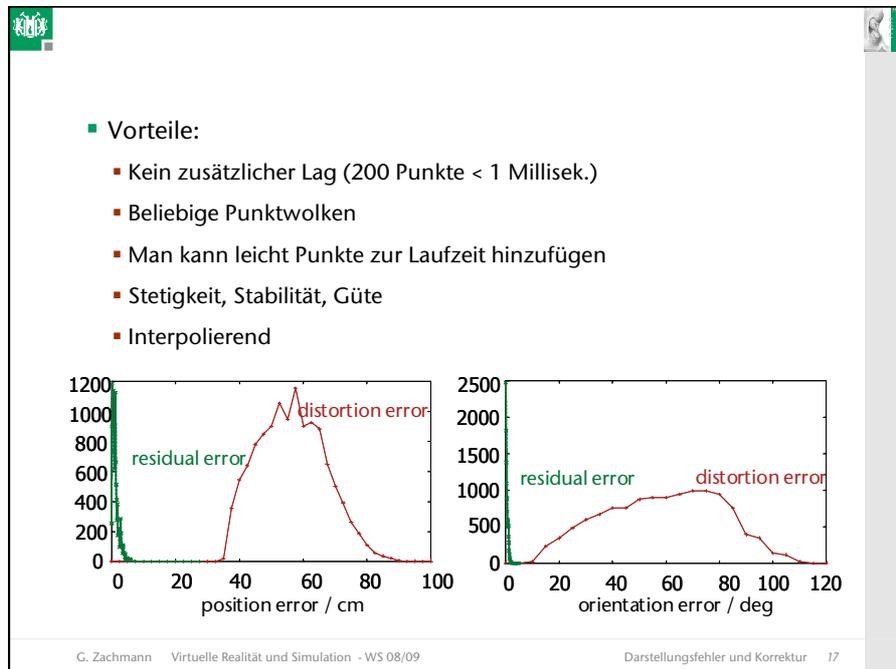
Orientierung:

- Effekt auf Stereo- und Hand-Rendering
- Beobachtung: $g : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^6$ genügt
- Theoretische Korrektur:
 - Sensor in definierter "Null-Lage" an jeden Punkt P im Raum halten
 - Orientierung M_P^0 messen
 - Zur Laufzeit: $M_P^{\text{correct}} = (M_P^0)^{-1} \cdot M_P^{\text{measured}}$
- Praktisch:
 - Repräsentiere Ori durch 2 Zeilenvektoren
 - 1.g interpoliert/approximiert M_P^0 "dazwischen" wie bei Translation
 - 2.g(P) = M anschließend orthonormal machen
 - 3. Dieses M_P^0 für Korrektur der gemessenen Ori verwenden wie oben

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 14





Latenz (*latency, lag*)

- Def.: Zeitdauer von der User-Aktion bis zur Änderung des Displays
- *Human factors*:

Latenz/msec	Effekt auf User
5	beobachtbar
30	User-Performance sinkt (evtl. "simulator sickness")
500	Immersion verschwindet

- NB: Kopf kann mit 1000 Grad/Sek. rotieren

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 18

■ Latenz-Pipeline:

■ Arten von Lag:

- Geräte
- Transport
- Software
- Synchronisation

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 19

■ Was kann man generell tun?

■ Gerät-Server-App-Kommunikation:

- "*continuous mode*"
- "*keep alive*" message
- Evtl. 2 Prozesse im Server

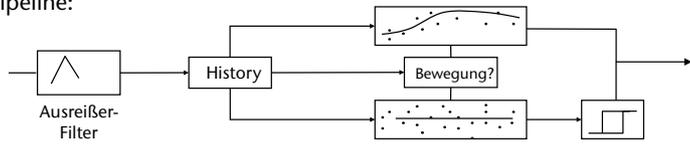
■ "*Time-critical computing*":

- Jeder Teil der App bekommt bestimmte Zeit zugeteilt
- Abbrechen, wenn Zeit verbraucht

■ Prädiktion der Geräte-Daten

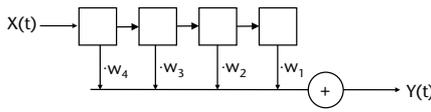
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 20

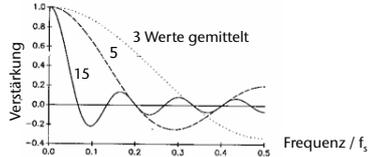
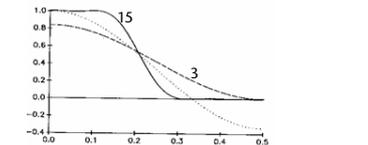
Filterung / Prädiktion

- Latenz bei Kopf- und *Hand-Tracking* besonders stark sichtbar
- Rauschen in *Tracking-Daten*
- Idee: **prädiktive Filter**:
Liefere am Ausgang des Filters geglättete Daten in der "Zukunft"
- Erwünschte Eigenschaften:
 1. Rauschen löschen
 2. Stationäres Signal erkennen
 3. Ausreißer löschen
 4. Das Signal selbst sollte nicht gedämpft / verzögert werden
- Pipeline:
 

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 21

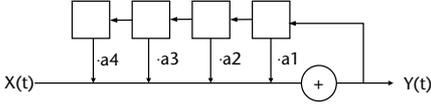
FIR-Filter (*finite impulse response*):

$$y_t = \sum_{i=-k}^k w_i x_{t+i}$$


- Charakteristik:
 - Zeigt, wie Filter Signal dämpft, abhängig von Abtastfrequenz
 - Mittelwert-Filter:
 
 - Verschiedene Gewichte (z.B. 1/4, 1/2, 1/4):
 

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 22

■ IIR (infinite impulse response):

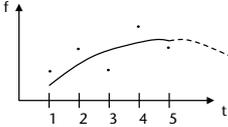
$$y_t = x_t + \sum_{i=1}^k a_i y_{t-i}$$


■ Autoregressions-Modell:

$$y_t = \sum_{i=1}^k a_i y_{t-i} + \epsilon_t$$

■ Polynomiale Filterung/Prädiktion:

- Ansatz: $f(i) = a_0 + a_1 i + \dots + a_n i^n$
- Löse $A^T A \mathbf{a} = A^T \mathbf{f}$
- $A_{ij} = i^j, \mathbf{a} = (a_0, \dots, a_n), \mathbf{f} = (f(0), \dots, f(n))$
- Werte f danach in der "Zukunft" aus



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 23

■ Kalman-Filter:

- Gegeben: linearer Prozeß mit diskreten Zeit-Schritten

$$x_{k+1} = A_k x_k + B u_k + w_k$$

- Messprozeß

$$z_k = H_k x_k + v_k$$

- Man kennt nur z_k und Schätzung für x_k , will aber x_{k+1} vorhersagen

1. Schätze Vorhersage $\hat{x}_{k+1} = \hat{A}_k \hat{x}_k + \hat{B} u_k$
2. Messe z_{k+1}
3. Korrigiere \hat{x}_{k+1}

- Optimal für lineare Prozesse
- Parameter einstellen ist Magie

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 Darstellungsfehler und Korrektur 24