

# Mixed Reality



## Raumwahrnehmung

Prof. Dr. Detlef Krömker

Goethe-Universität, Frankfurt  
Graphische Datenverarbeitung

## Übersicht zur Vorlesung MR Neuer Themenblock

1. Prolog und Einführung (DK + RM)
2. Übersicht: Probleme - Technologien – Anwendungen(DK)
- 3.- 5. Grundlagen Bildanalyse & Computer Vision (RM)
6. Bildbasiertes Kamera-Tracking (RM)
7. Spezielle Wahrnehmungsprobleme (DK)
- 8.- 9. Spezielle Rendering-Aspekte (DK)
- 10.-11. Spezielle Anzeige und Interaktionssysteme (DK)
- 11.-12. Kamera-Kalibrierung und Tracking (RM)
13. Spezielle Anwendungen (RM)

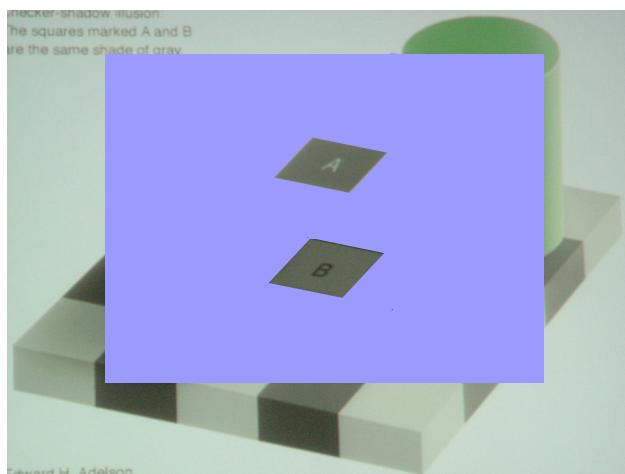


Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

2

SS 2004

## Wahrnehmung – Ein Beispiel



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

3

SS 2004

## Bedeutung von Raumwahrnehmung für VR

- ◆ VR will Illusion über Raum geben, Gefühl der Präsenz vermitteln – Raumwahrnehmung ist Grundlage für
  - Gestaltung (z.B. Kompensation techn. Limitationen)
  - Manipulation und Priorisierung
- ◆ Fehlerquellen / Fehlinterpretationen bei einer VR
  - Ursachen erkennen
  - Lösungen finden
- ◆ Benutzerakzeptanz und Benutzerperformanz



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

4

SS 2004

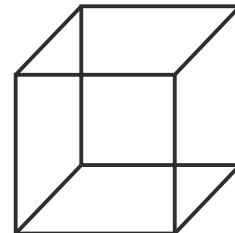
## Überblick

1. Was sind **Besonderheiten** von Wahrnehmung? Warum ist Raumwahrnehmung für MR **wichtig**?
2. Welche **Erkenntnisse** und **Theorien** über Raumwahrnehmung gibt es?
3. Welche **Probleme** bzgl. Raumwahrnehmung können bei MR entstehen? Welche **Lösungen** gibt es?
4. Welche **Richtlinien** für MR bzgl. der Gestaltung einer guten Raumwahrnehmung gibt es?



## Charakteristika von Wahrnehmung

- ◆ Reiz  $\neq$  Wahrnehmung
- ◆ Weitere Faktoren:
  - Kontext
  - Individuum
  - Erwartung (z.B. verbales Priming)
  - Adaption
- ◆ Messen ist schwierig
  - User Tests
  - statistische Aussagen



## Wahrnehmung als Hypothese

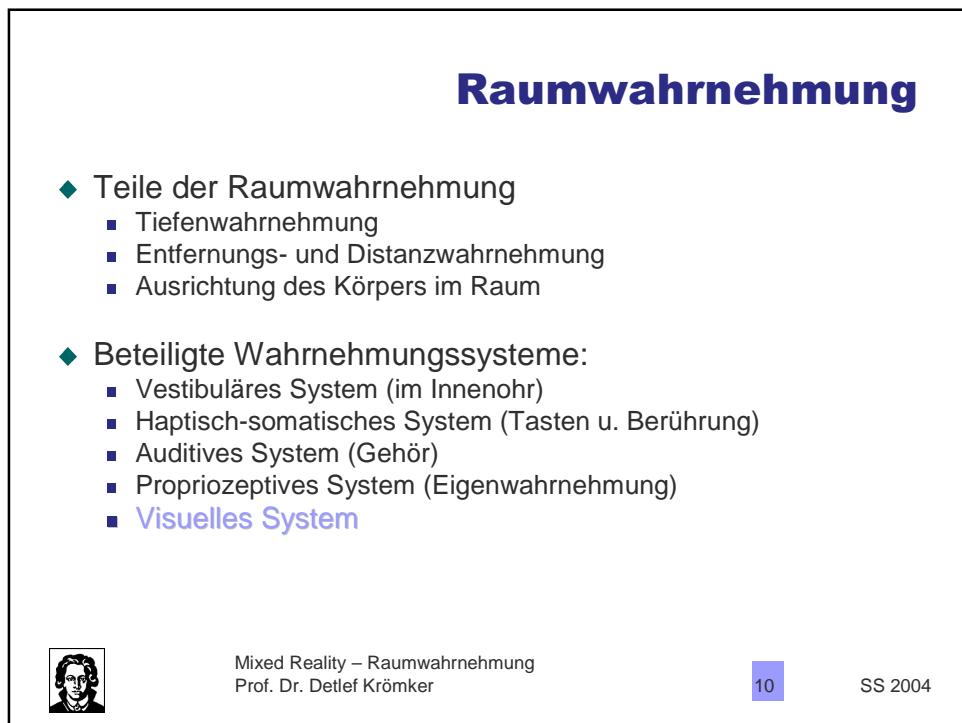
- ◆ Visuelles System des Menschen ist robust
  - Fähigkeit mit unvollständiger Information zu arbeiten
  - Keine direkte Abhängigkeit von Reizmustern zur Wahrnehmung
- ◆ Dynamische Suche des visuellen Systems nach der besten Interpretation
- ◆ Wahrnehmung ist eine Hypothese, die gegen sensorische Daten getestet wird



## Wahrnehmung vs. Realität

- ◆ Das, was wir wahrnehmen, ist kein direktes Abbild der Realität, sondern entsteht durch Wahrnehmungsprozesse im Gehirn
- ◆ Wahrnehmung steht mit Realität „nur“ in einer Best-Fit-Relation
- ◆ Menschliche Wahrnehmung adaptiert sich (z.B. bei Kopfstand wird Bild herumgedreht)
- ◆ Gilt für alle Wahrnehmungen: **Raum**; Farbe; Form; ...



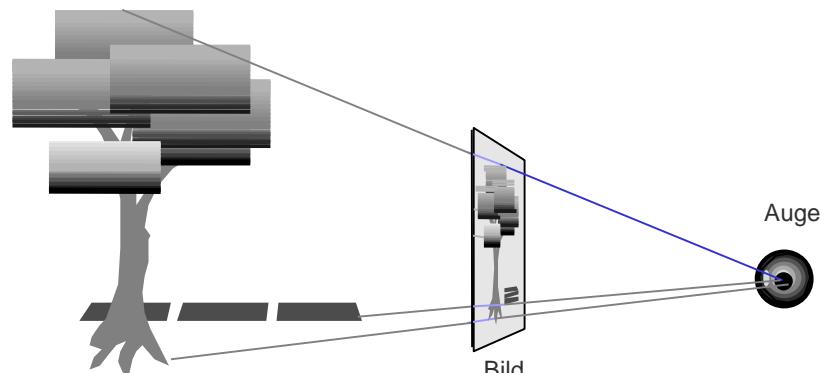


1. Was sind **Besonderheiten** von Wahrnehmung? Warum ist Raumwahrnehmung für MR **wichtig**?
2. Welche **Erkenntnisse** und **Theorien** über Raumwahrnehmung gibt es?
3. Welche **Probleme** bzgl. Raumwahrnehmung können bei MR entstehen? Welche **Lösungen** gibt es?
4. Welche **Richtlinien** für MR bzgl. der Gestaltung einer guten Raumwahrnehmung gibt es?



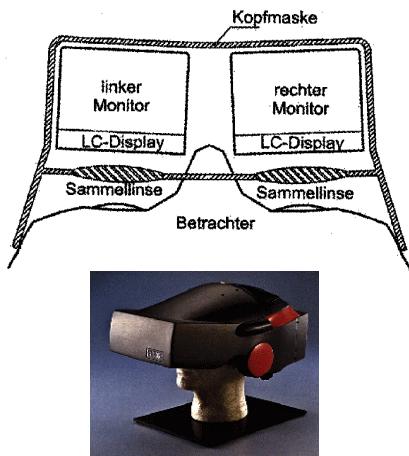
## Perspektivische Projektion (Linearperspektive)

Objekt



## Stereodisplays

- ◆ Zwei Bildgeber (z.B. HMD)
- ◆ Passives Stereo (z.B. Rot-Grün, Polarisation)
- ◆ Aktives Multiplex
- ◆ Autostereoskopische Displays

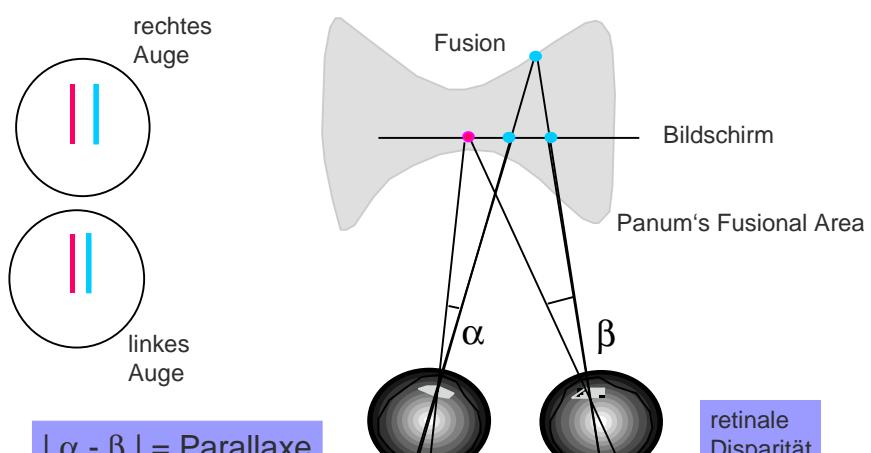


Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

13

SS 2004

## Stereoskopie



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

14

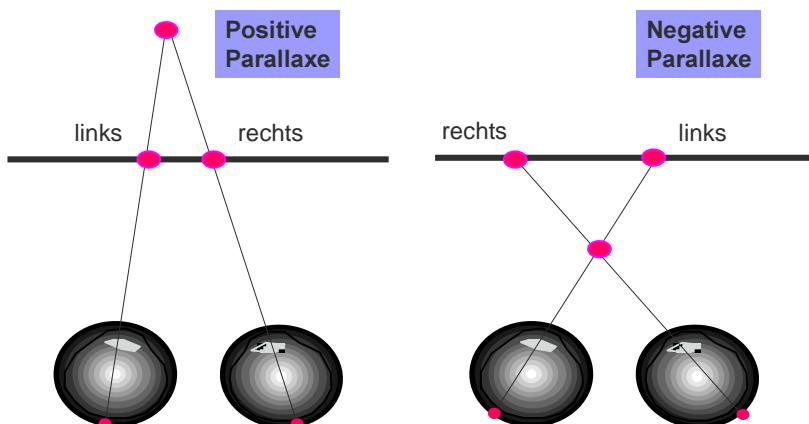
SS 2004

## Panum's Fusional Area

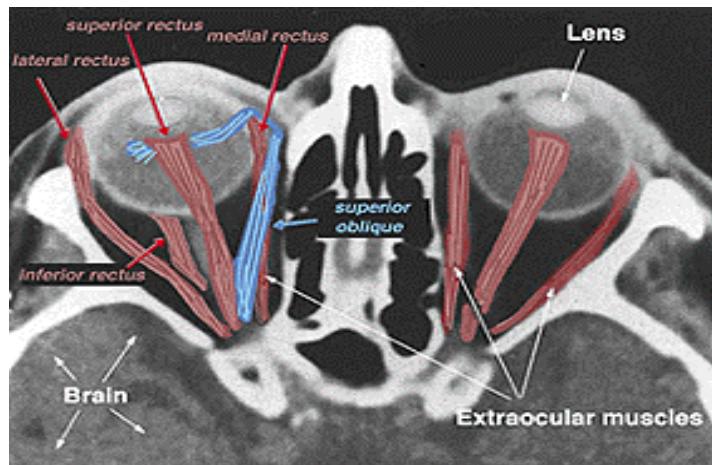
- ◆ Im schlimmsten Fall  $1/10^\circ$  Sehwinkel dünn (entspricht  $\pm 3$  Pixel von der Bildebene bei Bildschirm betrachtung)
- ◆ Beeinflussung durch
  - Anti-Aliasing
  - Größe des Objekts
  - Bildschärfe
  - Bewegung
- ◆ Gelingt Fusion nicht, so entsteht ein Doppelbild (Diplopia)



## Positive und negative Parallaxe



## Akkommodation

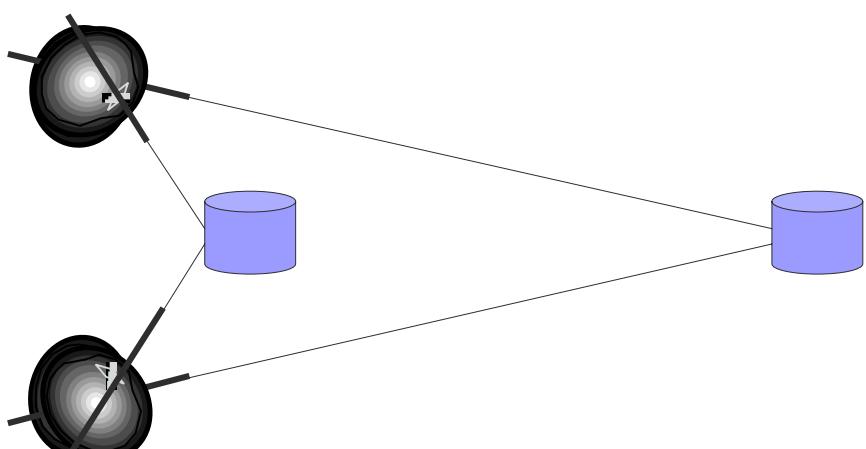


Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

17

SS 2004

## Konvergenz (engl. Vergence)



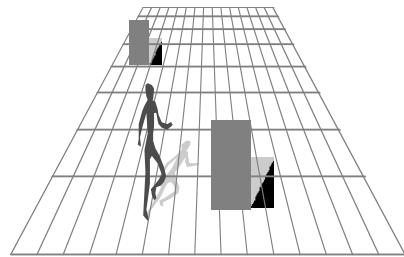
Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

18

SS 2004

## Monokulare Raumwahrnehmung

- ◆ Raumwahrnehmung auch mit einem Auge möglich
- ◆ 5% - 10% aller Menschen sind stereoblind, 20% haben Stereo-schwäche



## Depth Cue Theorie

- ◆ Visuelles System basiert Raumwahrnehmung auf **Hinweisreizen** (engl. Depth Cues)
- ◆ Kategorien von Depth Cues
  - Binokulare Depth Cues
  - Pictorial Depth Cues
  - Dynamische Depth Cues



## Binokulare Depth Cues

- ◆ Disparität / Parallaxe
- ◆ Akkomodation
- ◆ Konvergenz

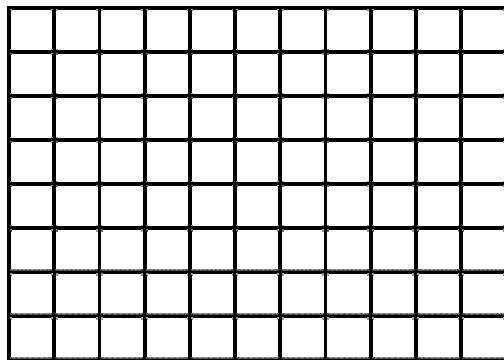


## Pictorial Depth Cues

- ◆ Linearperspektive
- ◆ Verdeckung
- ◆ Texturgradient
- ◆ Fokus und Blur
- ◆ Atmosphärische Tiefe
- ◆ Vertraute Größe
- ◆ Höhe im Gesichtsfeld
- ◆ Beleuchtung
  - Schattenwurf
  - Luminanzänderung
  - Transluzenz
  - Schattierung



## Linearperspektive

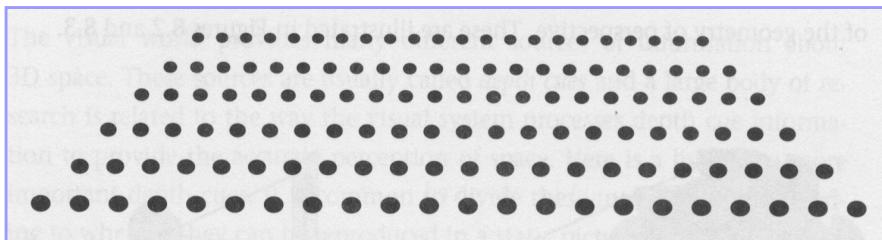


## Pictorial Depth Cues

- ◆ Linearperspektive
- ◆ Verdeckung
- ◆ Texturgradient
- ◆ Fokus und Blur
- ◆ Atmosphärische Tiefe
- ◆ Vertraute Größe
- ◆ Höhe im Gesichtsfeld
- ◆ Beleuchtung
  - Schattenwurf
  - Luminanzänderung
  - Transluzenz
  - Schattierung



## Texturgradient

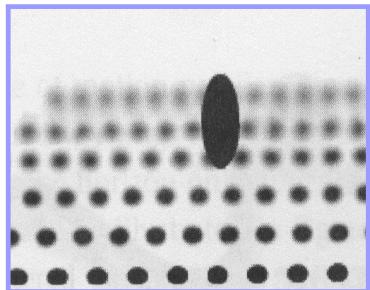


## Pictorial Depth Cues

- ◆ Linearperspektive
- ◆ Verdeckung
- ◆ Texturgradient
- ◆ Fokus und Blur
- ◆ Atmosphärische Tiefe
- ◆ Vertraute Größe
- ◆ Höhe im Gesichtsfeld
- ◆ Beleuchtung
  - Schattenwurf
  - Luminanzänderung
  - Transluzenz
  - Schattierung



## Fokus und Blur



Betrachtungs-abstand	Nahgrenze	Ferngrenze
50 cm	43 cm	60 cm
1 m	75 cm	1,5 m
2 m	1,2 m	6,0 m
3 m	1,5 m	Unendlich

- Auge fokussiert
- Tiefenschärfe: Bereich, in dem Auge scharf erscheinen, ohne neue Fokussierung

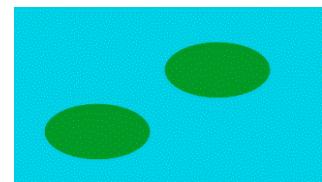


## Pictorial Depth Cues

- ◆ Linearperspektive
- ◆ Verdeckung
- ◆ Texturgradient
- ◆ Fokus und Blur
- ◆ Atmosphärische Tiefe
- ◆ Vertraute Größe
- ◆ Höhe im Gesichtsfeld
- ◆ Beleuchtung
  - Schattenwurf
  - Luminanzänderung
  - Transluzenz
  - Schattierung



## Atmosphärische Tiefe



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

29

SS 2004

## Pictorial Depth Cues

- ◆ Linearperspektive
- ◆ Verdeckung
- ◆ Texturgradient
- ◆ Fokus und Blur
- ◆ Atmosphärische Tiefe
- ◆ Vertraute Größe
- ◆ Höhe im Gesichtsfeld
- ◆ Beleuchtung
  - Schattenwurf
  - Luminanzänderung
  - Transluzenz
  - Schattierung



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

30

SS 2004

## Höhe im Gesichtsfeld



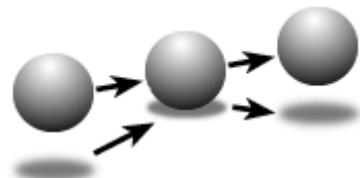
## Pictorial Depth Cues

- ◆ Linearperspektive
- ◆ Verdeckung
- ◆ Texturgradient
- ◆ Fokus und Blur
- ◆ Atmosphärische Tiefe
- ◆ Vertraute Größe
- ◆ Höhe im Gesichtsfeld
- ◆ Beleuchtung
  - Schattenwurf
  - Luminanzänderung
  - Transluzenz
  - Schattierung



## Schattenwurf

- ◆ Annahme: Beleuchtung von oben
- ◆ Vorhandensein einer Grundebene
- ◆ Insbesondere: Höhe über Grundfläche

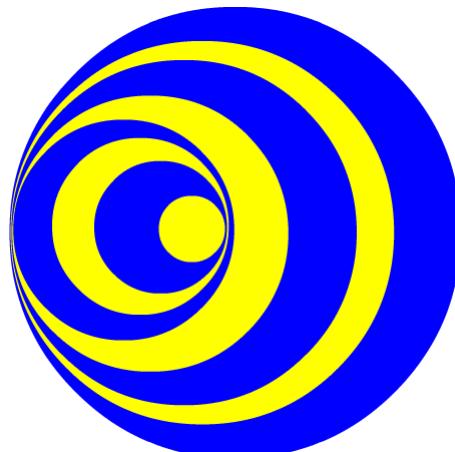


## Pictorial Depth Cues

- ◆ Linearperspektive
- ◆ Verdeckung
- ◆ Texturgradient
- ◆ Fokus und Blur
- ◆ Atmosphärische Tiefe
- ◆ Vertraute Größe
- ◆ Höhe im Gesichtsfeld
- ◆ Beleuchtung
  - Schattenwurf
  - Luminanzänderung
  - Transluzenz
  - Schattierung



# Raumwahrnehmung durch Bewegung



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

35

SS 2004



## Dynamische Depth Cues

- ◆ Bewegungsparallaxe (engl. motion parallax)
- ◆ Kinetischer Tiefeneffekt (engl. kinetic depth effect, rotation parallax)
- ◆ Interposition
- ◆ Bewegung von Highlights

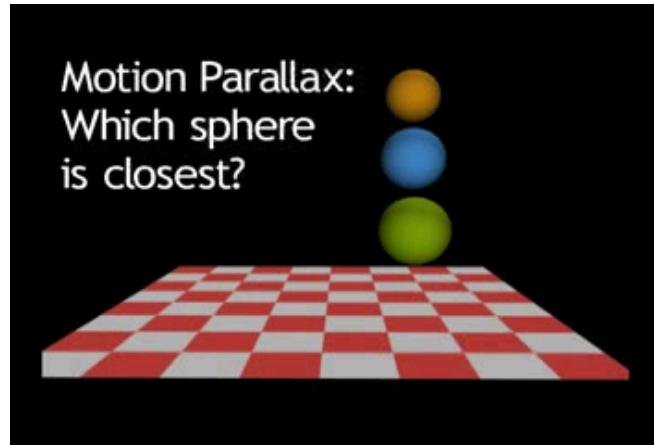


Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

36

SS 2004

## Motion Parallax



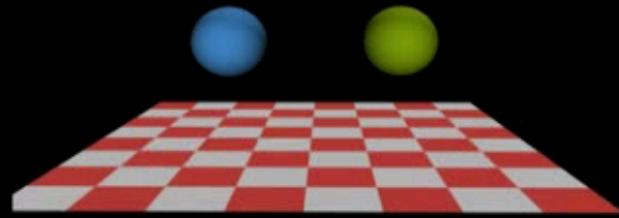
## Dynamische Depth Cues

- ◆ Bewegungsparallaxe (engl. motion parallax)
- ◆ Kinetischer Tiefeneffekt (engl. kinetic depth effect, rotational parallax)
- ◆ Interposition
- ◆ Bewegung von Highlights



## Rotational Parallax

Rotational Parallax:  
Which one is closer?



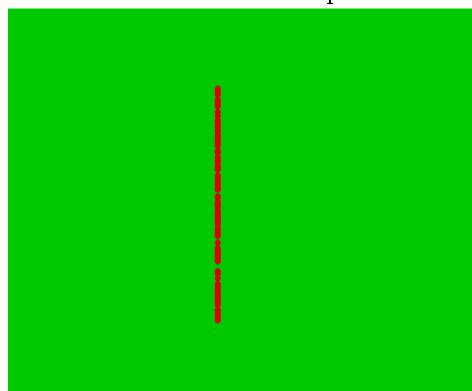
Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

39

SS 2004

## Kinetic Depth Effect / Structure from Motion

Structure from motion fails at equiluminance



↑ Colour ↗ Speed

©2002, www.MichaelBach.de



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

40

SS 2004

## Dynamische Depth Cues

- ◆ Bewegungsparallaxe (engl. motion parallax)
- ◆ Kinetischer Tiefeneffekt (engl. kinetic depth effect, rotation parallax)
- ◆ Interposition
- ◆ Bewegung von Highlights



## Auswertung der Depth Cues

- ◆ Depth Cues haben unterschiedlichen Informationsgehalt
- ◆ Kompliziertes Zusammenspiel
  - Nicht redundant, sondern additiv
  - Flexible Gewichtung
  - Ein Depth Cue kann dominieren
- ◆ Kein Bilden eines 3D Modells im Kopf, unterschiedliche Depth Cues werden für verschiedene Aufgaben (Tasks) unterschiedlich gewichtet



## Mögliche Tasks

- ◆ Größe von Objekten einschätzen
- ◆ Entfernung von Objekten einschätzen
- ◆ Pfade in 3D verfolgen
- ◆ Navigation in 3D durchführen
- ◆ Eigenbewegung im Raum einschätzen
- ◆ Kollisionszeit abschätzen

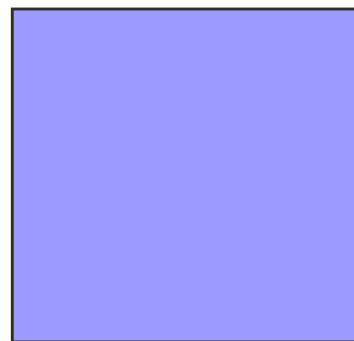


## Raumwahrnehmung

- ◆ Sehr komplexer Prozess
- ◆ Heute nur fragmenthaft verstanden
- ◆ Viele weitere Phänomene
  - Größenkonstanz
  - Annahme starrer Körper
  - Vektion
  - ...



## Annahme von starren Körpern



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

45

SS 2004

## Vektion

- ◆ Scheinbare Eigenbewegung
- ◆ Einflußgrößen
  - Größe des bewegten Feldes
  - Statischer Vordergrund als Referenzrahmen vs. bewegter Hintergrund
  - Stereo



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

46

SS 2004

1. Was sind **Besonderheiten** von Wahrnehmung? Warum ist Raumwahrnehmung für MR **wichtig**?
2. Welche **Erkenntnisse** und **Theorien** über Raumwahrnehmung gibt es?
3. Welche **Probleme** bzgl. Raumwahrnehmung können bei MR entstehen? Welche **Lösungen** gibt es?
4. Welche **Richtlinien** für MR bzgl. der Gestaltung einer guten Raumwahrnehmung gibt es?



## Realität vs. VR

### Realität

- ◆ Vielzahl von depth cues vorhanden
- ◆ Depth cues widersprechen sich nie
- ◆ Konsistenz der depth cues mit der Realität

### Virtuelle Realität

- ◆ Nur ein Teil der depth cues sind realisiert
- ◆ Depth cues können sich widersprechen
- ◆ Depth cues stimmen mit Realität nicht überein

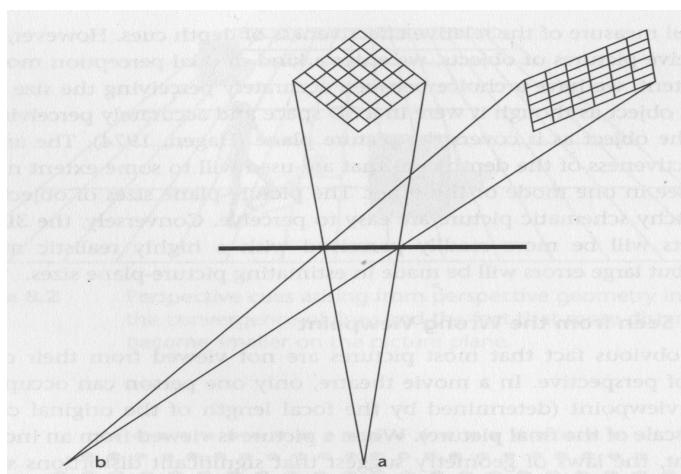


## Konsequenzen bei widersprüchlichen Depth Cues

- ◆ Unsicherheit, Unfähigkeit
- ◆ Ungenauigkeit, Fehleinschätzungen
- ◆ Unzufriedenheit
- ◆ Simulator Sickness



## Problem: Unterschied Betrachtungspunkt



## Lösung: Tracking des Viewpoints

- ◆ NICHT: Verzerrung – vis. System adaptiert
- ◆ Bewegungsparallaxe
- ◆ Hand-Auge-Koordination
- ◆ Präsenz (Kopfdrehen verändert Perspektive), stärkerer Effekt als Stereoskopie

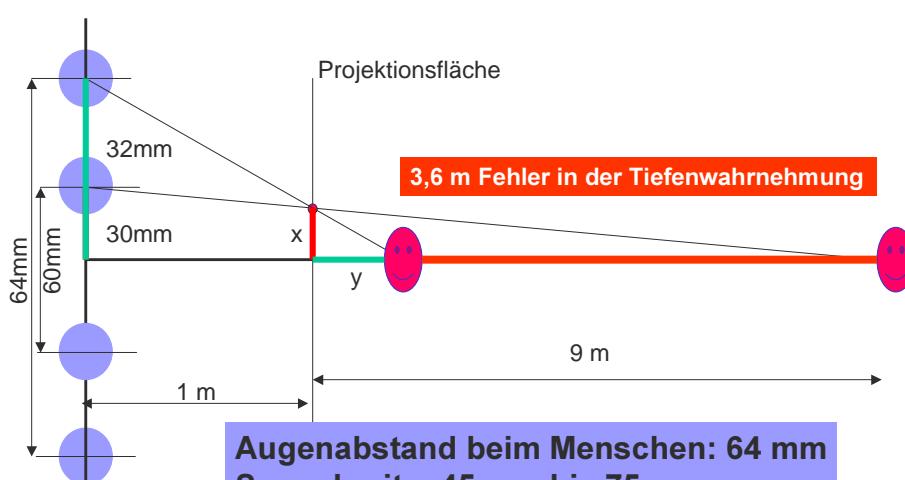


Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömer

51

SS 2004

## Problem: Fehler beim Pupillenabstand



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömer

52

SS 2004

## Lösung: Fehler beim Pupillenabstand

- ◆ Wird nicht als störend empfunden, rasche „Neukalibrierung“ des visuellen Systems
- ◆ Disparitäten / Parallaxe trägt nur zum relativen Abschätzung von Abständen bei
- ◆ Disparitäten alle 3 s um 30% relativ zueinander ändern – wird nicht bemerkt

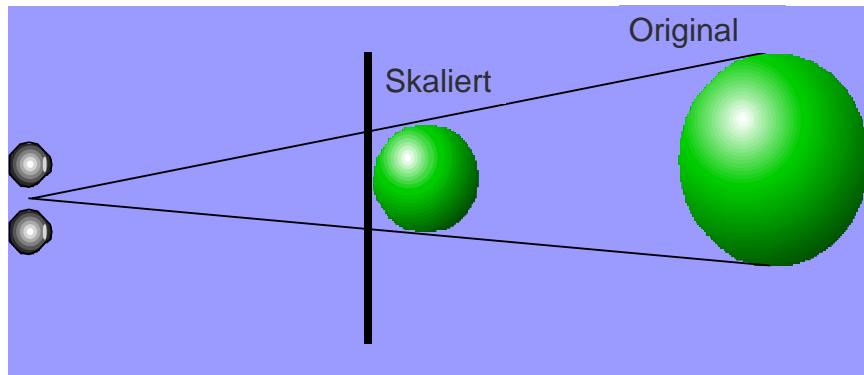


## Problem: Doppelbilder (Diplopia)

- ◆ Blur berechnen (Diplopia fällt dann weniger auf)
- ◆ Volumen beschränken (Faustregel: -25% bis +60% des Betrachter – Schirm Abstandes)
- ◆ Erreichen durch:
  - Zyklische Skalierung
  - Manipulation des Pupillenabstandes



## Lösung: Zyklopische Skalierung



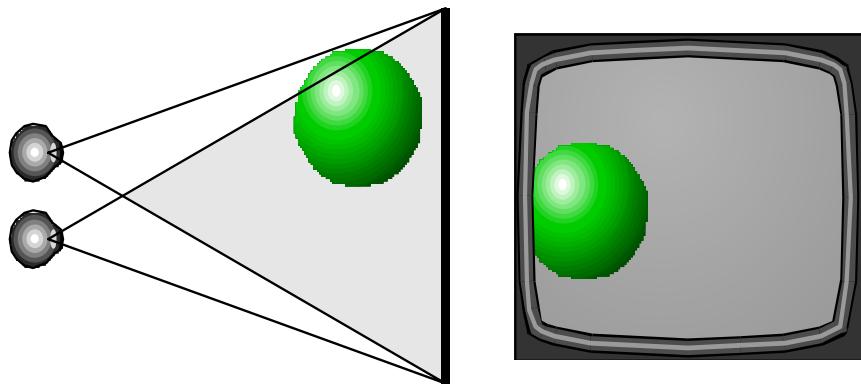
## Lösung: Virtual Eye Separation

- ◆ Augenabstand bewusst „falsch“ wählen
- ◆ VR-Szene dadurch „auseinanderziehen“ bzw. „stauchen“, um sie nahe an Bildschirm zu bringen und Distanzen zu verstärken
- ◆ Faustregel:

$$\text{Augenabstand} = 2,5 + 5 \cdot \left( \frac{\text{Abstand n\"ahester Punkt}}{\text{Abstand entferntester Punkt}} \right)^2$$



## Problem: Frame Cancellation



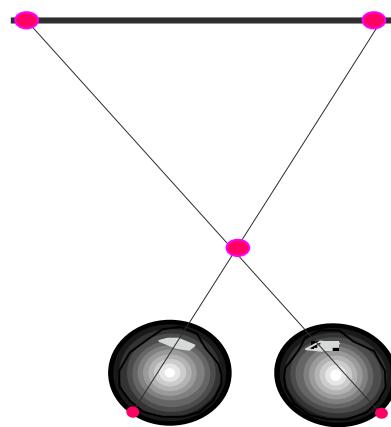
Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

57

SS 2004

## Vergence – Focus Problem

- ◆ Bei stereoskopischen Displays liegt alles in einer Ebene
- ◆ Scheinbare Position der Objekte „passt nicht“ zur Konvergenz
- ◆ „Neukalibrierung“ des visuellen Systems
- ◆ Mögliche Ursache von Augenstress



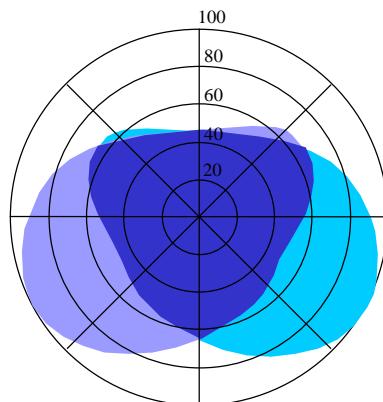
Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

58

SS 2004

## Problem: Eingeschränkter Field-of-View

- ◆ Display deckt nur kleinen Bereich ab
- ◆ Eigener Körper wird nicht gesehen
- ◆ Grundfläche wird nicht gesehen
- ◆ Himmel / Horizont wird nicht gesehen



## Weitere Probleme

- ◆ Akkommodation / Tiefenschärfe
  - Computergenerierte Bilder haben extreme Tiefenschärfe
  - Blur ist aufwändig in der Berechnung
  - Sehr schwierig herauszufinden, wo aktueller Fokuspunkt eines Menschen liegt
- ◆ Nicht alle Depth Cues können implementiert werden
- ◆ Interlacing: 1 Zeile Disparität
- ◆ Limitierte Tiefenauflösung
- ◆ ...



## Beispiel für MR



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

61

SS 2004

## Beispiel für MR

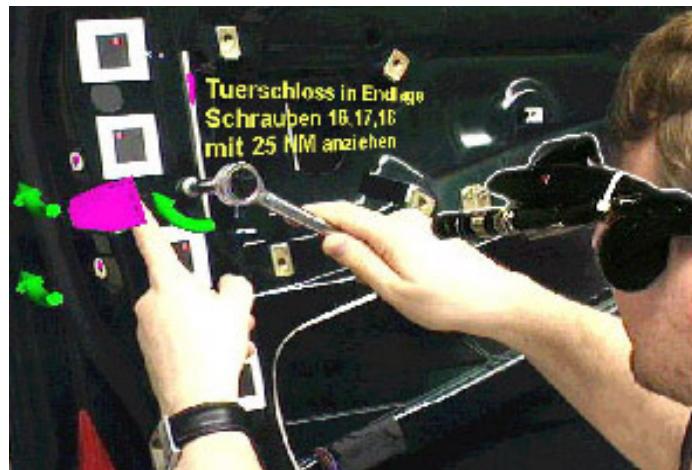


Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

62

SS 2004

## Kombination von virtuellen und realen Objekten



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

63

SS 2004

## Konsequenzen

Probleme in Mixed Reality Systemen:

- Fehlen von depth cues
- Keine vollständige Kontrolle über depth cues

führen zu

- Fehlern in der Tiefenwahrnehmung
- Inkonsistenzen und Störungen in der Wahrnehmung



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömker

64

SS 2004

## Beobachtung 1

- ◆ Ein Erhöhen der Anzahl von depth cues in einem MR System führt nur bis zu einer bestimmten Grenze zu einer Erhöhung der Genauigkeit der Wahrnehmung
- ◆ Darüberhinaus wird die Genauigkeit der Wahrnehmung nicht erhöht, sondern nur das Detailreichtum in der Wahrnehmung



## Beobachtung 2

Widersprüchliche depth cues werden aufgelöst:

1. Nur ein cue wird beachtet, der andere wird ignoriert
2. Die cues werden kombiniert (intermediate percept)
3. Ständig wechselnde Dominierung eines cues über den anderen
4. Dominanz eines cues hängt von Faktoren ab, die sich längerfristig ändern können



## Beispiel zu Beobachtung 2

- ◆ **Aufgabe:** ein reales Objekt soll mit einem virtuellen Objekt zur Deckung gebracht werden
- ◆ Erfolgsmaß: Genauigkeit und Konsistenz der Wahrnehmung
- ◆ Annahme: Wahrgenommene depth cues stehen in einem Konflikt



## Beispiel zu Beobachtung 2

- ◆ Fall 1:
  - Subjektives Empfinden der genauen Überlagerung von beiden Objekten
  - Konsistenz wird nur begrenzt durch die Fähigkeit des Display Systems



## Beispiel zur Beobachtung 2

- ◆ Fall 2:

- Offset zwischen beiden Objekten
- Offset ist konsistent (und bleibt bei mehreren Versuchen in etwa gleich)



## Beispiel zur Beobachtung 2

- ◆ Fall 3:

- Unsicherheit über die räumliche Anordnung
  - ◆ Subjektive Unmöglichkeit zu sagen, ob beide Objekte deckungsgleich sind
  - ◆ Eingehen eines Kompromisses („reales Objekt irgendwie in die Mitte setzen“)
- Ungenauigkeit
  - ◆ Subjektive Zufriedenheit trotz objektiver Ungenauigkeit („Objekte sind nah genug“)
  - ◆ Besonders häufig bei naiven Personen



## Beispiel zur Beobachtung 2

- ◆ Fall 4:

- Abhängigkeit der Positionierung von Faktoren
  - ◆ Konzentration
  - ◆ Erfahrung
  - ◆ Persönliche Präferenzen
  - ◆ ...
- Konsistenz in kurzen Zeiträumen gegeben, über längere Zeiträume (in denen sich obige Faktoren ändern) hinweg instabiles Verhalten



## Beobachtung 3

- ◆ Bei passiver Betrachtung von Bildern sind die durch fehlerbehaftete depth cues hervorgerufene Unsicherheiten und Ungenauigkeiten häufig vernachlässigbar
- ◆ Bei Interaktion kann es dagegen zu gravierenden Problemen kommen (z.B. gleichzeitige Manipulation von realen und virtuellen Objekten)



## Schlussfolgerungen

- ◆ Wahrnehmungsprozesse sind hochkomplex
- ◆ Untersuchung dieser Prozesse wichtig, um MR nach ergonomischen Kriterien realisieren zu können
- ◆ Richtige Gestaltung der Tiefenwahrnehmung ist von besonderer Wichtigkeit bei MR Systemen (beeinflusst auch die andere Wahrnehmungen, z.B. Farbwahrnehmung – Bsp. Wahrnehmung einer einheitlichen Farbe trotz Schattierung)



## Typische Fehler

- ◆ Kalibration Errors
- ◆ Technological Limitations
- ◆ Intrinsic Problems



## Calibration Errors

- ◆ Arten

- (echte) Calibration Errors
- Calibration Mismatches
- Interpupillary Distance Mismatches

- ◆ Lösung: Kalibrierung der MR Systeme



## Calibration Errors

- ◆ Beispiele für Folgen von calibration errors:

- Raum in der Nähe wird auseinandergezogen, Raum in der Tiefe schrumpft zusammen (kann auch gewünscht sein)
- → Objekte, die sich mit konstanter Geschwindigkeit auf den Betrachter zu bewegen, scheinen zu beschleunigen
- Performanz wird beeinträchtigt, z.B. Einschätzungen bei einem Fahrsimulator sind falsch



## Calibration Errors

- ◆ Beachte: Betrachter kann sich auf Fehler adaptieren, indem das menschliche Wahrnehmungssystem neu kalibriert wird
  - Kann sehr schnell und unbewusst geschehen
  - Problematisch bei MR bei ständigen Wechsel zwischen virtuellen und realen Umgebungen (ständige neue Adaption des Menschen kann zu Orientierungsproblemen, Performanzverlusten und Übelkeit führen)



## Calibration Mismatches

- ◆ Wenn mehrere Bilderzeugungssysteme genutzt werden, müssen diese gleich kalibriert werden
- ◆ Problematik hängt von der Art der Bilderzeugung ab:
  - Überlagerung von computergraphisch erzeugten Bildern mit Videobildern: unkritisch, da Kalibrierungsparameter abgeglichen werden können, gute relative Anordnung von Objekten aus dem Videobild mit Objekten aus der Computergraphik möglich
  - Überlagerung von computergenerierten Bildern mit realer Wahrnehmung (see-through AR) hochsensibel, da Tracking häufig inkorrekt oder verzögert (Mögliche Folgen: Koordinatensysteme sind nicht genau überlagert, Schwierigkeiten bei der Interaktion, z.B. Objekte anordnen, Objekte greifen)



## Interpupillary Distance Mismatches

- ◆ Pupillenabstand des Betrachters (IPD *interpupillary distance*) ist sehr wichtig für das Stereosehen, insbesondere für Tiefenschätzungen
- ◆ Kleine Meßfehler beim IPD haben große Auswirkungen
- ◆ IPD beim Menschen im Bereich 45mm bis 75mm



## Interpupillary Distance Mismatches

- ◆ werden alle Objekte von einem IPD Messfehler gleich betroffen, so bleibt die relative Lage von z.B. computergenerierten Objekten zu Objekten in einem Video erhalten
- ◆ IPD Mismatches sind besonders bei schnellen Bewegen (z.B. Ping Pong in MR spielen) kritisch (Differenz visueller mit kinästhetischer Wahrnehmung)



## Technological Limitations

- ◆ Static and Dynamic Registration Mismatches
- ◆ Restricted Field of View
- ◆ Limitations of Resolution / Image Clarity
- ◆ Luminance Limitations and Mismatches
- ◆ Contrast Mismatches
- ◆ Size and Distance Mismatches
- ◆ Limited Depth Resolution
- ◆ Vertical Alignment Mismatches
- ◆ Viewpoint Dependency Mismatches



## Static / Dynamic Registration Mismatch

- ◆ Problem: Koordinatensysteme (z.B. von virtueller Welt und realer Welt) müssen möglichst genau zur Deckung gebracht werden
- ◆ Deckungsgleichheit muss stets wieder neu hergestellt werden
- ◆ Bsp. Kopfdrehung
  - Koordinatensystem f. d. reale Welt ändert sich sofort
  - Koordinatensystem f.d. virtuelle Welt ändert sich mit Verzögerung (z.B. Tracking Delay)



## Static / Dynamic Registration Mismatch

- ◆ Verzögerungen können zu Differenzen in der visuellen Wahrnehmung mit anderen Wahrnehmungssystemen (z.B. vestibulare Wahrnehmung (Gleichgewichtssinn) führen)
- ◆ Folgen: Simulator Krankheit (z.B. Übelkeit, Kopfschmerz, Erschöpfung)



## Restricted Field of View

- ◆ Field of View ist meist technologisch bedingt eingeschränkt
- ◆ Folge: Teile der Welt können nicht wahrgenommen werden, z.B.
  - Eigener Körper
  - Fussboden
- ◆ Je größer Field of View, desto größer Genauigkeit und Vollständigkeit der Tiefenwahrnehmung



## Limitations of Resolution/Image Clarity

- ◆ Ortsfrequenz („Auflösung“) ist bei vielen Displaysystemen limitiert
- ◆ → insbesondere Texturen können nicht realitätsgerecht dargestellt werden → gemäß der texture perspective können Objekte als weiter entfernt erscheinen
- ◆ Antialiasing / Schärfe:
  - Real-Video ist (perfekt?) antialiased; geringere Auflösung
  - CG oft nicht (Überschärfe!)
  - wird ggf. als Differenz in der Akkommodation wahrgenommen → Video scheint weiter entfernt



## Limitations of Resolution/Image Clarity

- ◆ Insbesondere in AR
  - Graphische Objekte werden projiziert, reale Objekte sind vorhanden (Differenz Auflösung!)
  - Graphische Objekte erscheinen weiter entfernt, selbst wenn keine stereoskopische Disparität vorliegt



## Luminance Limitations and Mismatches

- ◆ Displays können Bandbreite und Intensität der Luminanz in der realen Welt nur annähernd nachbilden
- ◆ Wahrnehmung von Schärfe nimmt mit sinkender Luminanz ab
- ◆ Hohe Luminanz wirkt dramatischer, höheres Gefühl der Präsenz (daher besonders im Film wichtig, IMAX zeichnet sich durch hohe brigtness aus)



## Luminance Limitations and Mismatches

- ◆ In MR können Indoor Szenen mit Blick auf Luminanz besser dargestellt werden als Outdoor Szenen
- ◆ Bei MR Situationen, in denen das direkte Sehen der Welt integriert ist, haben reale Objekte höhere Luminanzwerte als virtuell erzeugte; letztere erscheinen weiter entfernt



## Contrast Mismatches

- ◆ Kontrast: Differenz der Luminanz zweier benachbarter Punkte
- ◆ Kontrastwerte wie sie bei der Wahrnehmung der realen Welt möglich sind (insbesondere bei Sonnenlicht), sind bei Displaysystemen nicht möglich
- ◆ Schwacher Kontrast kann als aerial perspective fehlinterpretiert werden
- ◆ Kontrast kann durch Viewpointänderung beeinflusst werden



## Size / Distance Mismatches

- ◆ Falsche Depth Cues können bei Video-Objekten, realen Objekten und graphischen Objekten, die eigentlich als identisch modelliert wurden, zu einer unterschiedlichen Größenwahrnehmung führen
- ◆ Fehlerbehaftete Akkomodation (z.B. weil Bild unscharf) kann zu Unsicherheiten hinsichtlich Größe vs. Entfernung des Objektes führen
- ◆ Fehler abhängig, ob Beobachter Objekt kennt



## Limited Depth Resolution

- ◆ Bei Stereodarstellung nicht nur Auflösung in x und y-Richtung, sondern auch in z-Richtung
- ◆ Übliches Problem der Diskretisierung in Pixel auch für die Tiefe
- ◆ Besonders starke Fehler im Raum hinter dem Display zu erwarten



## Vertical Alignment Mismatches

- ◆ Bei Stereodarstellungen müssen linkes und rechtes Bild richtig ausgerichtet werden
- ◆ Bei interlaced video: ein Pixel vertical disparity
- ◆ Fehler wird von den meisten Individuen nicht bemerkt (visuelles System kompensiert)
- ◆ Bei Anordnungsaufgaben gibt es eine „zone of uncertainty“



## **Viewpoint Dependency Mismatches**

- ◆ Erfassung des Viewpoint des Betrachters ist in MR Anwendungen wichtig
- ◆ Messungenauigkeiten und systematische Messfehler treten hier auf (multiple Ursachen)
- ◆ Verzögerung bei der Erkennung einer Viewpointänderung



## **Intrinsic Errors**

- ◆ Interposition Failures
- ◆ Expanded Depth of Field
- ◆ Absence of Accommodation
- ◆ Accommodation-Vergence Conflict
- ◆ Accommodation Mismatch
- ◆ Absence of Shadow Cues



## Interposition Failures

- ◆ Interposition depth cues dominieren über binocular depth cues
- ◆ Allerdings: in MR häufig nicht Modell der ganzen Welt vorhanden, daher: Verdeckungen können nicht immer richtig berechnet werden
- ◆ Problem in MR: virtuelle Objekte müssen hinter realen Objekten verschwinden
  - Doppelbilder erscheinen



## Interposition Failures

- Rechtes und linkes Bild können nicht zur Deckung gebracht werden
- Bsp. Pfeil als Pointerrepräsentation der trotz zubewegen auf ein Objekt nicht plötzlich verschwindet (keine Interposition)
- Falls Objekte glatte, einheitliche Oberfläche haben, treten Doppelbilder langsamer auf, dafür wird Oberfläche anders wahrgenommen (u.U. als transparent)



## Interposition Failures

- Haben virtuelle Objekte viele Merkmale, eigene Beleuchtung und Bewegung, dann können auch reale Objekte als Doppelbild wahrgenommen werden
- ◆ Computergenerierte Bilder werden als transparent wahrgenommen, wireframe Darstellung kann hilfreich sein
- ◆ Veränderung der Tiefenwahrnehmung können auftreten (z.B. Objekt springt nach vorn), um Interposition konsistent zu halten



## Expanded Depth of Field

- ◆ Menschlicher Benutzer hat ein beschränktes „Depth of Field“
- ◆ Stereo-Displays haben ein unnatürliches grosses Depth of Field
- ◆ Wirkt für den Benutzer störend
- ◆ Für Standbilder können software-technische Maßnahmen das Depth of Field verkleinern



## Absence of Accommodation

- ◆ Beim Blick durch optische Systeme (Teleskope, See-Through Glasses, Kamerasucher) besteht eine Tendenz, Objekte als zu klein wahrzunehmen
- ◆ Hauptproblem: feste, falsche Akkomodation
- ◆ Änderung Abstand des Benutzers von dem Display hat andere Auswirkungen als die rein geometrische Änderung erwarten lässt
- ◆ Effekt ist sehr kontextabhängig

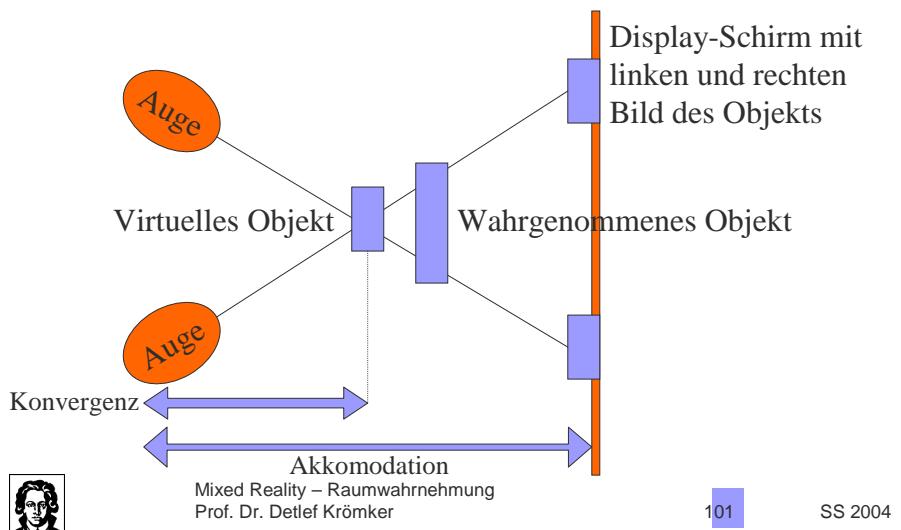


## Accommodation – Vergence Conflict

- ◆ Bei stereoskopischen Displays fokussiert der Betrachter auf die Ebene des Displays, gleichgültig wie weit entfernt ein darauf gezeigtes Objekt entfernt sein soll
- ◆ Vermutung: Konflikt zwischen Akkomodation und Konvergenz ist Ursache für Ermüdung der Augen



## Accommodation – Vergence Conflict



## Accommodation Mismatch

- ◆ Unterschiedliche Akkommodation:
  - Virtuelle Objekte: Distanz Betrachter – Display
  - Reale Objekte: Distanz Betrachter – Objekt
- ◆ Bringt ein Betrachter ein reales Objekt auf gleiche Höhe mit dem virtuellen, so gibt es zwei unterschiedliche Akkommodationen für die Objekte (trotz gleicher Konvergenz)
- ◆ Betrachter fehlinterpretiert: Objekte können nicht auf gleicher Höhe sein



## Absence of Shadow Cues

- ◆ Schwierig in MR zu realisieren: Virtuelle Gegenstände werfen Schatten auf reale Objekte
- ◆ Shadow depth cues fehlen daher vollständig oder sind nur für einen Teil der Objekte vorhanden
- ◆ Störung der Tiefenwahrnehmung



## Zusammenfassung: Probleme bei MR

- ◆ Unterschiedliche Auflösung (Fehlinterpretation: Atmosphärische Tiefe)
- ◆ Luminanz und Kontrast Unterschiede
- ◆ Ständige „Neukalibrierung“ durch Wechsel von Akkommodation und Konvergenz
- ◆ Hohe Tiefenschärfe in dem computergenerierten Bildteil (mögliche Folge: Diplopia)
- ◆ Einige Depth Cues können schwer realisiert werden (z.B. Verdeckung, Blur, Schattenwurf)



1. Was sind **Besonderheiten** von Wahrnehmung? Warum ist Raumwahrnehmung für MR **wichtig**?
2. Welche **Erkenntnisse** und **Theorien** über Raumwahrnehmung gibt es?
3. Welche **Probleme** bzgl. Raumwahrnehmung können bei MR entstehen? Welche **Lösungen** gibt es?
4. Welche **Richtlinien** für MR bzgl. der Gestaltung einer guten Raumwahrnehmung gibt es?

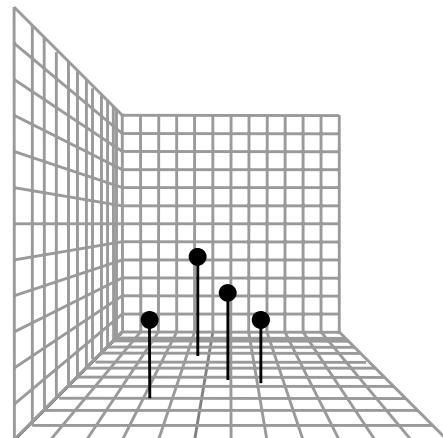


## Einsatz von Depth Cues

- ◆ Versuchen, möglichst viele Depth Cues einzusetzen
- ◆ Depth Cues sind nicht redundant
- ◆ Aufgabe beachten (z.B. Feinmotorische Aufgaben vs. Entfernungseinschätzung)
- ◆ Künstliche Depth Cues verwenden



## Künstliche Depth Cues

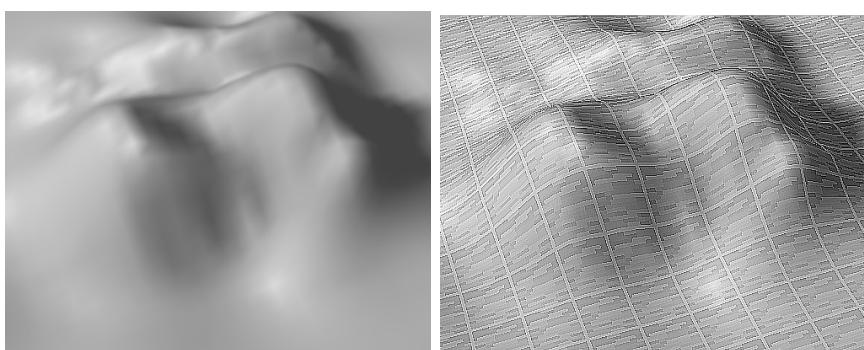


Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömer

107

SS 2004

## Künstliche Depth Cues



Mixed Reality – Raumwahrnehmung  
Prof. Dr. Detlef Krömer

108

SS 2004

## Richtlinien für Stereodisplays

- ◆ Beachte Wirkungsbereich
  - Akkommodation nur bis 3m wirksam
  - Konvergenz nur bis 6m wirksam
  - Disparität bis max. 30 m wahrnehmbar
  - Übliche Grenze für Disparität: 10 m
- ◆ Einsatz ist sinnvoll für
  - Szenen in Armreichweite
  - Greifen von Objekten
- ◆ Wichtigkeit von Stereo nicht überschätzen
  - Hohe Framerate und hoher LOD wichtiger für Raumwahrnehmung als Stereo
  - Grosses Gesichtsfeld wichtig für Immersion / Präsenz (mehr als Stereo)
- ◆ Weitere Depth Cues anbieten (Stereoblinde Personen!)



## Weitere Richtlinien

- Schatten über Grundebene verwenden
- Schatten muss nicht korrekt sein
- Schatten sollte fuzzy sein (wird eher als Schatten interpretiert)
- Füge Beleuchtung von oben ein
- Verbinde nicht Bewegung und Formveränderung
- Vermeide Bewegung ohne Referenzcues
- Für Wirksamkeit dynamischer Depth Cues die Kontrolle des Augpunktes beim Betrachter lassen
- Füge Texturen ein statt einheitlicher Oberfläche
- Verzögerungsfreiheit ist wichtig für Adaption des Benutzers (z.B. bei Auge-Hand Tasks)



## Zusammenfassung

1. Was sind **Besonderheiten** von Wahrnehmung? Warum ist Raumwahrnehmung für MR **wichtig**?
2. Welche **Erkenntnisse** und **Theorien** über Raumwahrnehmung gibt es?
3. Welche **Probleme** bzgl. Raumwahrnehmung können bei MR entstehen? Welche **Lösungen** gibt es?
4. Welche **Richtlinien** für MR bzgl. der Gestaltung einer guten Raumwahrnehmung gibt es?



## Vokabeln

Atmosphärische Tiefe	Panum's Fusional Area
Interposition	Depth Cue
Blur	Diplopia
Simulator Sickness	Zyklopische Skalierung
Tiefenschärfe	Frame Cancellation
Vektion	Konvergenz
Priming	Virtual Eye Separation
Akkommodation	Bewegungsparallaxe
Retinale Disparität	Kinetic Depth Effect
	Mixed Reality
	Propriozeptives System
	Binokularität
	Linearperspektive



## Zusammenfassung

- ◆ Kenntnis, wie Raumwahrnehmung funktioniert ist wichtig
  - Probleme erkennen
  - Lösungen finden
- ◆ Kennen keine Theorie, bis heute sind nur Fragmente verstanden
- ◆ Prototyping und User Tests sind wichtig

