



Virtual Reality

Sommer 2012

2 Menschliche Sinneswahrnehmung

Versionsdatum: 30. März 2012



Prof. Dr. Andreas Kolb
Computer Graphics & Multimedia Systems

-Folie 2-1-

Virtual Reality

2 Menschliche Sinneswahrnehmung ...



Schwerpunkte:

Visuelle Wahrnehmung:

- Auge ist ein sehr hochausgebildetes Organ des Menschen
- Wahrnehmung findet im Gehirn statt

Akustische Wahrnehmung:

- Ohr wesentlich ungenauer als Auge
- wesentlicher Teil zur Einbettung des Menschen in virtuelle Welt

Körperwahrnehmung:

- wichtig für spezifische Interaktionsformen, insb. taktiles Feedback



Prof. Dr. Andreas Kolb
Computer Graphics & Multimedia Systems

-Folie 2-2-

Virtual Reality

2.1 Visuelle Wahrnehmung



Komponenten der visuellen Wahrnehmung

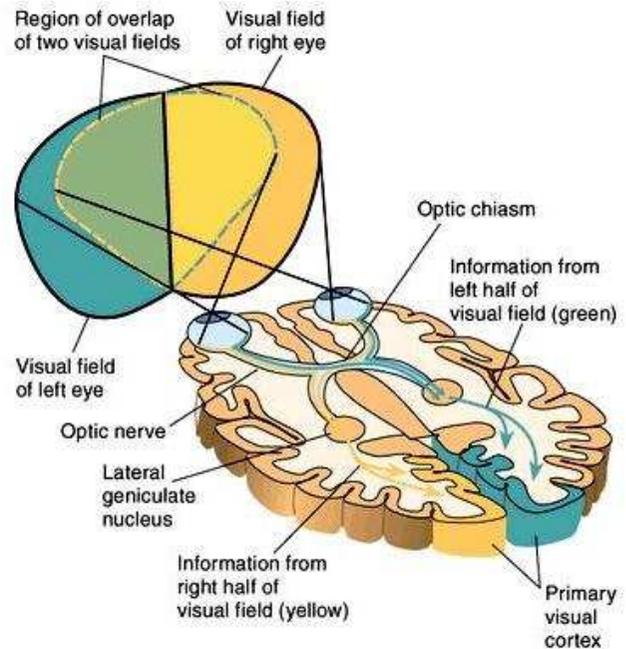
Auge: Im Prinzip ein Bildsensor

Sehnerv: Leiten Informationen zum *Chiasma Opticum*

Chiasma Opticum: Auftrennung in linkes/rechtes Sichtfeld für jedes Auge

Lateral Geniculate Nucleus: Zusammenführung der beiden linken/rechten Sichtfelder

Sehrinde/Visual Cortex: Prozeß des Sehen/der Wahrnehmung



2.1.1 Das menschliche Auge



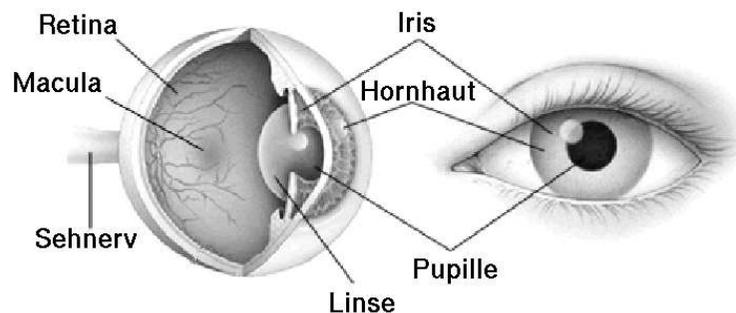
Menschliches Auge

- sehr hoch ausgebildetes Organ des Menschen
- Einschränkung auf VR-Belange

Linse: Konzentriert einfallendes Licht

Pupille: Kontrolliert Lichteinfall und Tiefenschärfe

Retina: Lichtempfindliche Zellen (Photorezeptoren)



2.1.1 Das menschliche Auge ...



Pupille

Kontrolliert Lichteinfall und Tiefenschärfe

- Lichtmenge: Anpassung an die Lichtmenge (i.w. durch Retina)
- Tiefenschärfe: Größere Tiefenschärfe, je kleiner die Pupille
- Lichteinfall: Konzentration auf Macula durch Linse und Hornhaut

Retina

Stäbchen: Wahrnehmung der Luminanz, gleichmäßig verteilt, geringe Trennschärfe, hohe Bandbreite („Nachtsicht“)

Zapfen: Wahrnehmung der Chrominanz, in Macula konzentriert, hohe Trennschärfe, geringe Bandbreite („Tagsicht“)

Farbsehen durch drei verschiedene Zapfentypen



2.1.1 Das menschliche Auge ...



Eigenschaften von Stäbchen und Zapfen

Eigenschaft	Stäbchen	Zapfen
Trennschärfe	gering	groß
Wahrnehmung	Helligkeit	Farbe
Verteilung auf Retina	gleichm. außerhalb Macula	konzentriert in Macula
Anpassung an Helligkeit	langsam (Std.)	schnell (Min.)
„neues Bild“	60ms	250ms
Dynamik	groß (Tag und Nacht)	gering (nur Tag)

Dynamik: Umfang des erfassbaren Intensitätsbereichs

Grundhelligkeit: Anpassung im Dunkeln langsamer als im Hellen

Bewegung i.w. durch Stäbchen ⇒ Empfindlichkeit gleichmässig über Retina verteilt

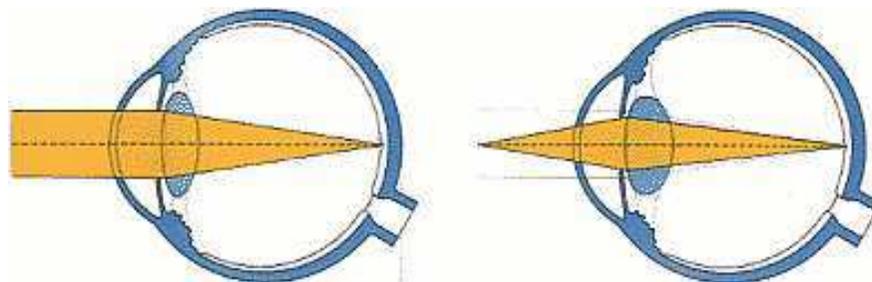


2.1.1 Das menschliche Auge ...



Akkomodation

- Einstellung der Brennweite durch Anpassen der Linse
- Auge oszilliert Anpassung mit ca. 2 Hz. zur ständigen Nachjustierung
- Unschärfe dient der Ausfilterung von unwichtigen Objekte.



2.1.2 Räumliche Wahrnehmung



Mono-Okulare Tiefenwahrnehmung

Bereits mit einem Auge kann Gehirn Entfernungsdaten ermitteln

Bewegungs-Parallaxe:

- relative Bewegung zwischen Beobachter und fokussiertem Gegenstand
- relative Bewegung der Oberflächenpunkte zueinander

Überlappung: Relative Tiefenabstände zwischen Objekten.

Perspektive: Perspektivische Verzerrung paralleler Geraden

Größenrelation: Abschätzen räumlicher Entfernung mit Hilfe von Erfahrungswerten über Objektgröße

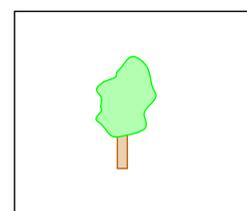
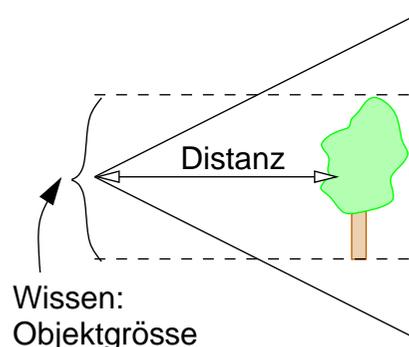


Bild (Retina)



2.1.2 Räumliche Wahrnehmung ...



Bi-Okular Tiefenwahrnehmung

Konvergenz: Ausrichtung der optischen Achsen auf fokussierten Punkt

Fokusebene: Punkte, die gleichweit entfernt sind, wie der fokussierte Punkt

Punkt der Fokusebene projiziert auf *korrespondierende Punkte* der Maculas

Stereopsie/Disparität:

- Punkte vor/hinter Fokusebene projizieren nicht auf korrespondierende Punkte
⇒ Punkte erscheinen unscharf
- *Disparität:* Unschärfemaß auf der Retina ($\hat{=}$ Abstand des projizierten Punktes zum korrespondierenden Punkt)
- *Parallaxe:* Unschärfemaß auf der Fokusebene ($\hat{=}$ Abstand des auf die Fokusebene projizierten Punktes bzgl. beider optischen Zentren)



2.1.2 Räumliche Wahrnehmung ...

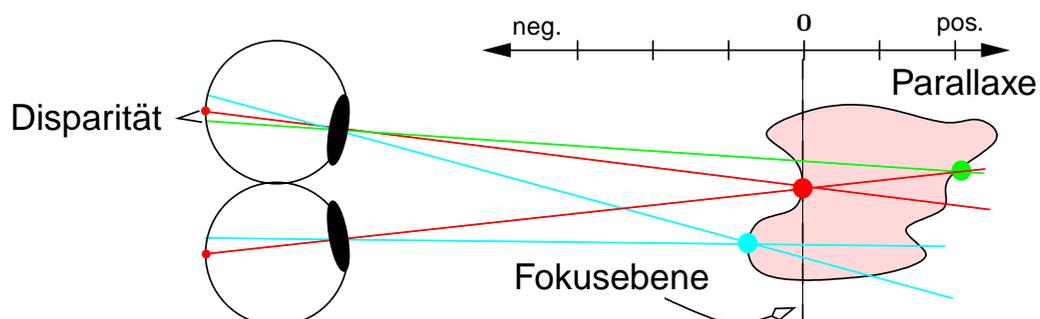


Parallaxe

Punkte vor der Fokusebene haben eine negative Parallaxe
(Projektionsstrahlen kreuzen sich)

Punkte hinter der Fokusebene haben eine positive Parallaxe

Punkte auf der Fokusebene haben Null-Parallaxe



2.1.2 Räumliche Wahrnehmung ...



Sichtfeld

Horizontales Sichtfeld: Ein Auge 140° , beide Augen 180°

Horizontaler Überschneidungsbereich ca. 100°

Vertikales Sichtfeld: 90°

Fragen der Bildgenerierung in VR

Tiefenunschärfe: Erzeugung von Tiefe durch Unschärfe? \Rightarrow Verfolgung der Blickrichtung & Rechenaufwand!

Trennschärfe: Auflösung der Bilder entsprechend der Trennschärfe des Auges? \Rightarrow Verfolgung der exakten Blickrichtung/Auges des Beobachters.

Anpassungsträgheit: Helle/dunkle Szenen mit entsprechender fps?

Akkommodation/Disparität: Beim Menschen ist Akkommodation und Konvergenz (und damit die Disparität) immer gekoppelt!

Displaysystem: Akkommodation immer auf Projektionsebene \implies

Diskrepanz zwischen Akkommodation und Disparität!



2.2 Akustische Wahrnehmung



Generelles

Schallausbreitung:

- abhängig vom Medium (d.h. von Materialdichte und Temperatur)
- menschliches Gehör auf die Ausbreitung in Luft ausgelegt
 \Rightarrow Ortung von Schallquellen z.B. unter Wasser kaum/nicht möglich

Wahrnehmung:

- Junger Mensch: Wahrnehmung von Frequenzen zwischen 20 Hz und 20 kHz
- Im Alter: Schwäche bei hohen Frequenzen



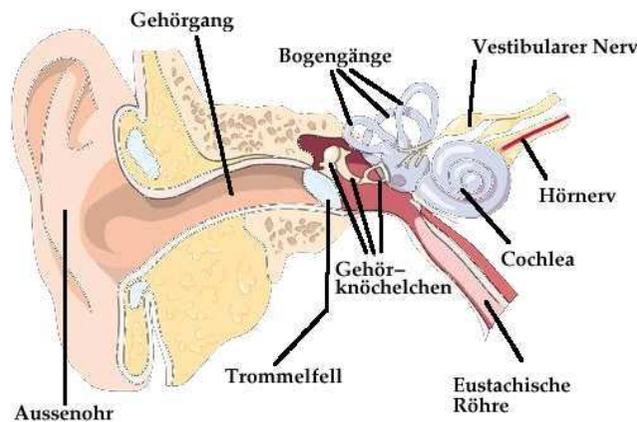


Aufbau des Ohres

Aussenohr: Ohrmuschel, äußerer Gehörgang & Trommelfell: Schallwellen sammeln & filtern

Mittelohr: Paukenhöhle und Gehörknöchelchen: Schallwellen weitergeleiten und verstärken

Innenohr: Cochlea (Schnecke), drei Bogengänge und Gehörnerven: Umwandlung von Schallwellen in elektrische Signale



2.2.1 Das Ohr ...



Schallaufnahme

Cochlea besteht aus drei Bogengängen, diese ihrerseits aus gewundenen Röhren

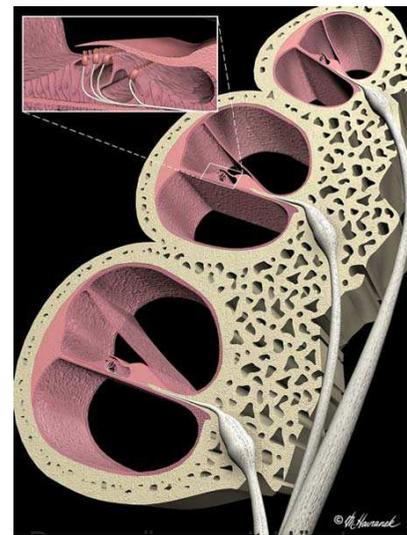
- zwei Membranen (*Reissner Membrane* und *Basilarmembrane*) trennen die Röhren

Basilare Membrane: Schallwellen versetzen feine, steife Härchen in Schwingung (stehende Wellen)

Hohe Frequenzen bilden kurze stehende Wellen im Eingangsbereich der Cochlea

Niedrigere Frequenzen bilden längere stehende Wellen im mittleren/hinteren Teil der Cochlea

Lautstärke durch Stärke der Erregung der Härchen



Bogengänge mit Härchen



2.2.2 Lokalisierung von Schallquellen



Phasenverschiebung (*interaural time differences, ITD*): Laufzeitdifferenz von Schallquelle zu Ohren

Intensitätsunterschied (*interaural level differences, ILD*) , zusätzlich Verschattung durch den Kopf

Head-Related Transfer Function (HRTF): Aussenohr filtert/verfälschen einfallende Schallwellen abhängig von:

- Person (Schulter, Kopfform etc.)
- Frequenz
- Stärke
- Einfallrichtung

Gehirn verwendet Filterung zur Ortung von Schallquellen.

Auflösung der akustischen Wahrnehmung

- Akustische Wahrnehmung wesentlich schlechter aufgelöst als optische W.
- Horizontal: Vorne, Seite und Hinten ca. 2° , 10° bzw. 6°
- Vertikal: Vorne und Oben ca. 9° bzw. 22°



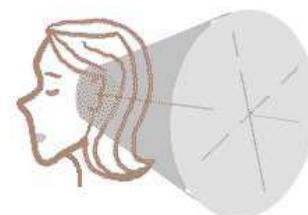
2.2.2 Lokalisierung von Schallquellen ...



Cone of Confusion

Richtungswahrnehmung durch Phasenverschiebung und Einfallrichtung

Richtungen auf Konus um Mittelachse des Ohres sind kaum unterscheidbar



Cone of confusion

Problem: Schallgenerierung

Schallerzeugung, so dass korrektes räumliches Klangempfinden entsteht:

Technik: Lautsprecher (Multi-User) oder Kopfhörer (Single-User)

Räumliche Anpassung: Bewegung & Navigation erfordern Anpassung der Schallerzeugung (Modellierung der HRTF)



Wahrnehmungsarten

Summe aller Wahrnehmungen ergibt das Gesamtbild der Einbettung unseres Körpers in seine Umwelt

Tiefenwahrnehmung: Zustand der Gelenke, Knochen, Muskeln und des anderen Gewebes

„Bauch“-Wahrnehmung (Organe im Bauch- und Brustbereich):
Wahrnehmung von Schmerz und Unwohlsein

Propriozeptive Wahrnehmung: Wahrnehmung des statischen und dynamischen Körperzustandes (Körperlage und -position bzw. Beschleunigung).

Wahrnehmung erfolgt über das *vestibuläre System* im Ohr.

Exterozeptive Wahrnehmung: Berührung auf der Körperoberfläche (Haut und obere Gewebeschichten)

Wahrnehmung erfolgt über die *takilen Sensoren*.



2.3 Körperwahrnehmung ...



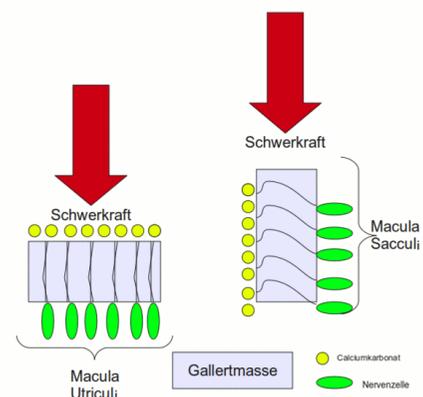
Vestibuläre Sensoren im Ohr

Drei orthogonale Bogengänge: Härchen in der ampulla (Erweiterung der Bogengänge) erfassen Bewegung einer Flüssigkeit ⇒ Drehbeschleunigung des Kopfes

Sacculus und Utriculus: Ebenfalls orthogonale, aber lineare Anordnung ⇒ lineare Beschleunigung des Kopfes.

Statische Kopflage: Ergibt sich aus Wirkung der Anziehungskraft auf Sacculus und Utriculus.

Beachte: Propriozeptive und visuelle Wahrnehmung sind „hart verdrahtet“, d.h. bei nicht-synchronen Eindrücken entsteht ein Unwohlsein (*simulator sickness*). Der Mensch passt sich in gewissem Umfang an neue Kombination an (Problem beim Austritt aus einer Virtueller Umgebung).



Urheber: TorbenMaMe



2.3 Körperwahrnehmung ...



Taktile Sensoren

Berührungen, Druck und Vibration werden über eine Reihe von Sensoren wahrgenommen. Die taktilen Sensoren unterscheiden sich in folgenden Funktionen:

Anpassung: Schnelle bzw. langsame Anpassung an Stimulanz

Lokalisierung: Ortung der Stimulanz

Feinheit: Wahrnehmung feine Oberflächenänderungen („Textur“)

Form: Erkennen von Druck (Tiefe), Berührung (Oberfläche) bzw. Vibration

Bemerkung:

- Verteilung der Sensoren (und damit der Fähigkeiten) nicht gleichmässig
- Körperliche Wahrnehmungen können in ihrer Komplexität und Vielfalt auch auf absehbare Zukunft nur sehr eingeschränkt simuliert werden.



2.3 Körperwahrnehmung ...



Problem: Körperwahrnehmung

Beispielhafte Problem bei der Erzeugung taktiler, vestibulärer und Tiefeneindrücke:

Tiefenwahrnehmung/taktile Sensorik: Bei realen Objekten gekoppelt („Glas in der Hand“); in VR nur schwer umsetzbar.

Schwerkraft/Beschleunigung: Schwerkraft zur Simulation von Beschleunigung (z.B. Flugsimulator auf Plattform) unzureichend, da nur in Richtung änderbar; Vestibuläres System erkennt dies

Synchronisation: Die Simulation von visuellen und vestibulären Eindrücken (z.B. Bewegungsplattformen) muß optimal synchronisiert werden.

