



# 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

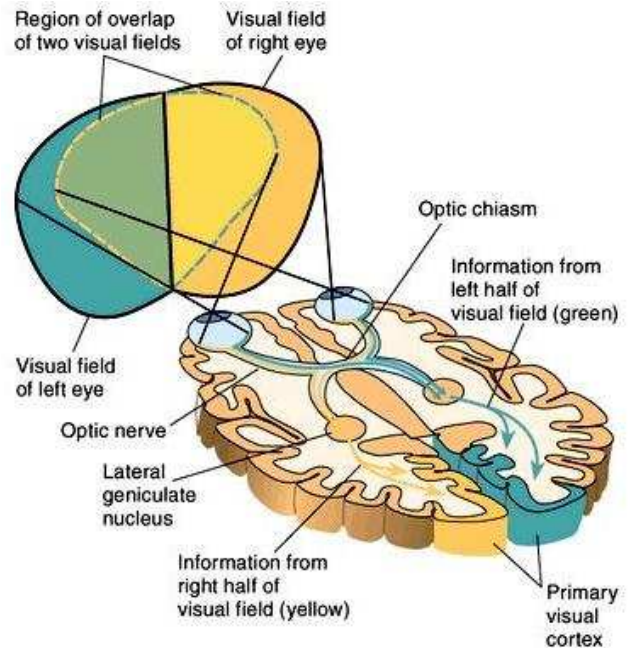
**Auge:** Im Prinzip ein Bildsensor

**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



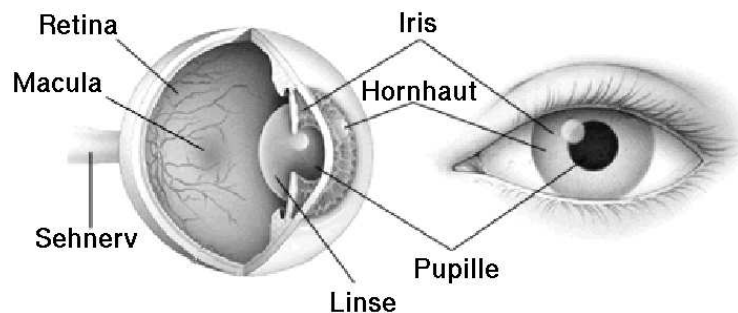
#### Menschliches Auge

- 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

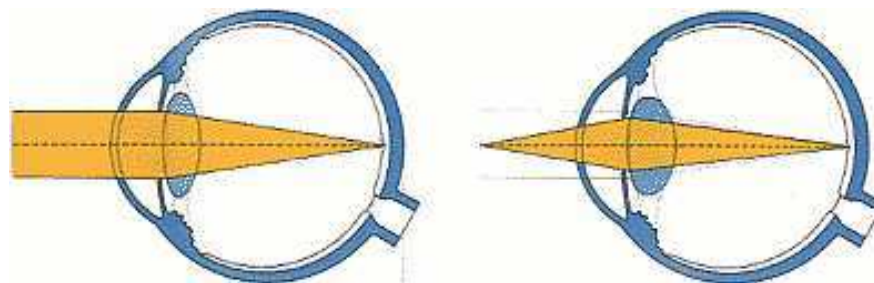


## 2.1.1 Das menschliche Auge ...



### 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

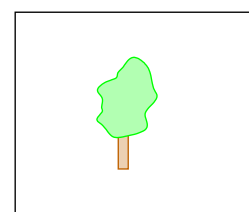
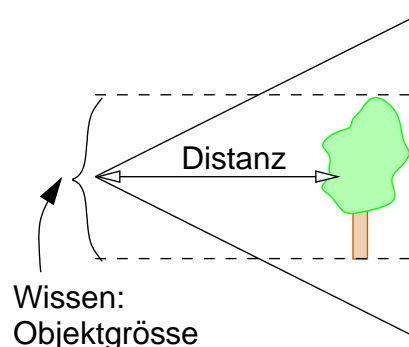


Bild (Retina)



## 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 ...

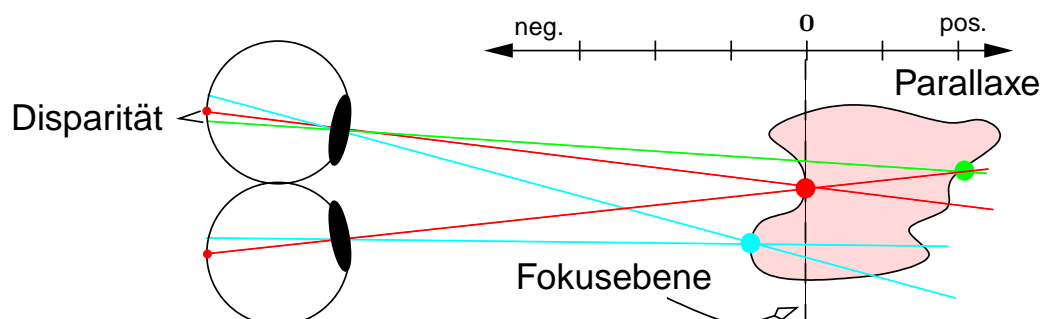


### Parallaxe

**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? ⇒ Verfolgung der Blickrichtung & Rechenaufwand!

**Trennschärfe:** Auflösung der Bilder entsprechend der Trennschärfe des Auges? ⇒ 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 ⇒  
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  
⇒ 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



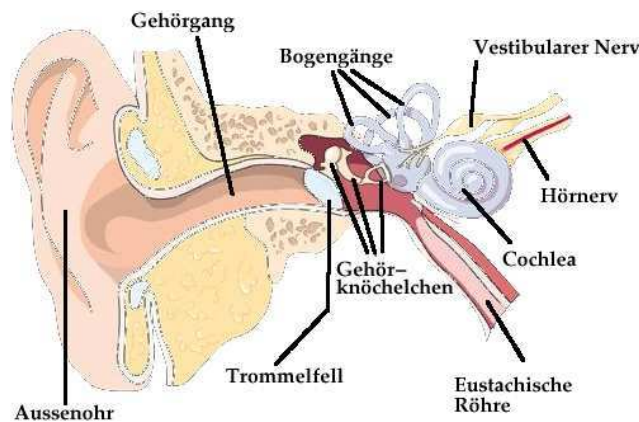


### Aufbau des Ohres

**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

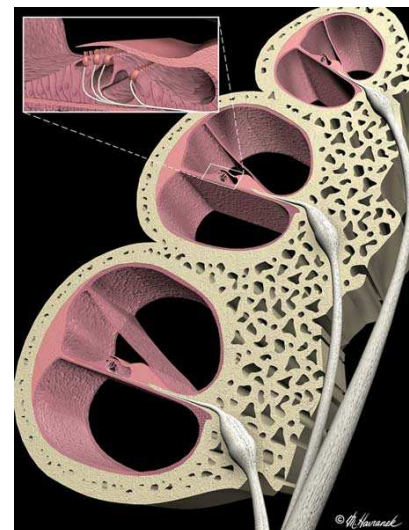
- zwei Membranen (*Reissner Membrane* und *Basilarmembrane*) trennen die Röhren

**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.  $2^\circ$ ,  $10^\circ$  bzw.  $6^\circ$
- Vertikal: Vorne und Oben ca.  $9^\circ$  bzw.  $22^\circ$



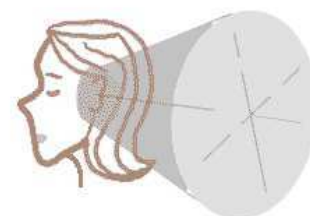
## 2.2.2 Lokalisierung von Schallquellen ...



### 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 ...



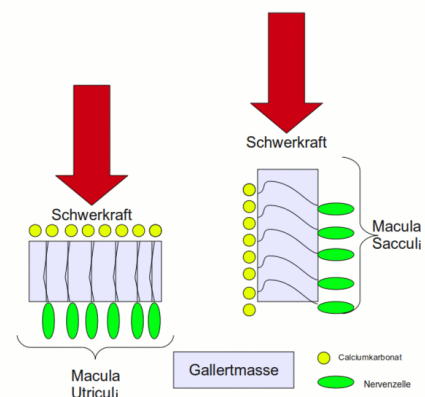
### Vestibuläre Sensoren im Ohr

**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.

