

# Multisensory Processing

## Einführung

- Unsere Wahrnehmung entsteht im Gehirn und ist somit nur eine Projektion der Realität
  - o Bildnis: Person im dunklen Raum, die nur die Schatten von Teilen der „Außenwelt“ sieht und diese als Realitäten wahrnimmt, obwohl sie von der wahren Realität abweicht
- Für die Wahrnehmung eines Stimulus werden Informationen aus allen Modalitäten (Sinnesorgane) zusammengefügt. Dabei verarbeiten die unterschiedlichen Modalitäten allerdings unterschiedliche Merkmale des Stimulus. Nur die Verortung und das Timing eines Stimulus werden von allen Modalitäten erfasst.
  - o Visuelle Wahrnehmung
    - Form
    - Farbe
    - Lichtintensität
  - o Somatosensorische Wahrnehmung (Haptik)
    - Form und Textur
    - Temperatur
    - Druck
  - o Auditorische Wahrnehmung
    - Tonhöhe
    - Lautstärke
- Zentralen Fragen
  - o Was sind die Vorteile von mehreren Modalitäten?
    - Reduzierte sensorische Unsicherheit
    - Verringerte Reaktionszeit (z.B. verringert sich die Reaktionszeit wenn man einem Ton einen Lichtblitz hinzufügt)
    - Möglichkeit einer erhöhten Akkuratheit, weil unzureichende Informationen aus einer Modalität mithilfe einer anderen kompensiert/rekalibriert werden können (z.B. wenn man erkältet ist und nicht mehr riechen kann, verlässt man sich mehr auf die anderen Sinne)
  - o „Binding Problem“: wie und/oder wo integriert das Gehirn die unterschiedlichen Informationsquellen, um eine einheitliche und konsistente Repräsentation der Realität zu konstruieren?

## Beispiele von multisensorischer Interaktion

- **McGurk-Effekt:** bezeichnet die Beeinflussung der Wahrnehmung eines akustischen Sprachsignals durch die gleichzeitige Beobachtung einer Lippenbewegung

- Beispiel: akustisches Signal ist immer „ba ba ba“; visuelles Signal (Lippenbewegung) ist „ba va tha da“ – bei geschlossenen Augen hört man das Signal korrekt, bei Beobachtung der Lippenbewegung hört ein Großteil der Menschen das „ba va tha da“
- **Sound Induced Flash:** wenn ein einzelner Flash (visuelles Reiz) von zwei Geräuschen begleitet wird, werden oft zwei Flashes wahrgenommen
  - Das auditorische System ist schneller als das visuelle, deshalb ist der auditorische Reiz scheinbar dominanter
- **Rubber Hand:** bezeichnet die Illusion, durch eine Gummihand als seine eigene wahrzunehmen
  - Die Hand der VPn ist abgedeckt, direkt darüber befindet sich eine Gummihand
  - Beide werden gleichzeitig stimuliert (auf gleiche Weise gestreichelt)
  - Die VPn nimmt die daraufhin die Gummihand als seine eigene wahr (zieht Hand bei Angriff mit Hammer auf Gumiihand zurück)
    - Voraussetzung dafür ist die Kongruenz aller Informationen (visuell, taktil und propriozeptiv)
- **Ventriloquism-Effekt:** die wahrgenommene Position eines auditorischen Reizes wird durch einen visuellen Stimulus verzerrt
  - Sound-Lokalisations-Aufgabe vor und während Darbietung einer audio-visuellen Diskrepanz (d.h. visueller und auditorischer Reiz werden an unterschiedlichen Positionen dargeboten; im Beispiel liegt der Ton immer mittig, der visuelle Reiz im ersten Durchlauf auch mittig und im zweiten Durchgang 2 Grad weiter rechts)
    - die VPn lokalisieren den Ton im zweiten Durchgang häufiger rechts
  - **Crossmodale Rekalibrierung / ventriloquism aftereffect**
    - Das auditorische System passt sich der Veränderung durch den Ventriloquism-Effekt an (d.h. es wird dadurch „rekalibriert“): die Wahrnehmung der auditorischen Position verschiebt sich in Richtung der visuellen Position, auch wenn kein visueller Reiz mehr dargeboten wird
    - Je weiter der Ton in der „geprimten“ Richtung ertönt, desto größer ist der Lokalisationsshift/der Rekalibrierungseffekt
    - **EEG-Korrelate: N100-Potentiale korrelieren mit der Tonlokalisierung; sie sind höher, je weiter der Ton von der Seite kommt (?)**

## Prinzipien multisensorischer Interaktion

Behaviorale und neuronale Studien weisen darauf hin, dass generelle Prinzipien die multisensorische Integration steuern

1. **Spatial rule** = Multisensorische Integration ist wahrscheinlicher/stärker, wenn die Reize einzelner Modalitäten (unisensory stimuli) an der gleichen Position dargeboten werden
  - Stimuli werden eher als zusammengehörig wahrgenommen, je näher sie beieinanderliegen
  - multisensorische Neurone im Superioren Colliculus folgen derselben Regel: sie reagieren am stärksten, wenn die auditorischen und visuellen Stimuli ins gleiche rezeptive Feld fallen

- die neuronale Aktivität dieser Neurone ist für einzelne Stimuli geringer als wenn beide zusammen im selben rezeptiven Feld gezeigt werden
2. **Temporal rule** = Multisensorische Integration ist wahrscheinlicher/stärker, wenn die Reize einzelner Modalitäten (unisensory stimuli) zur gleichen Zeit dargeboten werden
- Das Zeitintervall, das zwischen zwei Stimuli liegen kann, damit sie immer noch als Einheit wahrgenommen werden, ist dabei von den jeweiligen Stimuli abhängig
    - Z.B. kann der zeitliche Abstand zwischen auditorischen und visuellen Reizen bei Sprache am größten sein im Vgl. zu z.B. bei Werkzeugen (Hammer und Schlag)
3. **Inverse effectiveness rule** = gleichzeitig präsentierte Signale aus unterschiedlichen Modalitäten werden umgekehrt proportional zu ihrer einzelnen Reizstärke integriert, d.h. Multisensorische Integration ist wahrscheinlicher/stärker, wenn die einzelne Reizstärke (isoliert dargeboten) relativ schwach ist
- Beispiel mit Hund (Kombination aus Bellen und Hund sehen)
    - Ist der Hund weit weg, d.h. sowohl das visuelle als auch das auditorische Signal sind schwach, ist die Integration am stärksten – d.h. das multisensorische Signal ist größer als beide einzelnen zusammen (super-additive effect)
    - Ist der Hund mittelweit weg, d.h. sowohl das visuelle als auch das auditorische Signal sind mittelmäßig, ist die Integration additiv – d.h. das multisensorische Signal ist genauso groß wie beide einzelnen zusammen (additive effect)
    - Ist der Hund nah dran, d.h. sowohl das visuelle als auch das auditorische Signal sind stark, ist die Integration am schwächsten – d.h. das multisensorische Signal ist kleiner als beide einzelnen zusammen (sub-additive effect)

## Neuronale Basis und Korrelate von multisensorischer Interaktion

### *Multisensorische Neurone im Superiorer Colliculus*

- Im superioren Colliculus (CS) befinden sich viele multisensorische Neurone (d.h. Neurone, die maximal auf Reize aus mehreren Modalitäten reagieren)

### *Weitere Areale, die mit multisensorischer Aktivität zusammenhängen*

- Es gibt Areale, die z.B. auf drei Modalitäten reagieren, aber auch verschiedenste weitere Kombinationen (z.B. audiovisual, visuotactile usw.)
- Wichtig sind außerdem
  - Ventrolateraler Präfrontaler Kortex
  - Superior Temporal Sulcus
  - Parietal Reach Region

### *EEG- und fMRI-Korrelate zum Ventriloquism-Effekt*

- EEG: die N260-Amplitude ist kontralateral erhöht zur Ventriloquism-Illusion: d.h. wird der Ton nach rechts verschoben, sind linke Gehirnanareale aktiv und andersherum (ohne die Illusion ist die Aktivierung zentral lokalisiert)

- fMRT: dasselbe kontralaterale Aktivierungsmuster im auditorischen Kortex zeigt sich im fMRT

#### *Korrelate beim audio-taktilen Ventriloquism-Effekt (VE) - hVIP*

= die wahrgenommene Position eines auditorischen Reizes wird durch einen taktilen Stimulus verzerrt

- VPn sollten die wahrgenommene Lokalisation von einem auditorischen Reiz angeben, der aus drei Richtungen kommen konnte (mitte, links oder rechts). Zusätzlich wurde den Händen links oder rechts ein taktiler Reiz dargeboten. Die Diskrepanz zwischen taktilen und auditorischem Stimulus war entweder klein (Ton in der Mitte, taktiler Reiz seitlich) oder groß (Ton auf einer Seite, taktiler Reiz auf der anderen Seite). Zusätzlich waren die Hände entweder gekreuzt oder nicht gekreuzt.
- NORMALERWEISE:
  - o es kommt zu einem audio-taktilen VE, der von der externalen Seite des taktilen Stimulus gelenkt wird (d.h. dass die auditorische Lokalisation in Richtung der Seite geht, auf der der Reiz dargeboten wird, unabhängig davon ob er bei gekreuzten Händen mit der gegenüberliegenden Hand erföhlt wird)
  - o wegen des Konflikts twischen „anatomical“ und „external map“ ist der VE bei gekreuzten Armen aber schwächer
  - o → bei Hemmung der hVIP (human homologue of the ventral intraparietal area) durch TMS und der Bedingung mit gekreuzten Armen kommt es aber im Gegensatz zu sonst zu einem VE in Richtung der anatomischen Lokation des **taktilen Stimulus, d.h. der Effekt geht genau in die andere Richtung. (Bei ungekreuzten Armen ist der VE stärker als ohne Hemmung des hVIP)**

→ d.h., dass die hVIP mit dem remapping der anatomischen „map“ zur externalen „map“ zusammenhängt

#### *Weitere neuronale Korrelate*

- Späte Aktivität (ca. 260 ms) in kortikalen auditorischen Arealen hängt mit der Wahrnehmung der Ventriloquism-Illusion zusammen
- Der ventral intraparietale Kortex (VIP) ist möglicherweise mit der Zusammenführung/Anpassung von räumlichen Referenzen unterschiedlicher Modalitäten assoziiert
- Evtl: feedback/back-Projektionen zum auditorischen Kortex mediieren den VE

#### *Das „Cue-Integration-Framework“ (Ernst & Banks, 2002)*

- = ein mathematisches Modell, das die multisensorische Integration modelliert
  - o Abgeleitet von einfachen Prinzipien der Wahrscheinlichkeitstheorie, z.B. Maximum Likelihood Estimation
  - o Beachtet auch das Prinzip der „inverse effectiveness“ und die Beziehung zwischen cue-Reliabilität und „sensorischer Dominanz“ (d.h. welcher cue ist gerade der dominanteste, und ist er auch der reliabelste???)
  - o Erklärt behaviorale Daten gut

- Studie von Ernst und Banks: Untersuchung des Einflusses der Reliabilität auf die Dominanz der sensorischen Systeme
  - VPn sollten die Breite eines virtuellen Objekts mithilfe von visuellen und haptischen Feedback-cues beurteilen
  - Das Ausmaß des cue-Konflikts (cues vermitteln abweichende Informationen) und das Level der Reliabilität des visuellen cues (über visual noise) wurden manipuliert
  - AV: Ausmaß des Einflusses von visuellem und haptischem cue auf die Gesamtschätzung
  - Ergebnisse:
    - Die Gesamtschätzung wird mehr von dem visuellen als von dem haptischen Stimulus beeinflusst → visueller Stimulus ist reliabler
    - wenn die Reliabilität des visuellen Stimulus durch noise herabgesetzt wird, steigt der Einfluss des haptischen Stimulus
    - → bei einem Konflikt zwischen zwei cues hat der reliablere cue einen größeren Einfluss auf die Gesamtschätzung
      - Mathematisch wird Reliabilität durch weniger Varianz ausgedrückt, d.h. die Funktion ist steiler
- Kritik am Modell:
  - Modell kann nicht erklären, warum und wann konkurrierende cues in der Realität nicht integriert werden (z.B. notwendig, wenn die cues zu unterschiedlichen Events oder Objekten gehören)
    - Überlegung (Körding et al. 2007): beiden Optionen (cues zusammengehörig oder nicht) wird eine „prior“-Wahrscheinlichkeit hinzugefügt; das Gehirn wiegt dann ab, welche Option wahrscheinlicher ist
- → der Vergleich des Modells mit behavioralen Daten zeigt eine gute Passung

Kausale Inferenzen: Hierarchisches Bayesian Model??