

# Sensorische Signale und deren Zusammenspiel

**Dr. Knut Drewing**

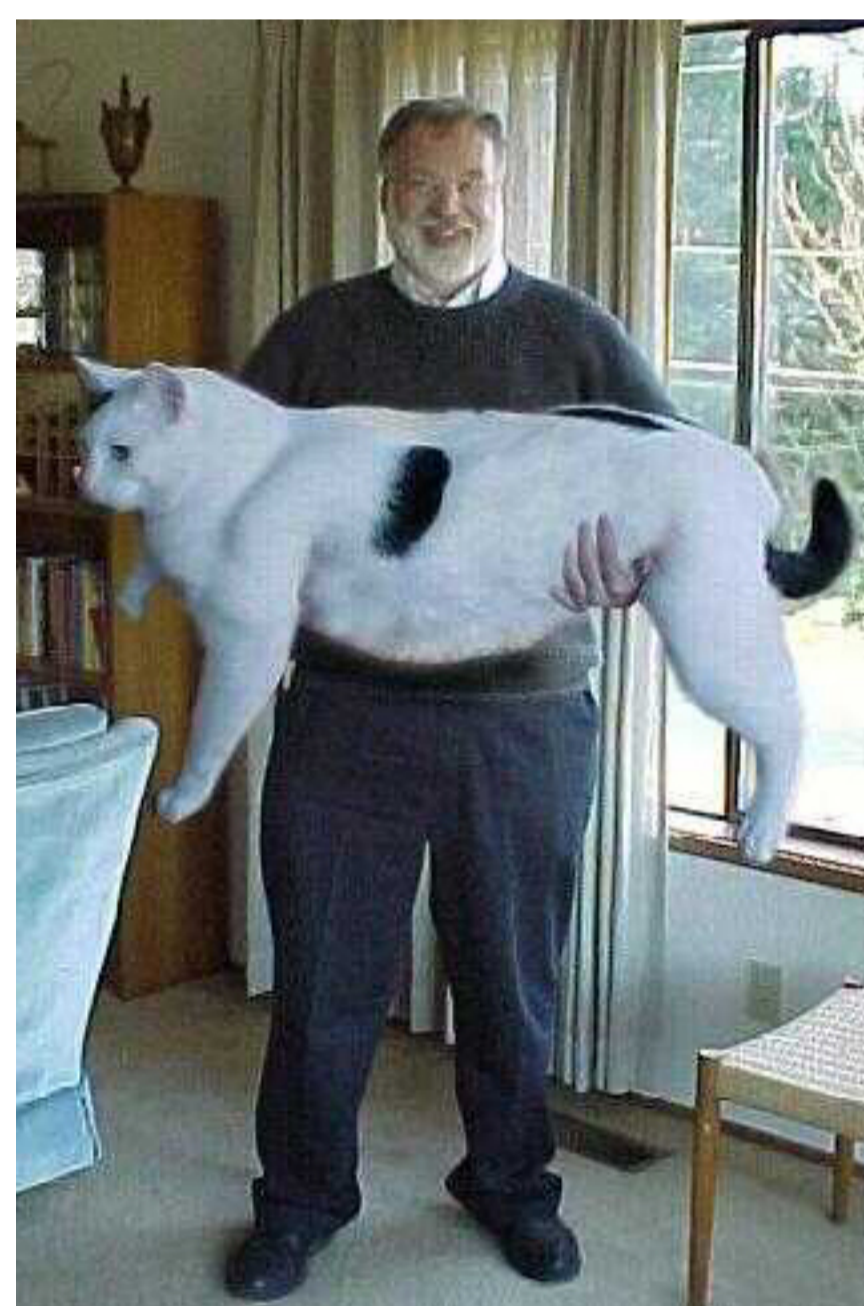
Justus-Liebig-University, Giessen

Juni 2007, Giessen

# Überblick

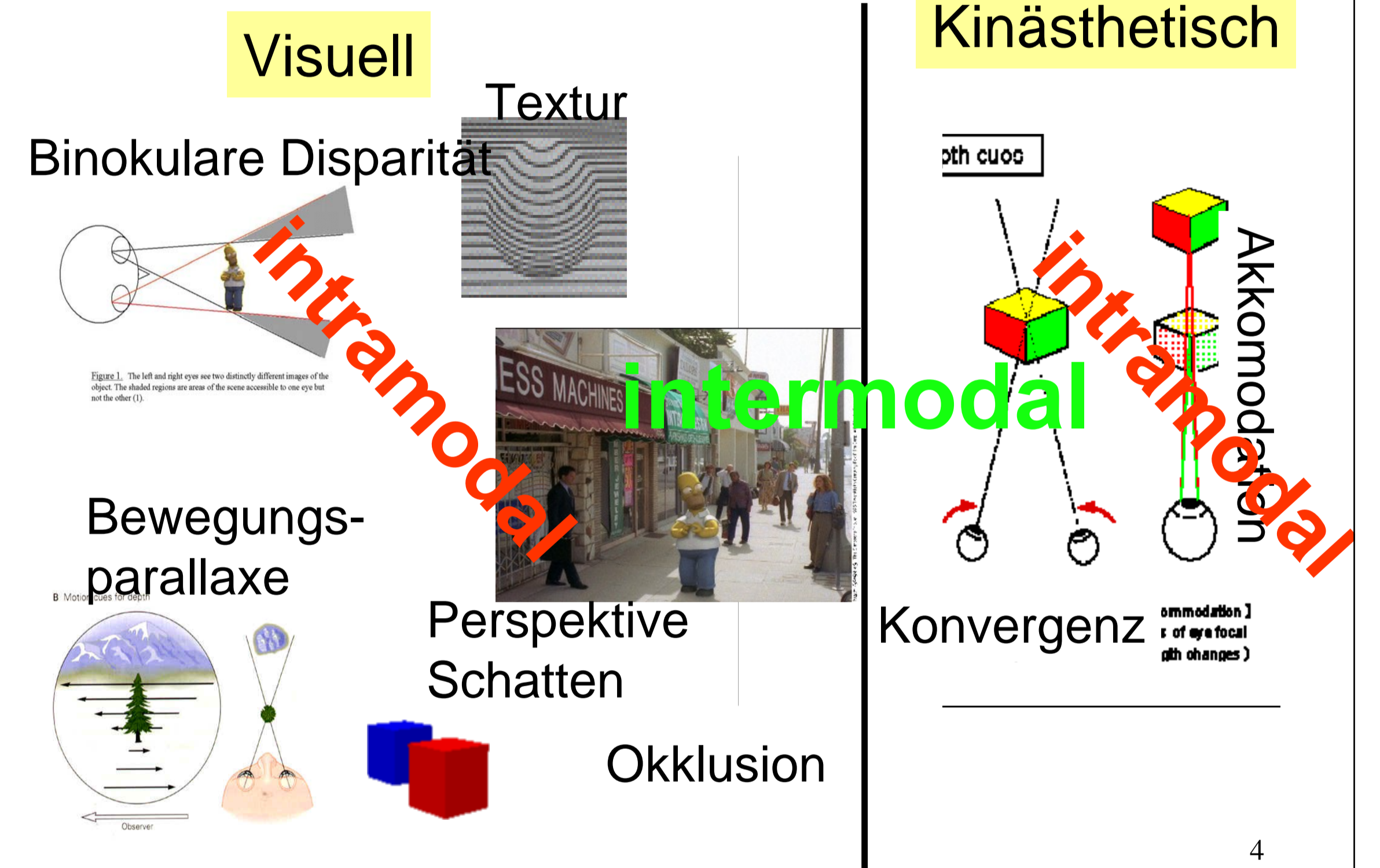
- Einführung:
  - Sensorische Signale (cues)
  - Kombination versus Integration
- Signalkombination (Disambiguierung, Kooperation)
- Integration redundanter Signale
- Optimale Signalintegration & Evidenz
- Weiterführende theoretische Fragen
- Anwendungsmöglichkeit Haptic Device

## Was ist ein sensorisches Signal (cue)?



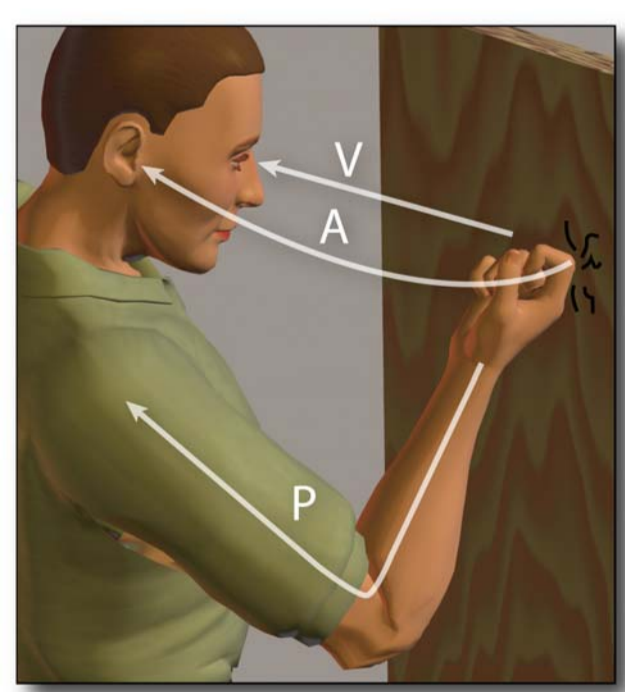
*any sensory information that gives rise to a sensory estimate on a certain property (of the world)*  
 (Ernst & Bühlhoff, 2004, modified)

## Zum Beispiel Tiefensignale

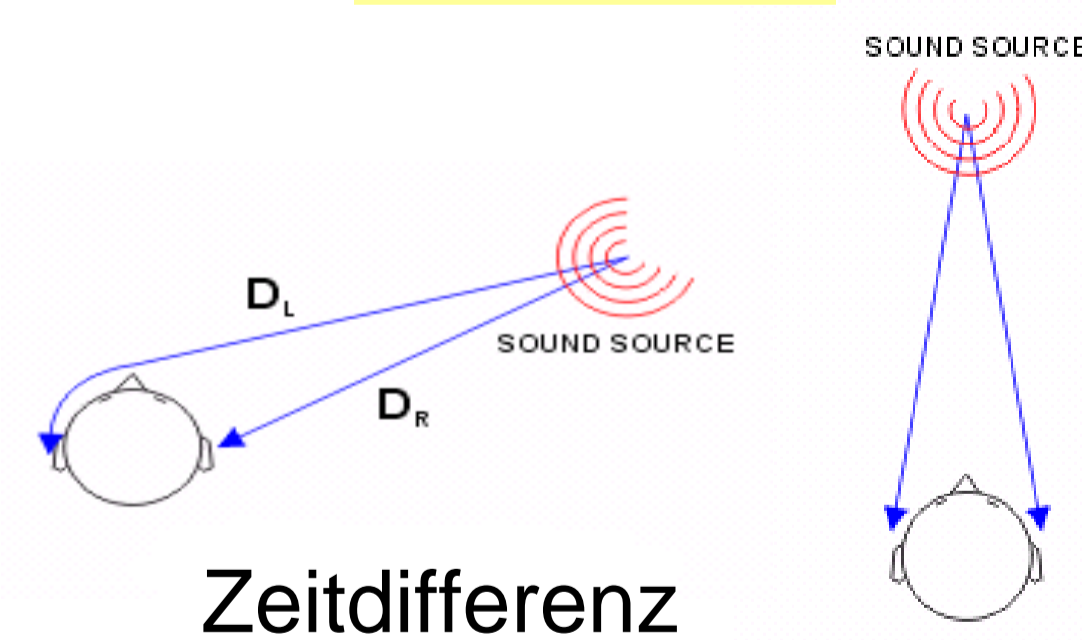


Einführung

## Zum Beispiel Lokationssignale



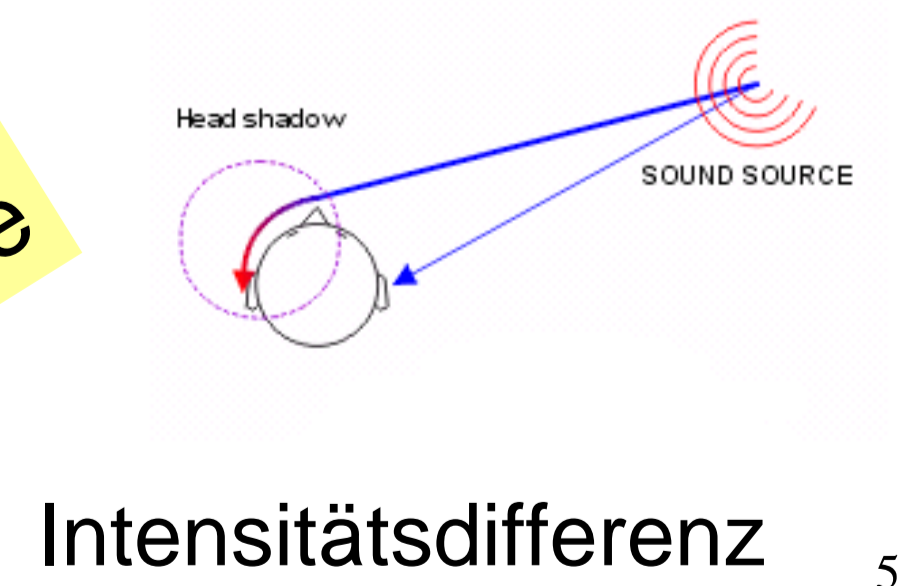
### Interaural



### Kinästhetisch

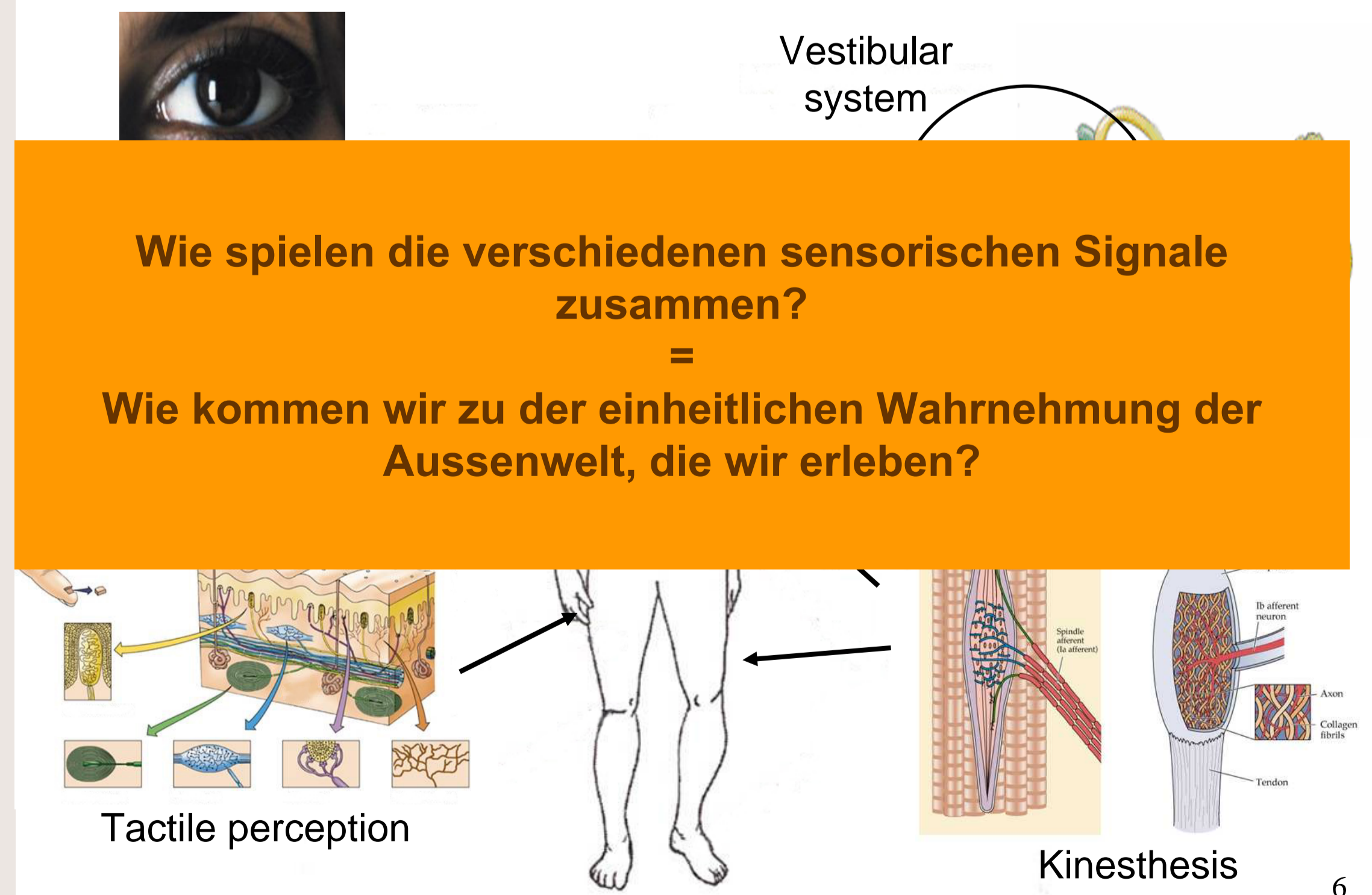
- Armposition
- Kopfposition

Visuelle Tiefensignale



## Sensorische Signale in & innerhalb verschiedener Modalitäten

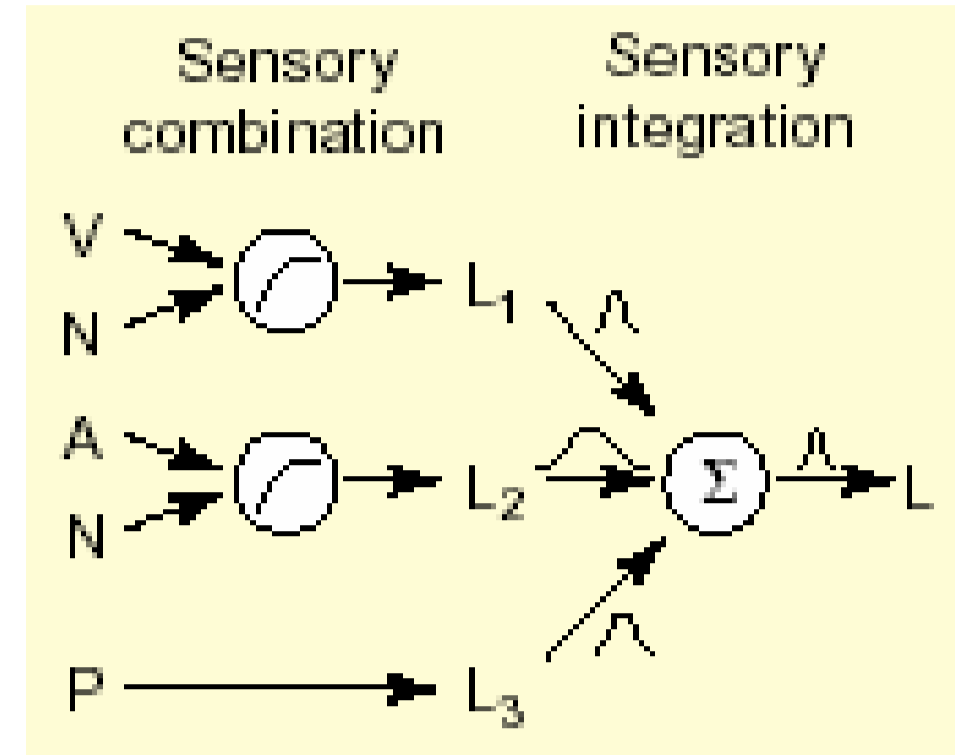
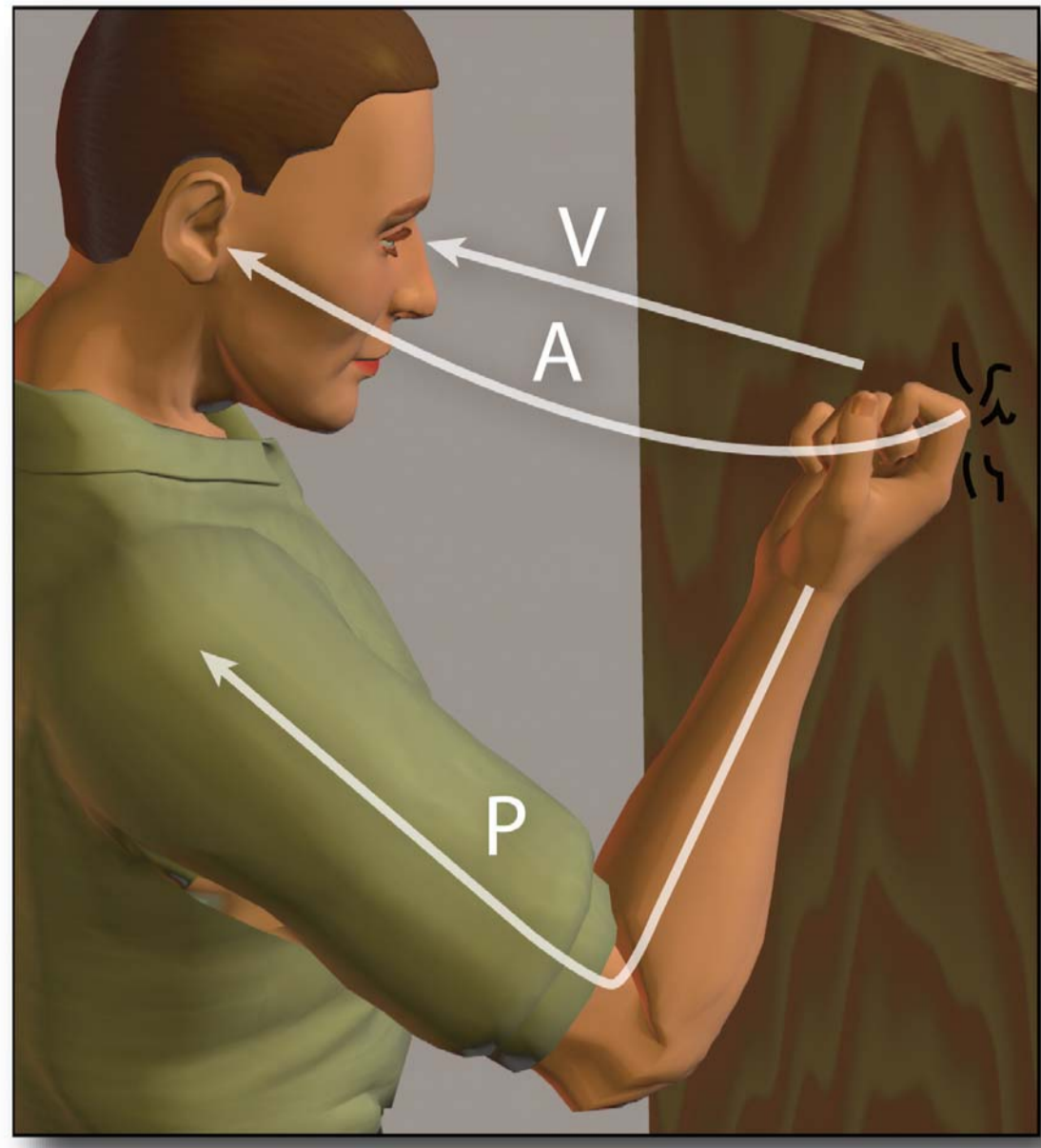
Einführung





## Kombination versus Integration

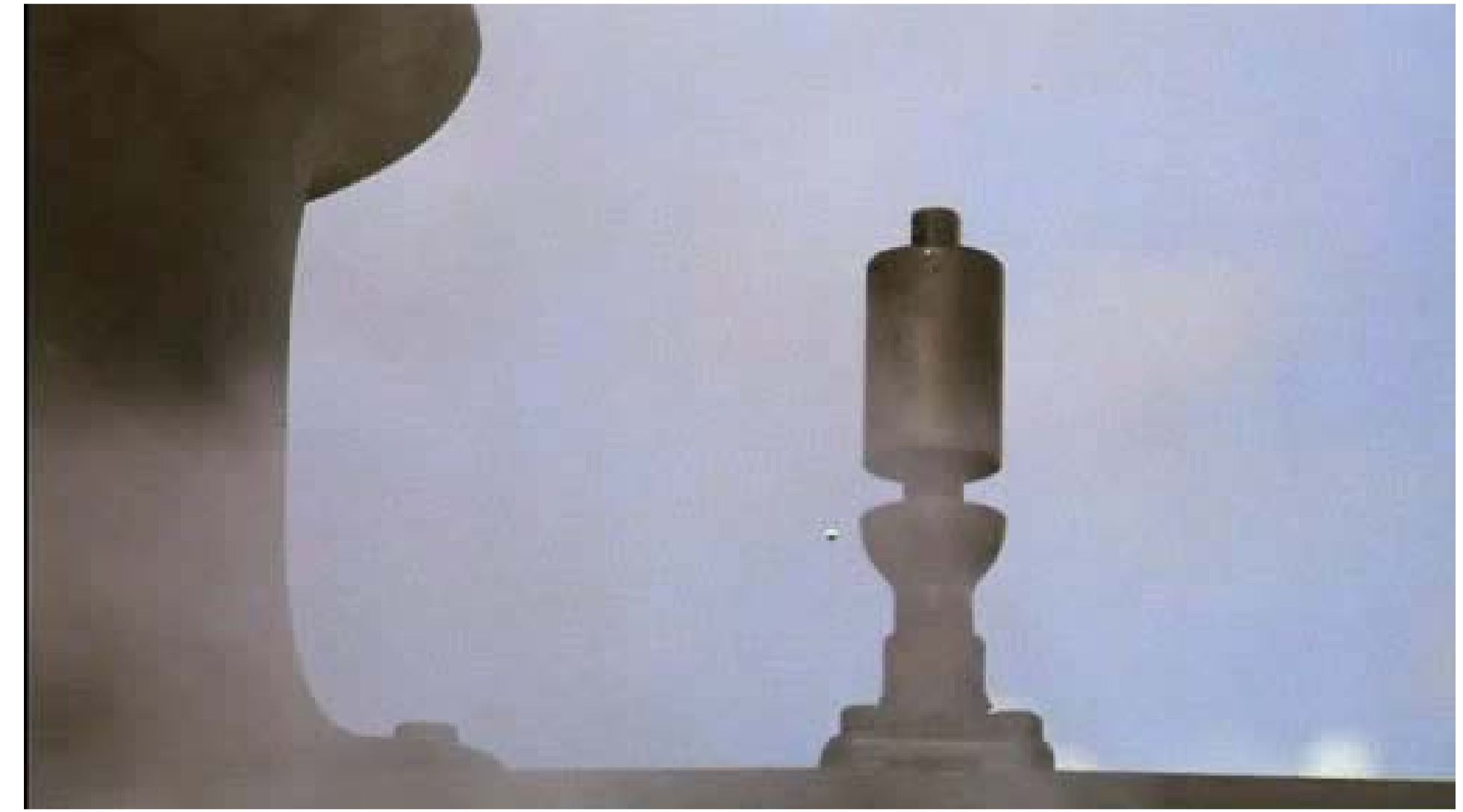
Einführung



7

## Kombination I - Disambiguierung

I. Kombination



8

## Signalkombination II (Disambiguierung)

I. Kombination

intramodal

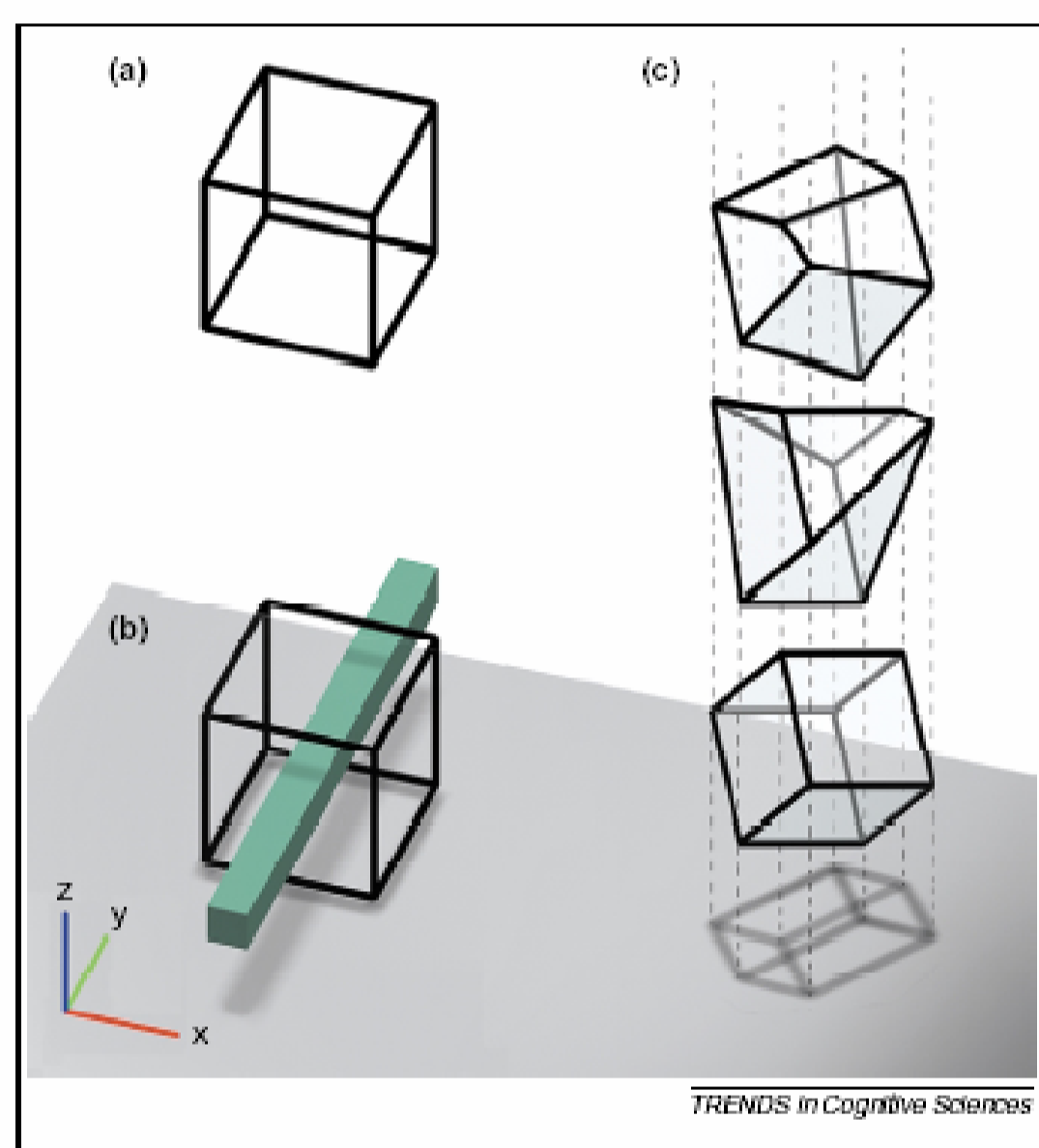
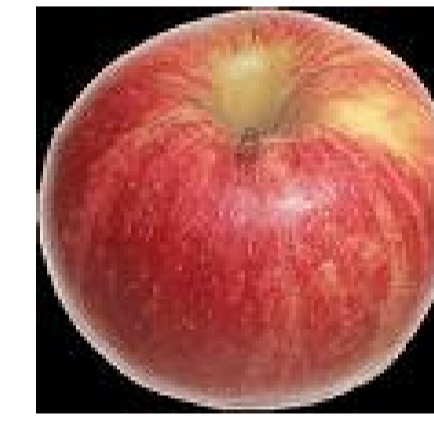


Figure 1. (a) The Necker Cube induces a bi-stable percept. (b) Disambiguation of the bi-stable Necker Cube percept by introducing an occlusion cue and a shadow. (c) An infinite number of 3D configurations could produce the same projection image. Here this fact is illustrated by the cast shadow on the tabletop, but the same projected images would be formed on the eye's retina.

9

## Signalkombination III (Kooperation)

I. Kombination



Geschmack + Geruch

+ Schmerzsin



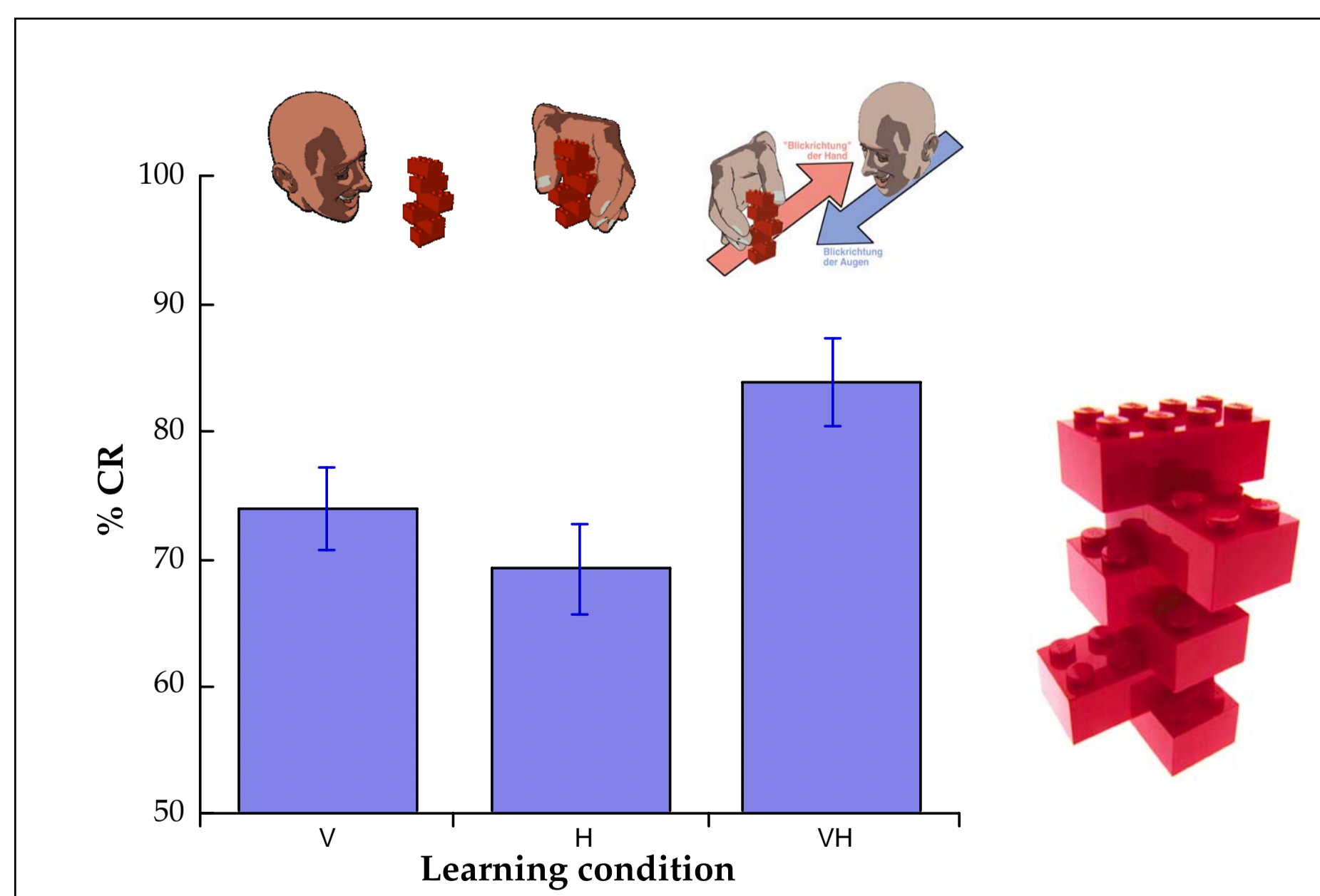
+ Kältesinn



10

## Signalkombination IV (Kooperation)

I. Kombination



intermodal

In physiological conditions, object recognition is improved by integrating visual and tactile exploration - (Newell et al., 2001)

## Sensorische Kombination

I. Kombination

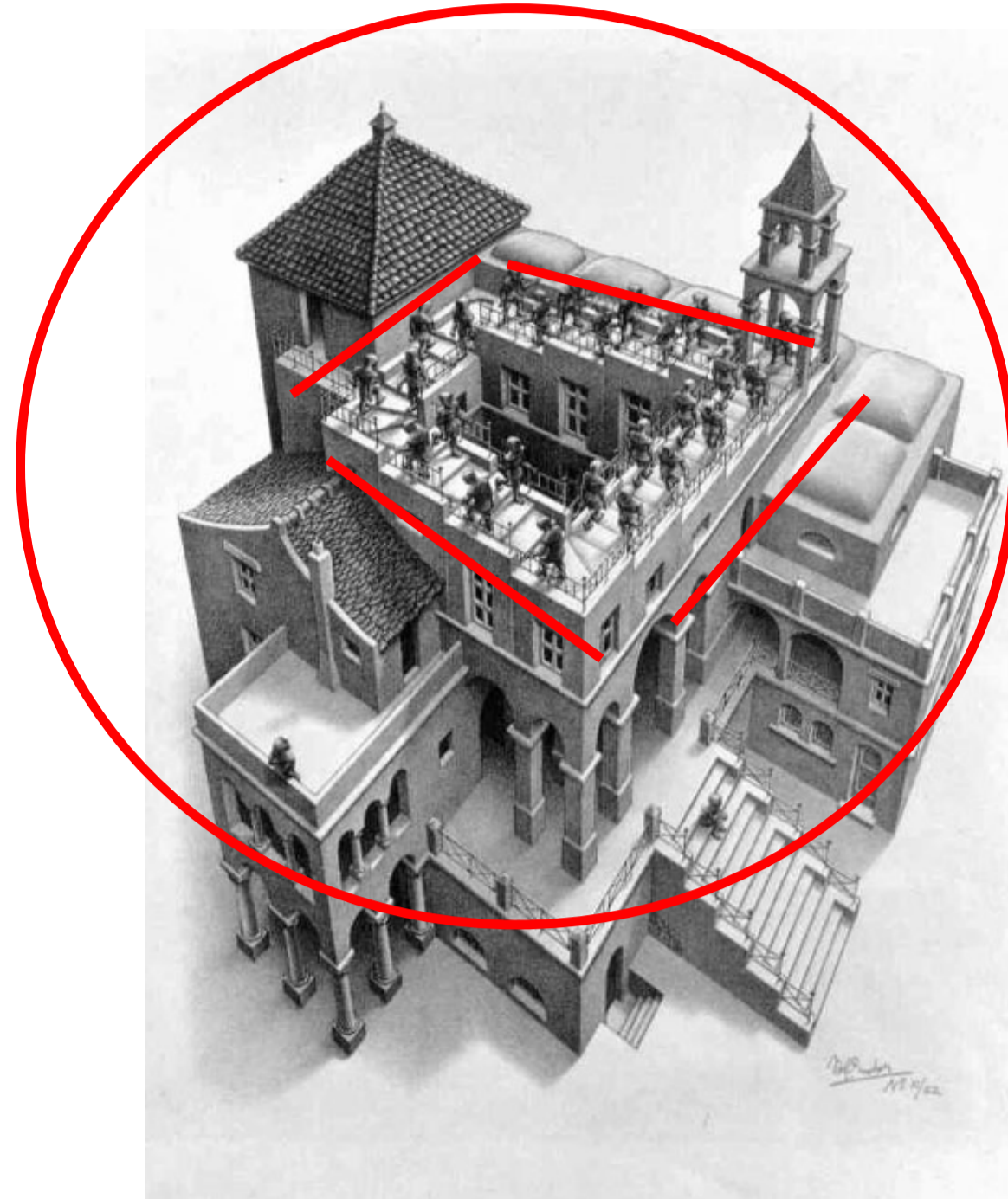
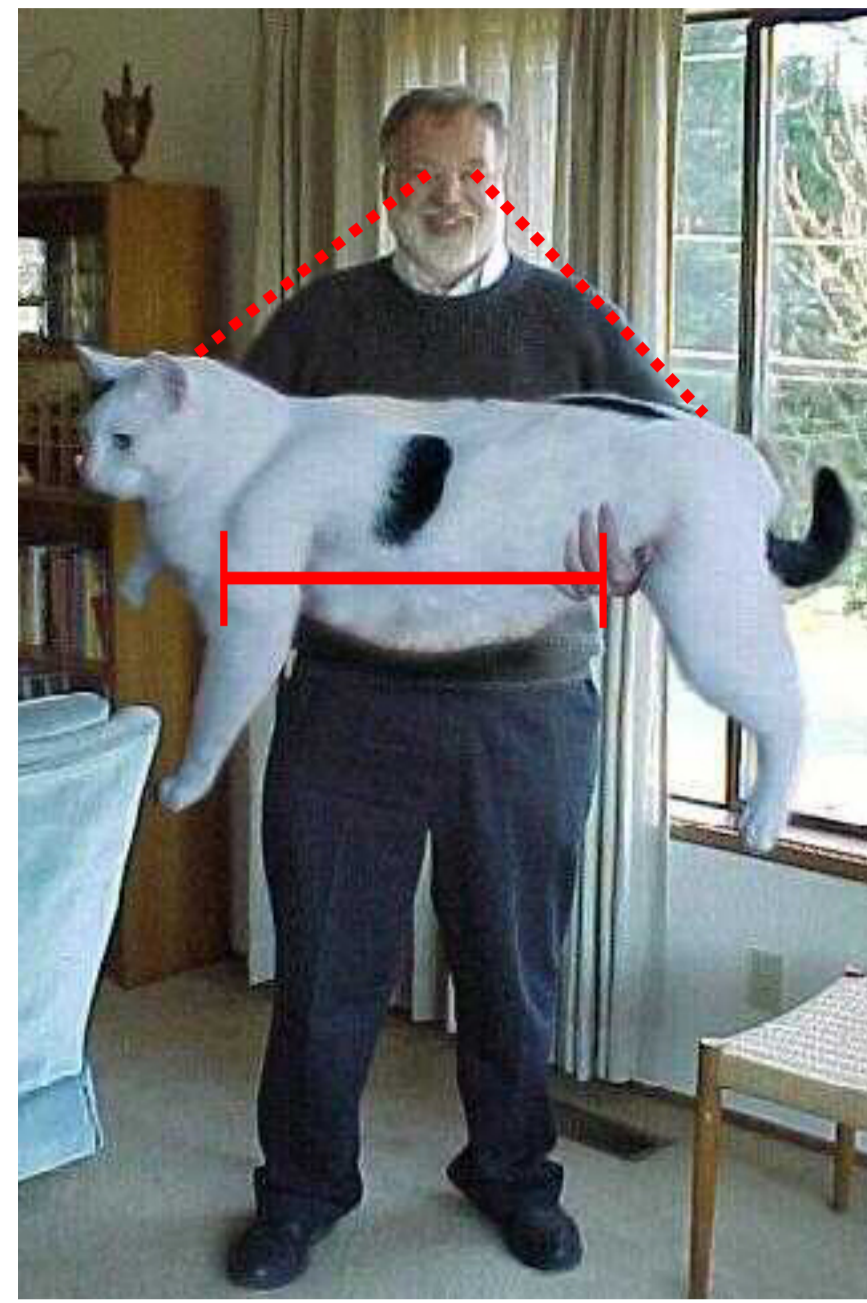
- Zusammenspiel nicht-redundanter sensorischer Signale (intra- & intermodal)
- Z.B. Disambiguierung & Kooperation

12



## Integration "redundanter" Signale

Integration

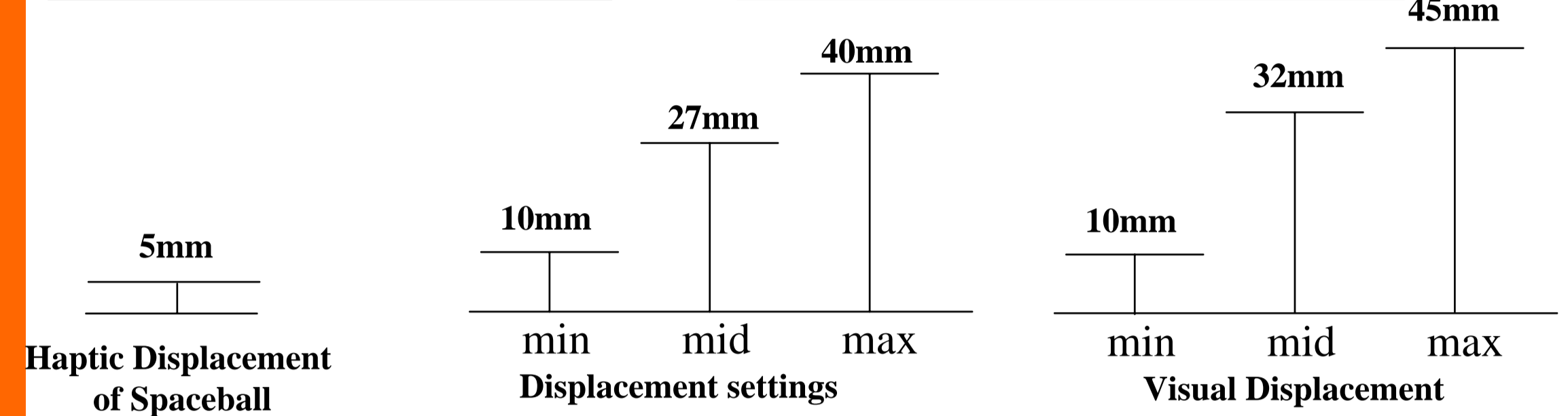
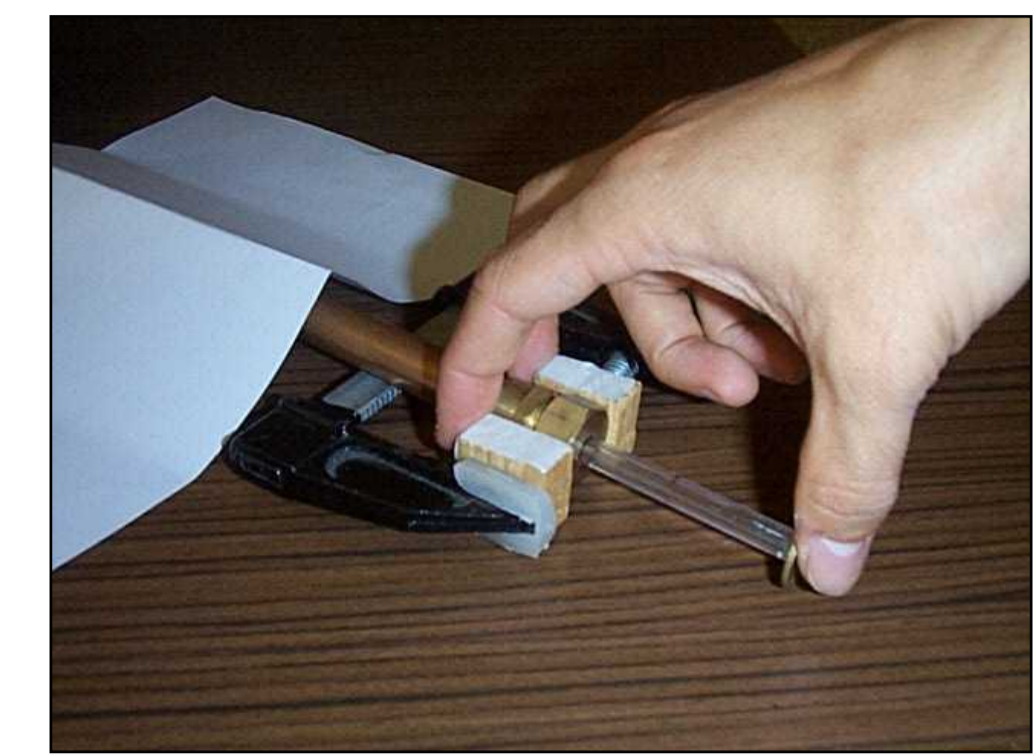
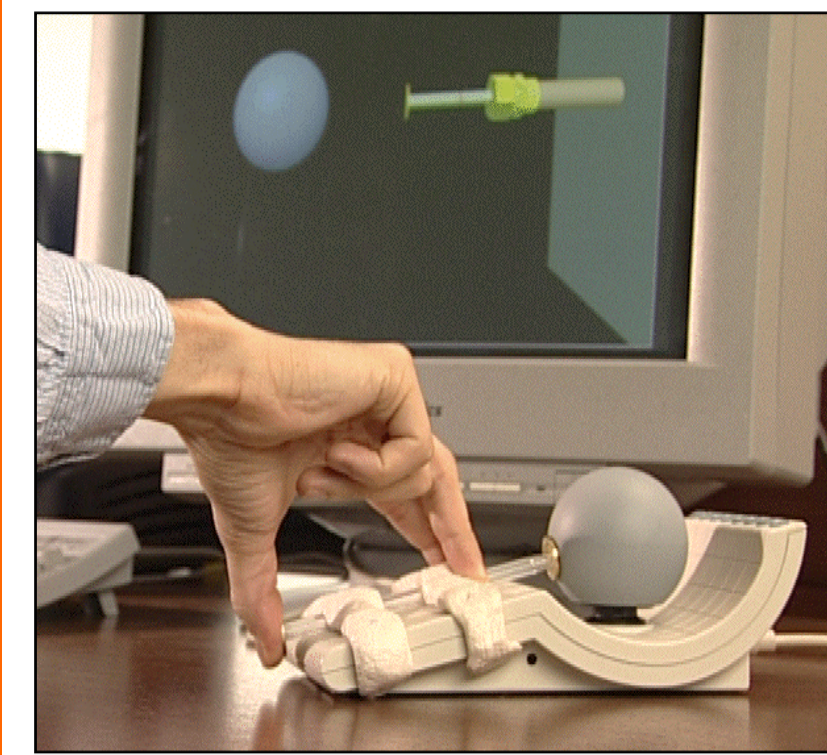


Dominanz, Hierarchie, Fusion?

13

## Visuo-Haptisch

Integration

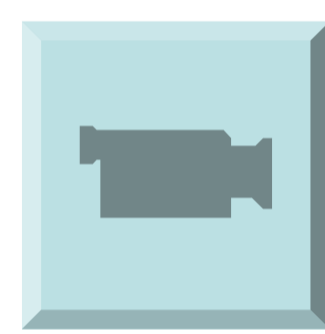
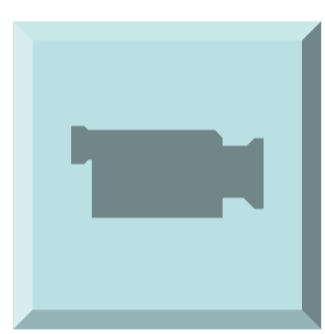


→ Visuelle Dominanz?

Lecuyer & Kheddar

## Audio-visuell

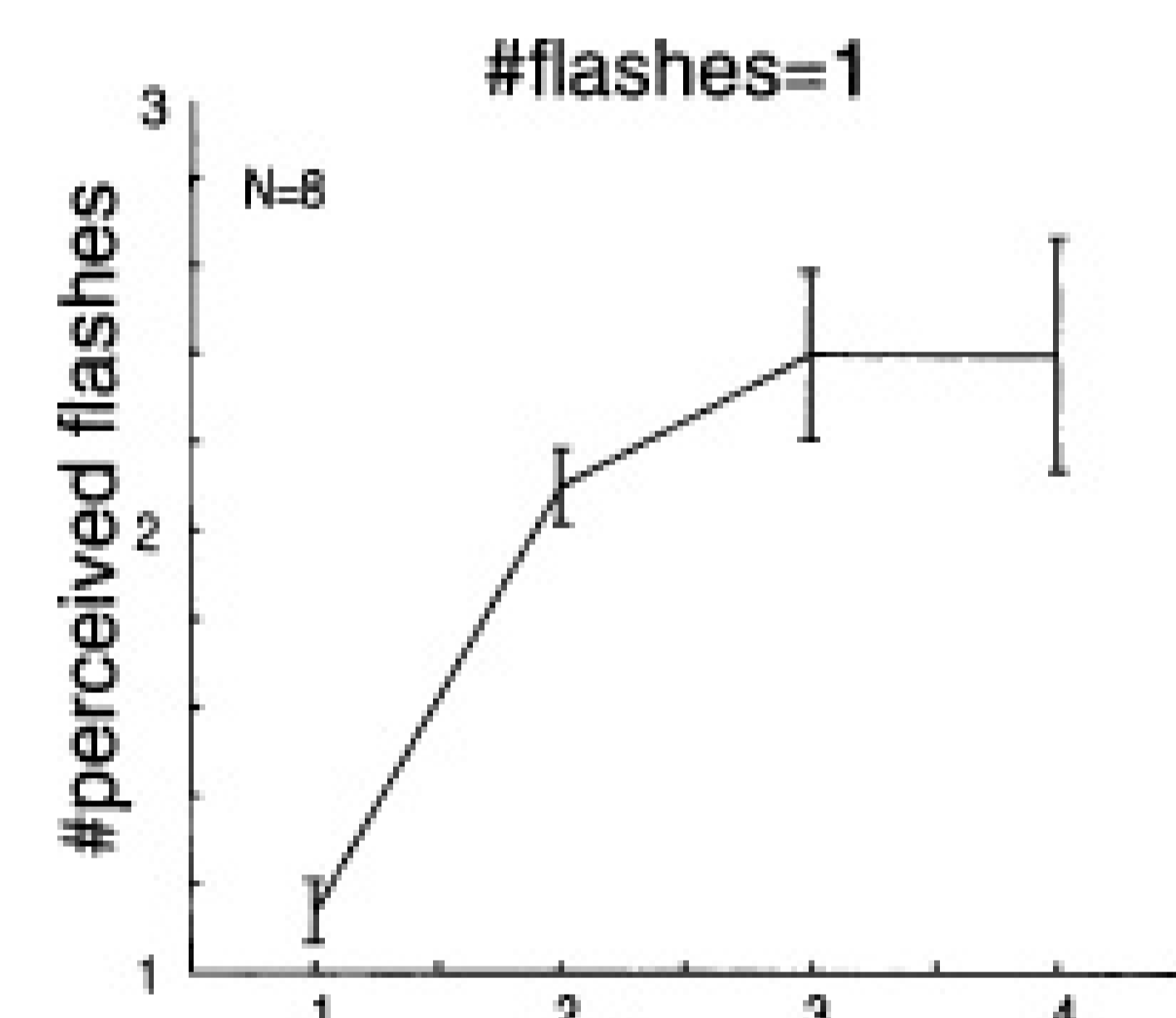
Integration



15  
Shams et al, 2002

## Audio-visuell

Integration

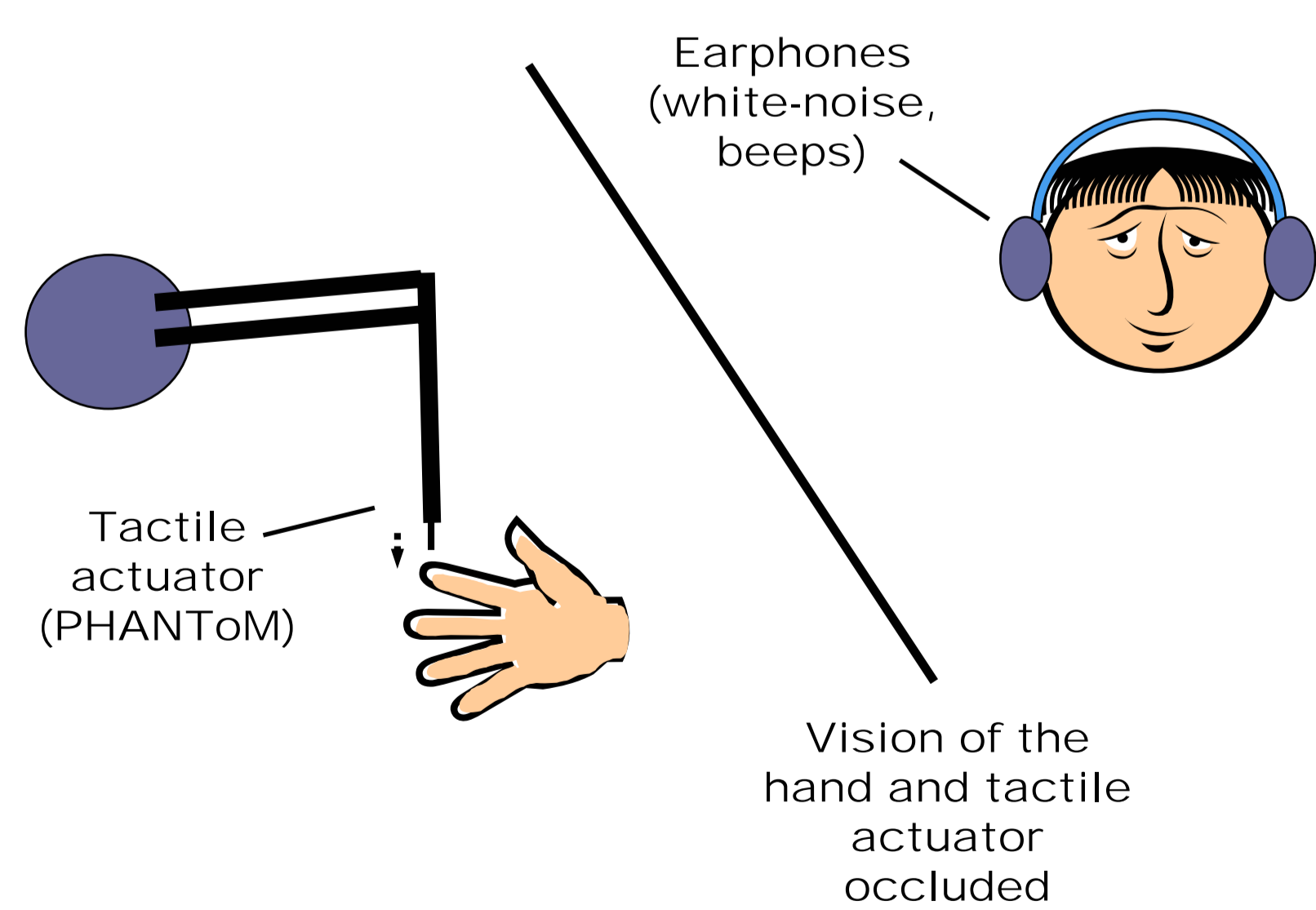


→ Auditive Dominanz für Ereignisanzahl?

16  
Shams et al, 2002

## Audio-taktil: Ereignisse zählen

Integration

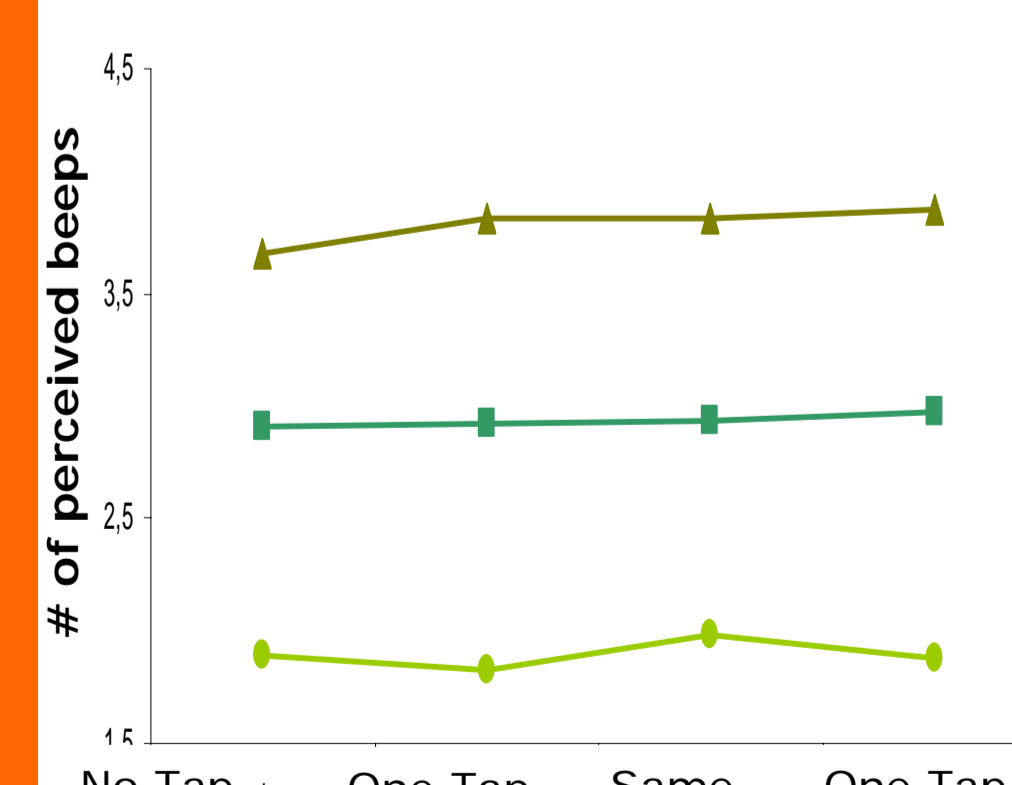


(Bresciani, Ernst, Drewing, Bouÿer, Maury, & Kheddar, 2005)

## Starkes auditives Signal (laute Töne)

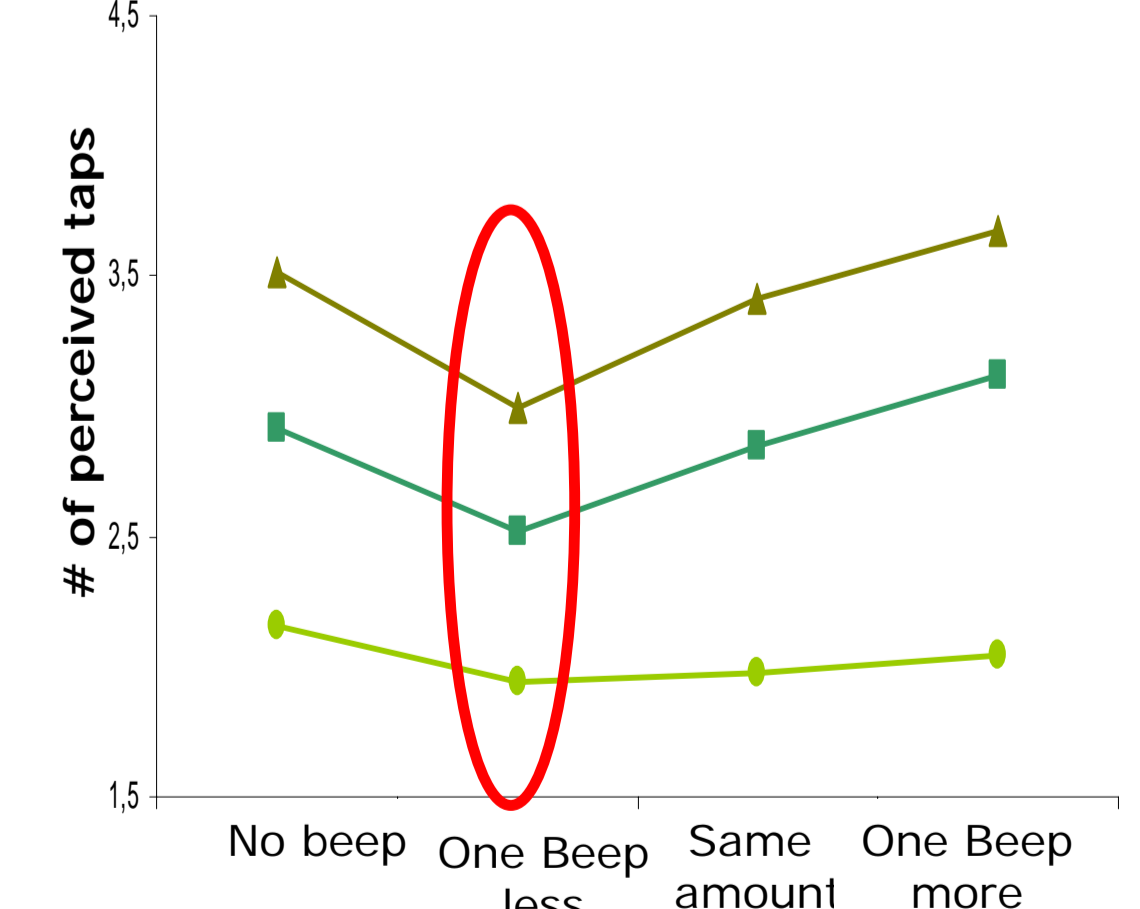
Integration

**TASK A**  
Report the perceived # of beeps



Tactile condition  
non significant

**TASK B**  
Report the perceived # of taps



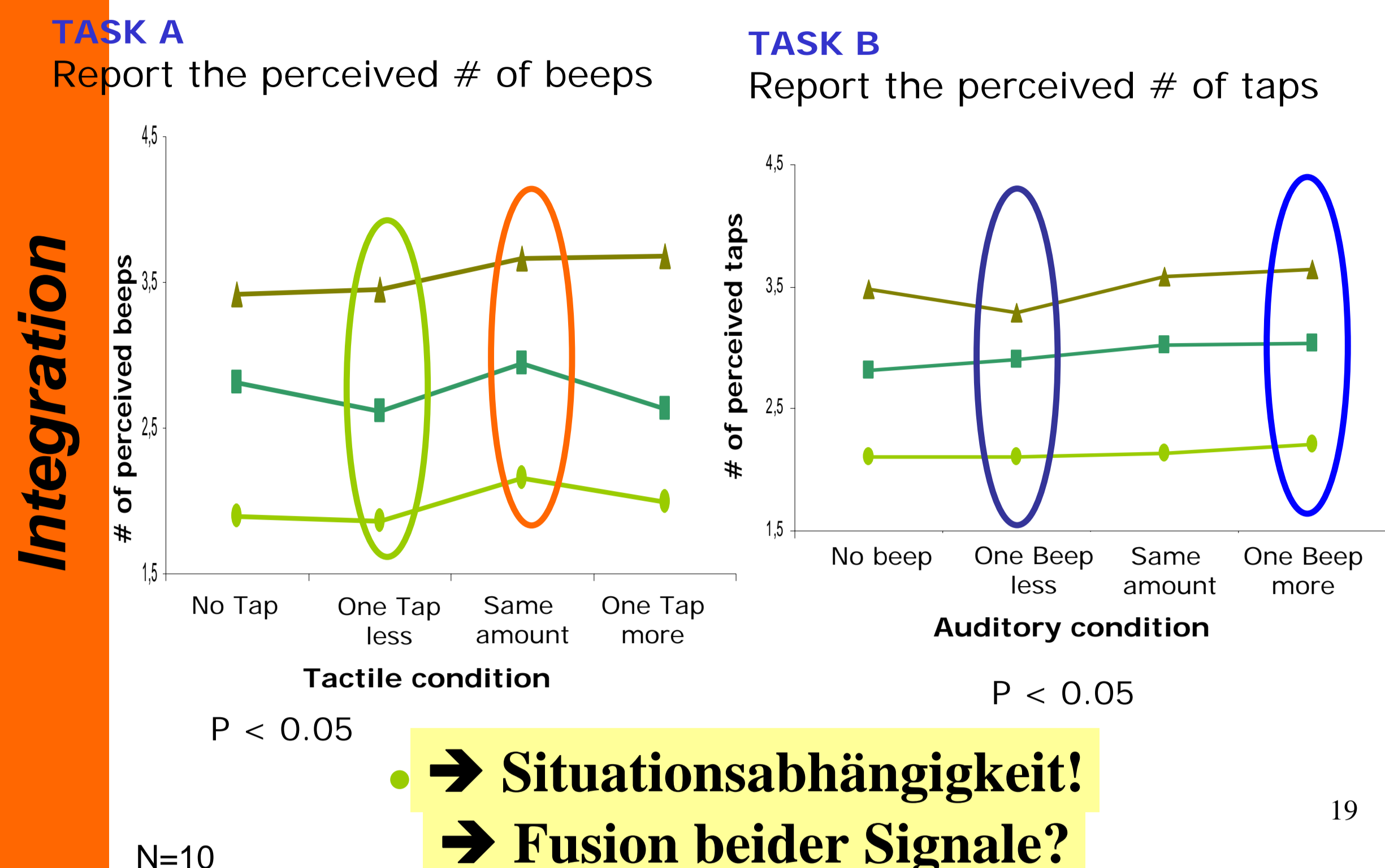
$P < 0.001$

→ Auditive Dominanz für Ereignisanzahl?

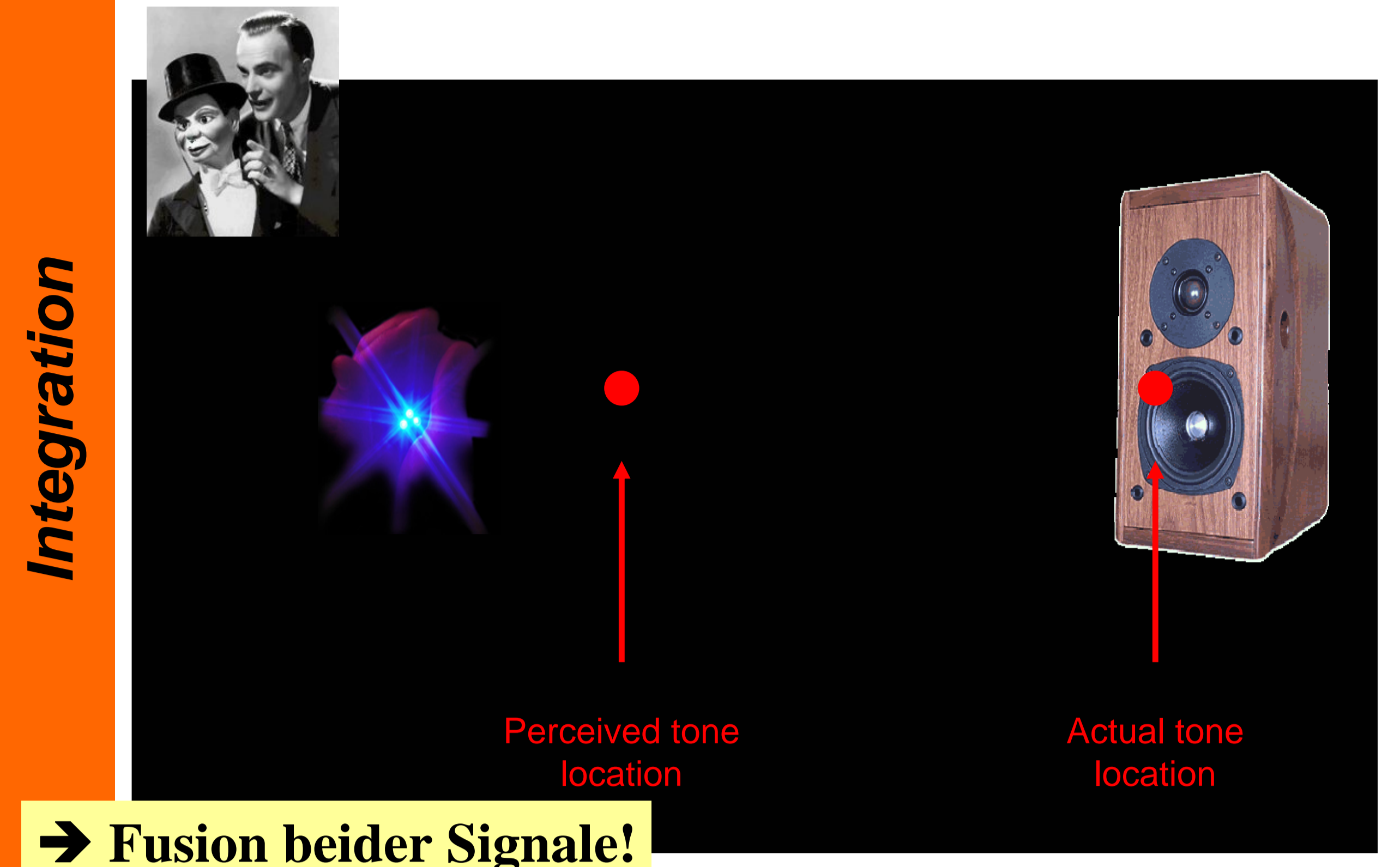
18



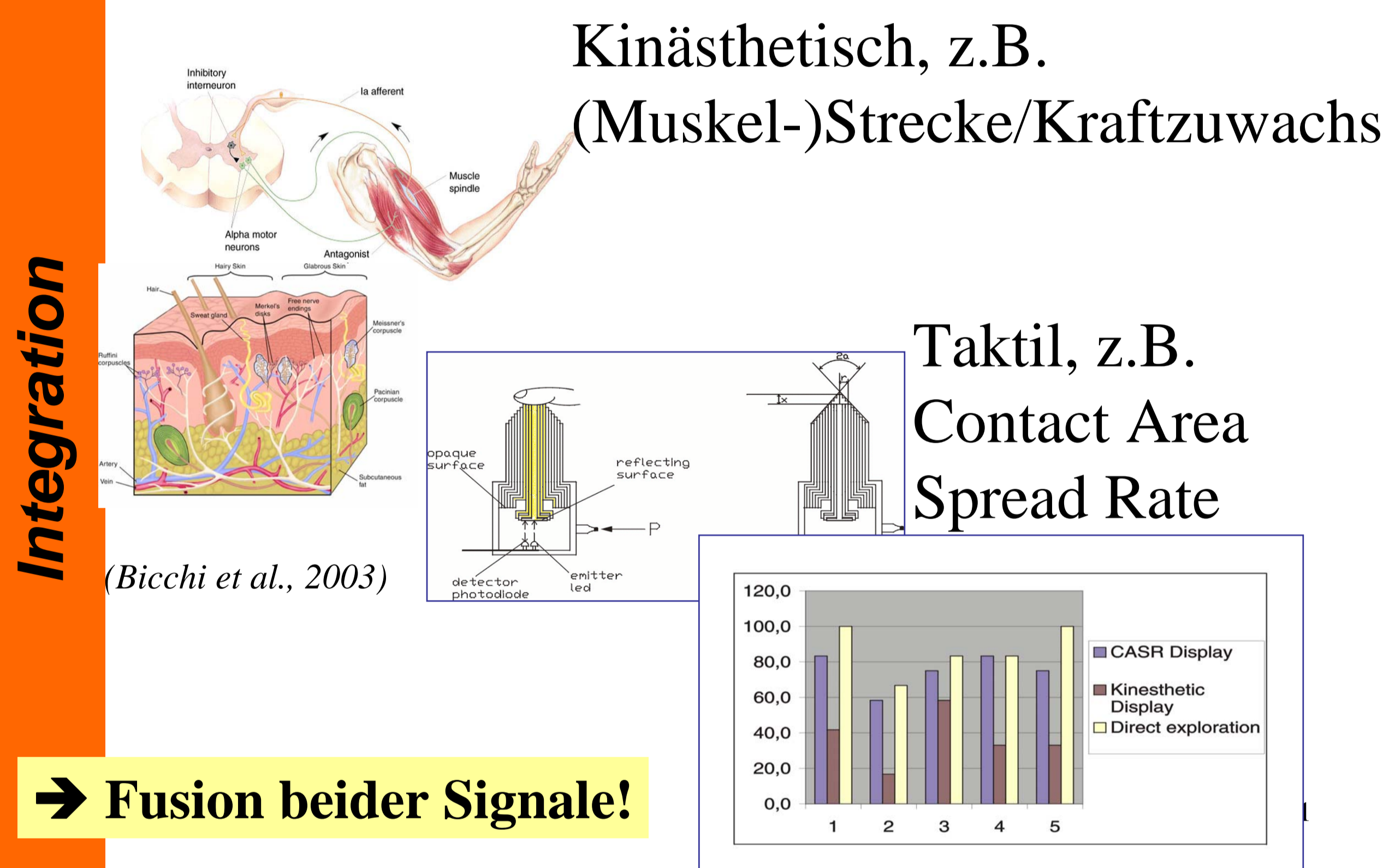
## Schwaches auditives Signal (leise Töne)



## Bauchrednereffekt (Ventriloquist)



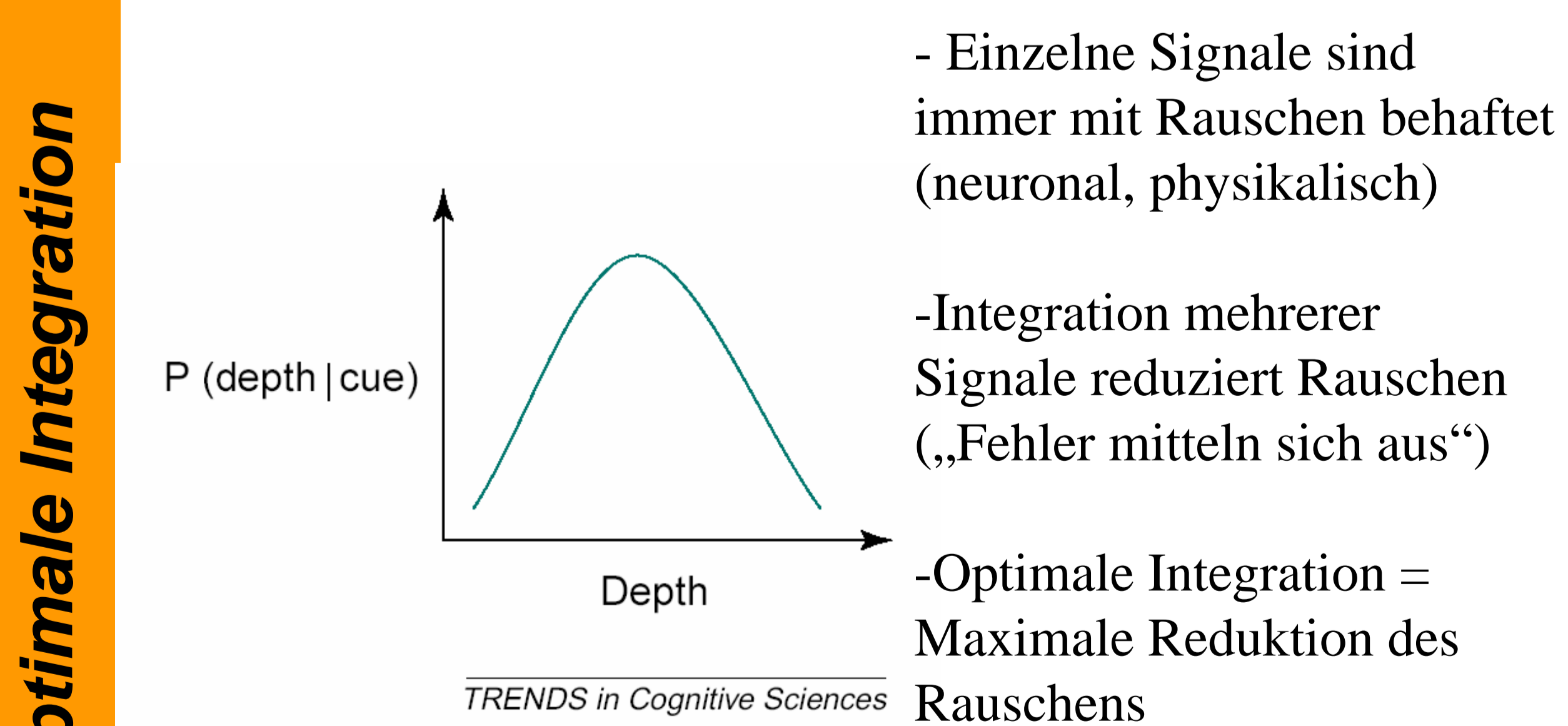
## Haptische Signale für Nachgiebigkeit



## Integration sensorischer Signale

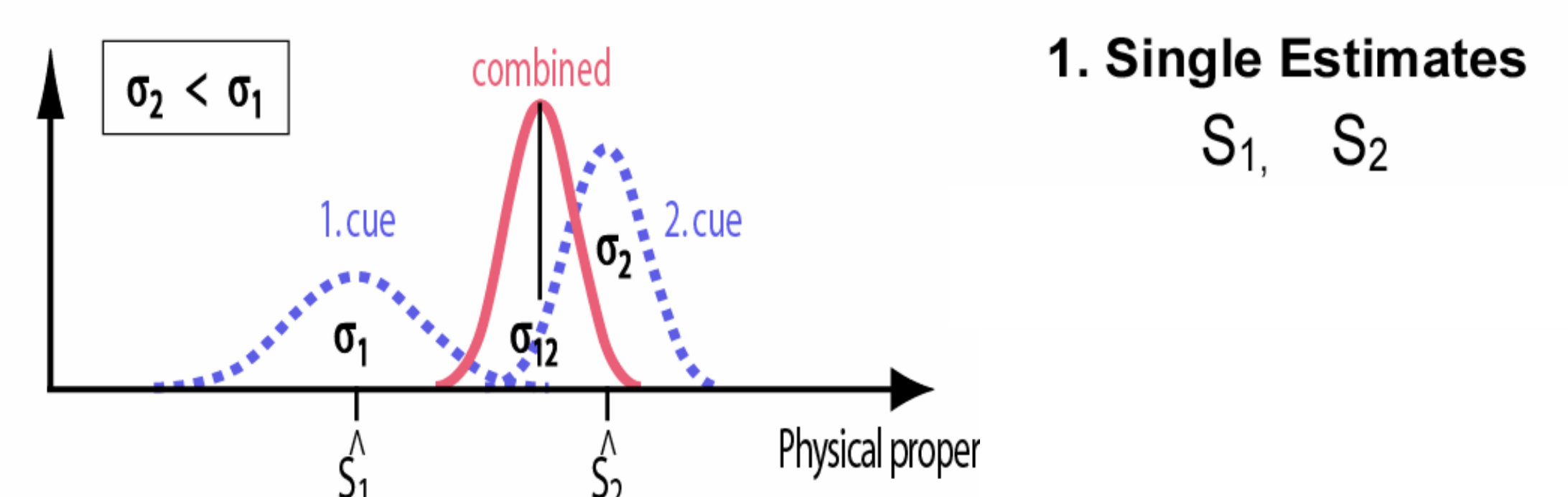
- Integration**
- Inter- & intramodale Interaktionen redundanter Signale
  - Evidenz, dass Signaleinfluss situationsabhängig
  - Evidenz, dass alle verfügbaren Signale fusioniert werden
  - Nach welchen Regeln?
- 22

## Optimale Signalintegration



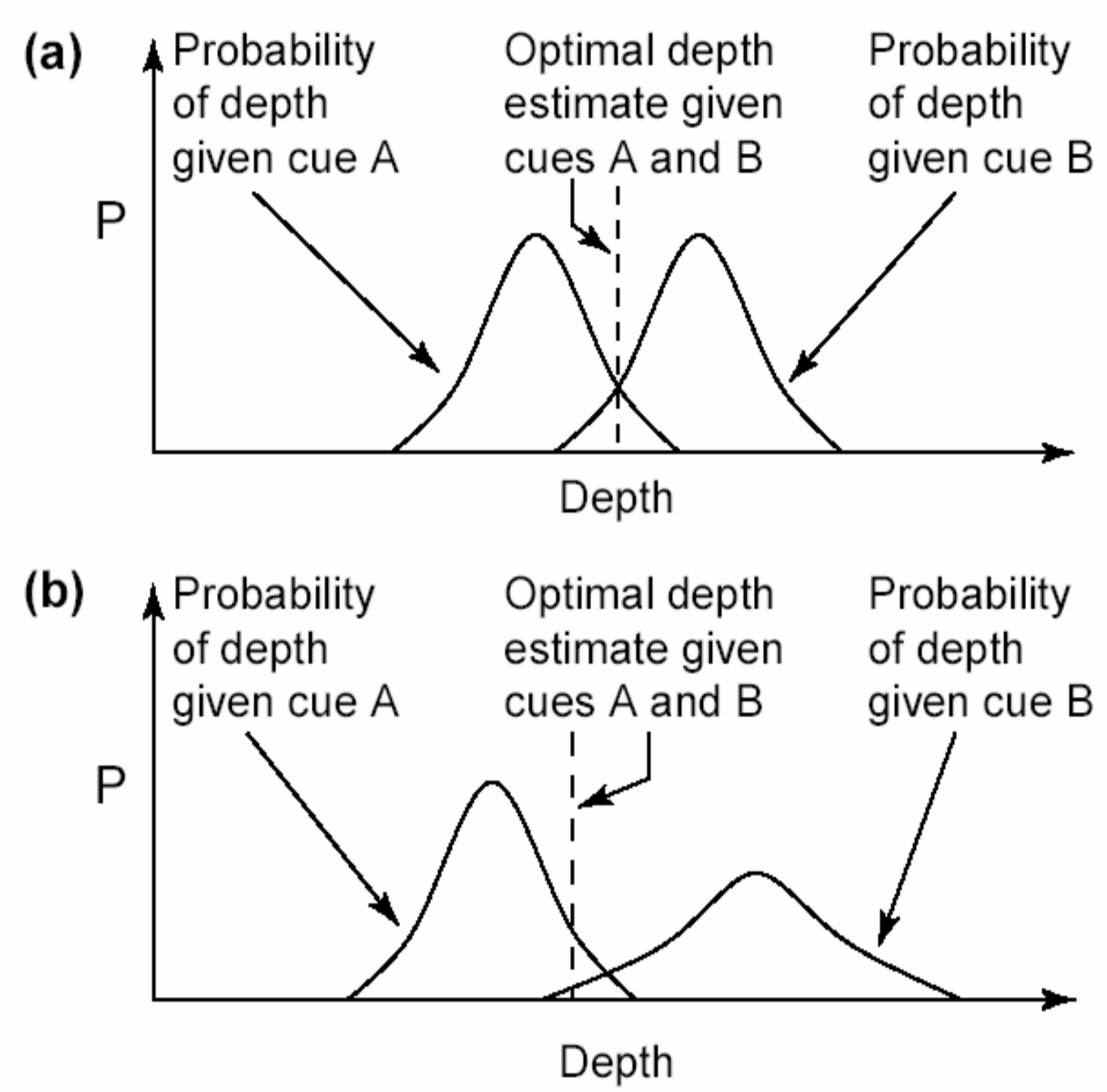
## MLE-Modell optimaler Integration

- Optimale Integration**
- Prämisse: Rauschen der Signale normalv. & unabhängig
- A) Jedes Signal über eine physikalische Eigenschaft trägt zu deren Wahrnehmung bei in **gewichtetem Mittel**
- B) Signale werden **gemäß Zuverlässigkeit (1/Rauschen) gewichtet**
- **Maximierung der Zuverlässigkeit der Wahrnehmung**





## MLE Modell II



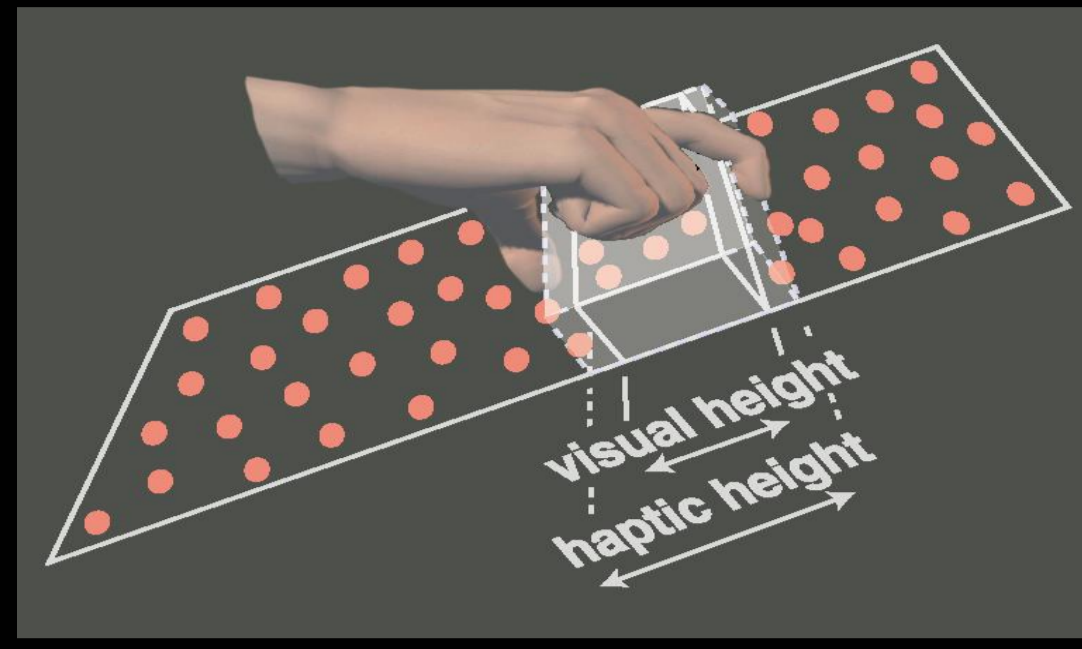
25

Optimale Integration

## MLE-Modell & intermodale Integration (visuo-haptische Größenschätzung)



### Wie untersucht man so ein Modell?

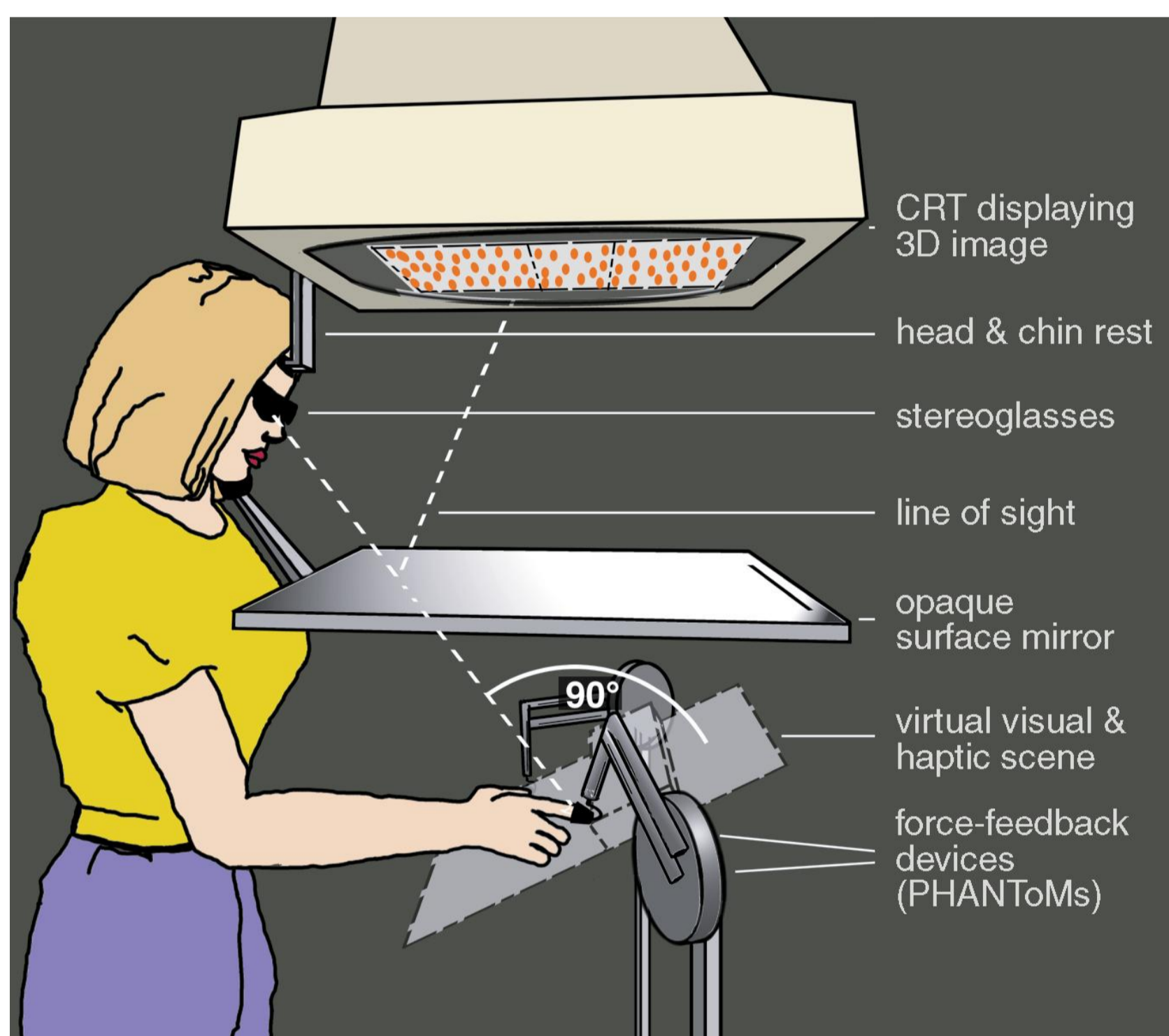


-Beispiel visuo-haptische Größenschätzung eines Balkens (Ernst & Banks, 2002)

- 1) Bestimme (& manipulierte) Zuverlässigkeiten der einzelnen Modalitäten = einzelne Signale
  - Diskriminationsschwellen (2-IFC, constant stimuli)
- 2) Vorhersagen für Zuverlässigkeiten & Signalgewichte bei intermodaler Integration gemäß Modell
- 3) Bestimme empirische Werte bei intermodaler Integration
  - 2-IFC Diskriminationsschwellen & PSE's bei diskrepananten Signalen

Optimale Integration

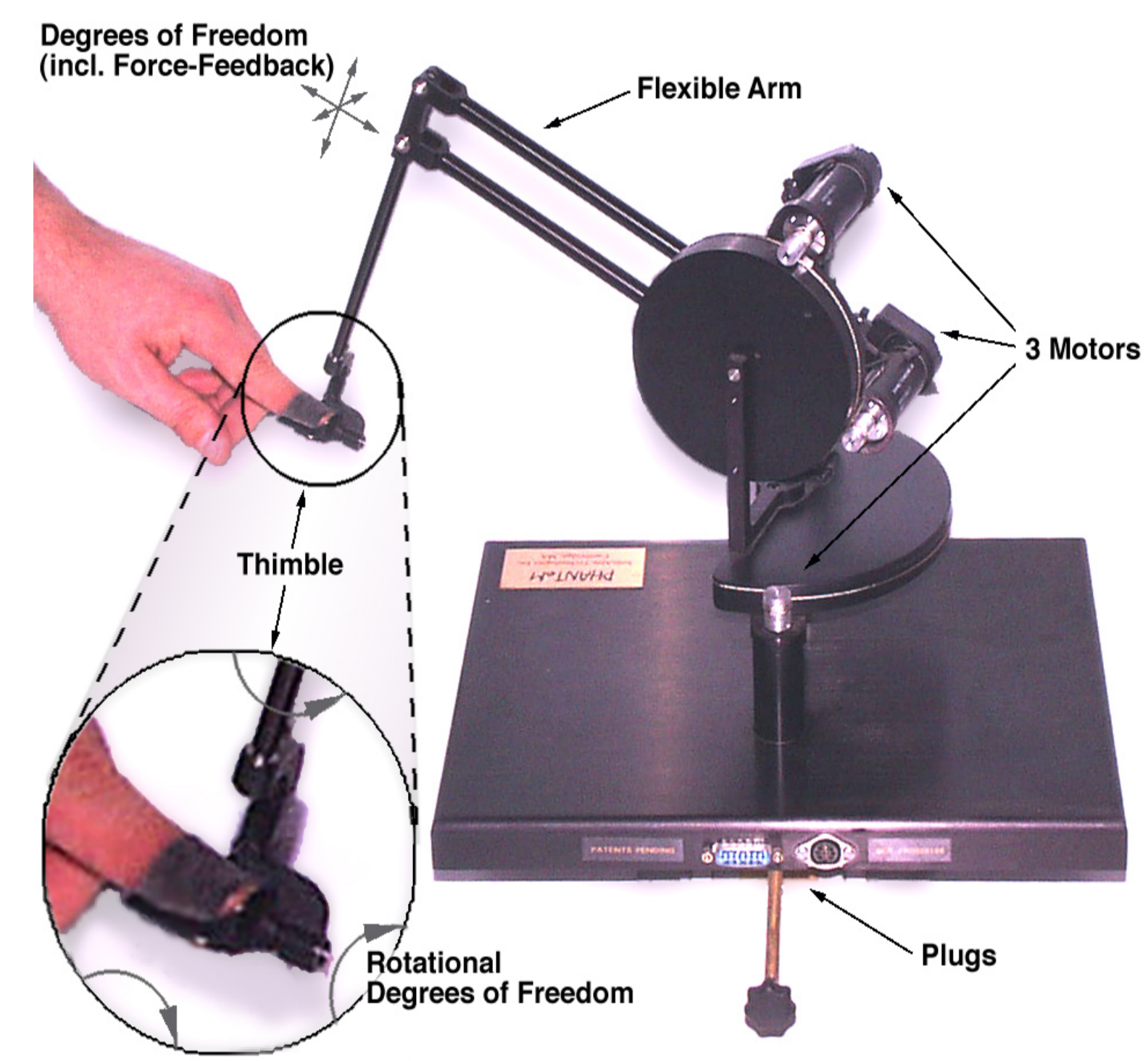
## Visual/Haptic Setup



27

Optimale Integration

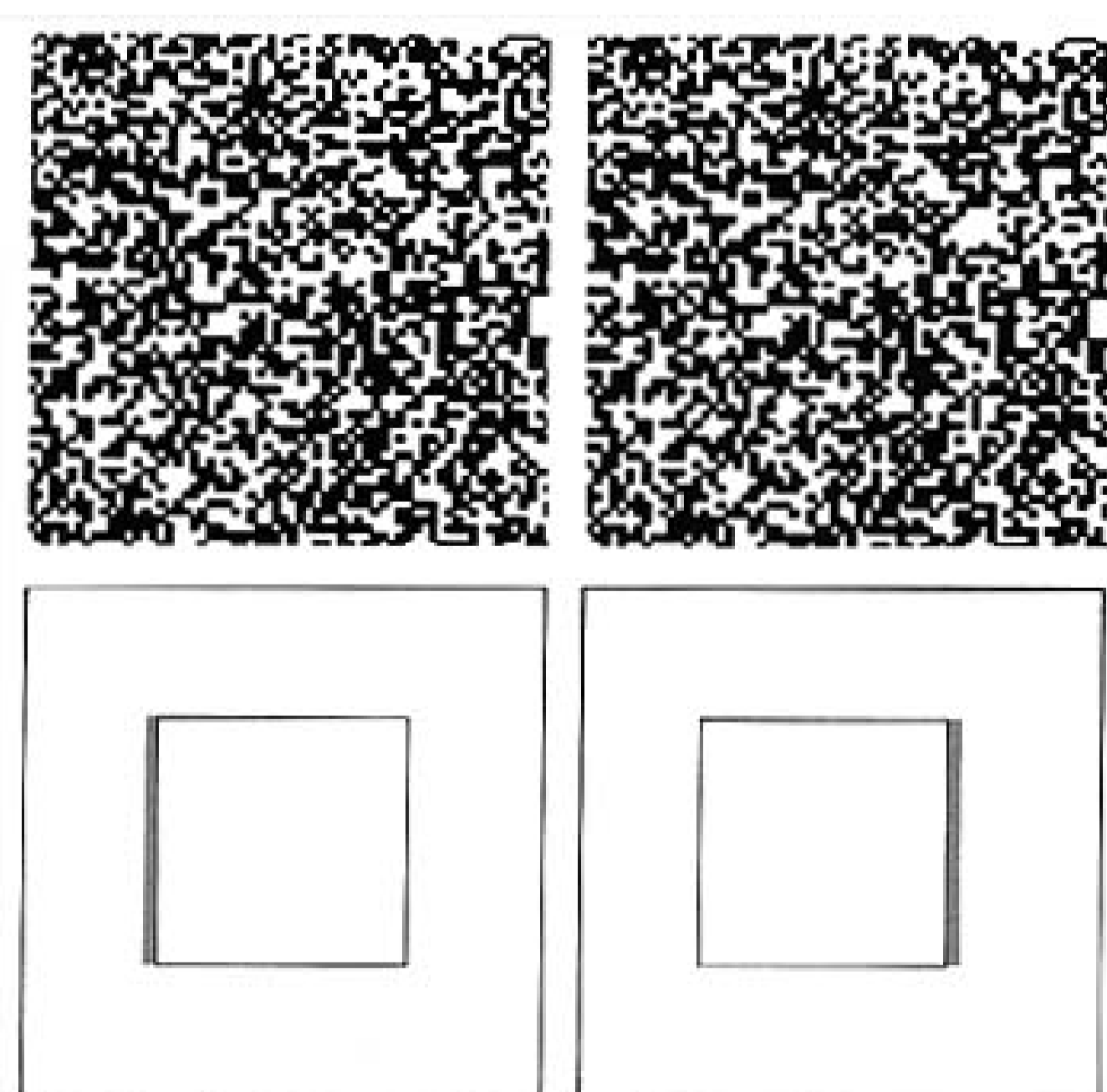
## Methodik: PHANTOM



28

Optimale Integration

## Exkurs: Random-dot Stereogram



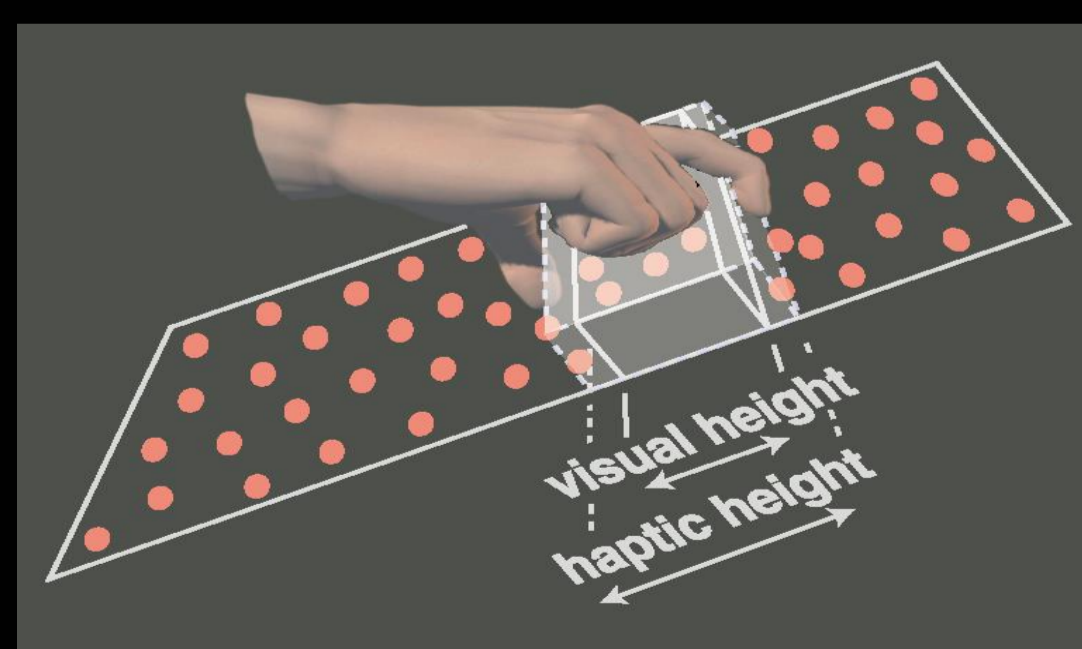
29

Optimale Integration

## MLE-Modell & intermodale Integration (visuo-haptische Größenschätzung)



### Wie untersucht man so ein Modell?



-Beispiel visuo-haptische Größenschätzung eines Balkens (Ernst & Banks, 2002)

- 1) Bestimme (& manipulierte) Zuverlässigkeiten der einzelnen Modalitäten = einzelne Signale
  - Diskriminationsschwellen (2-IFC, constant stimuli)
- 2) Vorhersagen für Zuverlässigkeiten & Signalgewichte bei intermodaler Integration gemäß Modell
- 3) Bestimme empirische Werte bei intermodaler Integration
  - 2-IFC Diskriminationsschwellen & PSE's bei diskrepananten Signalen

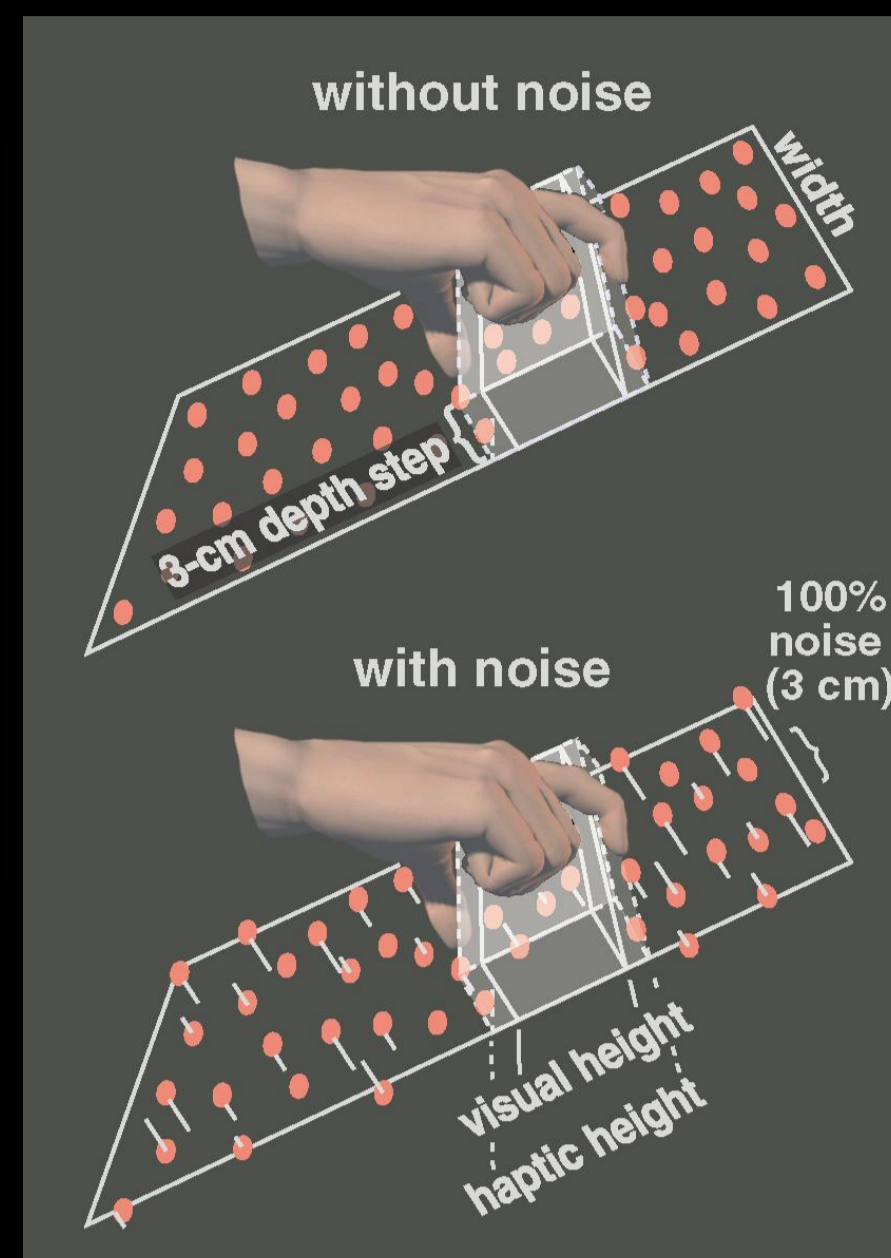
Optimale Integration



## Experimentelles Design

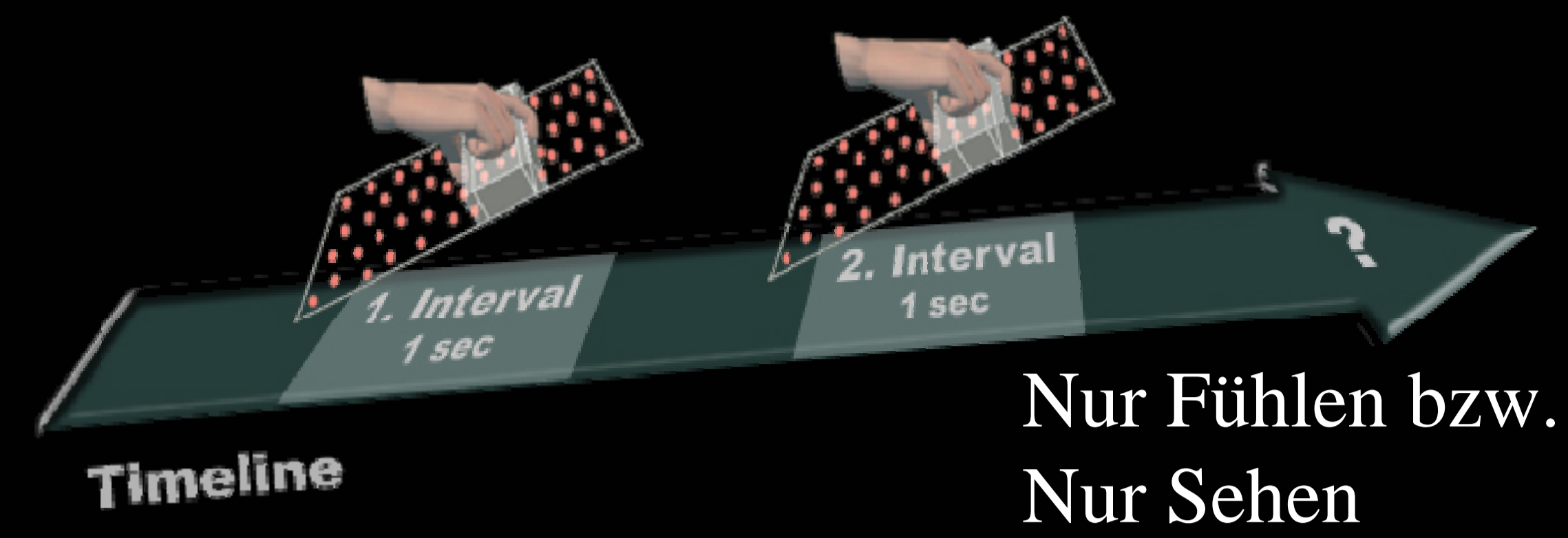
Optimale Integration

Discrimination	Within-Modality	Visual-Haptic
Standard	55mm	average size 55mm 5 D's: -6, -3, 0, 3, 6 mm
Comparison	47-63mm	no conflict 47-63mm
Common	n=4 subjects noise level: 0%, 67%, 133%, 200% presentation time: 1 sec	

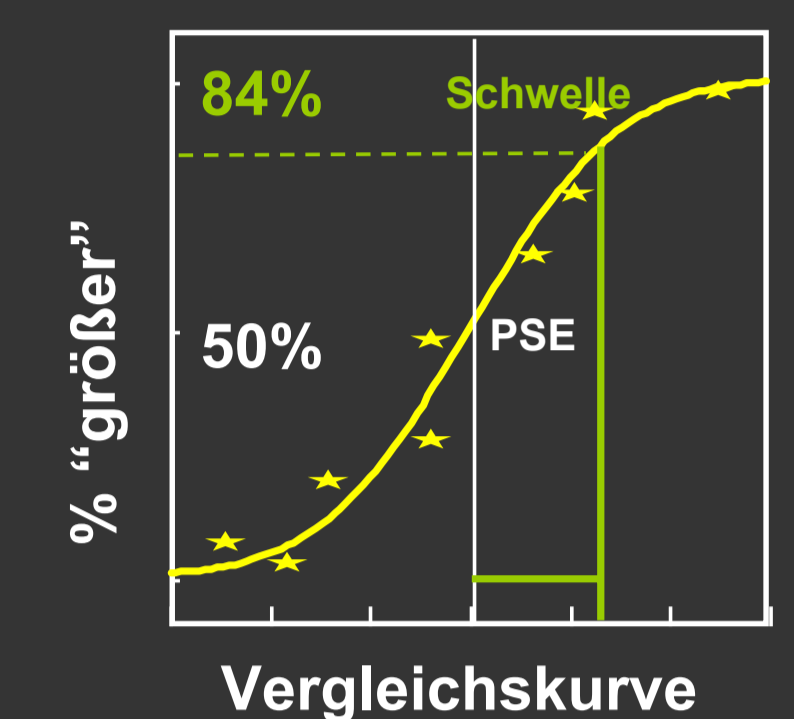


## Methodik: Quantifizierung des Perzepts

Optimale Integration

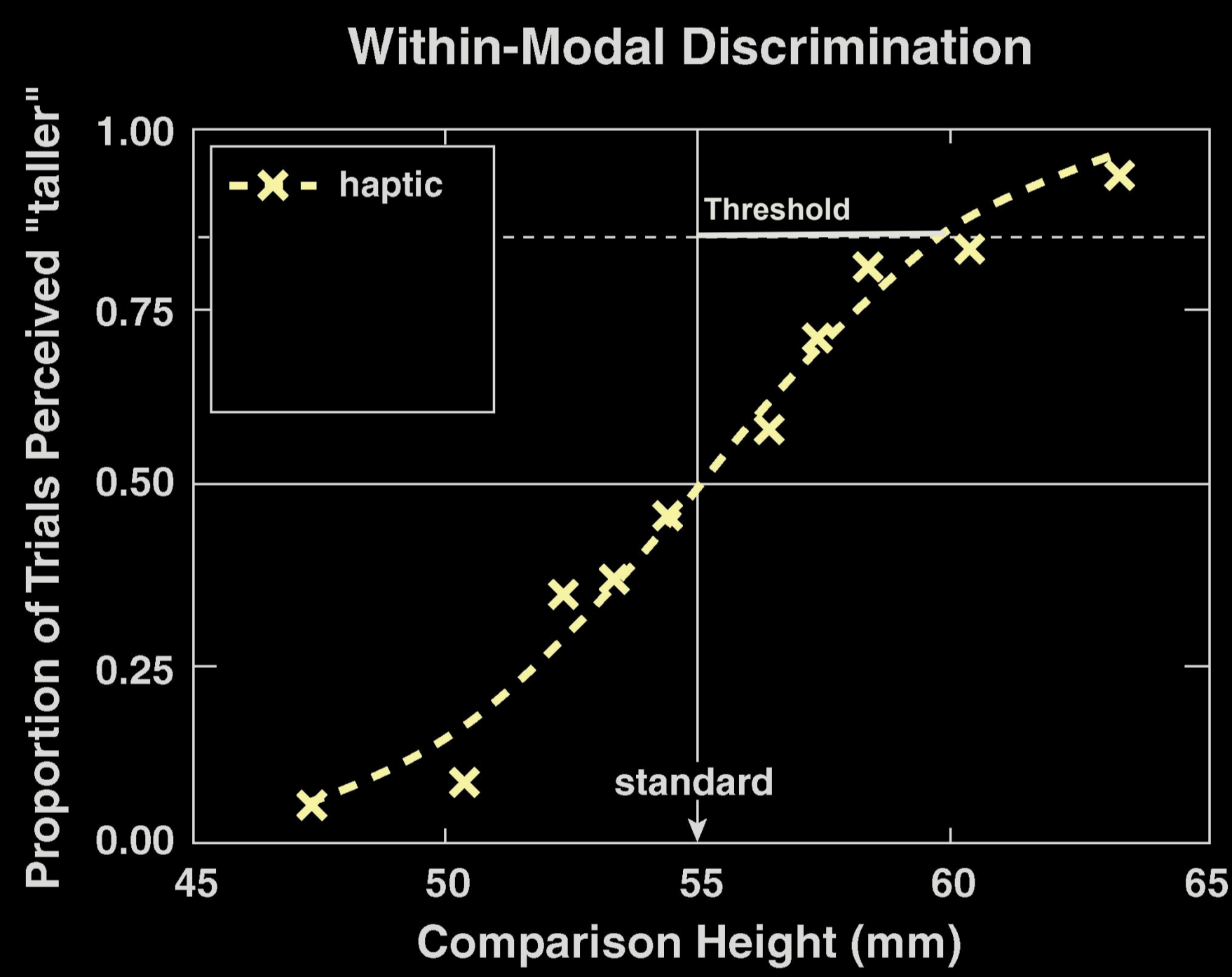


- Methode konstanter Stimuli
- Mehrere Wiederholungen
- Mehrere Vergleichsreize
- Bestimme psychometrische Funktion
- Bestimme Schwelle



### 1) Bestimme (& manipulierte) Zuverlässigkeiten der einzelnen Modalitäten

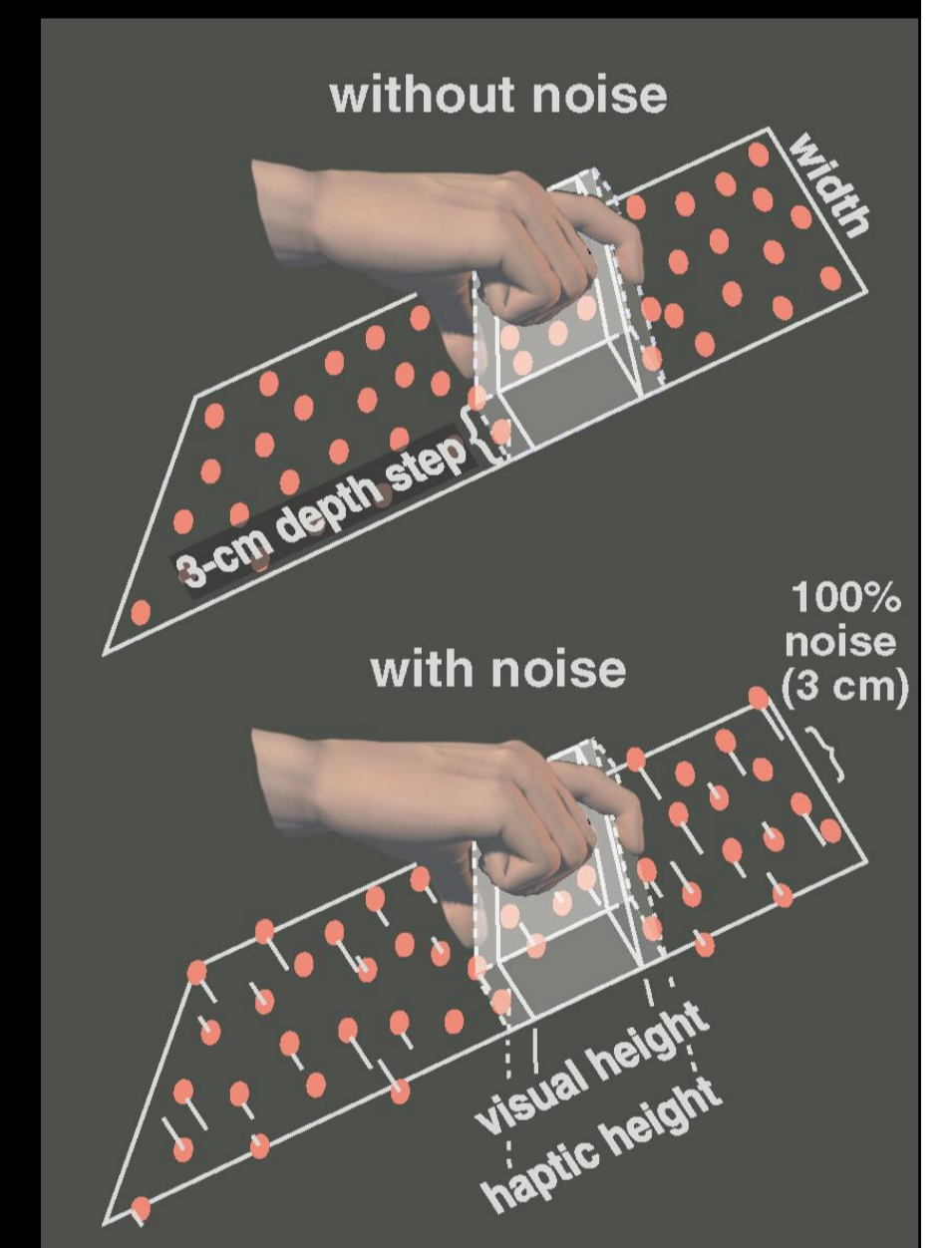
Optimale Integration



## Experimentelles Design

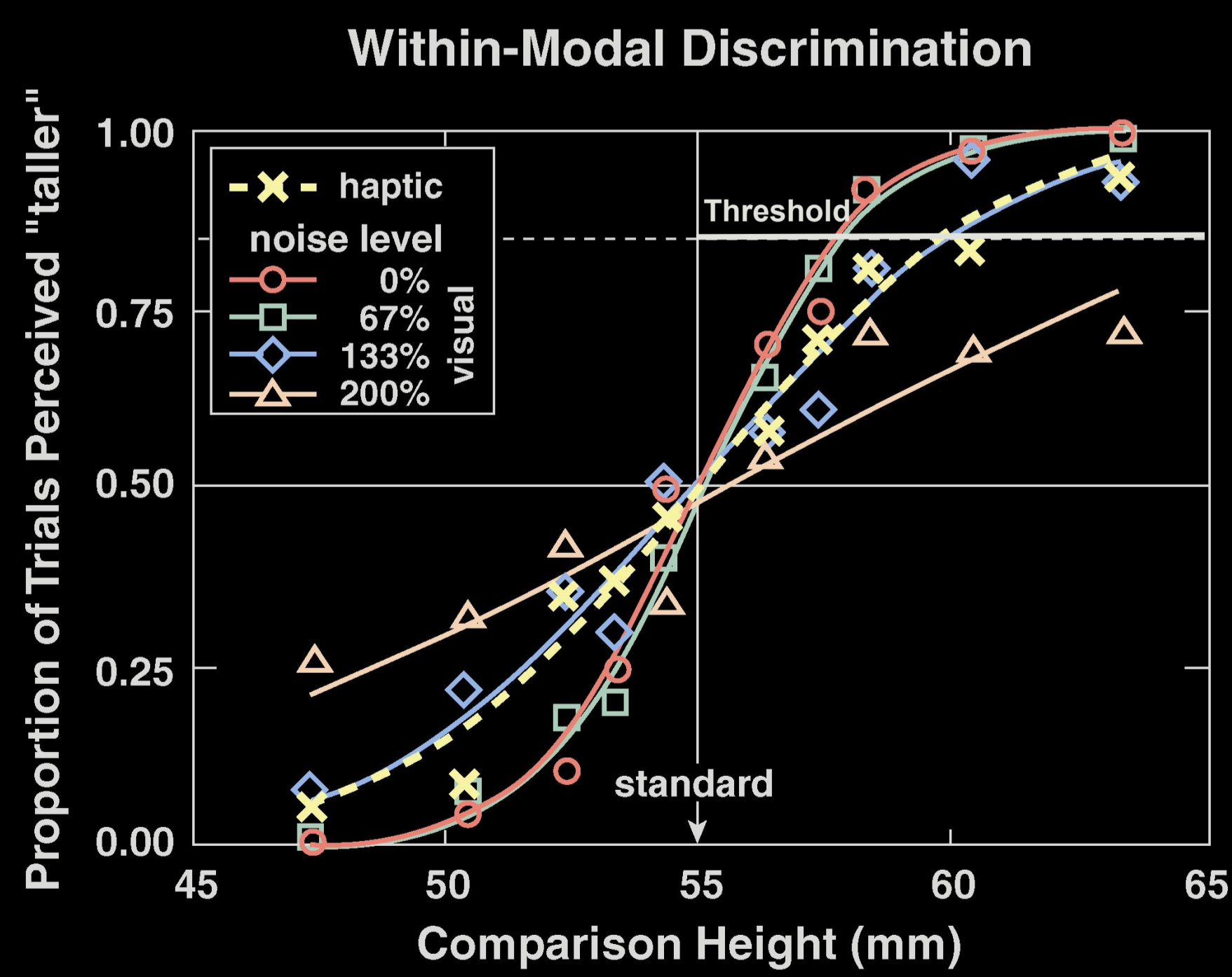
Optimale Integration

Discrimination	Within-Modality	Visual-Haptic
Standard	55mm	average size 55mm 5 D's: -6, -3, 0, 3, 6 mm
Comparison	47-63mm	no conflict 47-63mm
Common	n=4 subjects noise level: 0%, 67%, 133%, 200% presentation time: 1 sec	



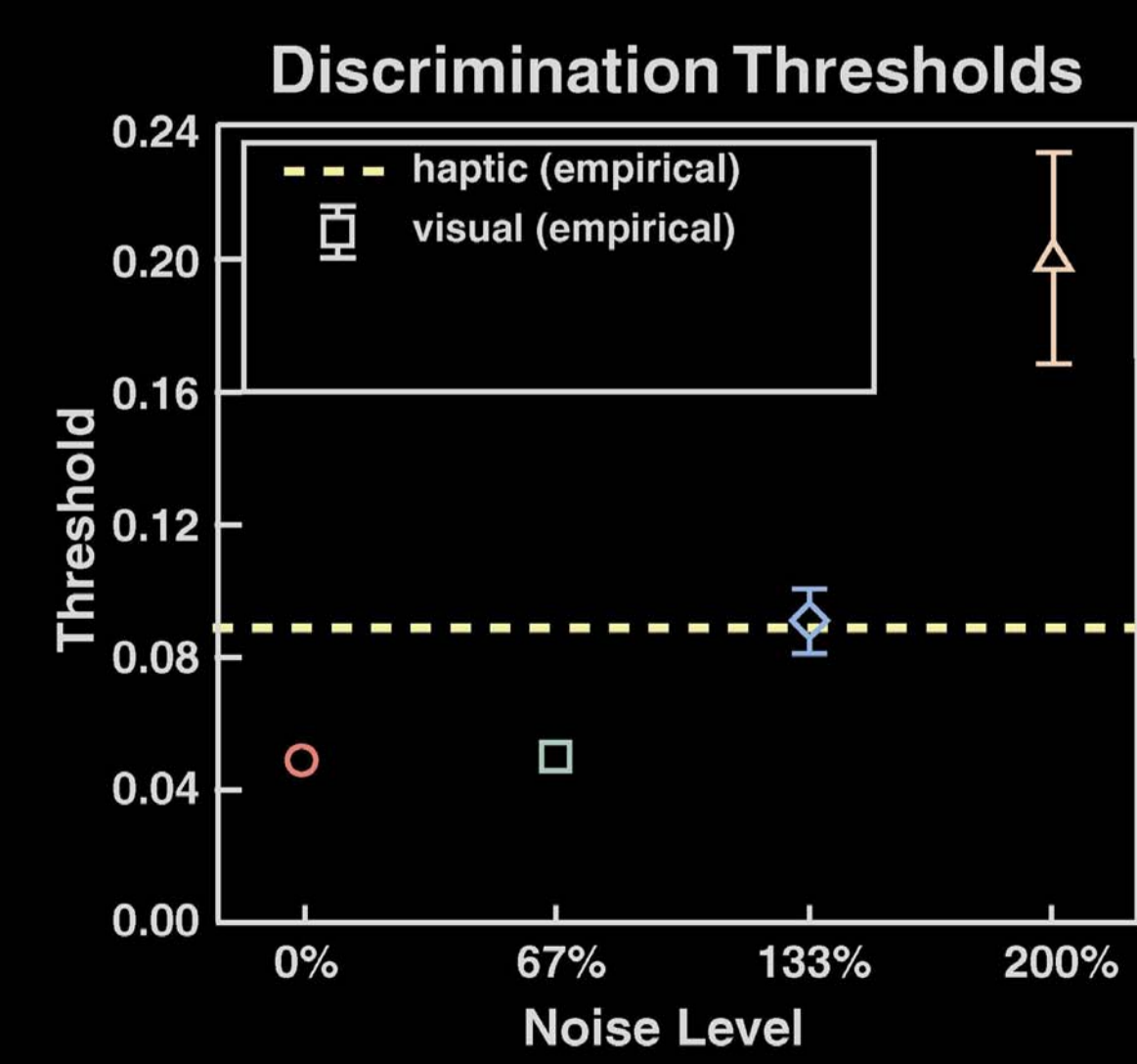
### 1) Bestimme (& manipulierte) Zuverlässigkeiten der einzelnen Modalitäten

Optimale Integration



### Empirische Diskriminationsschwellen ~ $\sqrt{1/\text{Zuverlässigkeit}}$

Optimale Integration





MLE-Modell & intermodale Integration (visuo-haptische Größenschätzung)

Wie untersucht man so ein Modell?

-Beispiel visuo-haptische Größenschätzung eines Balkens (Ernst & Banks, 2002)

- Bestimme (& manipuliere) Zuverlässigkeiten der einzelnen Modalitäten = einzelne Signale
  - Diskriminationsschwellen (2-IFC, constant stimuli)
- Vorhersagen für Zuverlässigkeiten & Signalgewichte bei intermodaler Integration gemäß Modell
- Bestimme empirische Werte bei intermodaler Integration
  - 2-IFC Diskriminationsschwellen & PSE's bei diskrepanten Signalen

2) Vorhersagen für Zuverlässigkeiten & Signalgewichte bei intermodaler Integration

Combined Estimator:  $P_c = \prod_i P_i$

PSE

$\hat{S}_{VH} = w_V \hat{S}_V + w_H \hat{S}_H$  linear weighted combination

$w_i = \frac{1/\sigma_i^2}{\sum_i 1/\sigma_i^2}$  weight  $\propto$  inverse variance (normalized)  $w_V + w_H = 1$

Variance ~ Threshold

$\frac{1}{\sigma_{VH}^2} = \frac{1}{\sigma_V^2} + \frac{1}{\sigma_H^2}$

$\sigma_{VH}^2 = \frac{\sigma_V^2 \sigma_H^2}{\sigma_V^2 + \sigma_H^2}$

MLE-Modell & intermodale Integration (visuo-haptische Größenschätzung)

Wie untersucht man so ein Modell?

-Beispiel visuo-haptische Größenschätzung eines Balkens (Ernst & Banks, 2002)

- Bestimme (& manipuliere) Zuverlässigkeiten der einzelnen Modalitäten = einzelne Signale
  - Diskriminationsschwellen (2-IFC, constant stimuli)
- Vorhersagen für Zuverlässigkeiten & Signalgewichte bei intermodaler Integration gemäß Modell
- Bestimme empirische Werte bei intermodaler Integration
  - 2-IFC Diskriminationsschwellen & PSE's bei diskrepanten Signalen

3) Bestimme empirische Werte bei intermodaler Integration

Discrimination	Within-Modality	Visual-Haptic
Standard	55mm	average size 55mm 5 D's: -6, -3, 0, 3, 6 mm
Comparison	47-63mm	no conflict 47-63mm

n=4 subjects  
noise level: 0%, 67%, 133%, 200%  
presentation time: 1 sec

Methodik: Quantifizierung des Perzepts

Integration

Timeline

1. Interval 1 sec

2. Interval 1 sec

Fühlen + Sehen

Vergleich visuo-haptischer Balken  
Mit diskrepanten Größensignalen vs Konsistente Größensignale

→ Bestimme PSE ("Punkt subjekt. Gleichheit")

Vergleichsgröße

3) Bestimme empirische Werte bei intermodaler Integration

Standard ( $S_H < S_P < S_V$ )

52 55 58

height

Comparison ( $S_H = S_V = S_P$ )

No-conflict perceived "larger" %

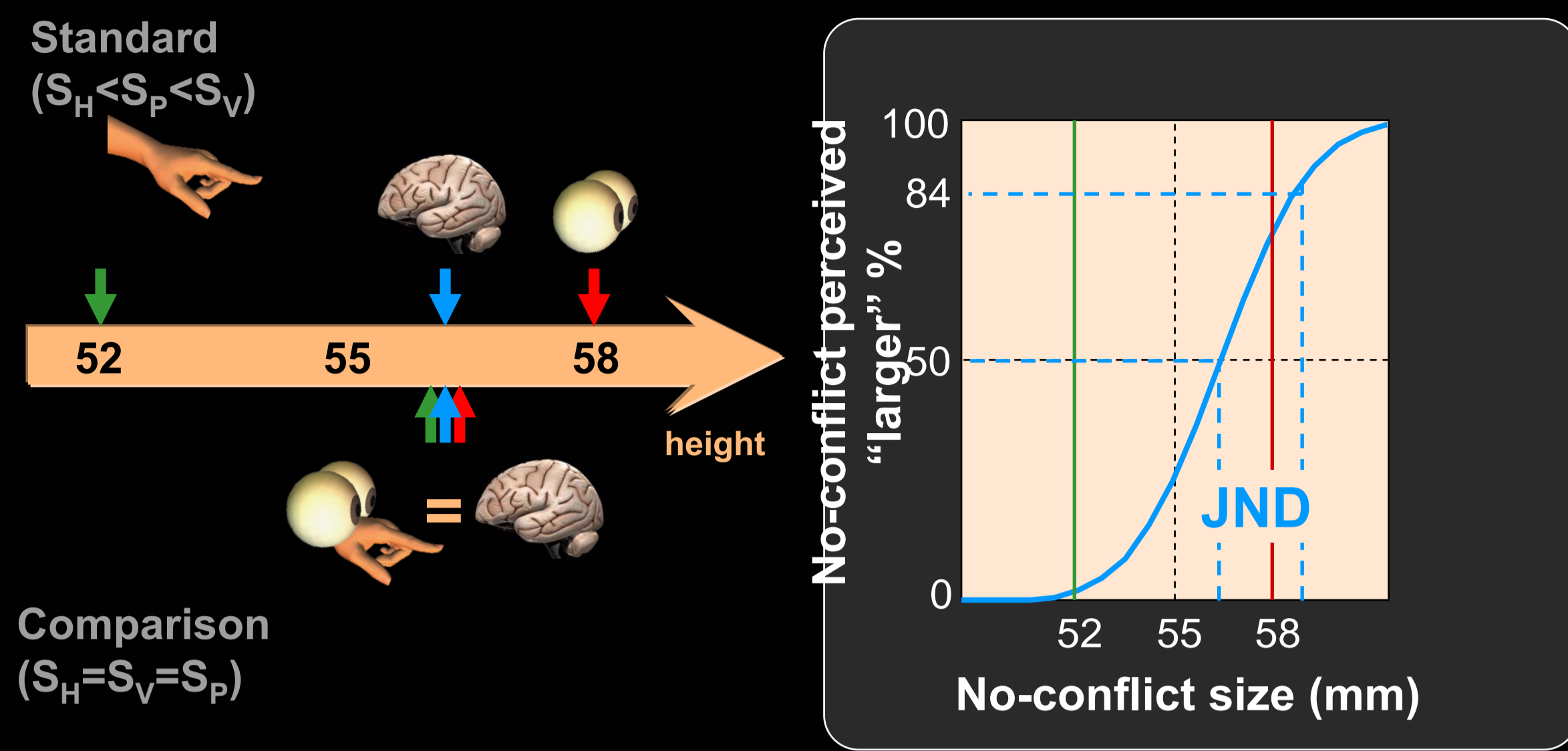
No-conflict size (mm)

Point of subjective equality (PSE): Value of no-conflict stimulus perceived as same size as conflict stimulus.



### 3) Bestimme empirische Werte bei intermodaler Integration

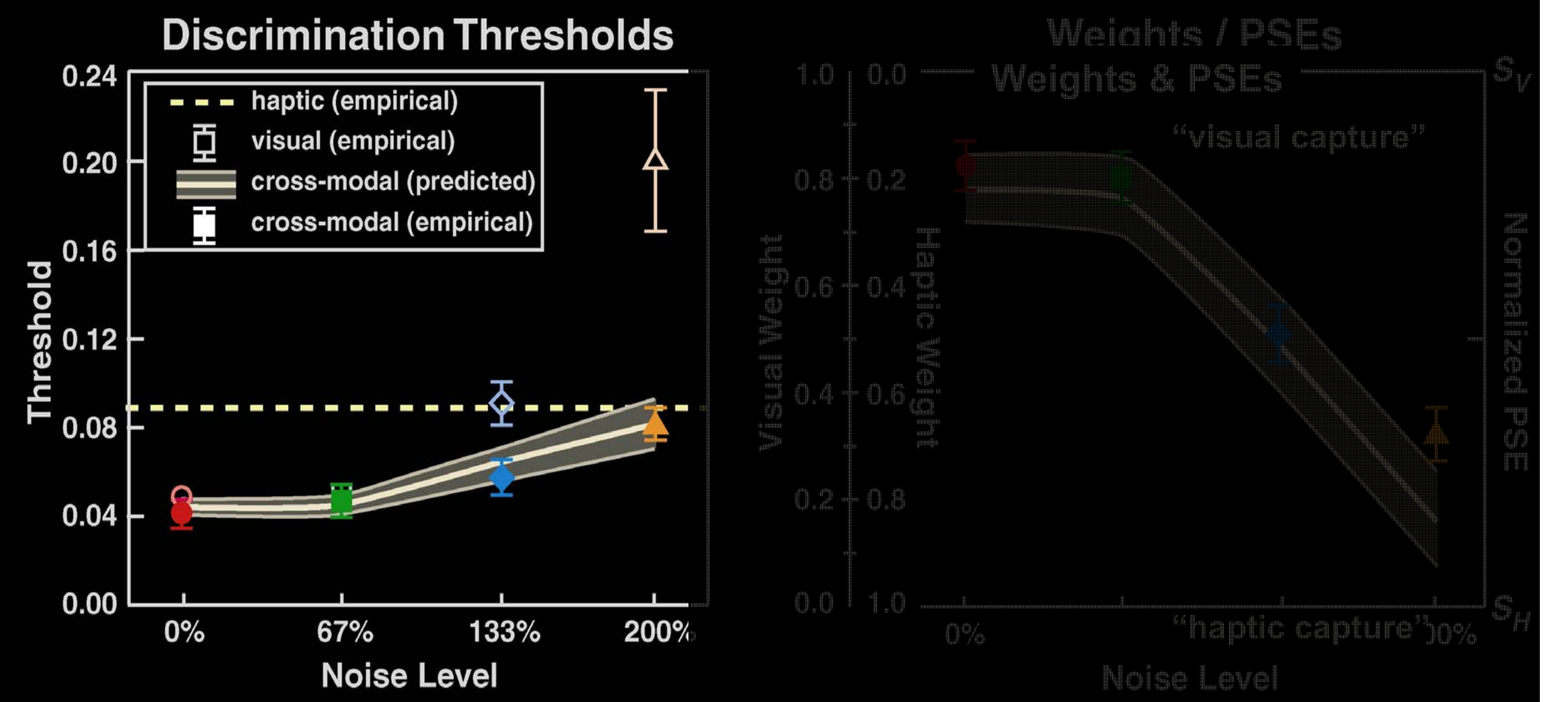
Optimale Integration



Difference threshold (JND): Change in value of no-conflict stimulus that yields reliable change in response.

### Vorhergesagte & empirische Werte bei intermodaler Integration

Optimale Integration



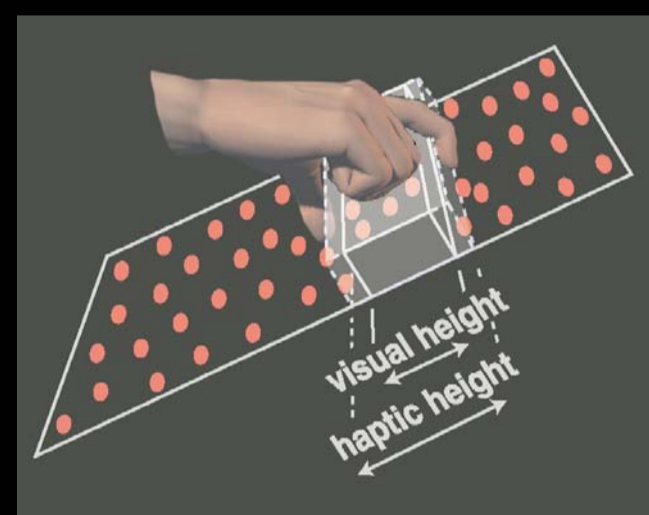
### Conclusions I

Optimale Integration

#### Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion

Marc O. Ernst\* & Martin S. Banks

Vision Science Program/School of Optometry, University of California, Berkeley  
94720-2020, USA

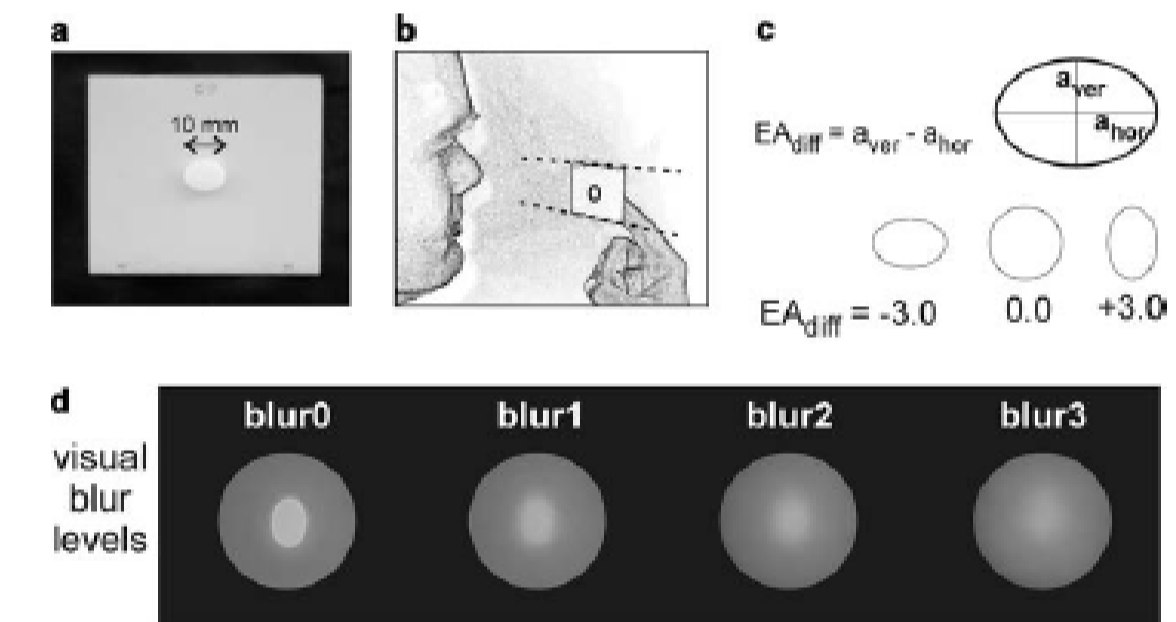


- Combination reduces variance.
- Linear weighting scheme for visual-haptic perception.

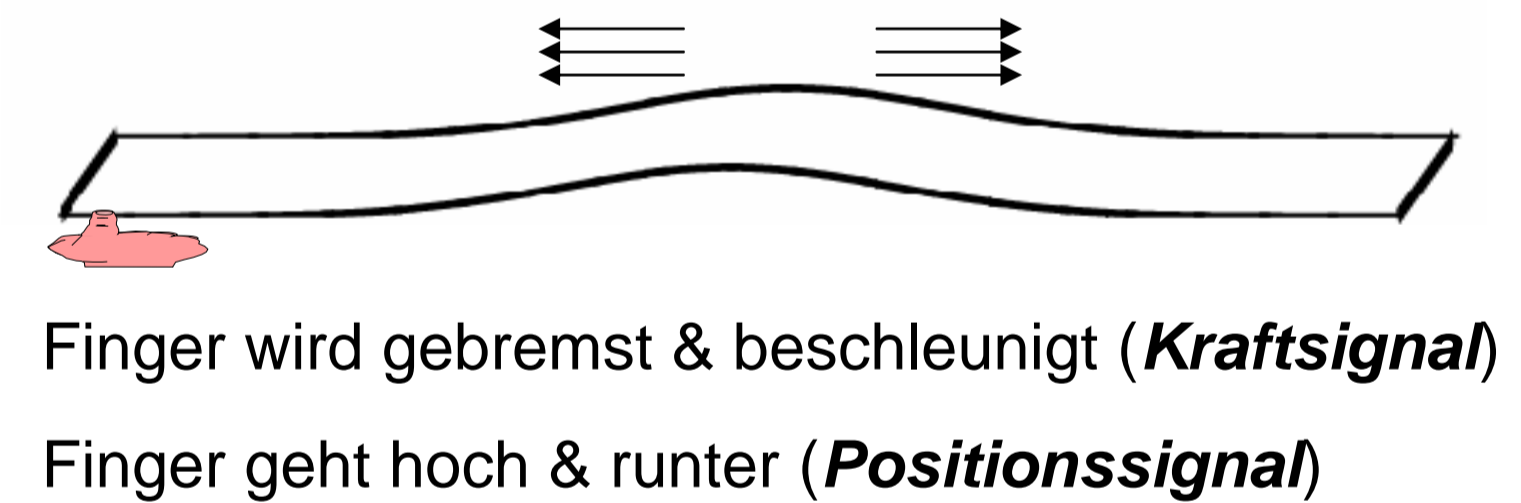
### Weitere Evidenz für optimale Integration

Optimale Integration

- Z.B., Bauchrednereffekt (Alais, & Burr, 2004)
- Z.B., visuo-haptische Integration von Form (Helbig, & Ernst, in press)



- Z.B., intrahaptische Integration von Kraft- und Positionssignalen (Drewing & Ernst, 2006; Drewing, Wiecki & Ernst, 2007)

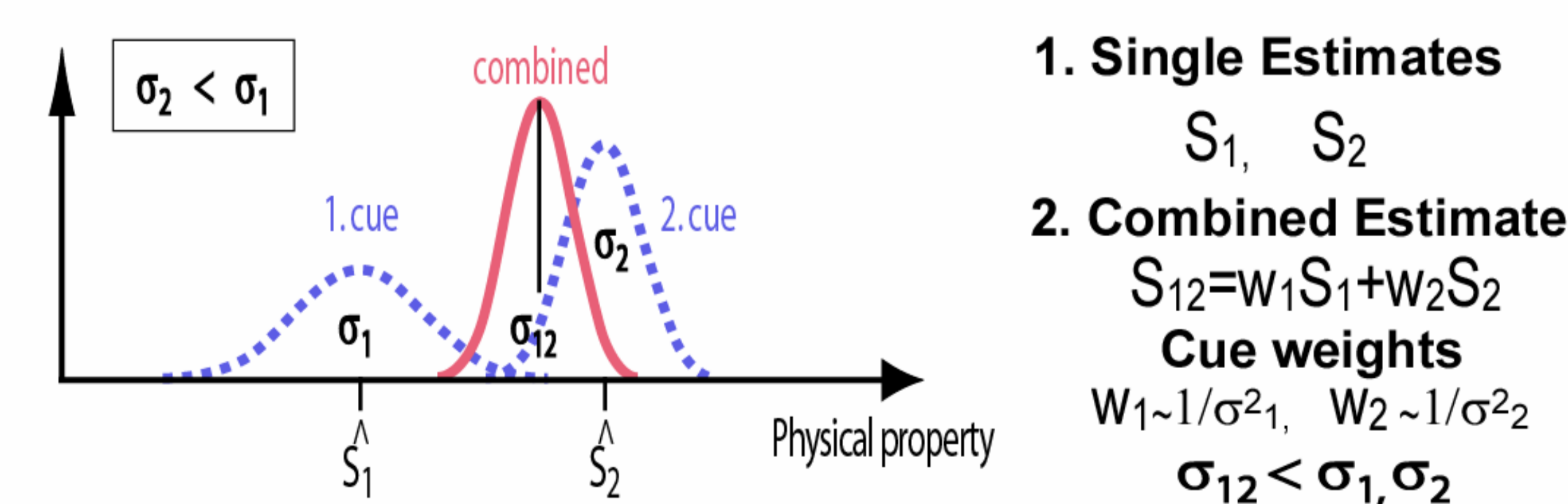


46

### MLE-Modell optimaler Integration

Optimale Integration

- Prämisse: Rauschen der Signale normalv. & unabhängig
- A) Jedes Signal über eine physikalische Eigenschaft trägt zu deren Wahrnehmung bei in gewichtetem Mittel
- B) Signale werden gemäß Verlässlichkeit (1/Rauschen) gewichtet
- C) → Maximierung der Verlässlichkeit der Wahrnehmung



### MLE Modell für Signalintegration

Optimale Integration

- Intramodale Integration konsistent mit MLE Modell (haptische Form, visuelle Tiefe ...)
- Intermodale Integration bestätigt quantitative Vorhersagen des MLE Modells (visuo-haptisch- Größe, visuo-auditiv- Lokation)

→ Offene Fragen:

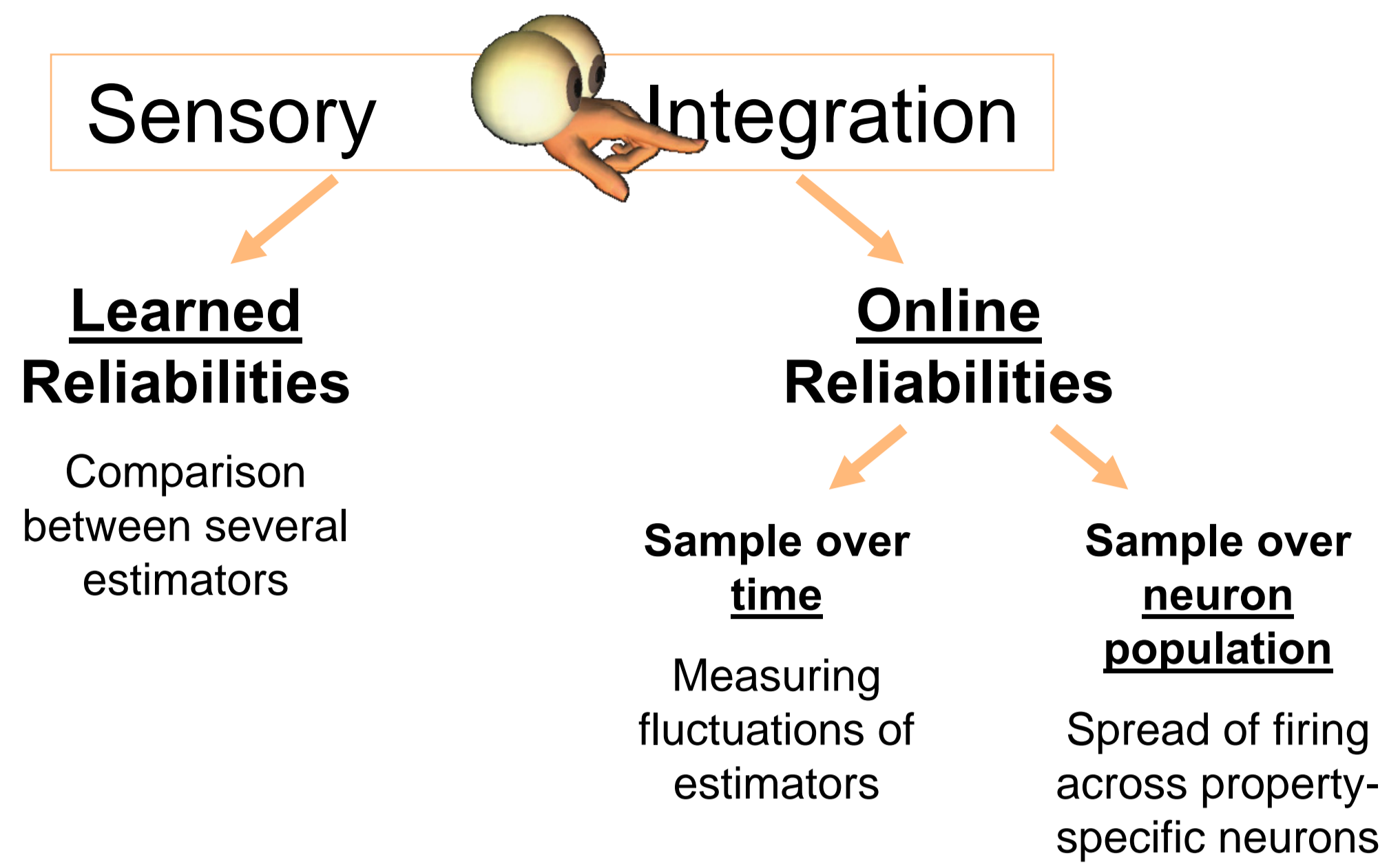
- Woher kennt das System die Signalzuverlässigkeit?
- Welche Signale werden demselben externen Ereignis/Objekt zugesprochen?
- Wie ist Signalintegration in Handlung eingebettet?

48



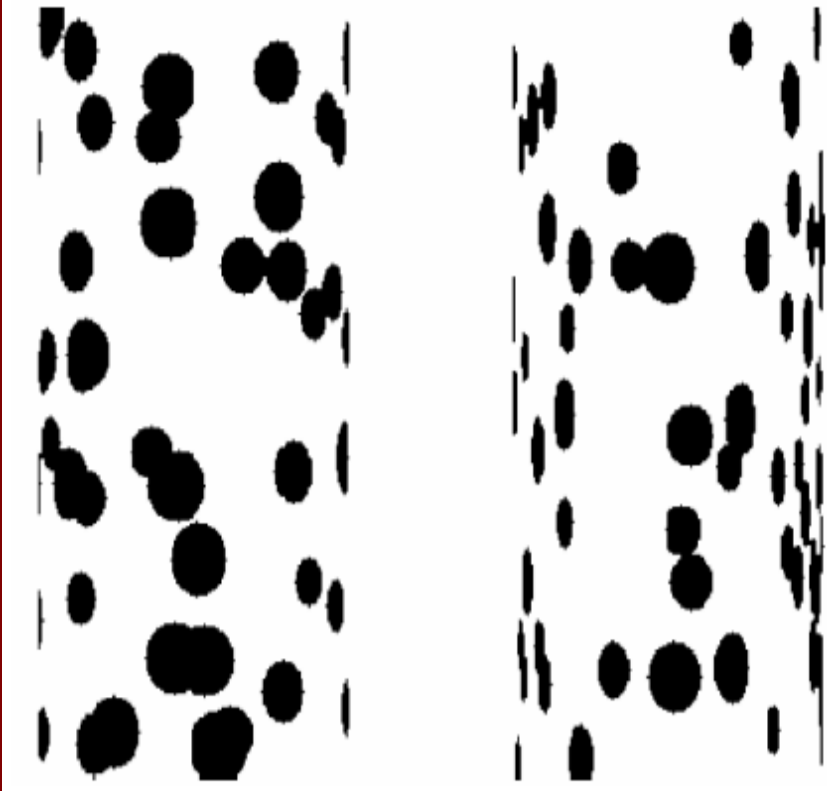
Offene Fragen: Woher kennt das Gehirn die Signalverlässlichkeit?

Offene Fragen



Learned Reliabilities & elliptical cylinder experiment

Offene Fragen

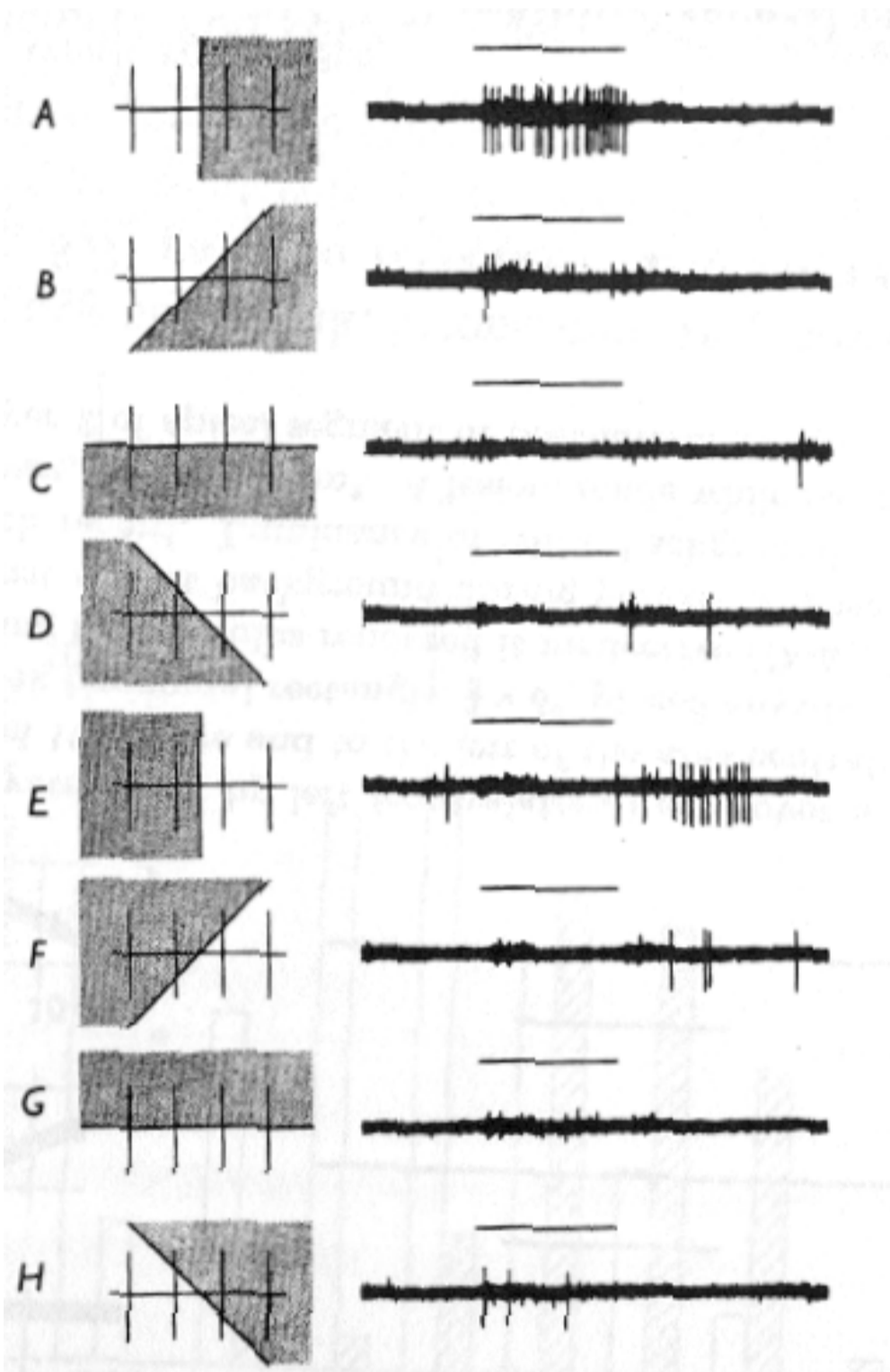


Textur & Stereosignal Gewichtsbestimmung In Übung korreliert haptisches Signal mit Stereo, aber nicht Textur (oder v.v.)

Adaptation der Signalgewichte gemäß Korrelation von haptischem & jeweiligem visuellen Signal

Online reliabilities – sample over population

Offene Fragen



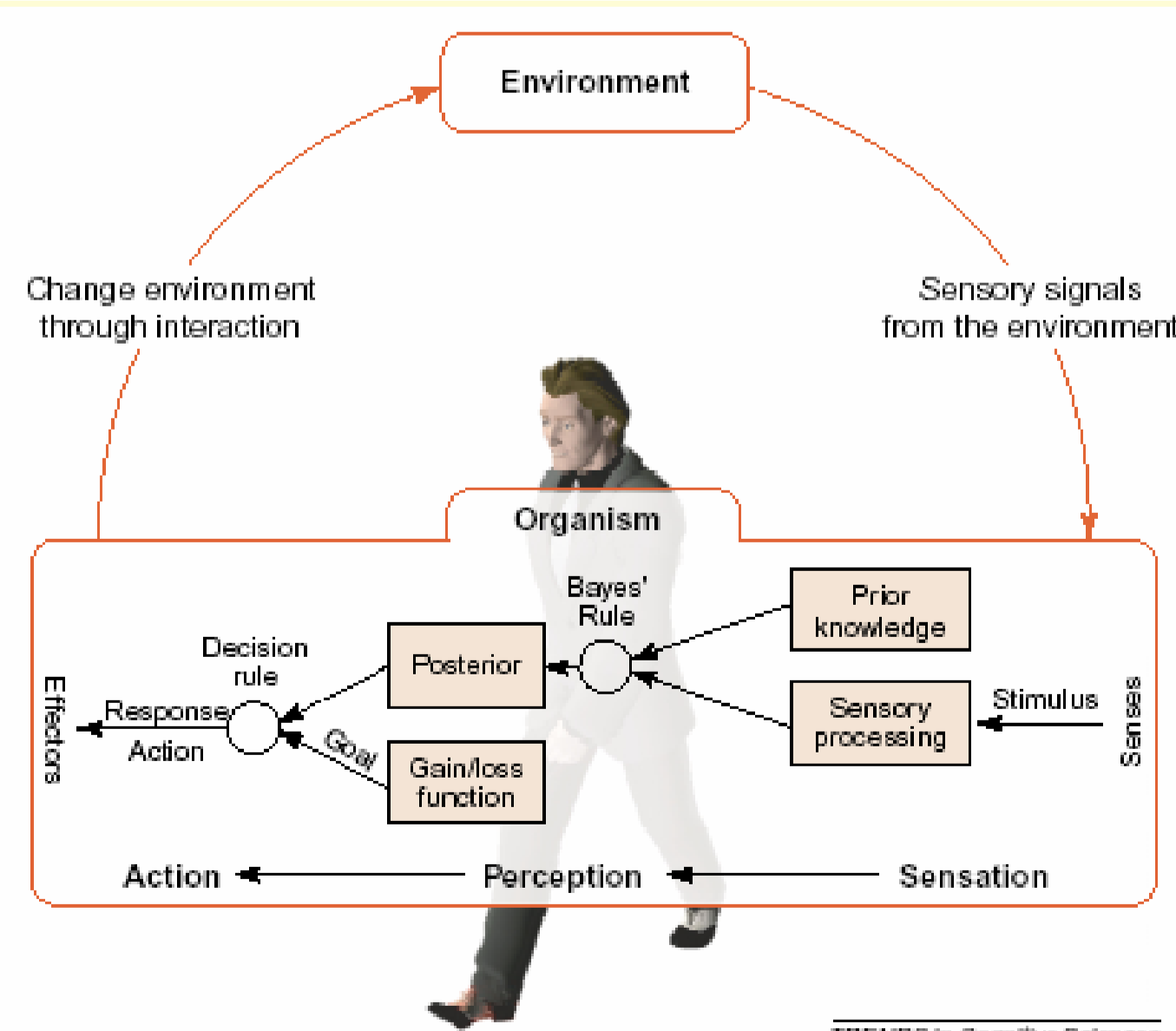
Offene Fragen: Grenzen der Integration = „Korrespondenzproblem“

Offene Fragen

- Wie erkennt das System Korrespondenzen zwischen den Signalen?
- Zeitliche Bedingungen?
  - unklar
- Räumliche Bedingungen?
  - Kritisch (s. Ernst et al., 2006)
- Lernbedingungen?
  - Entwicklungspsychologische Studien

Offene Fragen: MLE-Modell & Handlung

Offene Fragen



= laufende Forschung hier am Institut

Rückblick

Offene Fragen

- Vielfalt sensorischer Signale → Einheit der Wahrnehmung
- Kombination nichtredundanter Signale
  - Disambiguierung
  - Kooperation
- Integration redundanter Signale
  - Inter- und intramodal optimal (MLE Modell)
  - Viele offene Fragen
- Anwendungsmöglichkeit Haptic Device

...



## Anwendung: Haptic Display Technologie

Anwendung



- Graphical user interfaces
- Games
- Multi-media publishing
- Scientific discovery
- Arts and creation
- Editing sounds and images
- Vehicle operation
- Engineering
- Manufacturing
- Telerobotics and teleoperation
- Education and training
- Rehabilitation
- Scientific study of touch

55

## Vermutlich (!!!) relativ zuverlässige Signale bei haptischer Formwahrnehmung

(Hayward, 2004)

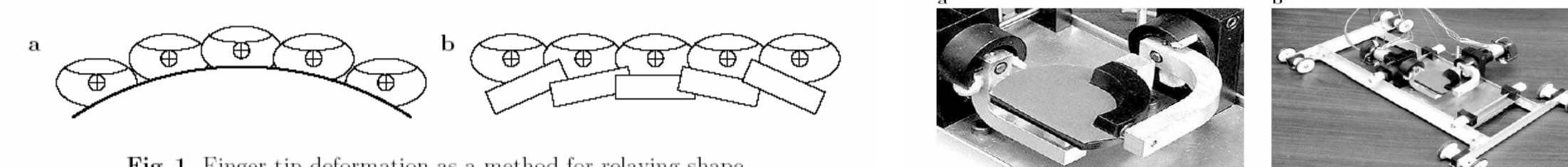


Fig. 1. Finger tip deformation as a method for relaying shape.

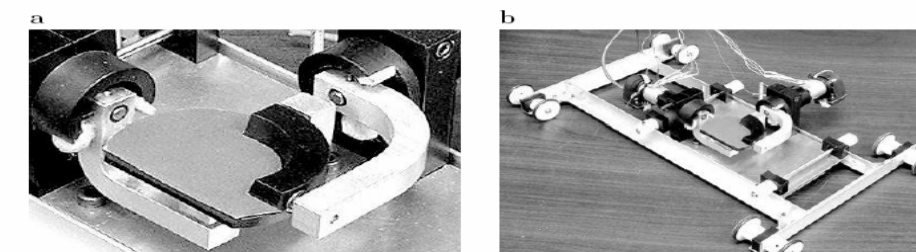


Fig. 2. a) Sensor-controlled spherical linkage. b) Mechanism on lightweight glove.

- Große Objekte: Orientierung der Kontaktfläche

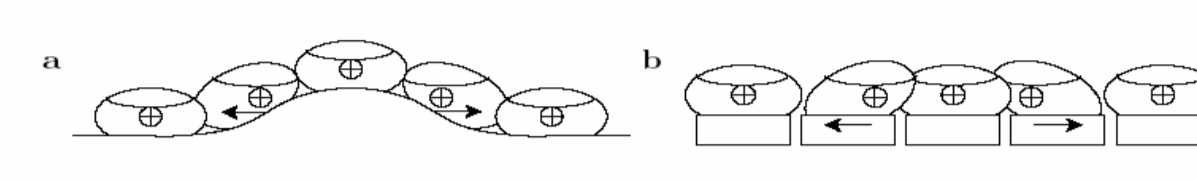


Fig. 3. a) Rolling fingertip deformation. b) As a method for relaying shape.

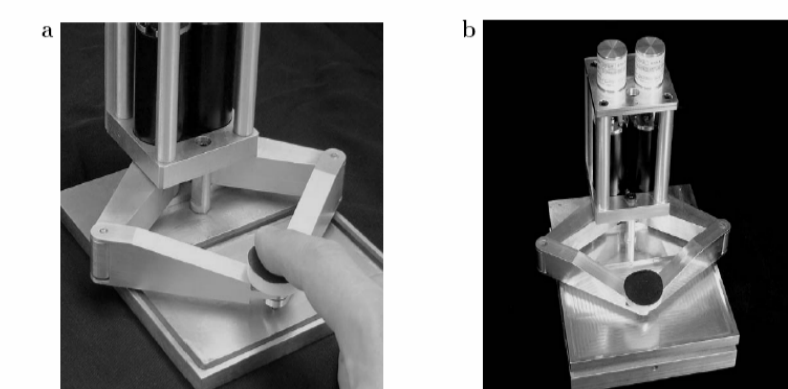


Fig. 4. a) Pantograph with planar workspace. b) System with force sensing pedestal and high resolution encoders.

- Mittlere Objekte: Kraftsignale

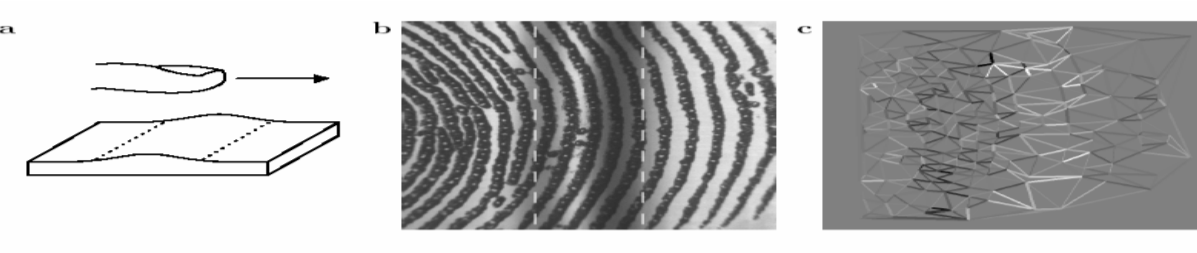


Fig. 7. a) A finger slides on a ridge of millimetric scale (0.5 mm high). b) The skin is deformed and its anatomical features tracked. c) Regions of skin compression are represented by darker segments, while regions of stretch have lighter segments [7].

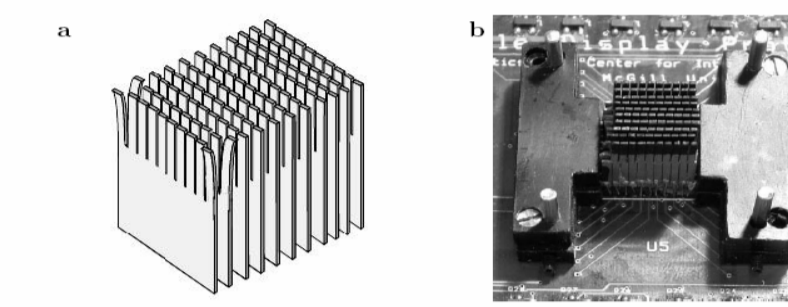


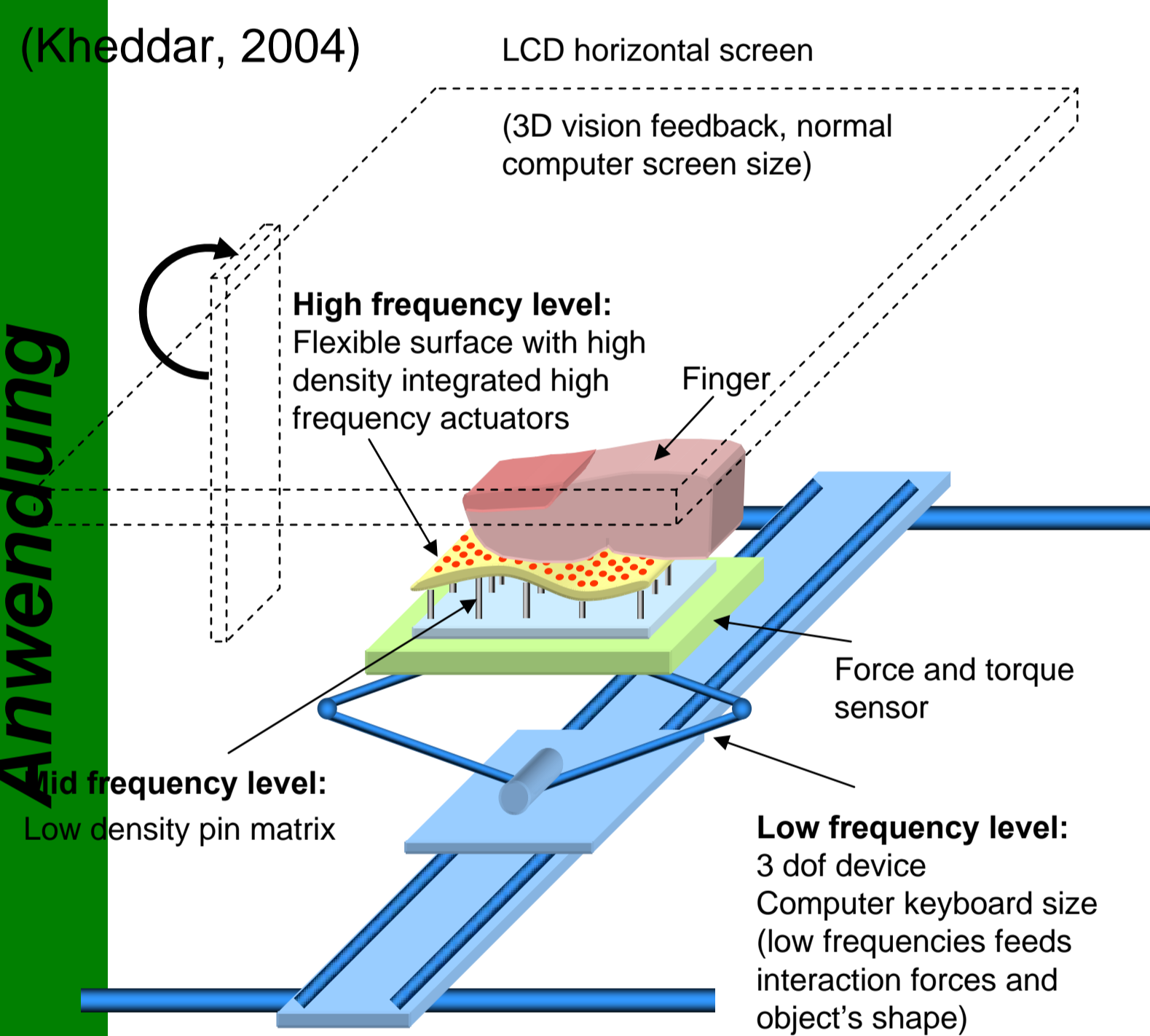
Fig. 8. a) Stacking of bimorphs cut in the shape of a cone forms a two dimensional array. b) The array is rolled onto a single level array surface. Internally, the array is supported by a stack of piezoelectric actuators.

- Mikrostrukturen: Differentielle Hautdeformation

## Haptic Display Technologie

Anwendung

(Kheddar, 2004)



57

## Literaturempfehlung

- Ernst, M.O., & Bühlhoff, H.H. (2004). Merging the Senses into a Robust Percept. *Trends in Cognitive Science* 8, 162-169.

58

## Sensorische Signale und deren Zusammenspiel

**Dr. Knut Drewing**

Justus-Liebig-University, Giessen

Juni 2007, Giessen

59