

# ***Hautsinne***

Dr. Knut Drewing  
Uni Gießen

# Haut – das größte Sinnesorgan

Spezifische Informationen über Außenwelt  
(z.B. Temperatur, Material, Gewicht)



Protektion  
(Schmerz, Temperatur)



Bewegungssteuerung  
(z.B. Präzisionsgriff, Deafferentierung)



Sozio-emotional  
(Streicheln, Sexualität)



# Hautsinne

**Tastsinn** – *Mechanoreception* (Druck, Berührung, Vibration)

**Temperatursinn** – *Thermoreception* (Wärme, Kälte)

**Schmerzsinn** – *Nociception* (Schmerz, evtl. Jucken)

# Propriozeption

**Sinn für Bewegung und Stellung der Gliedmaßen, Kraft**

*Muskelspindelrezeptoren, Golgi-Organ*

# Haptik:

**Aktive Wahrnehmung (Bewegung + Hautsinne +  
Propriozeption)**

# Hautsinne

**Tastsinn** – *Mechanoreception* (Druck, Berührung, Vibration)

**Temperatursinn** – *Thermoreception* (Wärme, Kälte)

Schmerzsinn – *Nociception* (Schmerz, evtl. Jucken)

## Propriozeption

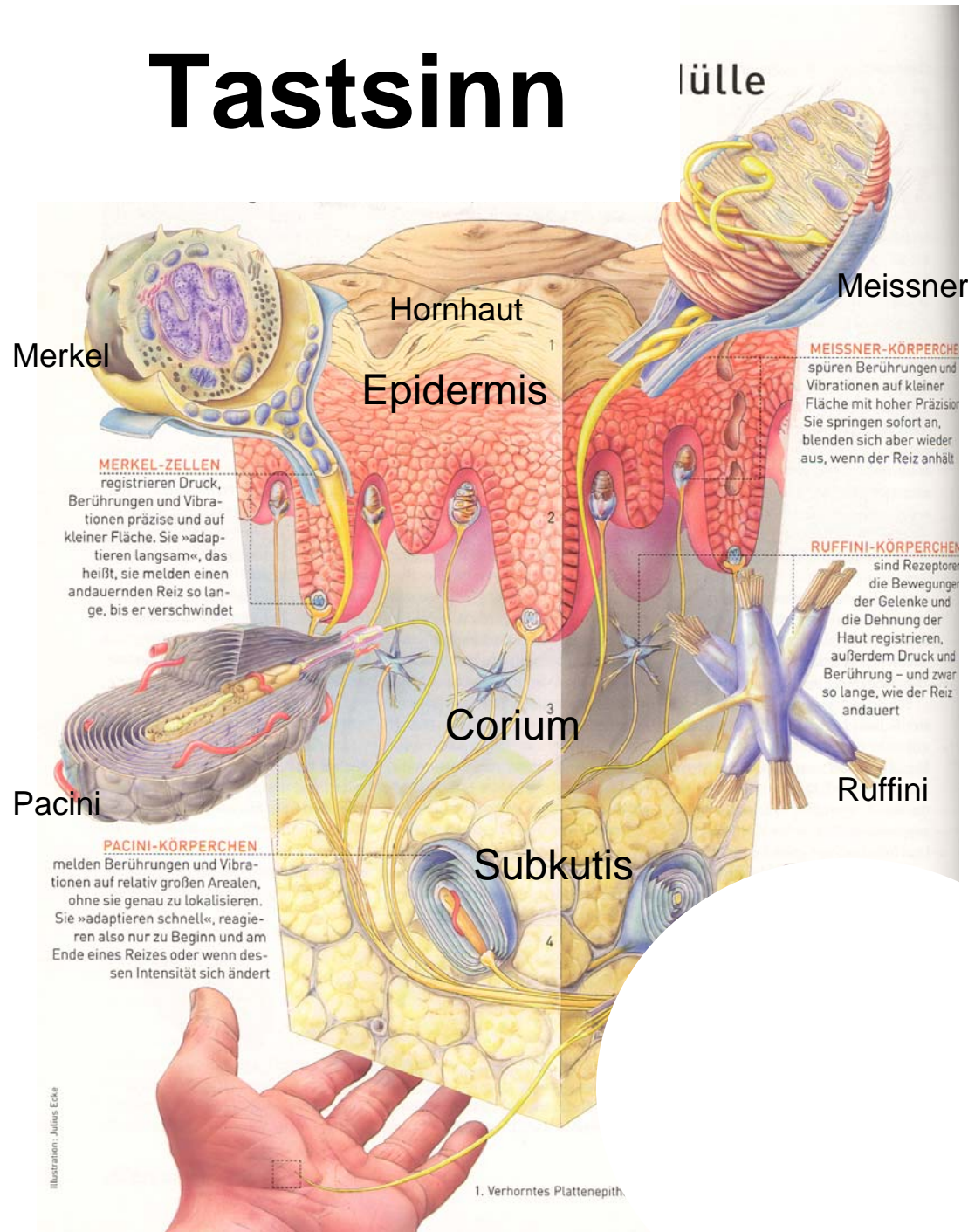
Sinn für Bewegung und Stellung der Gliedmaßen, Kraft

*Muskelspindelrezeptoren, Golgi-Organ*

## Haptik:

**Aktive Wahrnehmung (Bewegung + Hautsinne +  
Propriozeption)**

# Tastsinn



## Aufbau der Haut:

### **Epidermis**

Hornhaut

Oberhaut

### **Lederhaut (Korium, Kutis)**

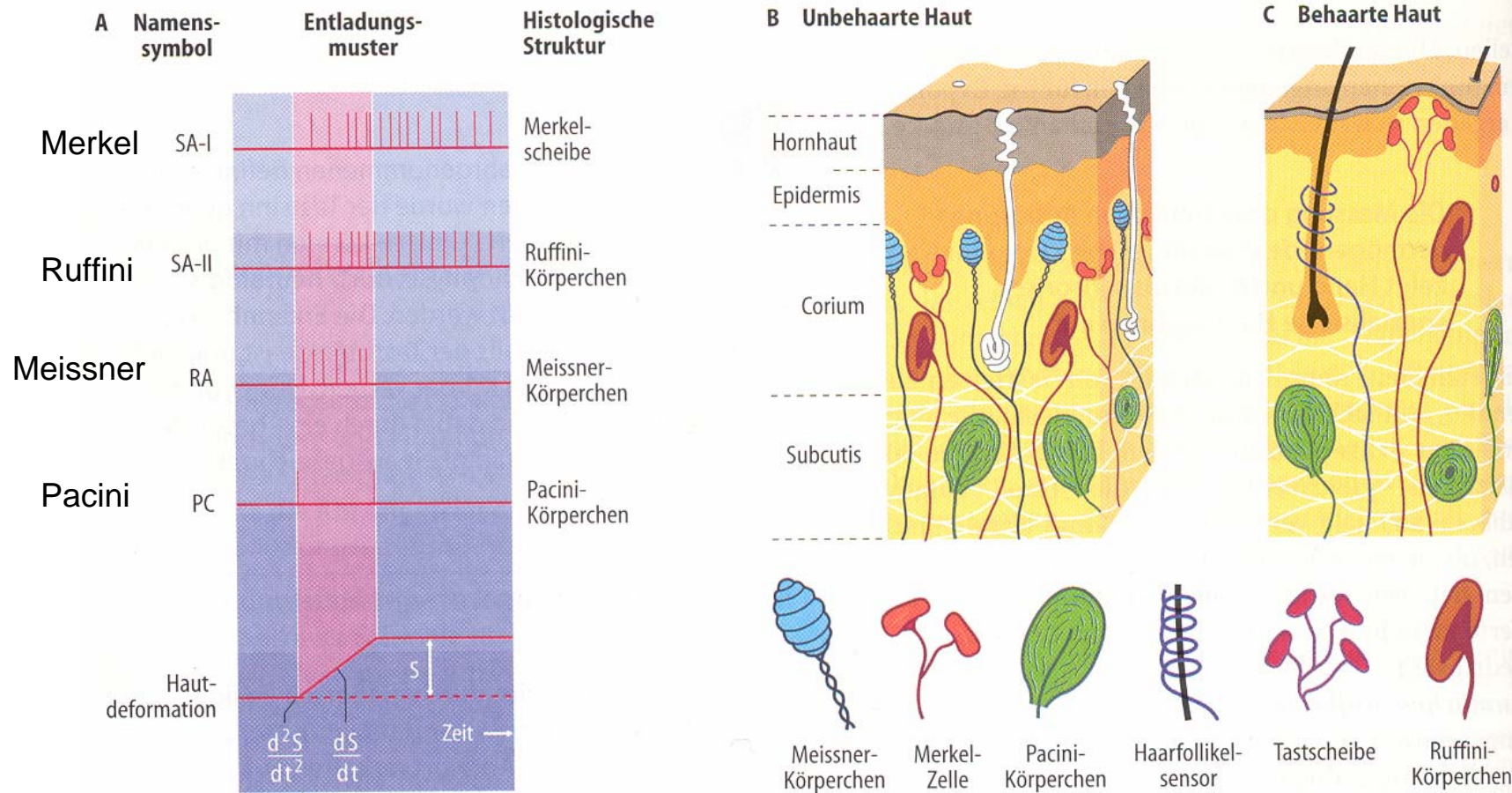
### **Unterhaut-Fettschicht (Subkutis)**

### Mechanorezeptoren

-durch periphere Endigungen der Nervenfasern selbst gebildet (**primäre Sinneszellen**).

-Freie Nervenendigungen selbst oder in besonderen Körperchen

# Unbehaarte und behaarte Haut



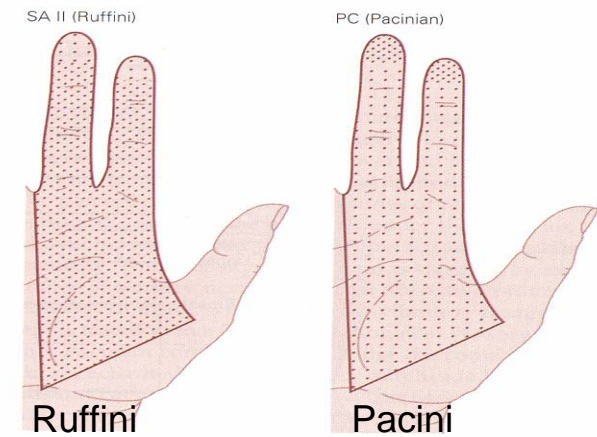
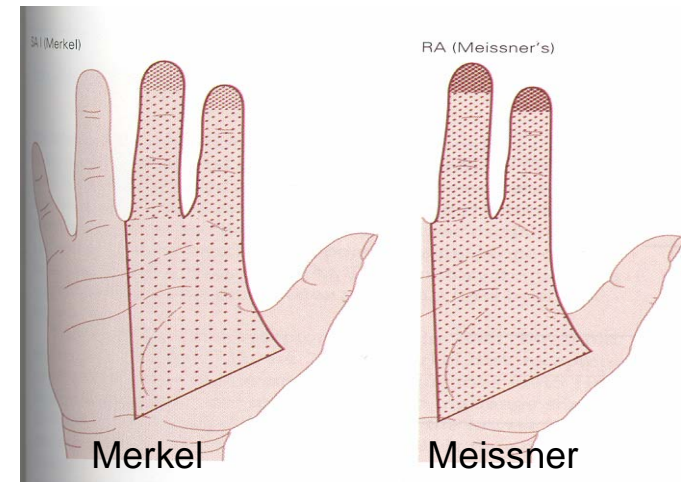
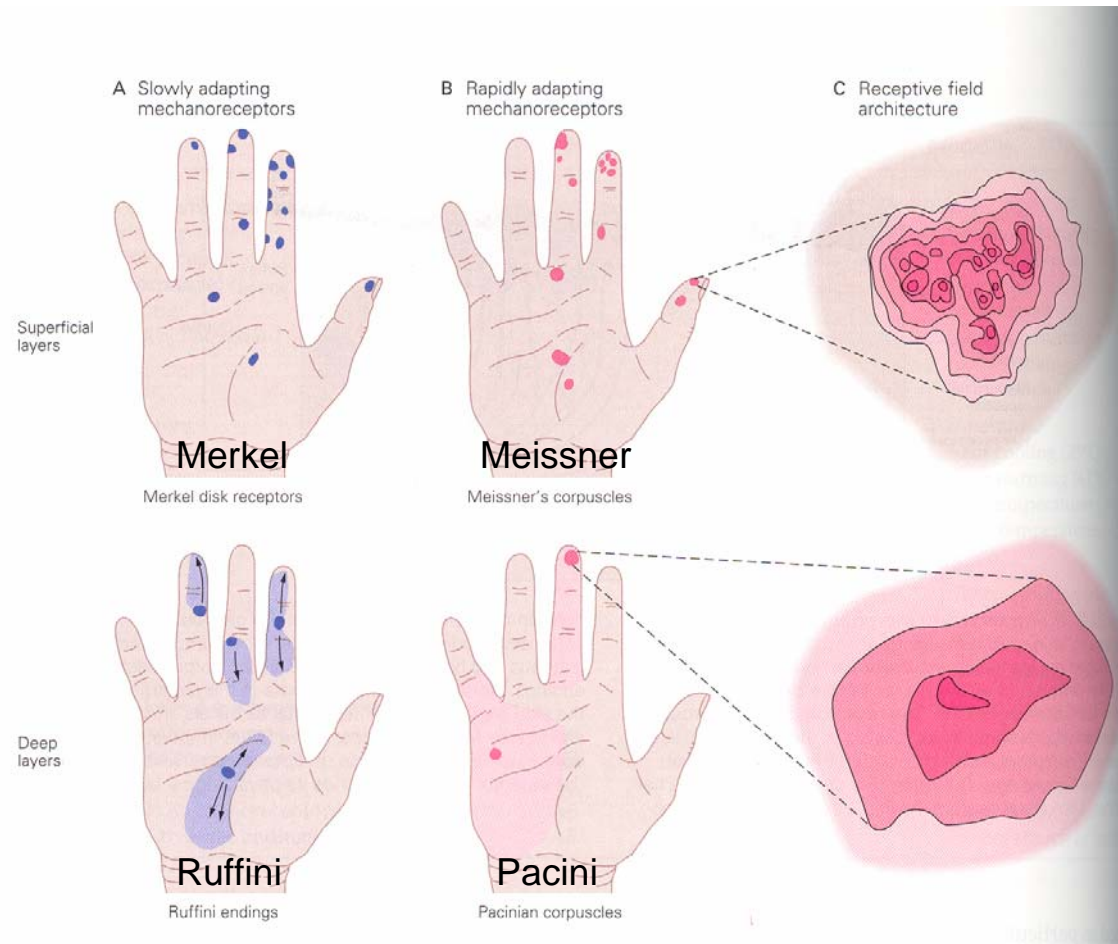
**Abb. 12-3.** Reiz-Antwort-Verhalten und Histologie von Mechanosensoren der Haut von Primaten. **A** Die charakteristischen Entladungsmuster (d.h. Folgen von Aktionspotentialen in den afferenten Fasern) der vier Typen empfindlicher Mechanosensoren in der unbehaarten Haut (z. B. der Hand) bei einer rampenförmigen Hautdeformation sind untereinander dargestellt. Der Zeitverlauf der mit einem elektromechanischen Hautreizgerät (s. Abb. 12-1B) erzeugten ram-

penförmigen Hautdeformation mit der Eindrucktiefe  $S$  ist in der untersten Registrierung gezeigt. Die funktionellen Namenssymbole und die Namen der histologischen Strukturen sind jeweils angegeben. **B, C** Histologie der Mechanosensoren der Haut. Lage und Struktur der verschiedenen Typen von Mechanosensoren der unbehaarten (**B**) und der behaarten (**C**) Haut sind schematisiert dargestellt. Ausführliche Erläuterung im Text

# Klassifikation der Mechanorezeptoren nach Adaptationsverhalten:

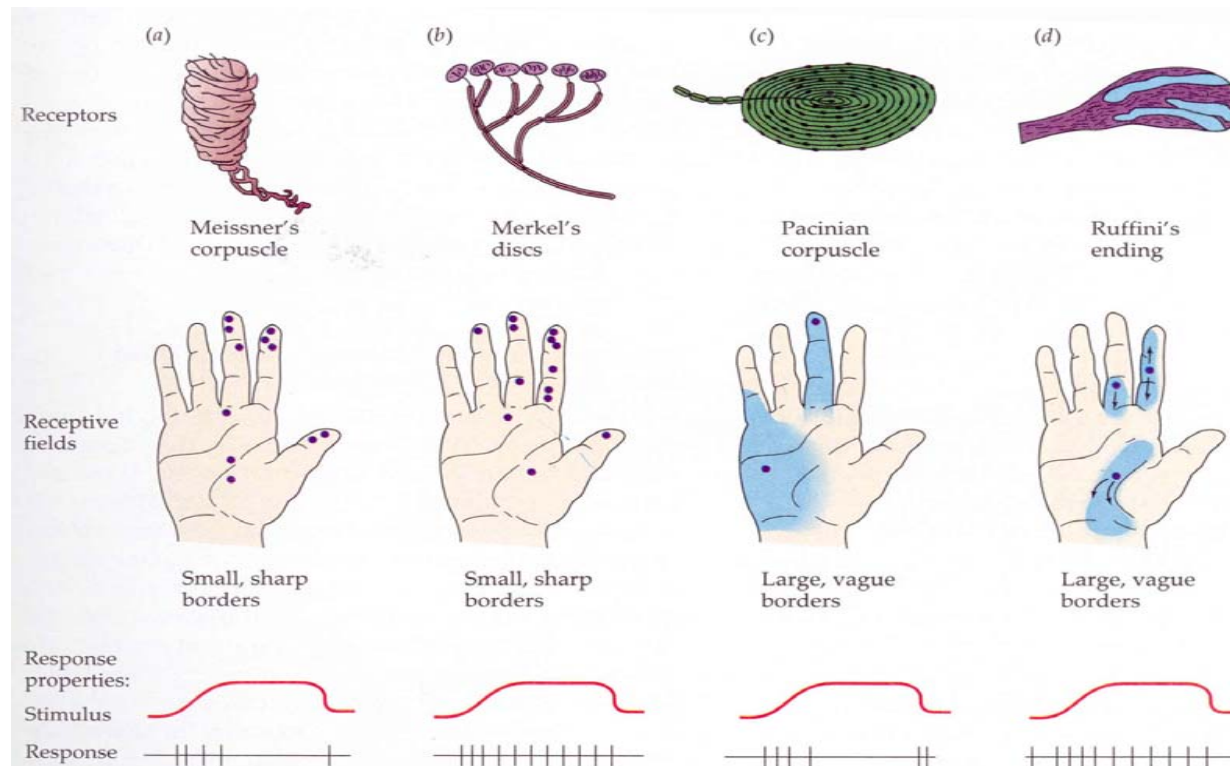
	Adaptation bei konstantem Druckreiz		
	<i>langsam</i>	<i>mittelschnell</i>	<i>sehr</i>
<b>Unbehaarte Haut</b>	<b>Merkel-Zelle, Ruffini-Körperchen</b>	<b>Meissner-Körperchen</b>	<b>Pacini-Körperchen</b>
<b>Behaarte Haut</b>	<b>Tastscheibe, Ruffini-Körperchen</b>	<b>Haarfollikel-Receptor</b>	<b>Pacini-Körperchen</b>
	Slowly adapting = SA <span style="margin-left: 200px;">Fast adapting = FA</span>		

# Rezeptive Felder & Relative Innervation



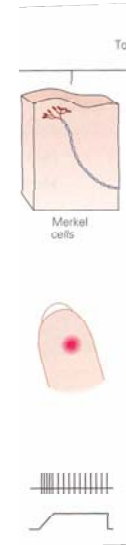


Rezeptives Feld	Adaptation bei konstantem Druckreiz	
	<i>Slowly adapting</i>	<i>Fast adapting</i>
Klein (1)	Merkel-Zelle (SA - 1)	Meissner-Körperchen (FA - 1, RA)
Groß (2)	Ruffini-Körperchen (SA - 2)	Pacini-Körperchen (FA - 2, PC)



# Eigenschaften SA 1 (Merkel)

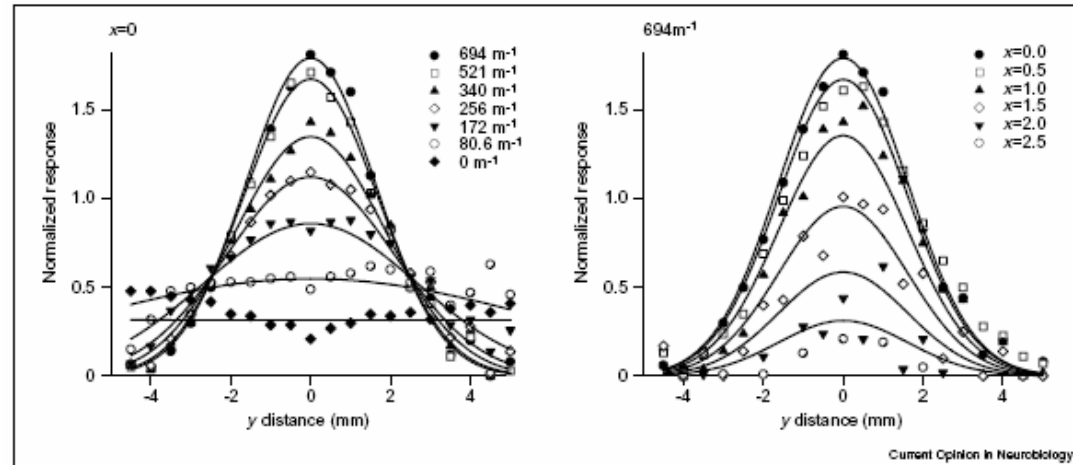
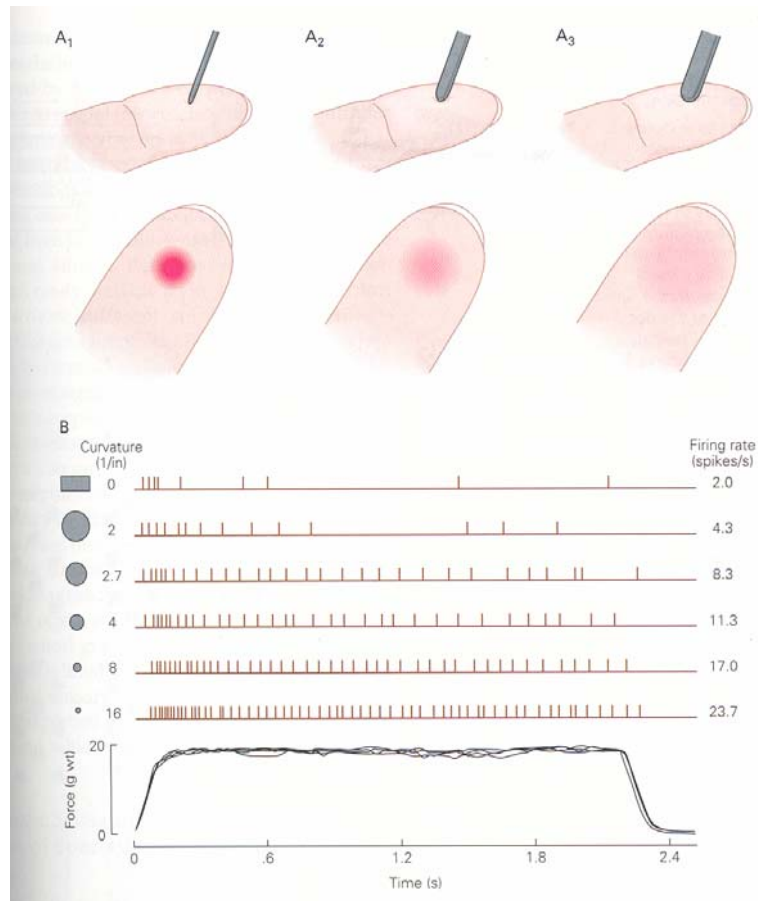
- Anhaltende Reizantwort
  - Kleine rezeptive Felder
  - Hohe Rezeptordichte (100/cm<sup>2</sup> im Fingerballen)
  - Hohe räumliche Auflösung (0.5 mm im FB)
  - Diskriminiert Eindellung gut bis zu 1.5 mm
  - Umfeldsuppression
- 
- Sensitiv für Punkte, Kanten, Kurven



wichtige Funktion

„Form- und Texturwahrnehmung“

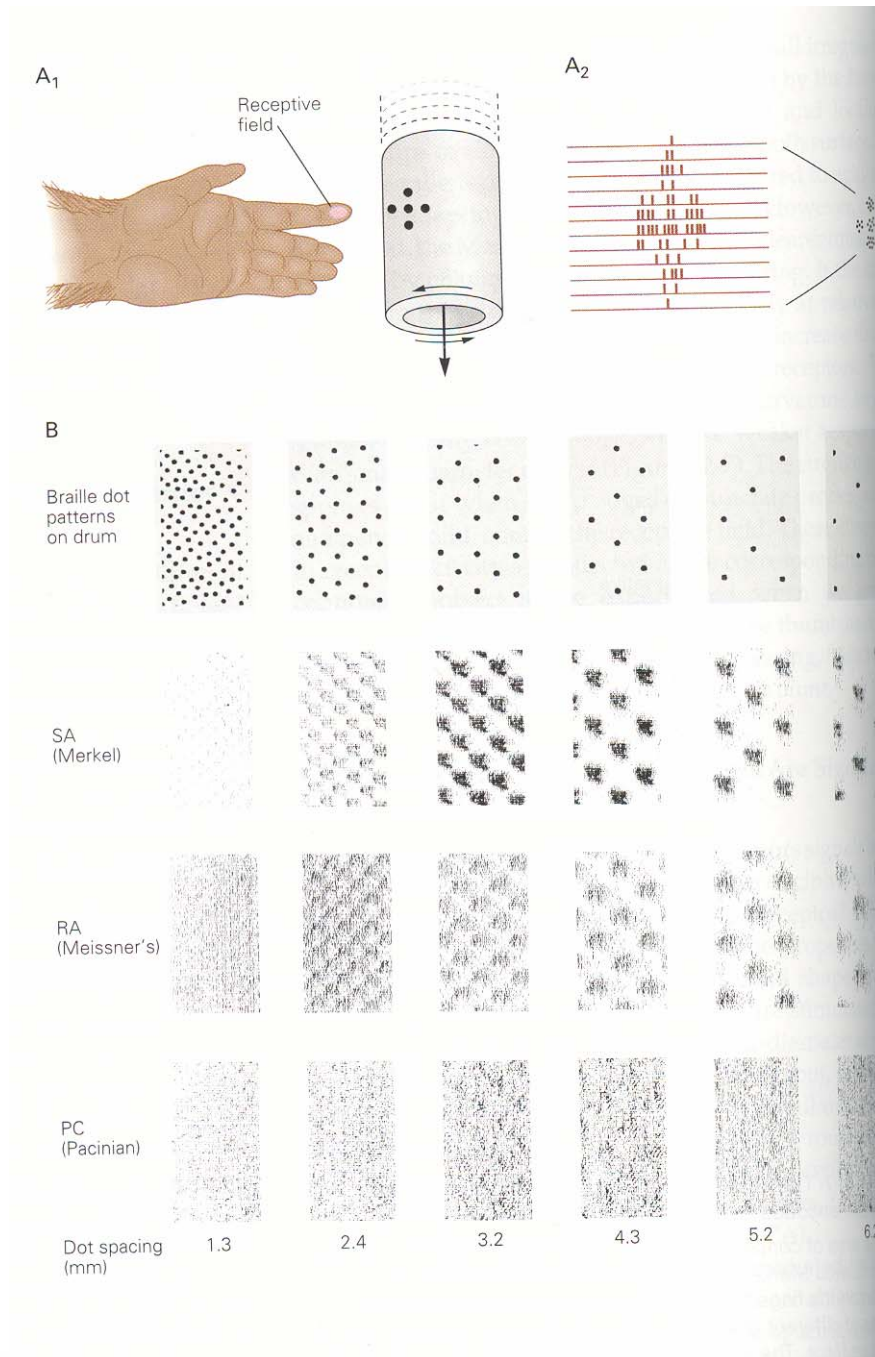
# SA 1 – Reizantwort auf Form



Population response of peripheral SA1 afferents to indentation with spheres of varying curvature. The left plot shows the mean responses of SA1 afferents as a function of proximal-distal distance from the center of indentation. Data are shown for seven curved surfaces with

radii ranging from 1.4 mm (curvature = 694  $m^{-1}$ ) to a flat surface (curvature = 0  $m^{-1}$ ). The right plot shows population response profiles in proximal-distal slices at varying distances from the center of indentation. Adapted with permission from [16].

# SA 1 versus andere Mechano- rezeptoren



# Eigenschaften FA 1 (RA, Meissner)

- Reizantwort auf Veränderungen
- =Insensitivität für anhaltende Reize
- Hohe Rezeptordichte (150/cm<sup>2</sup> im Fingerballen)
- Mittlere räumliche Auflösung (3 mm im FB)
- Sehr sensitiv für Hautdeformation  
(Eindellung ab 14  $\mu\text{m}$ )



wichtige Funktion  
„Slip Detektion & Griffkontrolle“

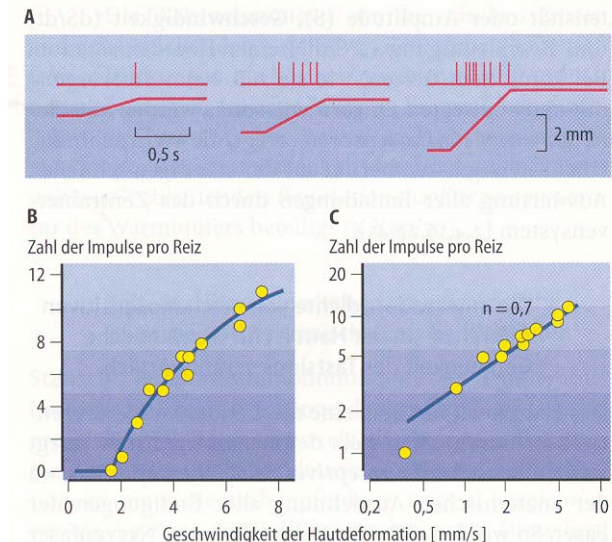
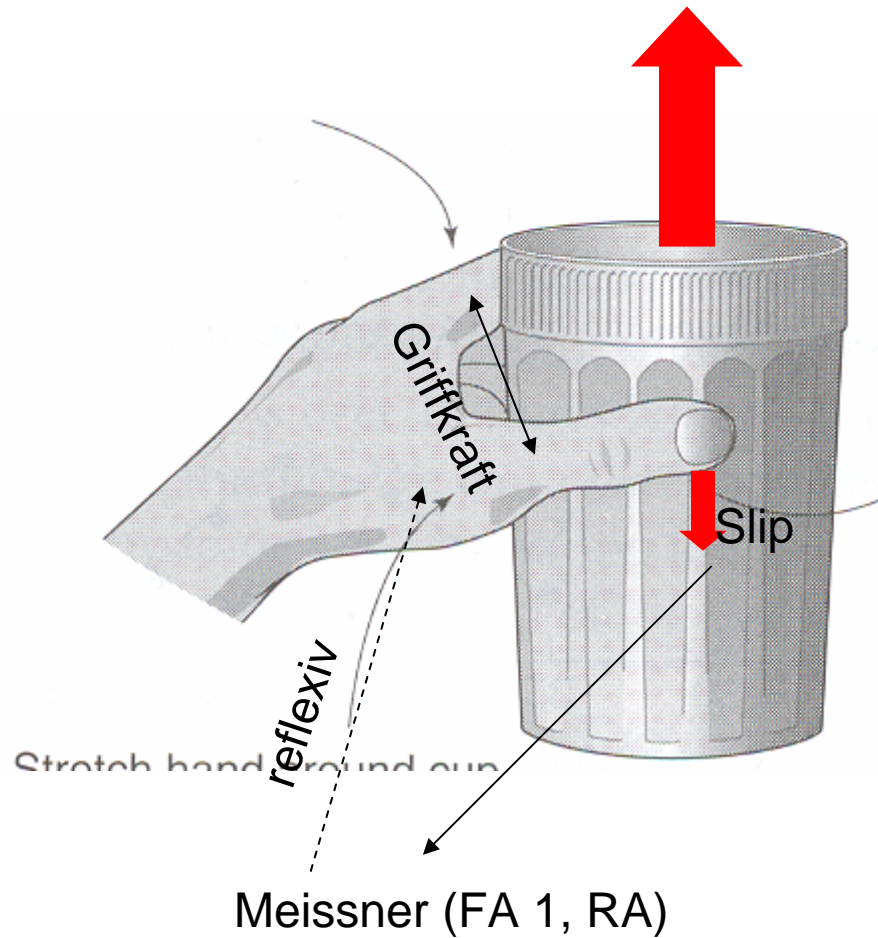


Abb. 12-4. Der RA-Sensor, ein Geschwindigkeitssensor. A Entladungskurve des RA-Sensors auf drei verschiedene Reizgeschwindigkeiten. B Graph der Zahl der Impulse pro Reiz gegen die Geschwindigkeit der Hautdeformation. C Graph der Zahl der Impulse pro Reiz gegen die Geschwindigkeit der Hautdeformation. Die Korrelationskoeffizienten sind mit  $n = 0,7$  angegeben.

# Slip Detektion und Griffkontrolle



Griffkraftanpassung:

- „schont“ das Objekt
- ökonomisch

# FA 2, PC (Pacini)

- Reizantwort auf Veränderungen
- Große rezeptive Felder
- Kaum räuml. Auflösung
- Extrem sensitiv für Vibration  
(z.B. 0,01  $\mu\text{m}$  Amplitude bei 200 Hz)

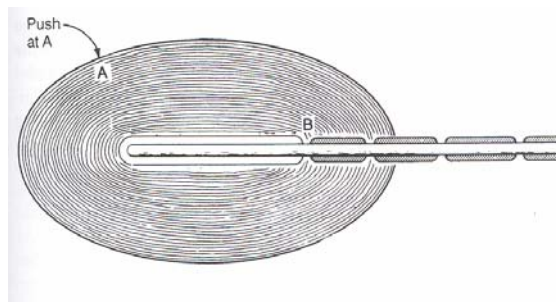


Figure 13.7  
A Pacinian corpuscle. (From Loewenstein, 1960.)

Vermutliche Funktion  
„Wahrnehmung distaler Ereignisse  
beim Werkzeuggebrauch“

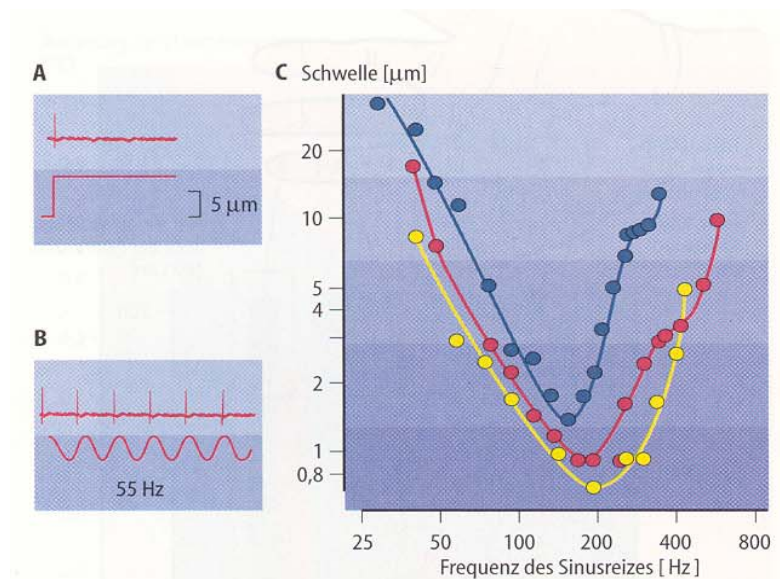


Abb. 12-5 Antwortverhalten von PC-Sensoren der Subkutis bei me-

# Wahrnehmung distaler Ereignisse beim Werkzeuggebrauch





# SA 2 (Ruffini)

- Anhaltende Reizantwort
- Große rezeptive Felder
- Geringe Rezeptordichte
- Sensitiv für Hautdehnung

## Mögliche Funktionen:

„Wahrnehmung von Fingerstellung,  
Beteiligung an Bewegungswahrnehmung“

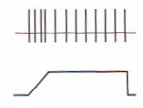
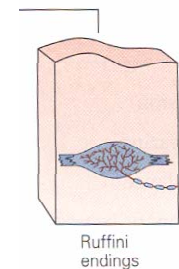


Table 13.1 Afferent Systems and Their Properties.

Afferent type	SA1	RA	PC	SA2
Receptor	Merkel	Meissner	Pacinian	Ruffini
Location	Tip of epidermal sweat ridges	Dermal papillae (close to skin surface)	Dermis and deeper tissues	Dermis
Axon diameter	7–11 $\mu\text{m}$	6–12 $\mu\text{m}$	6–12 $\mu\text{m}$	6–12 $\mu\text{m}$
Conduction velocity	40–65 m/s	35–70 m/s	35–70 m/s	35–70 m/s
Sensory function	Form and texture perception	Motion detection, grip control	Perception of distant events through transmitted vibrations, tool use	Tangential force, hand shape, motion direction
Effective stimulus	Edges, points, corners, curvature	Skin motion	Vibration	Skin stretch
Response to sustained indentation	Sustained with slow adaptation	None	None	Sustained with slow adaptation
Frequency range	0–100 Hz	1–300 Hz	5–1000 Hz	0–? Hz
Peak sensitivity	5 Hz	50 Hz	200 Hz	0.5 Hz
Threshold for rapid indentation or vibration (best)	8 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$	0.01 $\mu\text{m}$	40 $\mu\text{m}$
Threshold (mean)	30 $\mu\text{m}$	6 $\mu\text{m}$	0.08 $\mu\text{m}$	300 $\mu\text{m}$
Receptive field area (measured with rapid 0.5 mm indentation)	9 $\text{mm}^2$	22 $\text{mm}^2$	Entire finger or hand	60 $\text{mm}^2$
Innervation density (finger pad)	100/ $\text{cm}^2$	150/ $\text{cm}^2$	20/ $\text{cm}^2$	10/ $\text{cm}^2$
Spatial acuity	0.5 mm	3 mm	10+ mm	7+ mm

## CAVEAT:

-Diskutierte Funktionen der Rezeptor sind wahrscheinlich, aber nicht exklusiv

-Zusammenspiel der Rezeptoren noch nicht gut untersucht



# Hautsinn am gesamten Körper

## Taktile

## Empfindungsschwellen:

## Räumliches Auflösungsvermögen:

-Z.B. simultane Raumschwelle

-sukzessive Raumschwelle (liegt bei ca.  $\frac{1}{4}$  der simultanen Schwelle)

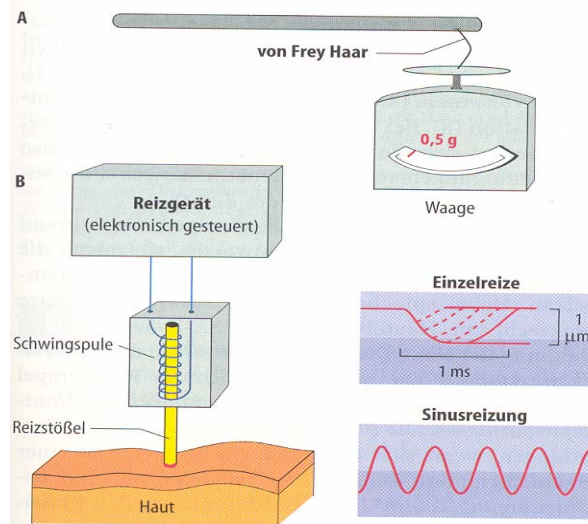
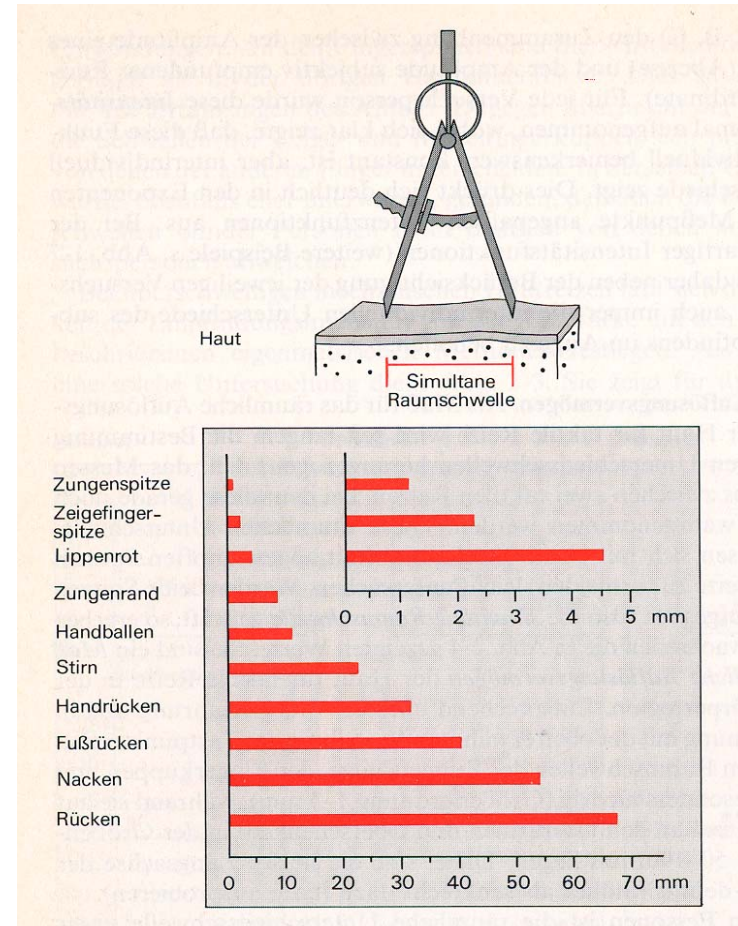


Abb. 12-1. Messung der Hautsensibilität mit abgestuften mechanischen Reizen. A Mit einem Satz von unterschiedlich starken Tasthaaren nach von Frey läßt sich die Berührungsschwelle der Haut bestimmen. Um quantitative Werte zu erhalten, wird die Kraft des von Frey-Haares mit einer empfindlichen Waage geeicht. B Elektromechanisches Gerät zur Erzeugung präziser mechanischer Hautreize. Eine stromdurchflossene Spule führt in einem Magnetfeld eine Bewegung aus, die dem Zeitverlauf der Stromstärke proportional ist. Beliebige vorgegebene elektrische Funktionsverläufe (z. B. Sinus) werden so in Bewegungen des Reizstößels umgesetzt

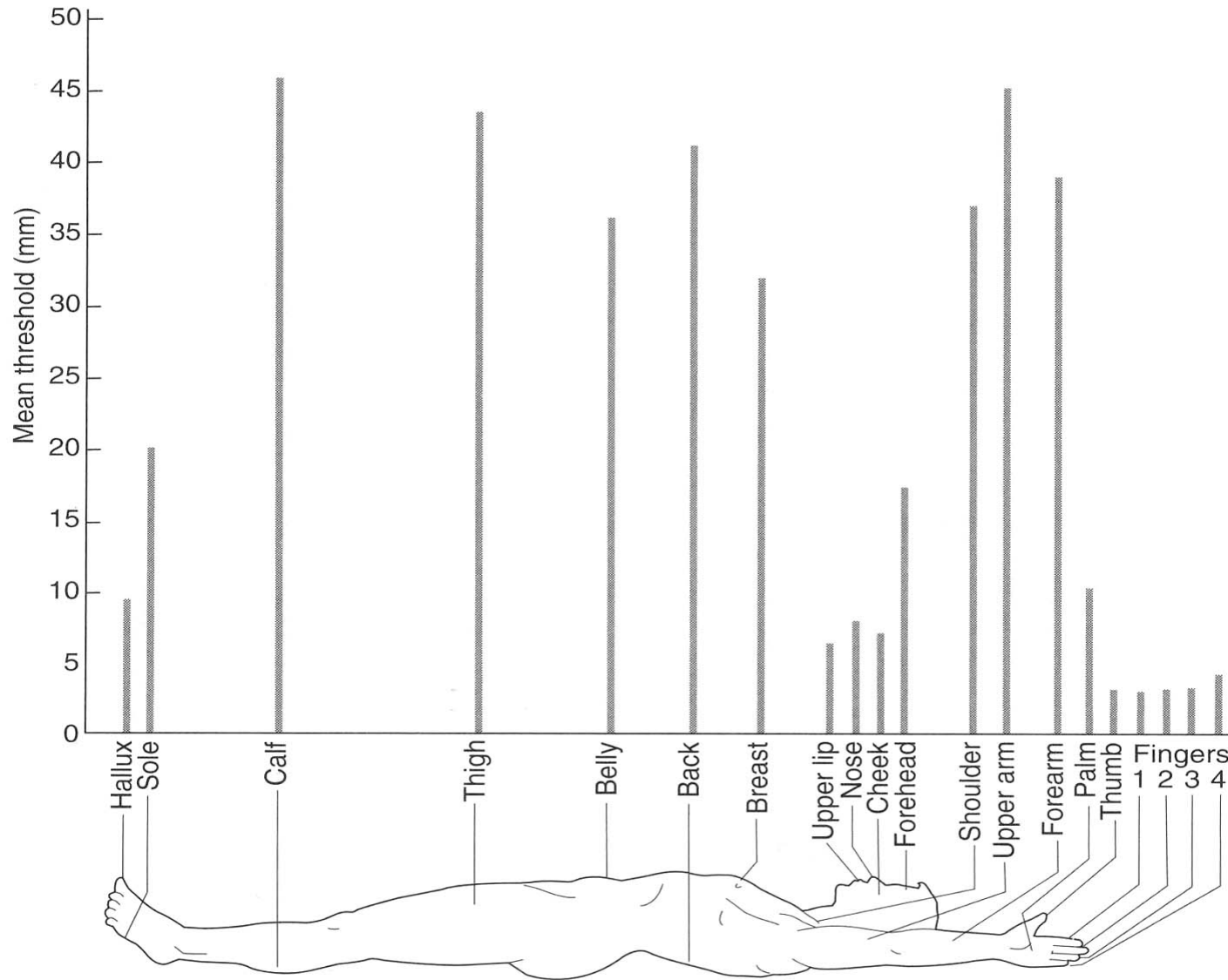
## z. B. Einzelreize

Fingerkuppen 6 bis 7 µm

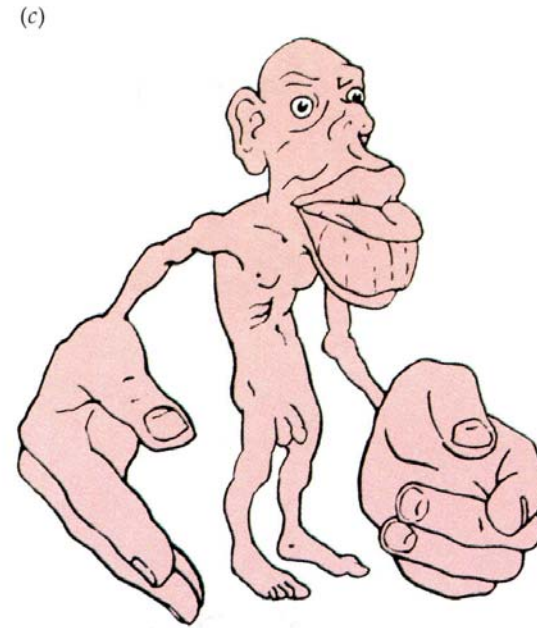
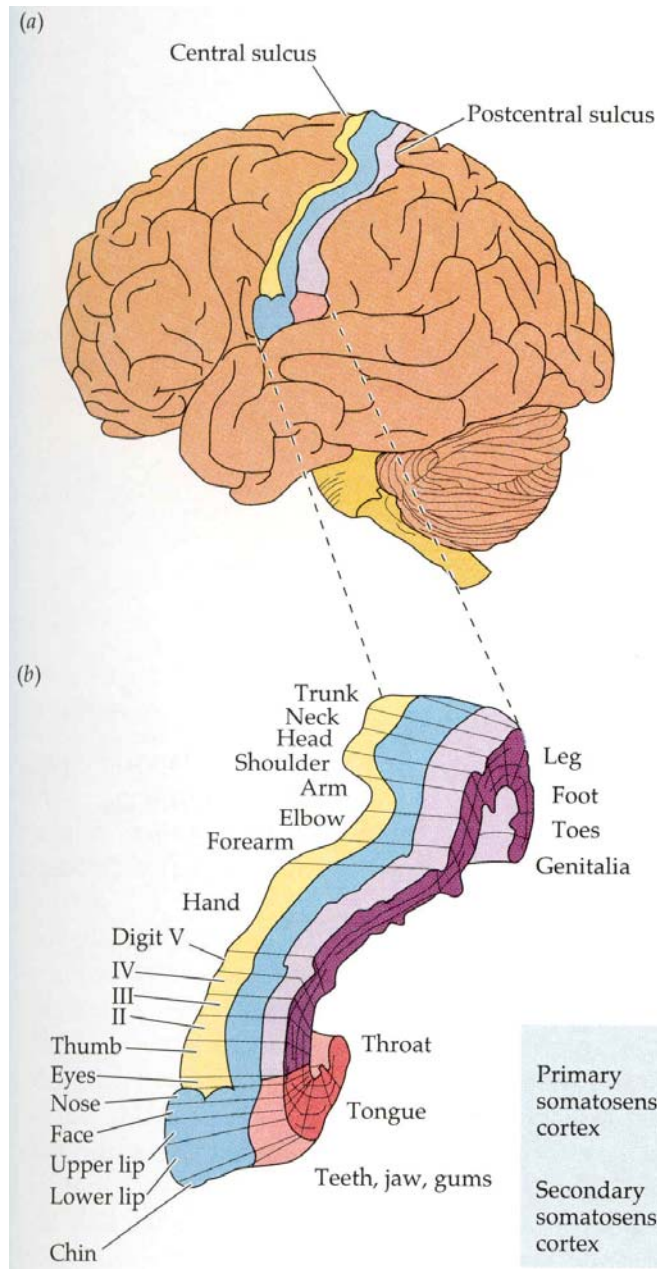
Handteller 15 bis 21 µm.



# Simultane Raumschwelle



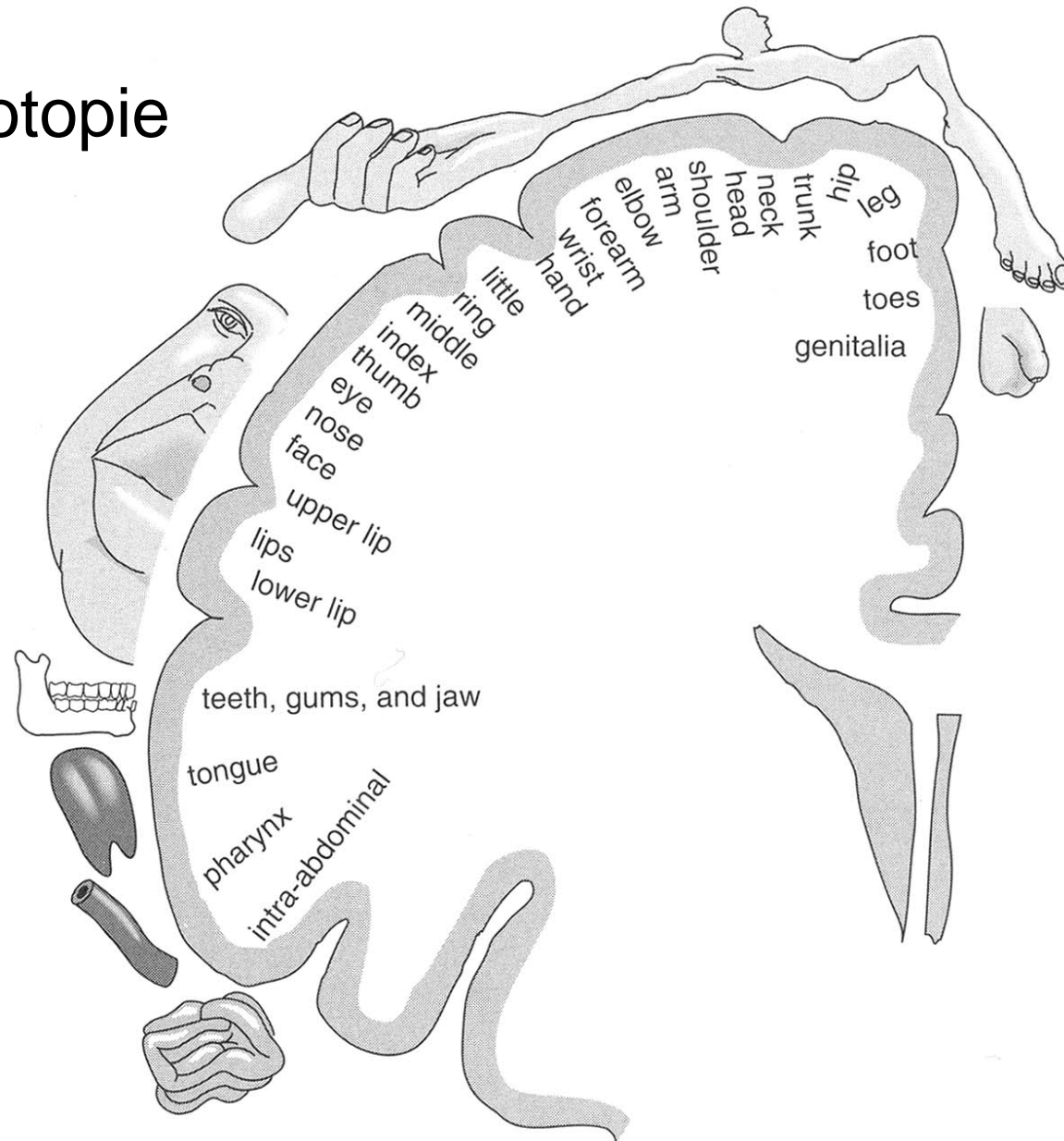
# Somatosensorischer Cortex



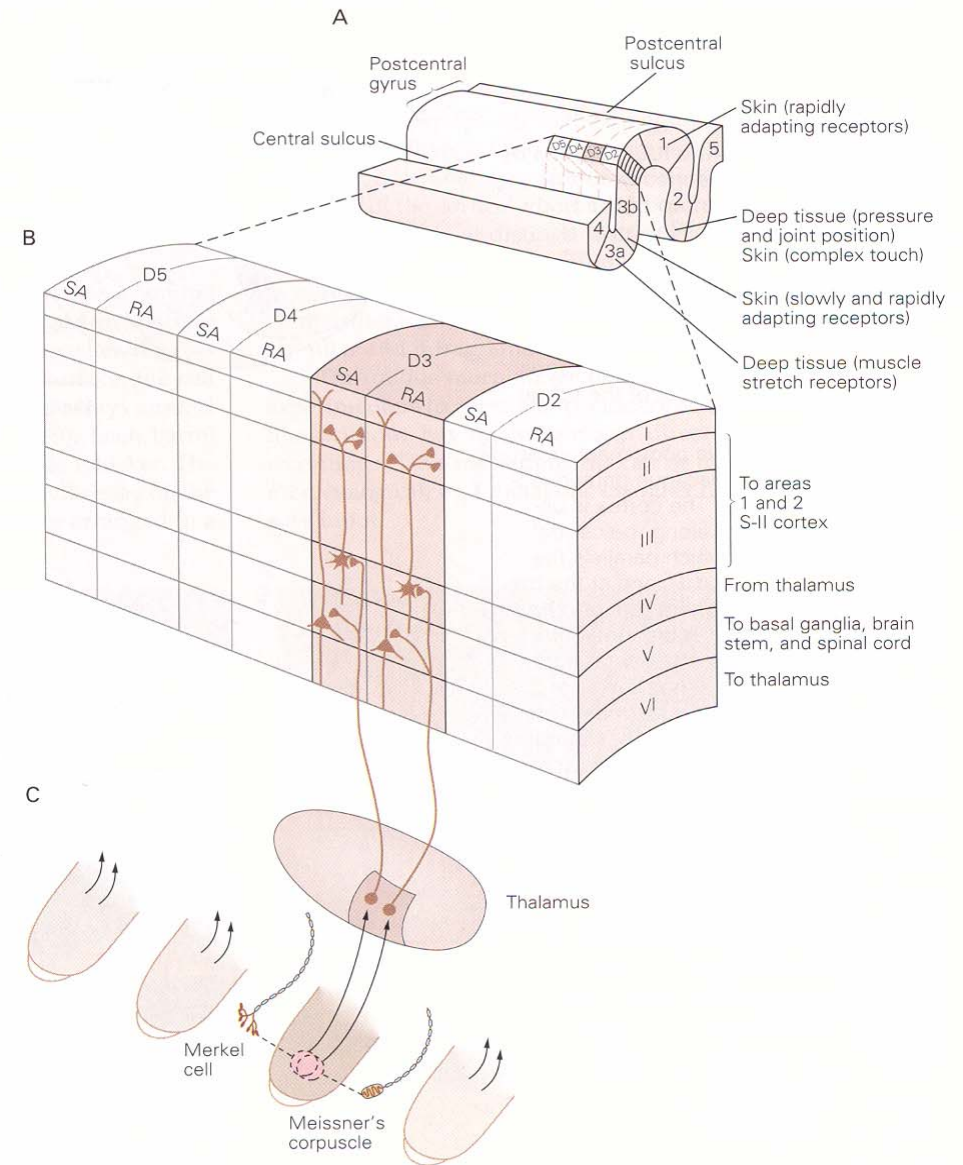
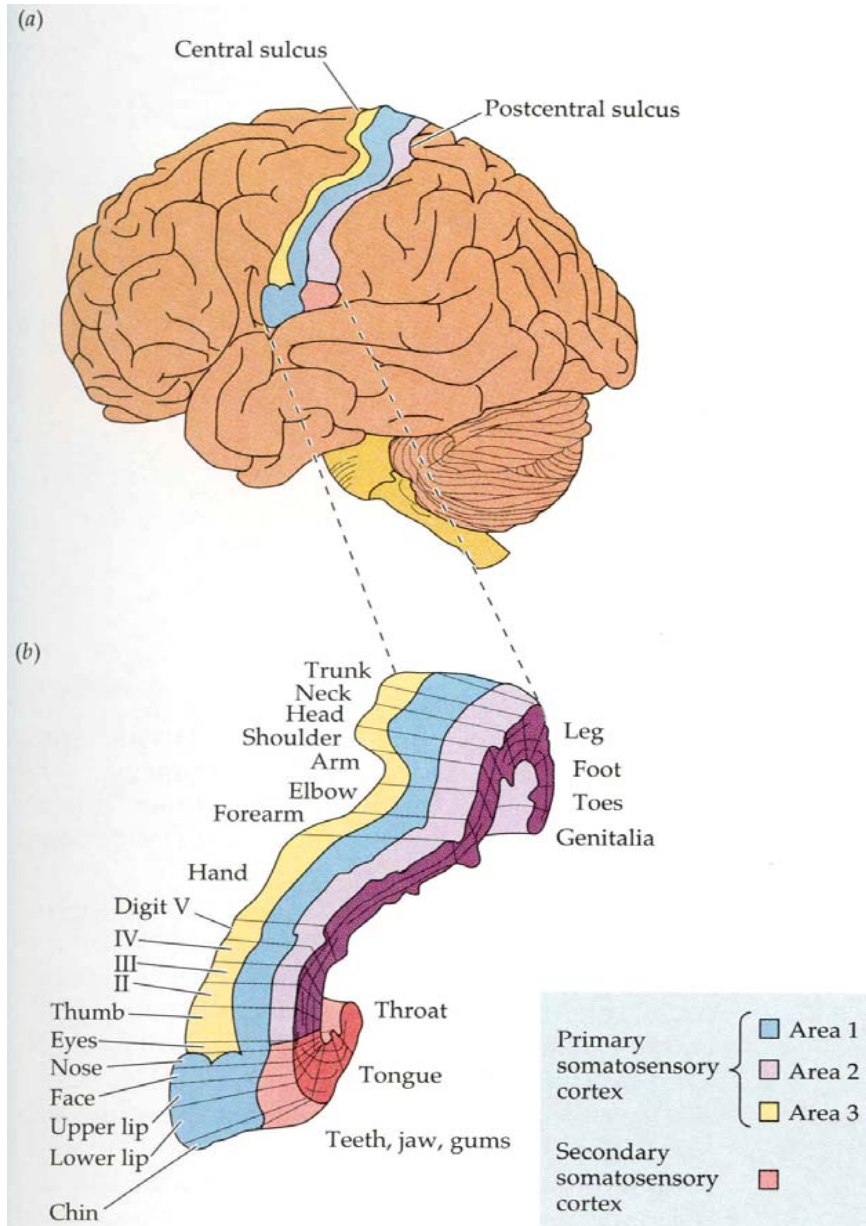
- Größe des Hirnareals korreliert mit
  - Innervationsdichte
  - Zweipunktschwelle

# Somatosensorischer Cortex

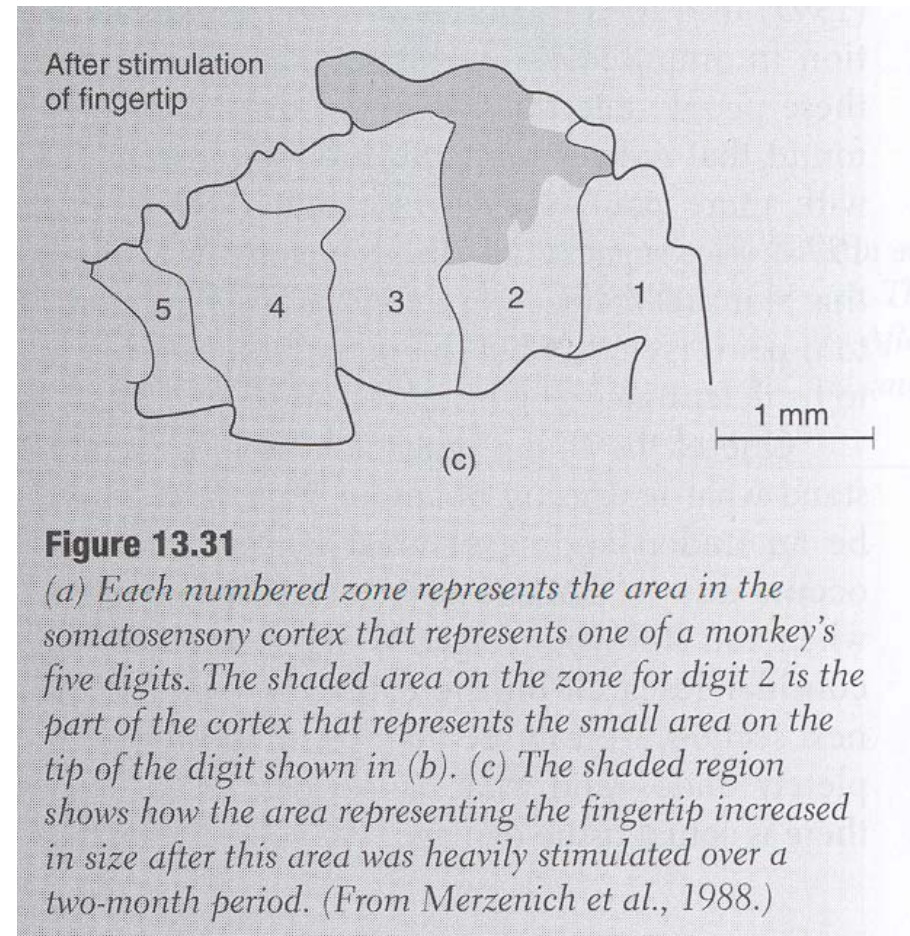
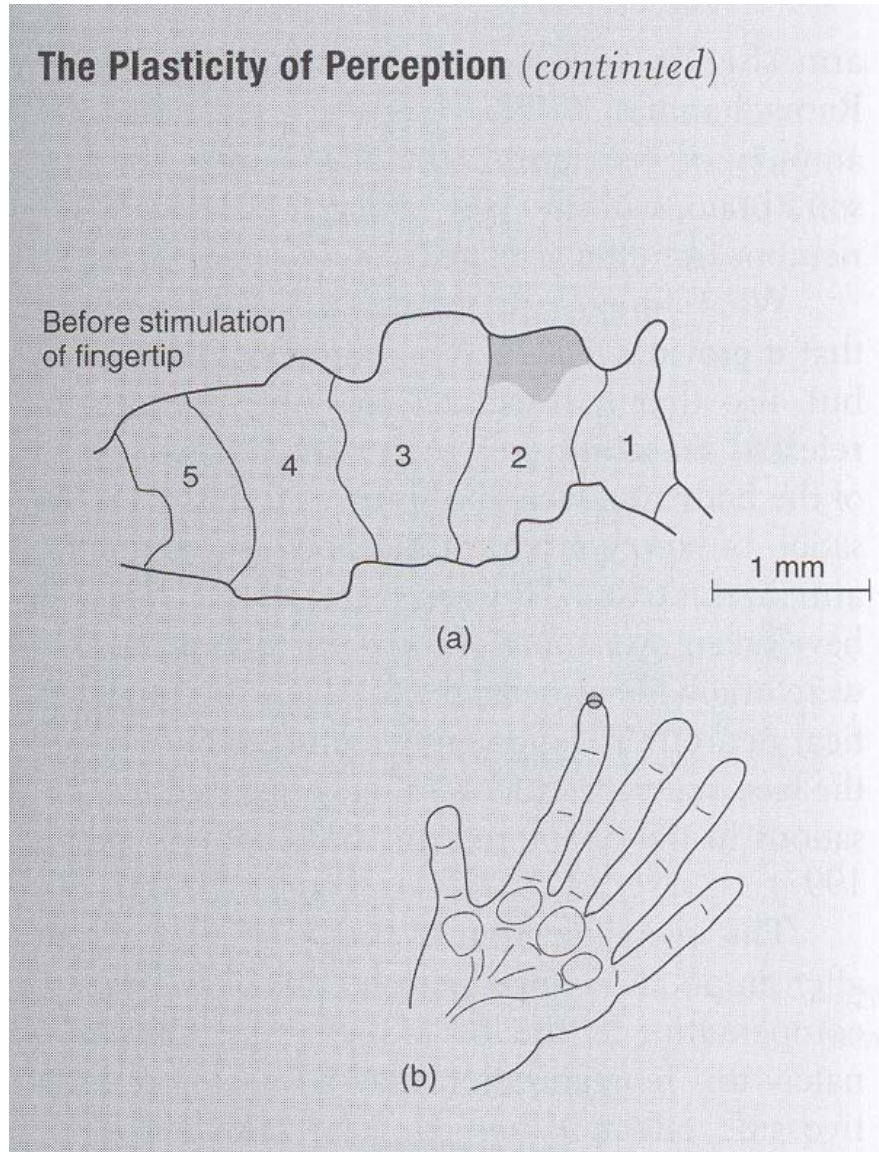
- Somatotopie



# Multiple somatotope Karten

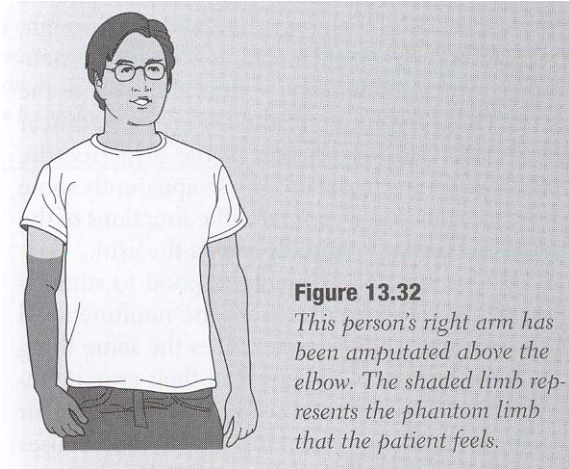


# Plastizität

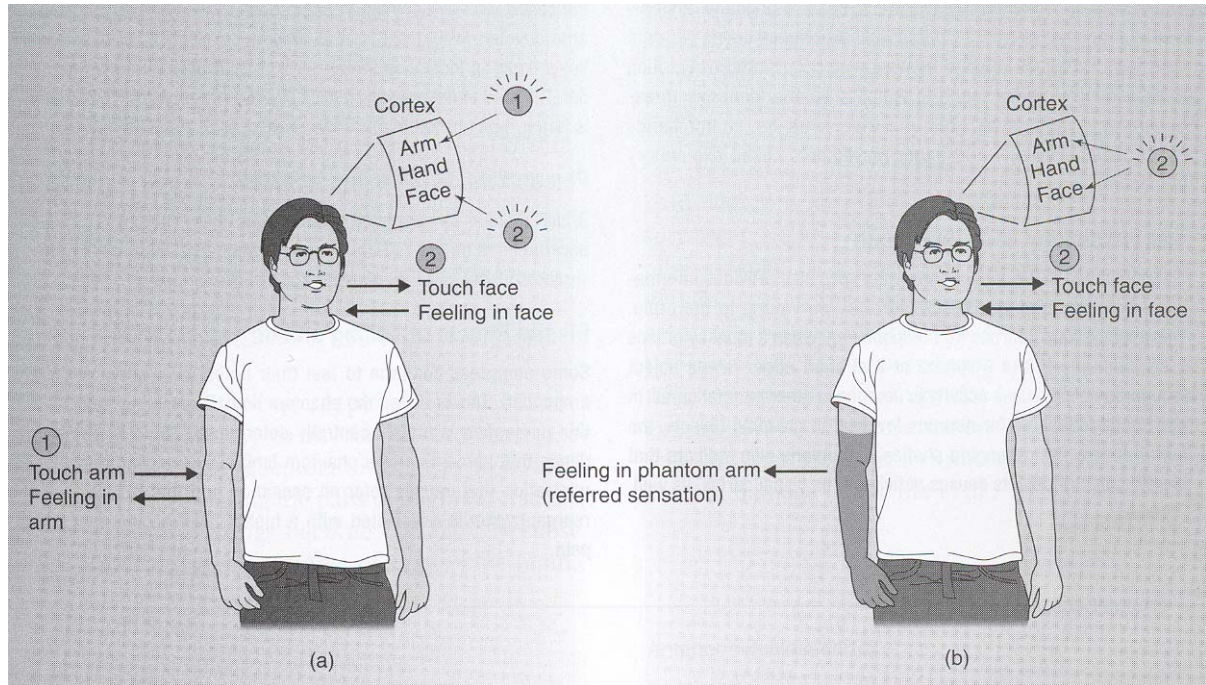




# Phantom-Glieder



**Figure 13.32**  
*This person's right arm has been amputated above the elbow. The shaded limb represents the phantom limb that the patient feels.*



# Einige Stichwörter - Tastsinn

- Unbehaarte vs. Behaarte Haut
- 4 Mechanorezeptoren in unbehaarter Haut
  - Charakterisiert nach Adaptation & rez. Feld
  - Verschiedene Funktionalität
- Schwellen & Körperrepräsentation
- Somatotopie
- Plastizität
- Multiple somatotope Karten

# Temperatursinn

Wahrnehmung von Wärme und Kälte (Thermoreception)

Nach objektiven und subjektiven Befunden werden die zwei Qualitäten *Kältesinn* und *Wärmesinn* unterschieden.

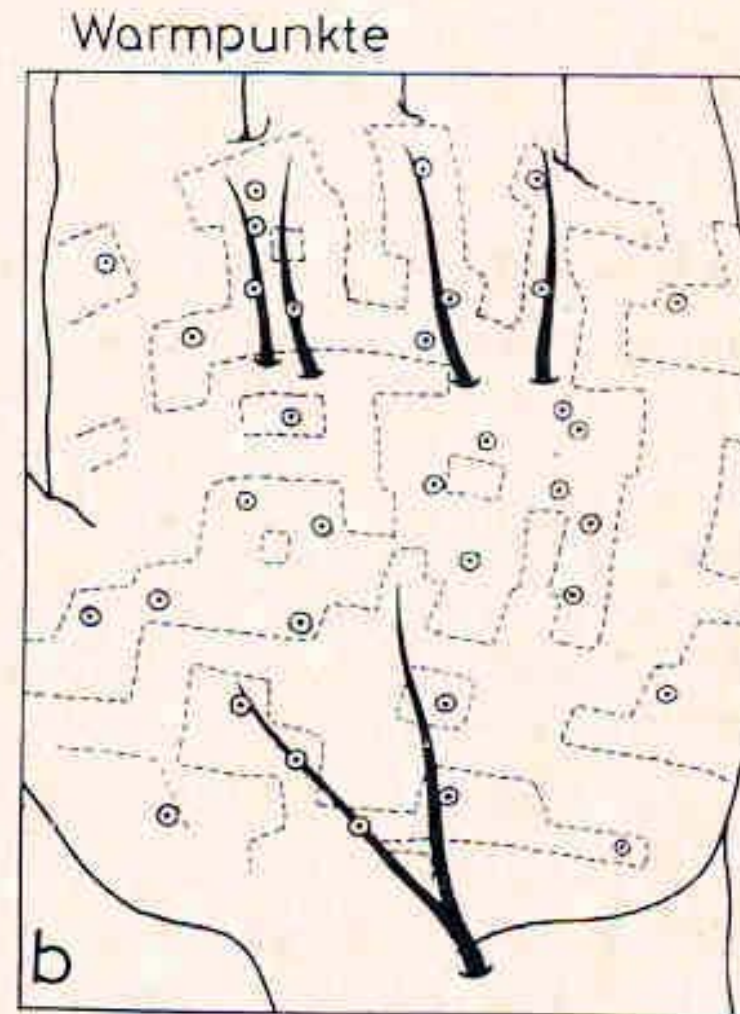
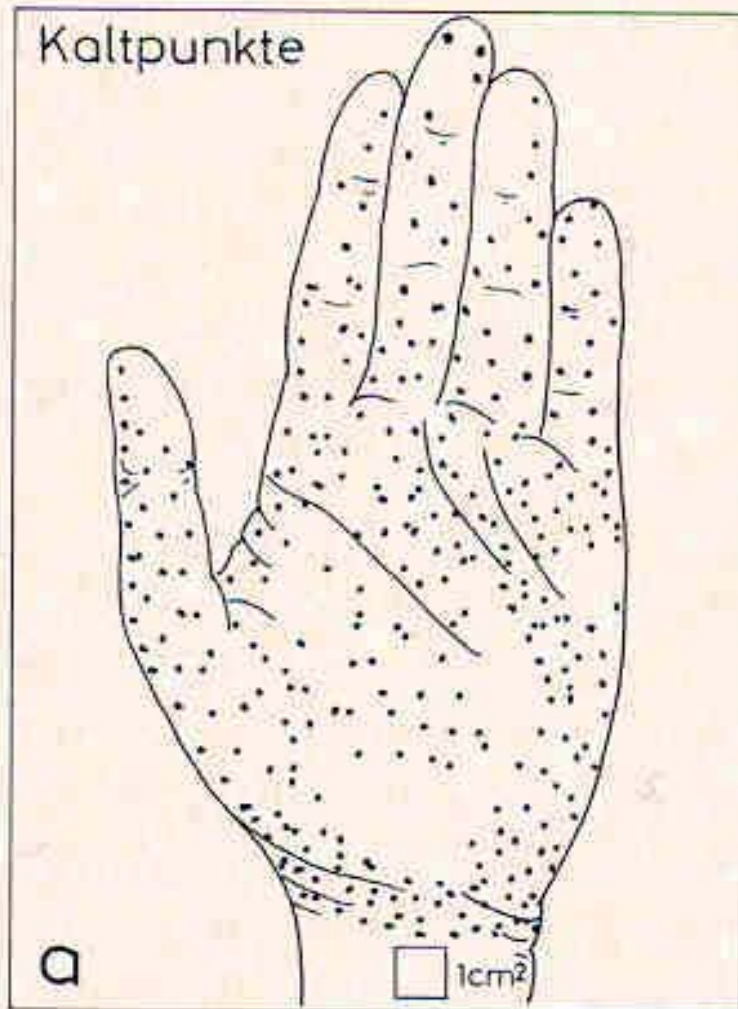
Subjektiv: verschiedene Qualität der Empfindung; "warm" ist etwas anderes als "weniger kalt".

Objektiv: Existenz spezifischer Kalt- und Warmpunkte, von denen sich nur die jeweilige Empfindung auslösen lässt; höhere Leitungsgeschwindigkeit für Kaltfasern; selektive Blockade von Nerven möglich, so dass nur Kalt- oder nur Warmempfindungen beobachtbar sind; Vorhandensein spezifischer Rezeptoren

# Warm- und Kaltpunkte

- Lokalisation mit sog. *Thermoden*
- Wahrscheinlich freie Nervenendigungen
- Kleine rezeptive Felder
- Unempfindlich gegenüber nicht-thermischen Reizen

# Warm- /Kaltpunkte auf der Hand



# Anzahl der Kalt- und Wärmepunkte

Tabelle: Mittelwerte der Anzahl von Kalt- und Wärmepunkten je cm<sup>2</sup> der Haut

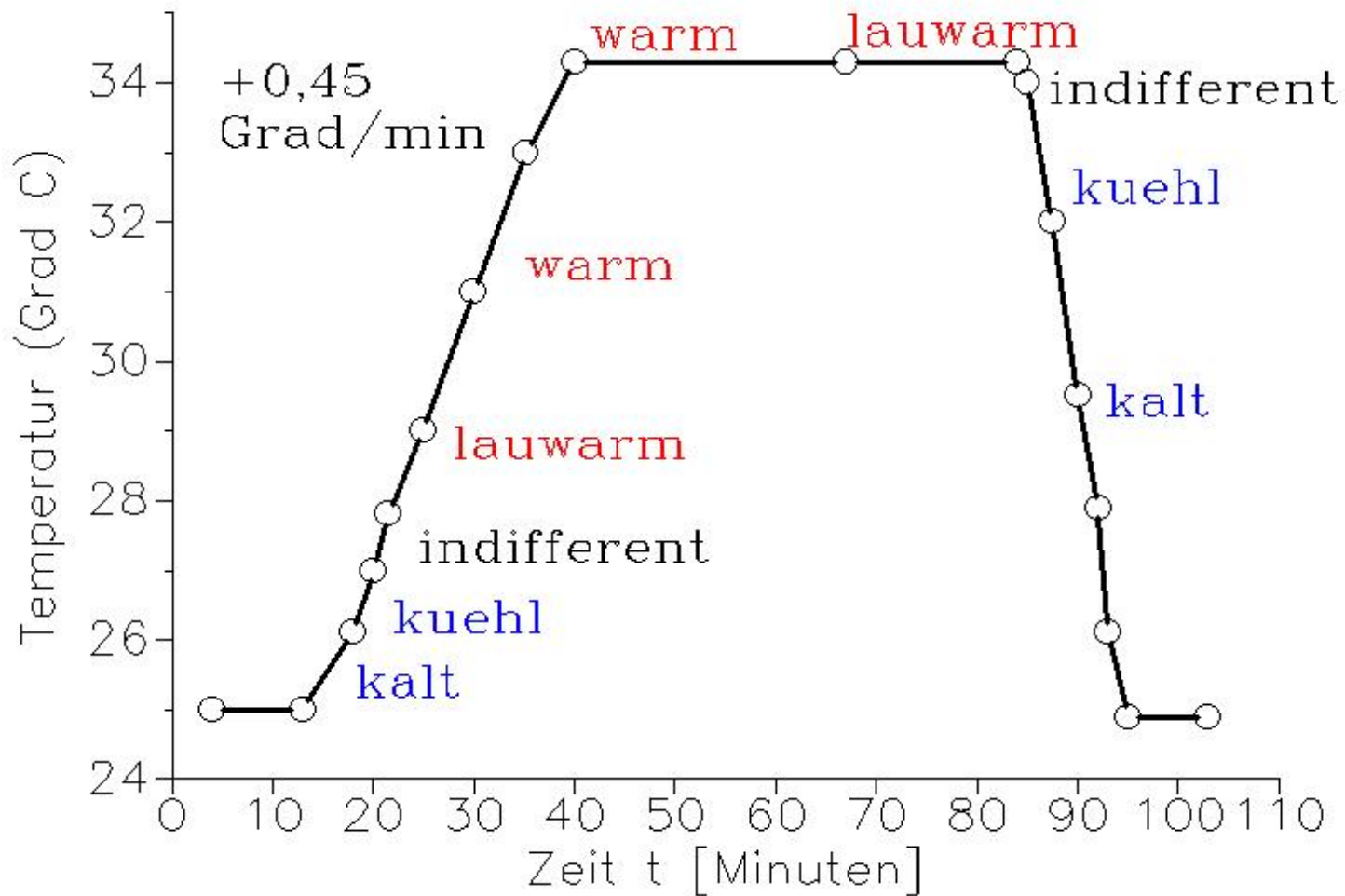
	<b>Kaltpunkte</b>	<b>Wärmepunkte</b>
Stirn	<b>6,75</b>	<b>0,62</b>
Nase	<b>10,5</b>	<b>1</b>
Brust	<b>9</b>	<b>0,3</b>
Oberarm (Beugefläche)	<b>5,7</b>	<b>0,3</b>
Unterarm (Innenseite)	<b>6</b>	<b>0,4</b>
Handrücken	<b>7,4</b>	<b>0,54</b>
Oberschenkel	<b>4,85</b>	<b>0,39</b>

# Reizung des Temperatursinns

Entstehung einer Temperaturempfindung durch:

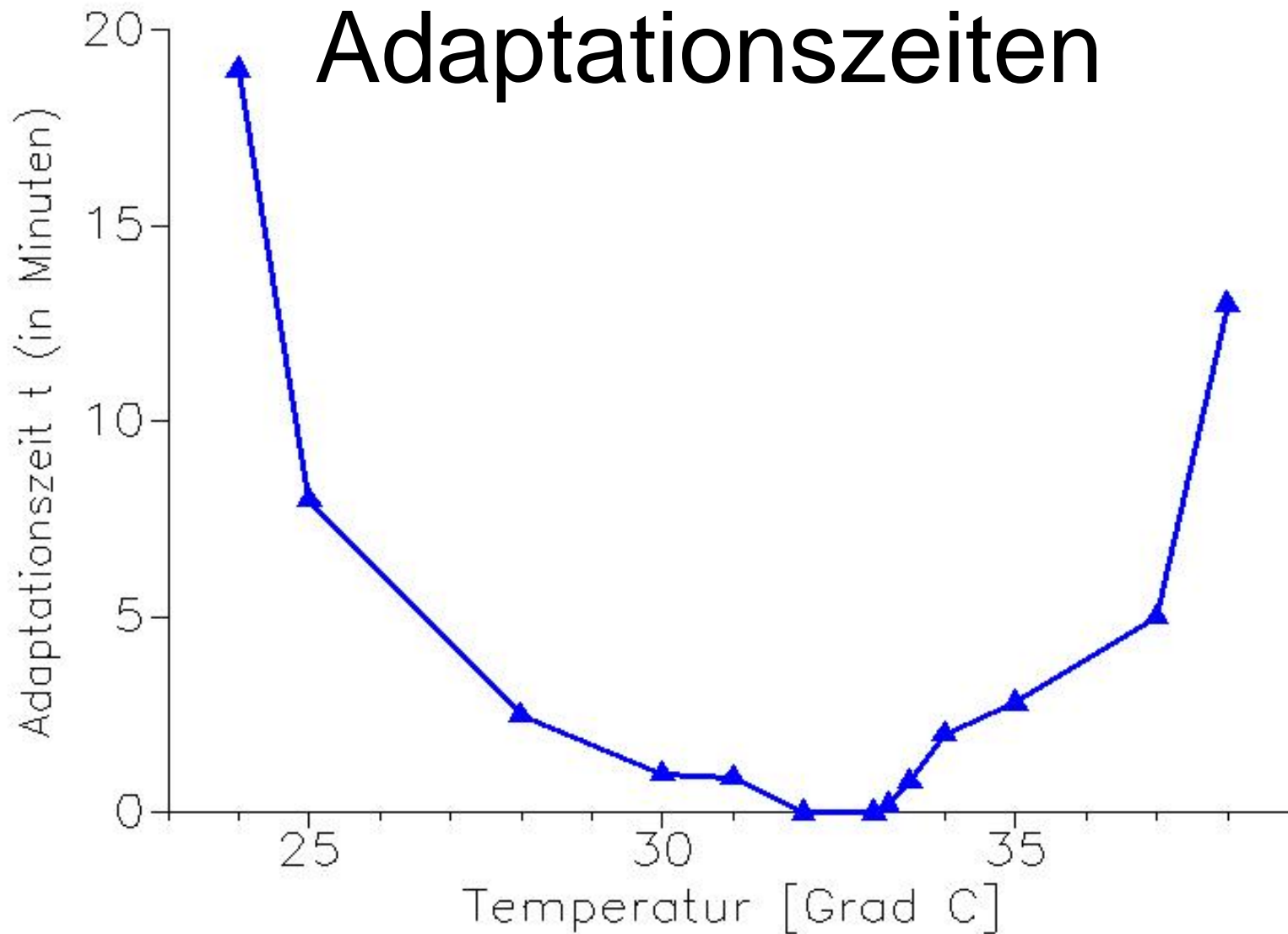
- a) ***Gebotene Temperatur selbst*** = statische Temperaturempfindung
- b) ***Betrag und Richtung einer Temperaturänderung***  
= dynamische Temperaturempfindung
- c) ***Adaptation***

# Adaptation



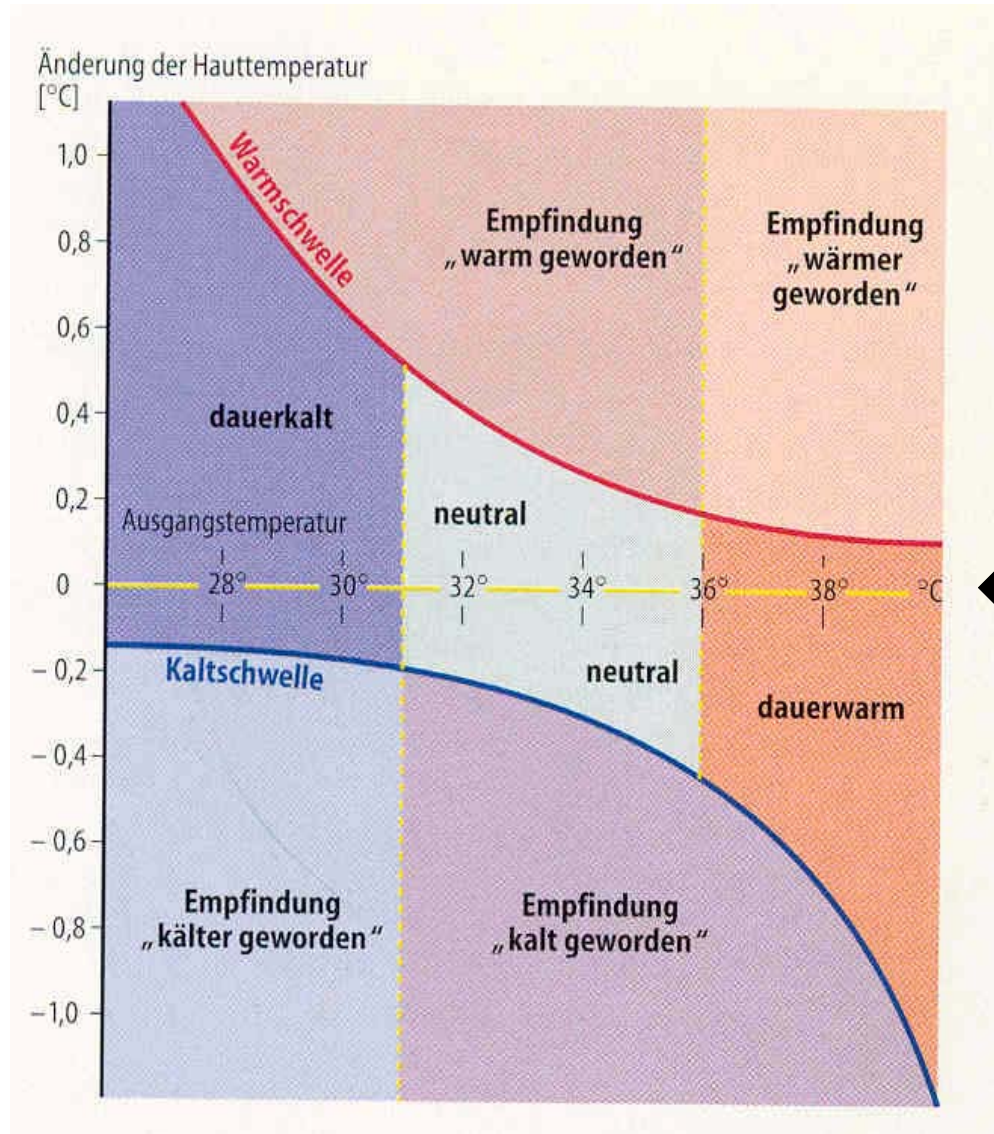
Verlauf der Temperaturempfindung bei linearer Erwärmung und Abkühlung eines Fußes in einem Wasserbad.





Adaptationszeit (20 cm<sup>2</sup> Hautfläche am Unterarm)

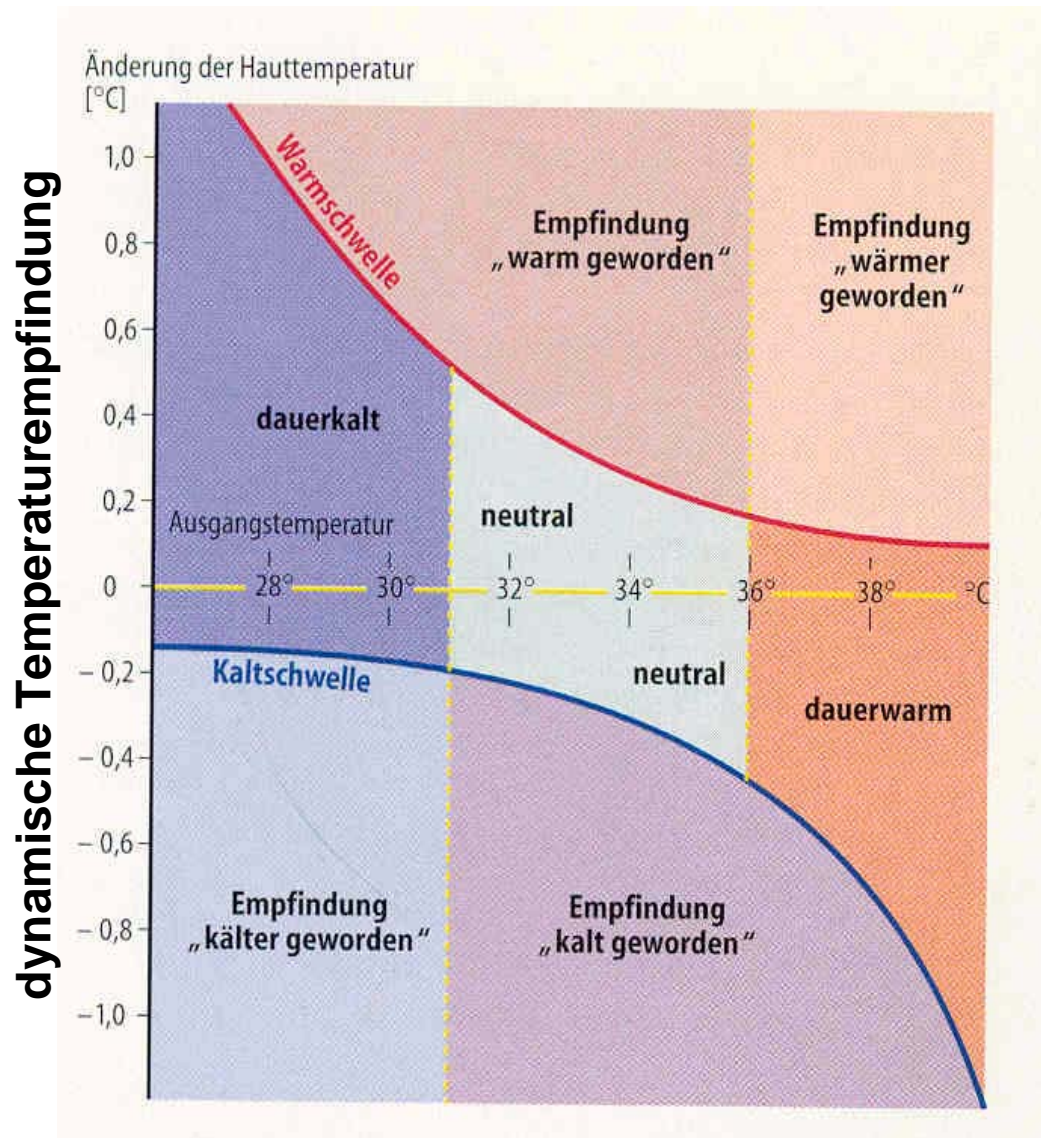
# Temperaturempfindungen



← **statische Temperaturempfindung**

**Zone der Indifferenztemperatur  
= Adaption zu Neutraltemperatur**

# Temperaturempfindungen



Determinanten dynamischer Temperaturempfindung

- Die *Ausgangstemperatur*
- Geschwindigkeit der Änderung:*  
*Schnellere Änderung (bis  $.1^{\circ}\text{C/s}$ )  $\rightarrow$  niedrigere Schwelle*
- Größe des gereizten Hautareals (räumliche Summation)
- Körperregion

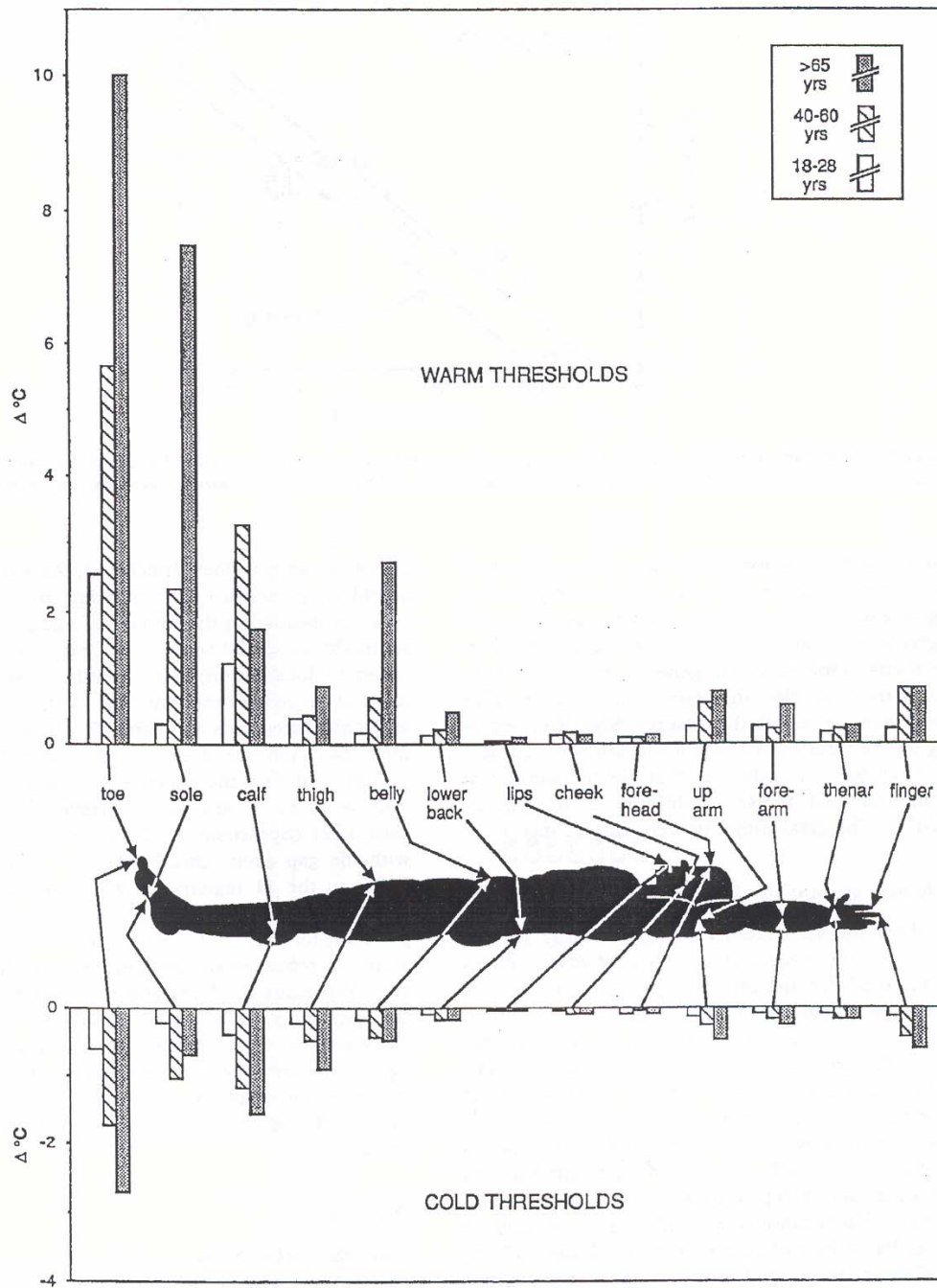
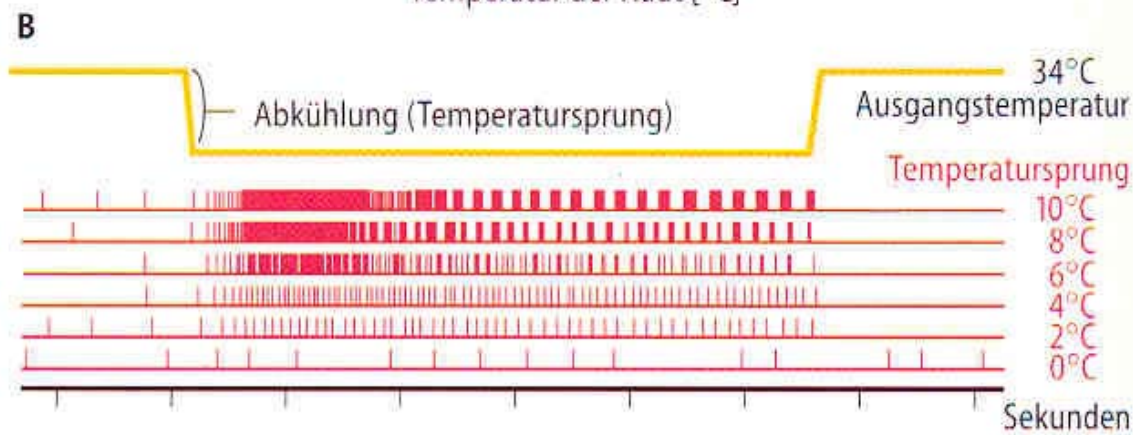
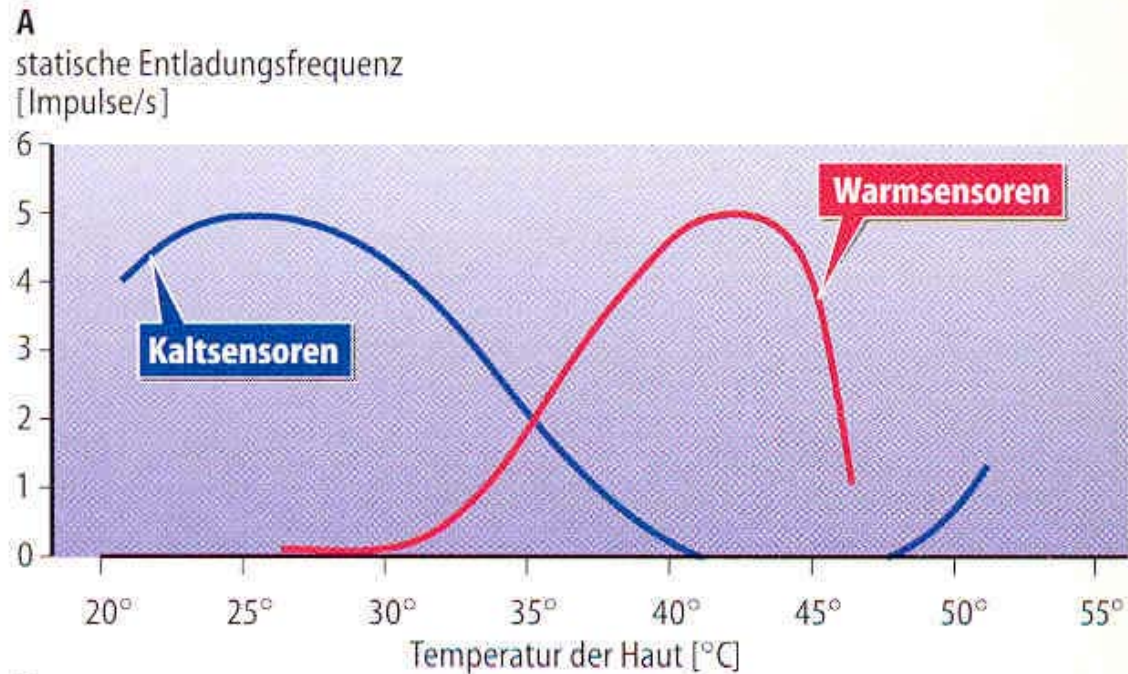
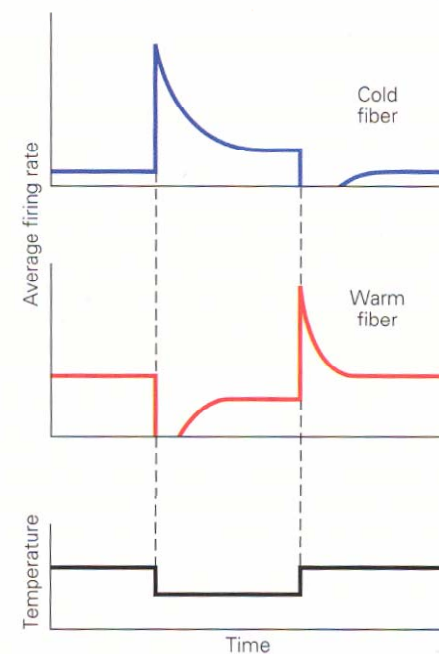


FIGURE 4. Body maps of regional warm (upper bars) and cold (lower bars) sensitivity. The bars indicate the median thresholds of three groups of 20 young, 20 middle-aged, and 20 elderly subjects.

# Statische & dynamische Rezeptorantwort



**B** Dynamic temperature



# Stichwörter Temperatursinn

- Gute Korrespondenz Physiologie – Psychophysik
- statische und dynamische Temperaturempfindung
- Kältesinn und Wärmesinn
- Adaptation

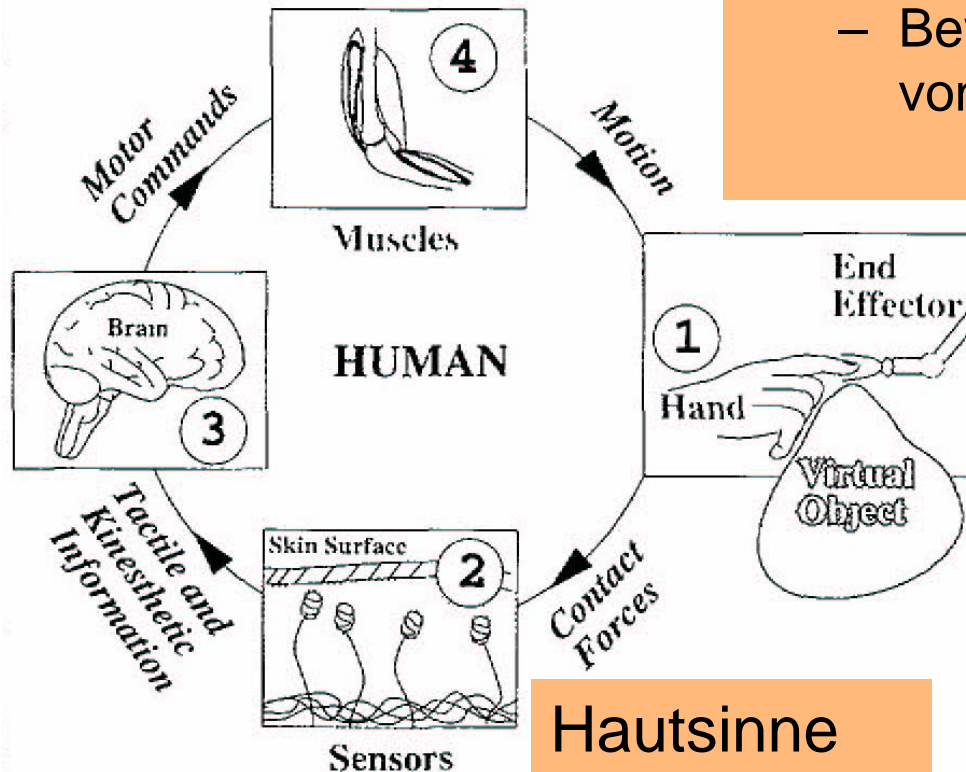
# Haptische Wahrnehmung



- Aktive Wahrnehmung
  - ➔ z.B. erfolgreiche Wahrnehmung von Alltagsobjekten in meist 1 bis 2 Sekunden
- Verschiedene Informationsquellen

# Haptische Wahrn. - Active touch

Efferenz Kopie:  
“Wissen um Bewegung”



## Propriozeption

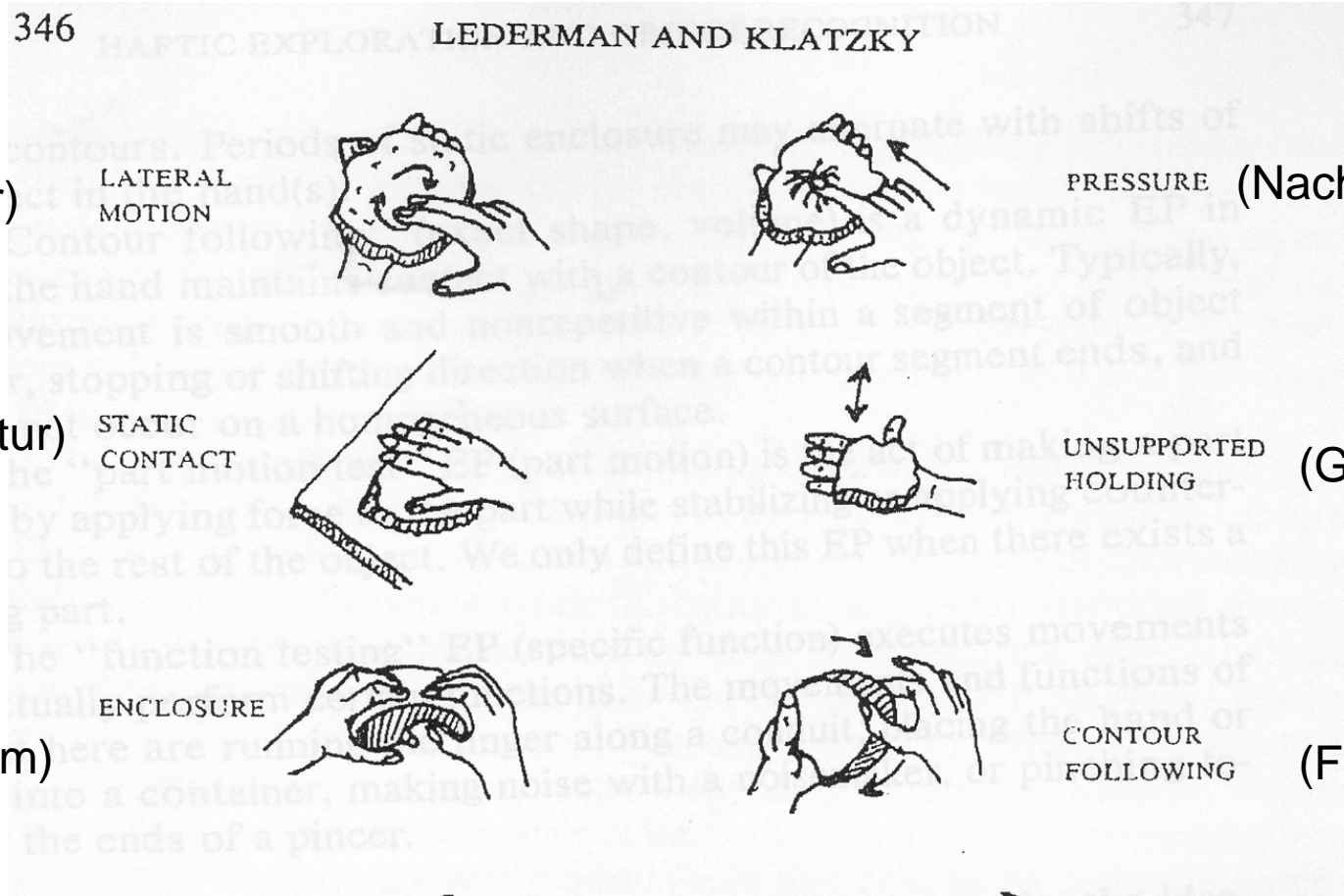
- Bewegung, Position, Kraft von Muskeln, Gliedmaßen

Hautsinne

Haptik: Bewegungskontrolle + Integration verschiedener Informationsquellen



# Bewegung und Objekteigenschaft



(Textur)

LATERAL  
MOTION

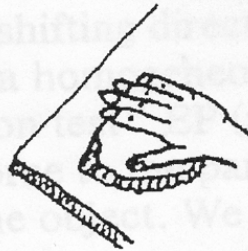


PRESSURE (Nachgiebigkeit)

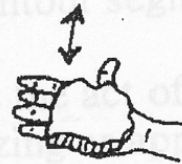


(Temperatur)

STATIC  
CONTACT



UNSUPPORTED  
HOLDING (Gewicht)



(Größe,  
Grobform)

ENCLOSURE

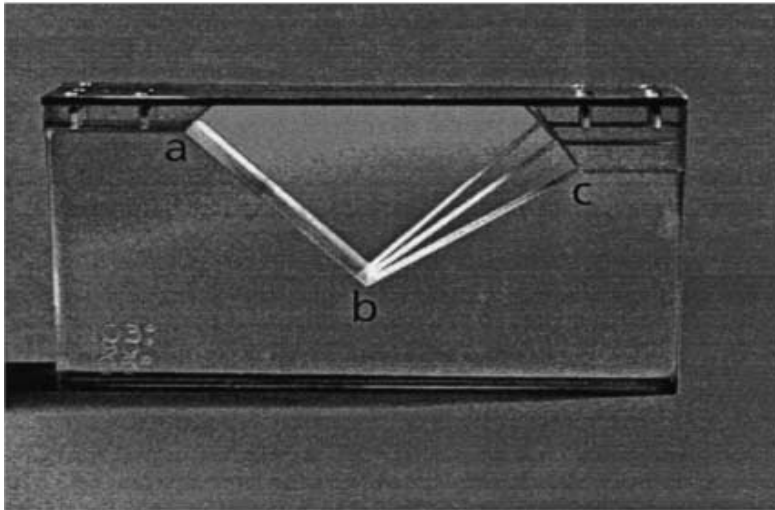


CONTOUR  
FOLLOWING (Form, Details)

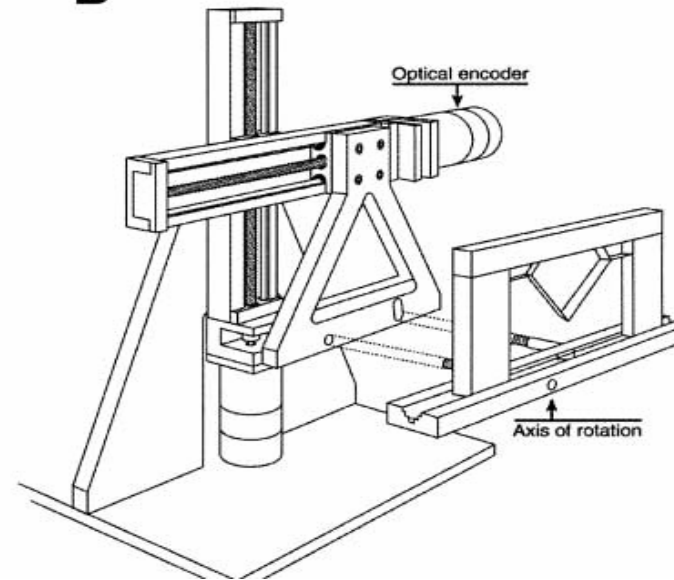


# Integration von Information

A



B



Wahrnehmungszuverlässigkeit:

Aktive Bewegung  
(Propriozeption  
& Hautsinne)

>

Passive Stimulation  
(nur Hautsinne)

Fingeranästhesie  
(nur Propriozeption)

# Wie man sich selber kitzelt - Efferenzkopie

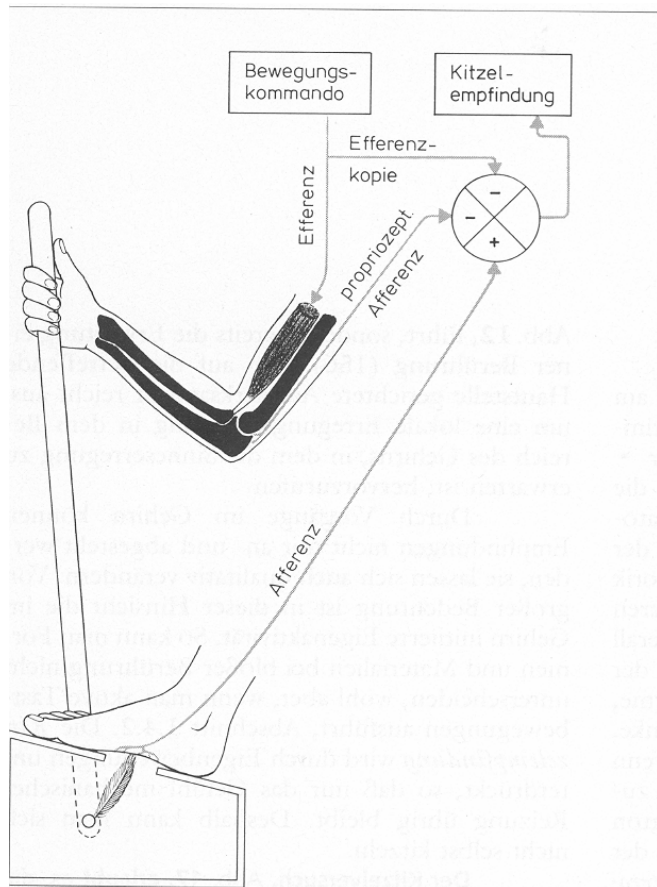


Abb. 17 Kitzelversuch und Erklärung durch das Reafferenzprinzip.

Efferenzkopie schwächt Kitzelempfindung

Verzögerung zwischen Bewegung & Effekt  
→ Selber Kitzeln möglich

(Blakemore et al., 1998)

# Stichwörter Haptik

- Aktive Wahrnehmung
- Explorative Bewegung
- Informationsintegration
- Efferenzkopie

# Hautsinne

**Tastsinn** – *Mechanoreception* (Druck, Berührung, Vibration)

**Temperatursinn** – *Thermoreception* (Wärme, Kälte)

**Schmerzsinn** – *Nociception* (Schmerz, evtl. Jucken)

# Propriozeption

**Sinn für Bewegung und Stellung der Gliedmaßen, Kraft**

*Muskelspindelrezeptoren*

# Haptik:

**Aktive Wahrnehmung (Bewegung + Hautsinne +  
Propriozeption)**

# Literatur

**Goldstein, E. B.** (2002). *Sensation and Perception* (6th ed.) Pacific Grove: Wadsworth.

**Schmidt, R.F., Thews, G., Lang, F.** (2000). *Physiologie des Menschen* (28. Aufl.). Berlin: Springer.

**Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessel, T.M.** (2000). *Principles of Neural Science* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

**Campenhausen, Ch. v.** (1993). *Die Sinne des Menschen. Einführung in die Psychophysik der Wahrnehmung* (2. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme.

**Johnson, K.O.** (2001). The roles and functions of cutaneous mechanoreceptors. *Current Opinion in Neurobiology*, 11: 455-461.

***GEO Juni 2004: Das Verlangen nach Berührung.***