



Praktikumsanleitung zum Versuch „Sensorik“

UNIVERSITÄT LEIPZIG
MEDIZINISCHE FAKULTÄT
CARL-LUDWIG-INSTITUT FÜR PHYSIOLOGIE

VERSION 2025

Lerninhalte/Stichwörter: *Adäquater Reiz; Sensoren (Arten, Dichte, Eigenschaften, Adaptation); sensorische Nervenbahnen; Tastsinn: Berührung, Druck, Vibration; Tiefensensibilität (Propriozeption): Kraftsinn, Bewegungssinn, Lagesinn; Geschmack: Qualitäten; Temperatursinn: Kälte- und Wärmesensoren (Ansprechbereiche); Schmerz: Qualitäten; Absolut- und Unterschiedsschwellen; nachgeordnete Verarbeitungsmechanismen; Psychophysik (Weber, Fechner)*

Einführung

Das klassische Konzept der fünf Sinne (Sehen, Hören, Riechen, Schmecken, Tasten), welches bereits von Aristoteles beschrieben wurde, wird aus heutiger Sicht erweitert. Hinzu kommt die Wahrnehmung von mindestens vier weiteren Modalitäten: Tiefensensibilität, Temperatursinn, Schmerz, Gleichgewichtssinn. An der Haut ist eine Reihe dieser Empfindungen auslösbar (Tasten, Temperatur, Schmerz). An der Tiefensensibilität sind Muskeln, Gelenke und Sehnen beteiligt. Der Geschmack wird über Zunge und Mundschleimhaut wahrgenommen (gustatorisches System). Durch Reizung entsprechender Sensoren können Empfindungen hervorgerufen werden, die Rückschlüsse auf deren Eigenschaften zulassen, so auf die charakteristische Verteilung, die Abhängigkeit von der Stärke oder Frequenz des adäquaten Reizes und das räumliche, zeitliche oder intensitätsbezogene Auflösungsvermögen.

In diesem Praktikum kommt es v.a. darauf an, dass eigene sensorische Wahrnehmungen, die alltäglich und häufig unbewusst stattfinden, analysierbar sind und auf die zugrunde liegenden physiologischen Prozesse schließen lassen. Selbstversuche ermöglichen über die bewusste Wahrnehmung von Sinneseindrücken die Bestimmung von Dichte, Eigenschaften, Absolutschwellen und Unterschiedsschwellen der Sinnesrezeptoren.

1 Bestimmung der Verteilung von Druck-, Schmerz- und Kaltpunkten

Auf den Handrücken wird ein Stempel (Quadrat von 4 cm² mit Unterteilungen von 4 mm²) aufgedrückt. Jedes der 100 kleinen Quadrate ist hinsichtlich einer Empfindung abzutasten. Nacheinander erfolgt die Sondierung der

1. **Druckpunkte:** mit einer Reizborste¹ der Stärke III (vgl. 2.1);
2. **Schmerzpunkte:** mit Hilfe einer Kanülenspitze (stumpf);
3. **Kaltpunkte:** mit kleinen Thermoden (Prinzip: Wärmeableitung mittels Kupferdraht).

Positive Befunde werden in Abbildung 1 mit unterschiedlichen Symbolen für die 3 Reizarten in das Protokollheft eingetragen. Vor Beginn der Untersuchungen macht sich die Versuchsperson (Vp) die spezifischen Empfindungen (besonders von Druck und Schmerz) bewusst. Die Ergebnisse werden einzeln für jede Sinnesmodalität gemittelt: Aussagen über die Rezeptordichte werden pro cm² angegeben (Fläche des Gesamtquadrats: 4 cm²).

¹ Definierte Reizborsten sind als „von Frey-Filamente“ in der Schmerzforschung in Gebrauch. Der Physiologe Maximilian von Frey (1852-1932) führte 1896 rechtwinklig an einem dünnen Stab befestigte Menschenhaare und Tierborsten ein, deren Biegekraft v.a. von der Steifigkeit des Haares abhängt und leicht kalibriert werden kann.

Abbildung 1: Vergrößertes Raster zur Verteilung von Druck-, Schmerz- und Kaltpunkten

Protokoll:

Dichte der **Druckpunkte** (n / cm²):

Dichte der **Schmerzpunkte** (n / cm²):

Dichte der **Kaltpunkte** (n / cm²):

Welche morphologischen Strukturen (Sinnesrezeptoren) können Sie den 3 Empfindungen jeweils zuordnen?

Druckpunkte:

Schmerzpunkte:

Kaltpunkte:

Welche afferenten Nervenfasern sind für die Wahrnehmung bzw. Weiterleitung von mechanischen Reizen, Schmerz und Temperatur verantwortlich?

Mechanosensorik der Haut:

Schmerz (stechend / stumpf):

Temperatur (kalt / warm):

2 Mechanosensoren der Haut

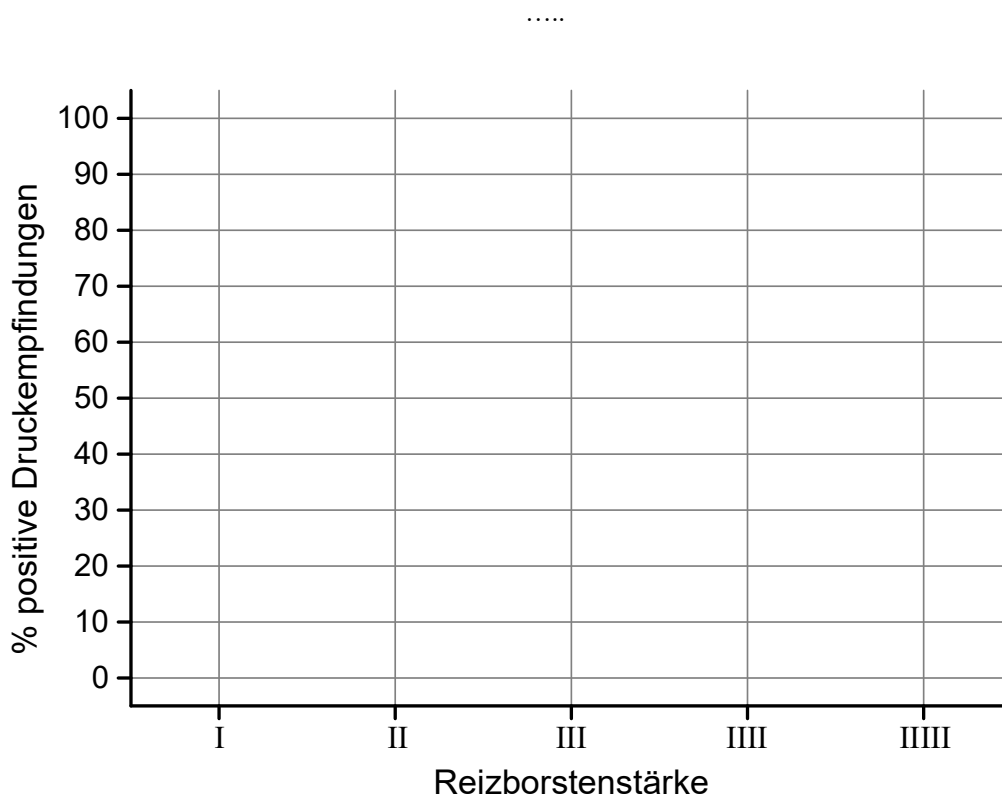
2.1 Aufnahme einer Schwellenkurve für Drucksensoren

Hilfsmittel: 5 Reizborsten („Tasthaare“) verschiedener Stärke (I, II, ..., IIII). Zwei bereits lokalisierte Druckpunkte (siehe oben) an entfernten Stellen des Stempelabdrucks werden in willkürlicher (der Vp nicht mitzuteilender) Reihenfolge mit jeder Borste je 10mal gereizt. Druckempfindung oder nicht (+ oder -) ist zunächst in einer Strichliste zu vermerken. Danach werden die positiven Ereignisse pro Borstenstärke für jeden Druckpunkt in Prozent der Gesamtzahl (10) ausgedrückt.

Protokoll:

Das Ergebnis, als Diagramm dargestellt, zeigt die Häufigkeit der Empfindung als Funktion der Reizstärke.

Definitionsgemäß liegt die Schwelle bei einer Wahrnehmungshäufigkeit von 50 %. Die Reizborste(n) folgender Stärke entsprechen der **Reizschwelle**:



2.2 Räumliche Unterschiedsschwelle („Zweipunktschwelle“) für die Druckempfindung

Bei gleichzeitigem Druck auf die Haut mit den Spitzen (möglichst abgestumpft) eines Zirkels oder den Enden einer aufgebogenen Büroklammer prüfen Sie, ob Sie ein oder zwei Empfindungen haben. Ermitteln Sie diese simultane Zweipunktschwelle an verschiedenen Körperregionen. Zur Ermittlung der Zweipunktschwelle wird der Schwellenbereich erst grob und dann, vom unerschwelligem oder überschwelligem Bereich ausgehend, durch Vergrößerung oder Verminderung des Spitzenabstandes eingegrenzt. Die Zweipunktschwelle ist der minimale Abstand, bei welchem die 2 Tastreize gerade noch als 2 Punkte wahrgenommen werden. Dieser Wert wird mit einem Lineal abgemessen.

Protokoll:

Notieren Sie die ermittelten Zweipunktschwellen (in mm) für die jeweilige Körperregion!

Fingerbeere: mm

Handinnenfläche: mm

Innenseite Unterarm: mm

Oberarm: mm

2.3 Prüfung der Tastempfindung

Die menschliche Tastempfindung in Bezug auf die Wahrnehmung von Oberflächenrauigkeiten ist sehr gut ausgebildet. Partikel oder Unebenheiten in der Größenordnung von Mikrometern können dabei noch ertastet werden.

Berühren Sie die Oberfläche von Sandpapier unterschiedlicher Körnung. Im ersten Schritt legen Sie die Innenseite Ihrer Zeigefingerspitze jeweils nur auf. Im zweiten Schritt streichen Sie mit der Fingerspitze über das jeweilige Papier, wobei nur ein leichter Druck ausgeübt wird. Bei den Sandpapieren #5 und #7 handelt es sich um Schleifmittel mit den Körnungen F400 und F1000. Das entspricht einer Korngröße von ca. 17 µm (#5) sowie 4-5 µm (#7).

Protokoll:

Protokollieren Sie Ihre Tastempfindungen („glatt“ oder „rau“) für jedes Sandpapier.

Auflegen der Fingerspitze: Sandpapier #5: Sandpapier #7:

Bestreichen mit der Fingerspitze: Sandpapier #5: Sandpapier #7:

Welche Mechanosensoren (Sinneszellen) der Haut sind für die Wahrnehmung der Rauigkeit in diesem Versuch verantwortlich?

.....

Welche morphologische Struktur der Innenhand, zusätzlich zu den Sinneszellen, sorgt für einen möglichen Wahrnehmungsunterschied beim Bestreichen der Felder mit der Fingerspitze?

.....

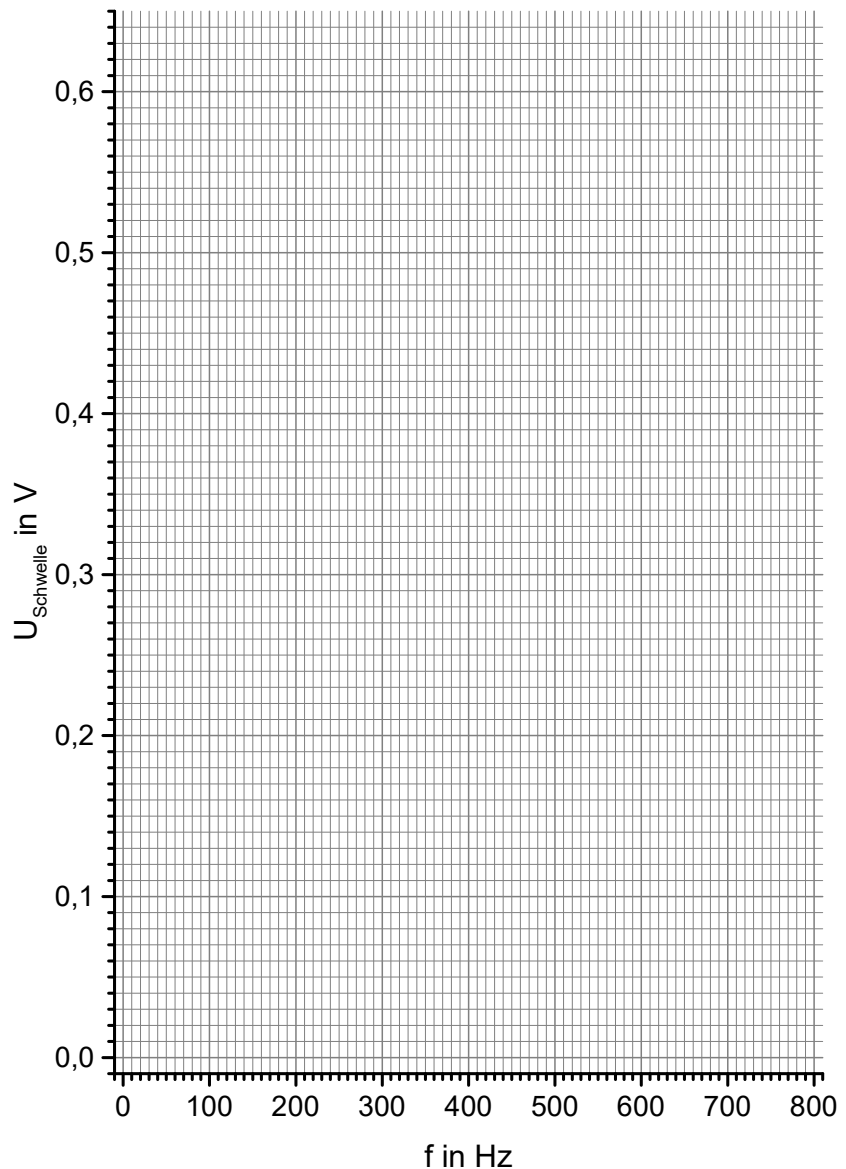
2.4 Frequenzabhängigkeit der Mechanosensibilität

Zur Verfügung steht ein Schwingungsgenerator sowie ein elektromagnetischer Vibrator mit vertikal auslenkbarem Stößel als Druckgeber, auf den zwei Finger aufgelegt werden. Am Schwingungsgenerator werden die Frequenzen von 20, 50, 100, 200,..., bis maximal 800 Hz eingestellt und die jeweils niedrigste Spannung ermittelt, bei der gerade eine Vibration wahrnehmbar ist (Absolutschwelle).

Protokoll:

Füllen Sie die Tabelle aus und zeichnen hierzu ein Diagramm.

f (Hz)	U _{Schwelle} (V)
20	
50	
100	
200	
300	
400	
500	
600	
700	
800	



Höchste Empfindlichkeit für Vibrationen bei: Hz

Welche Sinneszellen sowie Eigenschaften dieser Sensoren sind für die Vibrationsempfindung verantwortlich?

.....

3 Thermosensibilität

3.1 Temperaturabhängige Empfindungen

Thermoden werden im Wasserbad stufenweise auf 25, 30, 40, 45, 50 und 55 °C erwärmt und auf den Handrücken aufgedrückt.

Protokoll:

Die Empfindungen (kalt, indifferent, warm, heiß, brennend heiß) sind zu den jeweiligen Temperaturen zu protokollieren.

Temperatur	Empfindung
25°C	
30°C	
40°C	
45°C	
50°C	
55°C	

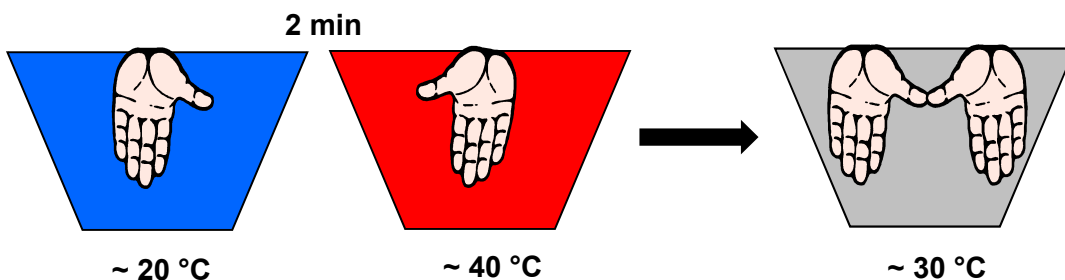
3.2 Weberscher Dreischalenversuch

Dieser Versuch dient der Veranschaulichung der Änderung der thermischen Empfindungsqualität in Abhängigkeit vom Adaptationsverhalten der Thermorezeptoren.

Drei große Gefäße (Eimer) werden mit Wasser verschiedener Temperatur gefüllt:

- Kalt = kaltes Leitungswasser (ca. 20°C)
- Warm = heißes Leitungswasser, etwas über Badewannentemperatur (ca. 40°C)
- Lauwarm = 1:1 Mischung des kalten und warmen Wassers (ca. 30°C)

Sie tauchen etwa 2 Minuten gleichzeitig eine Hand in das kalte, die andere in das warme Wasser. Anschließend werden beide Hände zugleich (aber ohne sich zu berühren) in das Mischwasser gehalten. Es soll die Empfindung direkt nach Eintauchen der Hände in das lauwarmer Wasser beschrieben werden. Des Weiteren ist die Zeitdauer bis zu einer Gleichwärmempfindung in beiden Händen zu bestimmen. Die Wahrnehmung des Effekts hängt von der Änderungsgeschwindigkeit und von der Größe des Hautareals ab, weswegen es wichtig ist, dass der Wechsel zwischen den verschiedenen Gefäßen sehr zügig erfolgt und die gesamte Hand gut in das Gefäß eintaucht.



Protokoll:

Ausgangssituation:

Sofort-Empfindung in lauwarmem Wasser

Rechte Hand: warm Rechte Hand:

Linke Hand: kalt Linke Hand:

Zeitdauer bis zur Gleichwarm-Empfindung:

Gibt es Unterschiede im Adaptationsverhalten der Kälte- und Wärmesensoren?

.....

Gibt es mehr Kälte- oder mehr Wärmesensoren in unserer Haut?

.....

4 Bestimmung von Geschmacksschwellen (Gustometrie)

Die Zunge besitzt Geschmacksknospen, die der Wahrnehmung von fünf Geschmacksqualitäten (süß, sauer, salzig, bitter und umami) dienen. Anhand eines Selbstversuchs können Sie die Geschmacksschwelle für Saccharose (süß) bestimmen.

Der Versuchsleiter tropft aus zwei bereitgestellten Konzentrationsreihen (Angaben in g/l bzw. mg/l), welche Saccharose- bzw. Chininhydrochlorid-Lösungen enthalten, jeweils 0,5 ml einer Lösung auf die Zunge der Vp. Es wird bei der niedrigsten Konzentration begonnen und zur nächsthöheren fortgesetzt. Bei Erkennen der Geschmacksqualität wird die entsprechende Konzentration notiert. (Molmasse von **D(+)-Saccharose: 342,3 g/mol**; Molmasse von **Chininhydrochlorid: 396,9 g/mol**)

Protokoll:

Geben Sie die Geschmacksschwellen für D(+)-Saccharose (Haushaltszucker) sowie für Chininhydrochlorid in **g/l** sowie in **mmol/l** an!

Geschmacksschwelle für Saccharose: g/l mmol/l

Geschmacksschwelle für Chininhydrochlorid: mg/l $\mu\text{mol/l}$

Das Wievielfache beträgt die Geschmacksschwelle für Saccharose gegenüber der von Chinin?

Süß-Schwelle / Bitter-Schwelle (Saccharose-Schwelle / Chinin-Schwelle) =

In Softdrinks (z.B. Cola) sind häufig 11 g Zucker pro 100 ml enthalten. Das Wievielfache beträgt diese Konzentration gegenüber der von Ihnen ermittelten Geschmacksschwelle für Zucker (Saccharose)?

.....

In *Tonic Water* eines Herstellers sind z.B. 71 mg/l des Bitterstoffs Chinin enthalten. Das Wievielfache beträgt diese Konzentration gegenüber der von Ihnen ermittelten Geschmacksschwelle für Chininhydrochlorid?

.....

5 Bestimmung der Unterschiedsschwelle des Kraftsinns

Ernst Heinrich Weber (1795-1878), der ab 1821 Professor für Anatomie und 1840-65 Lehrstuhlinhaber des Physiologischen Instituts in Leipzig war, untersuchte für verschiedene Sinnesqualitäten den Zusammenhang zwischen der jeweiligen Sinnesempfindung und der Reizintensität. Bei Veränderungen der Reizstärke stellte er fest, dass die Unterschiedsschwellen im Allgemeinen linear vom Ausgangsreiz abhängen. Dabei ist die Unterschiedsschwelle der eben noch bemerkbare Unterschied eines Reizes, der zu einer Änderung der Empfindung führt. Je nach Sinnesmodalität schwankt der dynamische Bereich der Wahrnehmung. Das Webersche Gesetz lässt sich auch für die propriozeptive Wahrnehmung des Kraftsinns nachvollziehen.

Dieses Gesetz besagt hier, dass der gerade noch bemerkbare Reizunterschied zwischen zwei Gewichten in einem konstanten Verhältnis zur Größe des Grundgewichts steht: $\Delta G / G = \text{konstant}$. Dabei ist G die Größe des Ausgangsreizes (= Grundgewicht) und ΔG der Reizunterschied, der eine Veränderung der Empfindungsintensität bewirkt.

Der Versuch wird in 3 Etappen für die Grundgewichte G von 100g, 300g und 500g durchgeführt. Der Versuchsleiter belastet eine Waagschale mit einem Grundgewicht und die Vp legt 1-3 Finger auf das andere Ende des Waagebalkens. Dabei prägt sich die Vp das jeweilige Grundgewicht durch leichtes Wippen des Balkens ein. Zu G wird ein Zusatzgewicht ΔG_{Test} hinzugelegt und mit „+“ oder „-“ protokolliert, ob die Versuchsperson die Gewichtszunahme wahrgenommen hat oder nicht. Dabei müssen die Finger so auf dem Waagebalken verbleiben, dass dessen Haltefaden durch das Gewicht gestrafft und dadurch das Zulegen selbst nicht bemerkt wird. Vor jedem weiteren Auflegen von Zusatzgewichten ist zum Vergleich das Grundgewicht (mit Ansage G) noch einmal anzubieten. Die Unterschiedsschwelle ΔG entspricht dem kleinsten, als sicher erkannten ΔG_{Test} .

Als Richtmaße für ΔG gelten ca. 5 – 10 % von G . Die Wahl der ΔG_{Test} startet zunächst bei Werten von mind. 30 % von G , um der Vp die Gelegenheit einer positiven Wahrnehmung zu geben. Anschließend geschieht das Auflegen kleinerer ΔG_{Test} in zufälliger Reihenfolge. In der Nähe der Unterschiedsschwelle wird jedes ΔG_{Test} jeweils 5 x geprüft. Die Untersuchung ist so lange fortzusetzen, bis bei einem möglichst niedrigen ΔG_{Test} 3 x „+“ erscheint.

G = 100 g		$\Delta G/G =$			
ΔG [g]	Testergebnis				

G = 300 g		$\Delta G/G =$			
ΔG [g]	Testergebnis				

G = 500 g		$\Delta G/G =$			
ΔG [g]	Testergebnis				

Protokoll:

Zeichnen Sie ΔG als Funktion von G sowie $\Delta G/G$ als Funktion von G .

