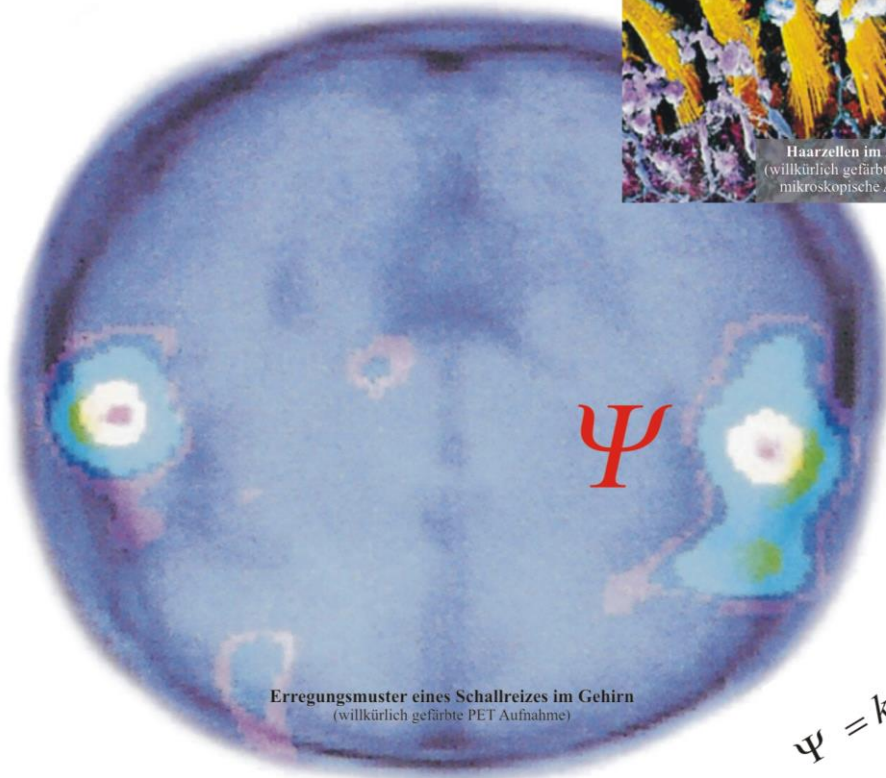
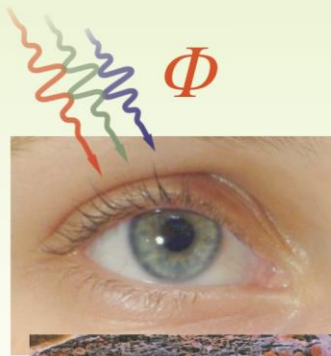


# SENSOR

## MODELLIERUNG DER SENSORFUNKTION (LICHTWAHRNEHMUNG); KONTROLLE DES STEVENS-GESETZES MIT LAUTSTÄRKEMESSUNGEN"



$$\Psi = \text{konst.} \left( \frac{\Phi}{\Phi_0} \right)^n$$

## GRUNDBEGRIFFE:

**REIZ:** Eine Einwirkung, die den Organismus erreicht und dort eine Reaktion bestimmter Art auslöst. Es bedeutet ein physikalisches oder chemisches Signal (Stimulus) aus der Umwelt oder dem Körperinneren, das von spezifischen Sinneszellen (**Rezeptorzellen**) wahrgenommen wird.

**EMPFINDUNG:** Die Reaktion auf den vom Zentralnervensystem wahrgenommenen und erkannten sensiblen Stimulus.

**SENSORFUNKTION:** Sie nimmt die Informationen (**Reize**) der Umwelt oder der inneren Organe wahr und leitet sie ins Gehirn, wo die Empfindung entsteht, z. B. **Reiz** = Schall, **Empfindung** = Lautheit.

**REZEPTORZELLE:** Spezialisierte Sinneszelle, welche die Informationen (**Reize**) der Umwelt oder der inneren Organe wahrnimmt und in ein elektrisches **Rezeptorpotenzial** umwandelt.

**REZEPTORPOTENZIAL:** Lokale (sich nicht ausbreitende) Veränderung des Membranpotenzials der **Rezeptorzelle**. Die Amplitude des Rezeptorpotenzials hängt von der Stärke des **Reizes** ab.

**DYNAMIK-KOMPRESSION:** Bei einem schwachen **Reiz** ist die relative Änderung des **Rezeptorpotenzials** größer, als bei einem starken **Reiz**.

**DYNAMIK-EXPANSION:** Bei einem schwachen **Reiz** ist die relative Änderung des **Rezeptorpotenzials** kleiner, als bei einem starken **Reiz**.

**SENSIBLE NERVEN** (Sinnesnerven): **Rezeptorzellen** und sensible Zentren des Gehirns verbindende Nervenfasern (Bündel), die bei überschwelligen **Rezeptorpotenzialen Aktionspotenziale** generieren und dann die Informationen in frequenzkodierter Form (Impulsreihe) an das Gehirn weiterleiten.

**AKTIONSPOTENZIAL (AP):** Ein sich entlang der Nervenfaser schnell ausbreitender, kurzer ( $\sim$  ms) elektrischer Spannungsimpuls, dessen Amplitude ( $\sim$  0,1 V) während der Ausbreitung unverändert bleibt. Hauptmerkmale sind: Schwellenreiz und Frequenz des **Aktionspotenzials**.

**LAUTSTÄRKEPEGEL:** Der nach dem **Weber–Fechner-Gesetz** berechnete Wert der empfundenen Lautstärke in Phon, der gleich dem Intensitätspegel ( $J_{dB}$  (dB)) des Referenztones von 1000 Hz ist. Die Messzahl drückt nicht das reale Lautstärkeempfinden aus.

**AMPLITUDENKODIERUNG:** Der Informationsgehalt ist in der Größe (Amplitude) des Signals kodiert.

**FREQUENZKODIERUNG:** Der Informationsgehalt ist in der Frequenz der Signalreihe kodiert

**WEBER–FECHNER-GESETZ:** Der logarithmische Zusammenhang zwischen der relativen Stärke eines **Reizes** ( $\Phi/\Phi_0$ ) und der Stärke der Empfindung ( $\Psi$ ):  $\Psi = k \cdot \lg(\Phi/\Phi_0)$ , wo  $k$  eine für die Wahrnehmungsart charakteristische Zahl ist.

**STEVENS-GESETZ:** Zusammenhang zwischen der relativen Stärke eines Reizes ( $\Phi/\Phi_0$ ) und der Stärke der Empfindung ( $\Psi$ ) in Form einer Potenzfunktion.  $\Psi = k \cdot (\Phi/\Phi_0)^n$ , wobei die Zahl  $k$  und der Exponent  $n$  charakteristisch für die Wahrnehmungsart ist. So beträgt er z.B. beim Empfinden der **Lautheit**  $n = 0,3$  und beim Lichtempfinden  $n = 0,5$ .

**Ziel der Messung** ist das Studium und die Messung des psychophysischen Grundgesetzes, das den Zusammenhang von physikalischer Reizintensität und Empfindungsstärke beschreibt, bzw. das Verständnis der signalumwandelnden Sensorfunktion. In der ersten Hälfte der Messungen untersuchen wir ein vereinfachtes, elektrisches Modell des Auges als Lichtsensor auf dem Niveau des Rezeptor- und Aktionspotenzials (auf diesem Niveau eine „in vivo“ Demonstrationsmessung ist schwer zu konstruieren). In der zweiten Hälfte wird der Zusammenhang zwischen der Intensität des Sinustons und der ausgelösten, subjektiven Lautheitsempfindung sowie der reellen Masse und der subjektiven Gewichtsempfindung nun schon „in vivo“ bestimmt.

Lehrbuch:  
Damjanovich-Fidy-Szöllösi:  
IV. 1., IV. 2., IV. 3.

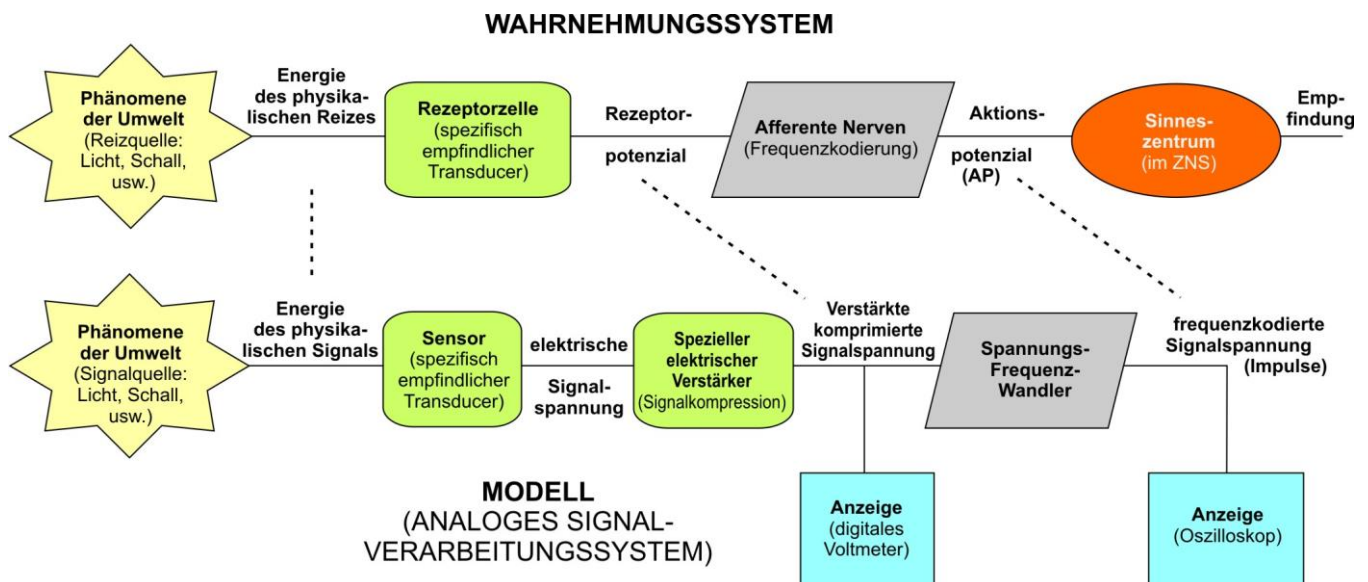
## THEORETISCHE ZUSAMMENFASSUNG I.

### MODELLIERUNG DER SENSORFUNKTION: REZEPTOR- UND AKTIONSPOTENZIALE, LICHTWAHRNEHMUNG

Ein vereinfachtes Schema des Wahrnehmungssystems von lebenden Organismen ist in Abb. 1 oben dargestellt. Die **Rezeptorzellen** der Sinnesorgane zeigen eine **spezifische Empfindlichkeit** gegenüber äußeren physikalischen oder chemischen Reizen. Diese Reize verändern das Ruhepotenzial der Rezeptorzellen, das man nun als **Rezeptor- oder Generatorpotenzial** bezeichnet. Auf der Veränderung der Reizgröße wird sich die Größe – die Amplitude – des Rezeptorpotenzials ändern. Während der Weiterleitung des Signals wird die Information in der **Amplitude kodiert** – diese ist die häufigste Signalkodierungsart. Bei schwachen Reizen erfolgt eine relativ größere Veränderung des Rezeptorpotenzials als bei stärkeren Reizen. So wird es möglich, große Reizenergiebereiche mit einem einzigen Sinnesorgan wahrzunehmen. Diese Art der Empfindungsänderung wird als **Dynamik-Kompression** (Signalkompression) bezeichnet. In dem Fall, wenn das Rezeptorpotenzial sich weniger ändert als die Reizintensität, sprechen wir über **Dynamik-Expansion**. Die mit der Rezeptorzelle verbundene sensible Nervenzelle generiert aus den überschwelligen Rezeptorpotenzialen uniforme – mit gleicher Amplitude auftretenden - elektrische Impulse, sog. **Aktionspotenziale**. In diesem Fall wird die Information nicht in der Größe des Aktionspotenzials, sondern in ihrer Frequenz kodiert – das nennen wir **Frequenzkodierung**. Da sich die Amplitude des Aktionspotenzials während ihres Verlaufs in der Nervenbahn nicht ändert, gelangt die kodierte Information ohne Dämpfung und Verzerrung in das sensible Zentrum des Gehirns, wo durch komplizierte Prozesse die Empfindung entsteht. Beim Vergleich der objektiven und subjektiven Messungen wurde bestätigt, dass **die Stärke der Empfindung direkt proportional zur Frequenz des Aktionspotenzials ist**.

Reiz  
stimulus  
inger

Empfindung  
sensation  
érzet



**Abb. 1.** Schema des Wahrnehmungssystems und sein mögliches (bei den Messungen benutztes) elektrisches Modell

In der unteren Hälfte der Abb. 1 ist das allgemeine elektronische Modell des Wahrnehmungssystems schematisch dargestellt. Seine Funktion wird bei der Beschreibung des Lichtsensor-Modells ausführlich erklärt.



Bei der Messung wird als physikalische Signalenergie Licht benutzt, denn das Gerät modelliert die Funktion der Retina (Abb. 1 unten). Der dem **Photosensor** (Transducer) nachgeschaltete spezielle elektronische Verstärker verstärkt und komprimiert das dem Lichtsignal entsprechende elektrische Signal. Am Ausgang kann das dem **Rezeptorpotenzial** entsprechende Signal gemessen werden. Der nachgeschaltete **Spannungs-Frequenz-Wandler** stellt eine dem **Aktionspotenzial** ähnliche Signalreihe her. So kann an einem digitalen Oszilloskop gezeigt werden, wie das modellierte Rezeptor- und Aktionspotenzial auf die Veränderung des Lichtreizes reagiert.

### WIE FUNKTIONIERT DAS MODELL?

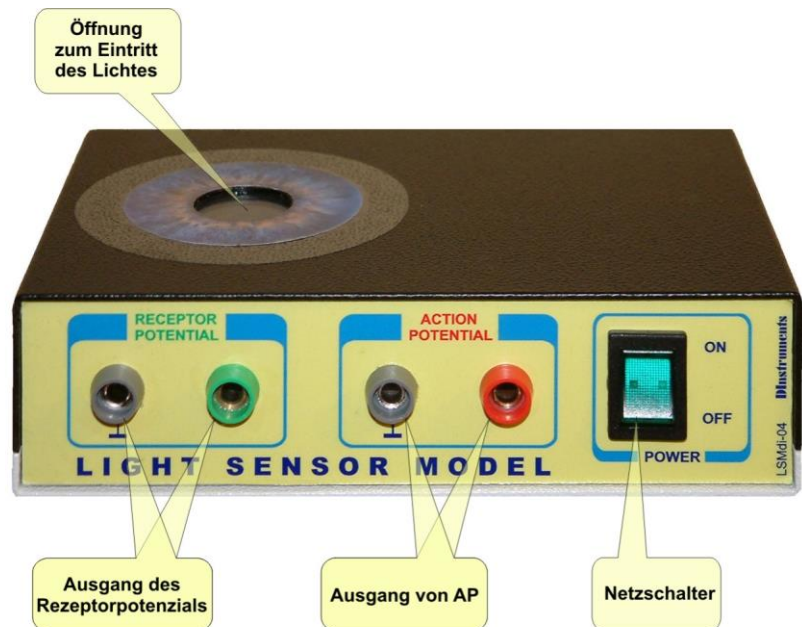
Der Photosensor des Modells, eine Silizium-Photodiode, befindet sich im Gehäuse unter der Eintrittsöffnung für das Licht (Mitte der Iris) (Abb. 2).

In der ersten Phase der Signalverarbeitung wird das elektrische Signal der Photodiode von einem Spezialverstärker verstärkt und dann **komprimiert** (Analogmultiplizierer, Vierquadrantenmultiplizierer Schaltung, die eigentlich eine Potenzfunktion mit dem Exponenten  $n = 0,5$  realisiert). Hier kann die Gleichspannung des **REZEPTORPOTENZIALS** gemessen werden.

In der zweiten Phase der Signalverarbeitung transformiert ein sog. **Spannungs-Frequenz-Wandler** das Rezeptorpotenzial in eine Reihe von Rechteckimpulsen. Die Impulsfrequenz ist direkt proportional zum jeweiligen Rezeptorpotenzial.

Schließlich wird im Stromkreis eine dem **Aktionspotenzial** ähnliche Signalform erzeugt, die am Oszilloskop verfolgt werden kann.

Der Einfachheit halber vernachlässigt das Lichtsensor-Modell die für sensible Systeme charakteristische Reiz- und Schmerzschwelle.



*Abb. 2. Das Lichtsensor-Modell*

Während der Messung ändern wir die Stärke des Reizes – die Lichtintensität – und beobachten danach die Auswirkung auf das modellierte Rezeptorpotenzial bzw. Aktionspotenzial. Unser Ziel ist die Amplituden- und Frequenzkodierung zu veranschaulichen und zu deuten.

## THEORETISCHE ZUSAMMENFASSUNG II.

### SENSORFUNKTION: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN REIZ UND EMPFINDUNG

Der Zusammenhang zwischen Reiz und Empfindung wird von den psychophysikalischen Gesetzen beschrieben. In den folgenden werden wir zwei Theorien kurz erklären.

1. Weber-Fechner-Gesetz: der Grundgedanke des Zusammenhanges ist, dass die *relative Änderung des Reizes* proportional zu der *Änderung der Empfindungsstärke* ist, sodass zwischen der **Empfindungsstärke** ( $\Psi$ ) und der **relativen Reizgröße** ( $\phi/\phi_0$ ) ein logarithmischer Zusammenhang besteht:

$$\Psi = k \cdot \lg\left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)$$

wobei  $k$  ein, für die gegebenen Wahrnehmungsweise – Modalität – charakteristischer Parameter ist.

2. Stevens-Gesetz: der Grundgedanke des Zusammenhanges ist, dass die *relative Änderung des Reizes* proportional zu der *relativen Änderung der Empfindungsstärke* ist, sodass die **Empfindungsstärke** ( $\Psi$ ) mit der gegebenen Potenz der **relativen Reizgröße** ( $\phi/\phi_0$ ) proportional ist:

$$\Psi = l \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^n$$

wobei  $l$  und  $n$  für die gegebenen Wahrnehmungsweise – Modalität – charakteristische Werte sind.

In den folgenden Messungen ist unser Ziel, die zwei psychophysikalische Gesetze zu untersuchen bzw. ihre Parameter bei zwei Modalitäten zu schätzen.

### 1. MESSUNG DER LAUTHEIT

Die Messaufgabe ist die Bestimmung des Zusammenhanges zwischen der Intensität des physikalischen Schallreizes und der subjektiven psychophysischen Lautheit.

Zur Messung verwendete Geräte:

- Funktionsgenerator (Sinus)
- Kopfhörer.

Die Messung soll in Paaren durchgeführt werden, Versuchsleiter und Versuchsperson.

#### ABLAUF DER 1. MESSUNG

1. Der Funktionsgenerator soll in Sinusspannung (**SIN**) im Frequenzbereich von 1000 Hz (**FREQUENCY, 1k**) eingestellt und mit dem Kopfhörer verbunden werden. Der Versuchsleiter stellt den **COARSE** Regler auf  $10^{-2}$  und den **FINE** Knopf auf 1. Die so erhaltene physikalische Intensität erzeugt im Kopfhörer die willkürlich genannte Bezugslautheit von „1 Einheit“. Diese Lautheit soll sich die Versuchsperson gut merken, um sich später während der Messung gut an diese anfängliche Referenz-Lautheit zu erinnern. Deswegen soll sich die Versuchsperson das Signal mit dieser Intensität längere Zeit, zirka 15 - 20 s lang anhören. Der Bezugston kann während der Messung auf Wunsch der Versuchsperson wiederholt werden.

2. Danach ändert der Versuchsleiter die Amplitude der Signale laut der erhaltenen Tabelle, sodass die Versuchsperson das nicht sieht (**COARSE, FINE** Knöpfe). Dann charakterisiert die Versuchsperson die so erzeugte Lautheit mit einer **positiven Maßzahl, Schätzung**. Hört sie den Ton z.B. 10mal so laut wie den zuerst gehörten Bezugston, so soll sie den Wert 10 angeben. Empfindet sie ihn aber z. B. nur als halb so laut, so gibt sie den relativen Wert von 0,5 an.

Da in einem Raum gleichzeitig mehrere Messungen verlaufen, sollen die Messergebnisse nicht mündlich angegeben, sondern von der Versuchsperson neben der laufenden Nummer eingetragen werden. So kann das Rauschniveau im Labor minimiert werden. Insgesamt sollen 20 Messungen von der Hörschwelle bis zur größten einstellbaren Schallstärke anhand der gegebenen Amplitudeneinstellungen durchgeführt werden. In der Reihenfolge der Tabelle werden die Töne mit der vorgeschriebenen Amplitude zufälligerweise mal lauter, mal leiser zu hören sein. Auf diese Weise können falsche Einschätzungen, die sich aus der Gewöhnung ergeben, vermieden werden.



## 2. MESSUNG DER GEWICHTSWAHRNEHMUNG

Die Aufgabe dieser Messung ist die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen der physikalischen Masse und der subjektiven psychophysikalischen Gewichtswahrnehmung (leichter, schwerer). Der Versuch zeigt, dass die Schätzung der Masse oder der für die Verschiebung der Gegenstände nötigen Kraft nicht die leichteste Aufgabe ist, und manchmal führt zu äußerst falschen Einschätzungen. In der Chirurgie kommt es oft vor, dass während abdominalen Operationen das Maß der Adhäsion auf einer subjektiven drei- oder fünfstufigen Skala eingeschätzt wird. Hier werden das Omentum oder die zusammengewachsenen Organe mit den Händen oder einer Pinzette getrennt, was eine ähnliche Aufgabe der Kraftausübung ist, wie das in der Messung durchzuführende „Gewichtheben“.

Zur Messung verwendete Geräte:

- die Messpartner bekommen nummerierte pharmazeutischen Tiegel, die vom Aussehen her komplett ähnlich sind.

Während der Messung sollen alle individuell messen und Notizen machen. Es ist wichtig, dass die Paare nicht ansehen, welche Schätzung die anderen machen, da es das Endergebnis der Messung beeinflussen kann.



*Abb. 3. Messung der Gewichtswahrnehmung*

### ABLAUF DER 2. MESSUNG

1. Der Tiegel mit der Beschriftung „ETALON“ aus der Massenreihe wird in die Hände genommen und mit einer Hand hochgehoben. Achten Sie darauf, dass der Tiegel von der Seite her angefasst wird (den Tiegel nicht auf den Handteller legen oder von oben anfassen – siehe Abb. 3.).
2. Der erhaltenen Tabelle entsprechend soll mit der anderen Hand ein nummerierter Tiegel aufgehoben und dann geschätzt werden – ähnlich zu der Lautheitsmessung – wievielfach leichter oder schwerer er als der Tiegel „ETALON“ ist: Wenn in der Tabelle zwei Zahlen geschrieben worden sind, müssen dort die zwei Tiegel aufeinander gelegt, der untere angefasst und hochgehoben werden.

### AUSWERTUNG DER 1. UND 2 MESSUNG

Bei der Untersuchung der Lautheit sollen wir für die Berechnung der Reizstärke die Spannungswerte multiplizieren ( $U = U_{\text{coarse}} \cdot U_{\text{fine}}$ ), dann quadrieren, da die Intensität des Schallreizes zum Quadrat der Amplitude proportional ist.

Für das Errechnen der Reizstärke während dem Versuch der Gewichtswahrnehmung ist die Masse der Tiegel vom Praktikumsleiter angegeben.

Die Auswertung ist in beiden Fällen ähnlich:

1. Berechnen Sie die relative Reizstärke.
2. Stellen Sie die geschätzte Empfindungsstärke als Funktion der relativen Reizstärke dar.
3. Passen Sie Logarithmische- und Potenzfunktionen an den Messpunkten an und untersuchen anhand des Bestimmtheitsmaß, welches Gesetz eine bessere Korrelation aufzeigt.
4. Bestimmen Sie die Parameter der Funktionen.