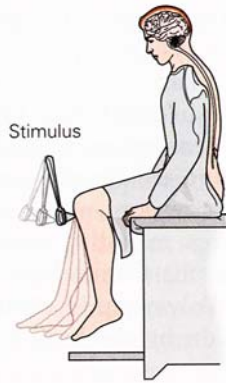


PSYCHOPHYSIK, REFLEXE UND SENSOMOTORISCHE INTEGRATION



EINFÜHRENDE BEMERKUNGEN

Im Unterschied zur objektiven Sinnesphysiologie, bei der die durch Reize verursachten Erregungen im Organismus direkt gemessen werden (siehe Kursversuch Insekten-ERG), wird bei den psychophysischen Untersuchungen ein Proband nach seinen Empfindungen befragt, die ein spezifischer Stimulus auslösen kann. Es wird also nicht direkt die Stärke der durch einen Reiz hervorgerufenen Erregung gemessen, sondern die Stärke der durch den Reiz verursachten Empfindung. Da keine direkten Messungen vorgenommen werden können und immer Proband oder Versuchstier über ihre Empfindung Auskunft geben müssen, wird diese Messmethodik als subjektive Sinnesphysiologie oder Psychophysik bezeichnet. Wie in der objektiven Sinnesphysiologie gibt es auch in der Psychophysik einige allgemein gültige Gesetze und häufig angewandte Messvorschriften, die Sie in diesem Praktikumsteil kennenlernen sollen.

Bestimmte Reize führen nicht nur zu einer Empfindung, die mit psychophysischen Methoden erfasst werden kann, sondern zusätzlich zu einer direkten motorischen Reaktion. Dieser Zusammenhang zwischen Reiz und Reaktion wird als Reflex beschrieben. Unwillkürliche, mit kurzer Latenz ablaufende Reflexe spielen besonders für Regulation der Körperhaltung und die Orientierung im Raum eine große Rolle. Beispielhaft sollen im Praktikum der Patellarsehnenreflex untersucht werden. Die Reaktion eines Organismus lässt sich in vielen Situationen nicht nur durch den externen Reiz beschreiben, sondern wird durch eine Integration von sensorischer und motorischer Information bestimmt. Diese sensomotorische Integration wird beispielhaft durch die Aufzeichnung der eigenen Augenbewegungen untersucht.

THEORETISCHE VORRAUSSETZUNGEN

Folgende Kenntnisse aus der Vorlesung "Einführung in die Tierphysiologie" und aus den Lehrbüchern werden für die sinnvolle Durchführung der Versuche benötigt und daher vorausgesetzt:

Grundlagen der Psychophysik: Sinnesmodalität, Reizqualität, Reizintensität, adäquater Reiz, absolute Schwelle, Unterschiedsschwelle, Weber-Fechner-Gesetz, Stevens'sche Potenzfunktion, intermodaler Intensitätsvergleich, Konditionierung als psychophysische Meßmethode bei Tieren.

Physikalische Grundlagen: Schallwellen, Schalldruck, Dezibel (dB) als Maßeinheit, dB SPL, Frequenz, Oktave, spektrale Zusammensetzung von Schallereignissen (Ton, Klang, Geräusch).

Grundlagen der Hörphysiologie: Aufbau des Ohres bei Säugetieren, Frequenzrepräsentation in der Cochlea, Schalldruckpegel, Lautstärke, Lautheit, Phon, dB(A), Verlauf der menschlichen Hörschwelle, Maskierung von Schallreizen durch Rauschen, Hauptsprachbereich, Richtungshören - Bedeutung von Laufzeit- und Schalldruckunterschieden an den beiden Ohren, Richtcharakteristik des Ohres (Pinna), horizontale und vertikale Schalllokalisierung.

Motorische Rückenmarksreflexe: Elemente des Kniesehenreflexes, Aufbau des Rückenmarks, afferente und efferente Bahnen, Muskelspindeln und ihre efferente Kontrolle, monosynaptische und polysynaptische Reflexe, Eigenreflex, Fremdreflex, Regelung durch negative Rückkopplung.

Augenbewegungen: extraokuläre Muskeln, Hirnnerven, Gleichgewichtssinn, Innenohr, Retina, visueller Kortex, extrastriärer Kortex, Sakkaden, elementare Bewegungsdetektoren, Bewegungssehen, bedingter und unbedingter Reflex

Methodische Kenntnisse, die Sie im Praktikum erwerben sollen:

Bestimmung von absoluten Schwellen und Unterschiedsschwellen, Durchführung eines "two alternative forced choice"- Experiments, Durchführung einer "trading-Messung" zur Richtungslokalisierung. Messen einer Reflexzeit. Bestimmung der Augenposition einer Versuchsperson. Einfache statistische Auswertung experimenteller Daten.

LITERATUR

SCHMIDT/THEWS -- Physiologie des Menschen, Springer. Behandelt in hervorragender Weise alle für diesen Versuch nötigen theoretischen Grundlagen (lesen Sie auch die Abschnitte über Allgemeine Sinnesphysiologie)

Weiterführende Literatur:

MOORE -- An Introduction to the Psychology of Hearing, Academic Press

PICKELS -- An Introduction to the Physiology of Hearing, Academic Press

ZWICKER -- Psychoakustik, Springer

KANDEL, SCHWARTZ, JESSEL --Principles of Neural Science, McGraw-Hill

CARPENTER -- Movements of the Eyes, Pion

HANDWERKZEUG

Protokollheft und Schreibzeug, Millimeterpapier, logarithmisches Millimeterpapier oder Taschenrechner, Disketten

VERSUCHSTEIL I

Bestimmung der absoluten Hörschwelle des Menschen

Der Versuchsperson wird bei verschiedenen Frequenzen ein Dauerton mit variablem Schalldruck vorgespielt. Bei jeder gemessenen Frequenz wird der Schalldruckpegel notiert, bei dem ein Ton gerade gehört werden kann.

Versuchsdurchführung:

Der verwendete Versuchsaufbau ist in Abb. 1 dargestellt. In einem Funktionsgenerator (A) wird ein Sinuston variabler Frequenz erzeugt. Über ein Zusatzgerät (B) lässt sich zwischen Dauerton und Tonpulsen umschalten. Das Ausgangssignal des Funktionsgenerators wird in einem Abschwächer (C) auf die gewünschte Intensität gebracht und der Versuchsperson über einen Kopfhörer vorgespielt.

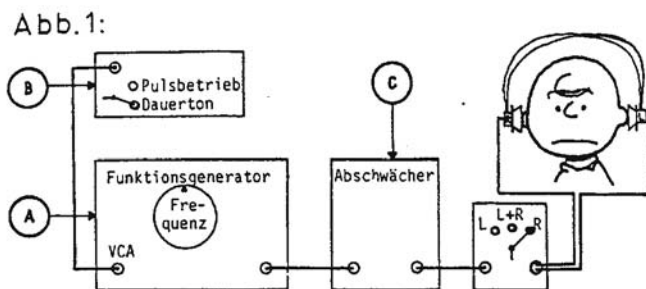


Abb. 1 - Blockschaltbild des Versuchsaufbaus, Teil I

Schalten Sie das Reizgerät auf Dauerton. Stellen Sie am Sinusgenerator nacheinander folgende Frequenzen ein: 1 kHz, 500 Hz, 200 Hz, 100 Hz, 50 Hz, 20 Hz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz. Verändern Sie am Abschwächer den Schalldruckpegel zunächst in groben Schritten solange, bis Sie den Schwellenbereich für den jeweiligen Ton gefunden haben. Ermitteln Sie den genauen Wert nun, indem Sie in feinen Schritten lauter und leiser stellen, und notieren Sie ihn. Versuchen Sie, den Schwellenwert durch eine „staircase-Prozedur“ zu bestimmen. Antwortet Ihre Versuchsperson z.B. zweimal hintereinander korrekt, so verringern Sie die Amplitude. Antwortet Ihre Versuchsperson zweimal falsch, vergrößern Sie die Amplitude. Achten Sie auch darauf, dass die Versuchsperson schnell und ohne zu überlegen antwortet. Stellen Sie im Interesse der Versuchsperson vor jedem Frequenzwechsel den Abschwächer auf einen niedrigen dB-Wert ein. Der Abschwächer ist direkt in dB SPL kalibriert.

Stellen Sie das Reizgerät auf ca. 20 kHz und höchsten Schalldruck ein. Verringern Sie nun langsam die Reizfrequenz. Welche höchste Frequenz kann unter den gegebenen Versuchsbedingungen gerade noch gehört werden?

Auswertung:

Tragen Sie die auf diese Weise gemessene Schwellenkurve graphisch auf. Ergänzen Sie diese Abbildung durch den Verlauf der durchschnittlichen menschlichen Hörschwellenkurve - Sie finden diese Werte in jedem der angegebenen Lehrbücher. Tragen Sie auch Ihre obere Hörgrenze in das Audiogramm ein.

VERSUCHSTEIL II

Akustische Richtungsalokalisation beim Menschen

Um die horizontale Richtung einer Schallquelle zu bestimmen, benutzt der Mensch bei Frequenzen über ca. 1 kHz sowohl die Intensitäts-, als auch die Laufzeitunterschiede, mit denen Schallereignisse die beiden Ohren treffen. In den folgenden Versuchen soll geklärt werden, wie gering diese Unterschiede sein können, damit sie immer noch als Abweichung von der Vorausrichtung empfunden werden, und wie die relative Gewichtung der beiden Parameter Schalldruckunterschied und Laufzeitdifferenz für die Richtungsempfindung ist.

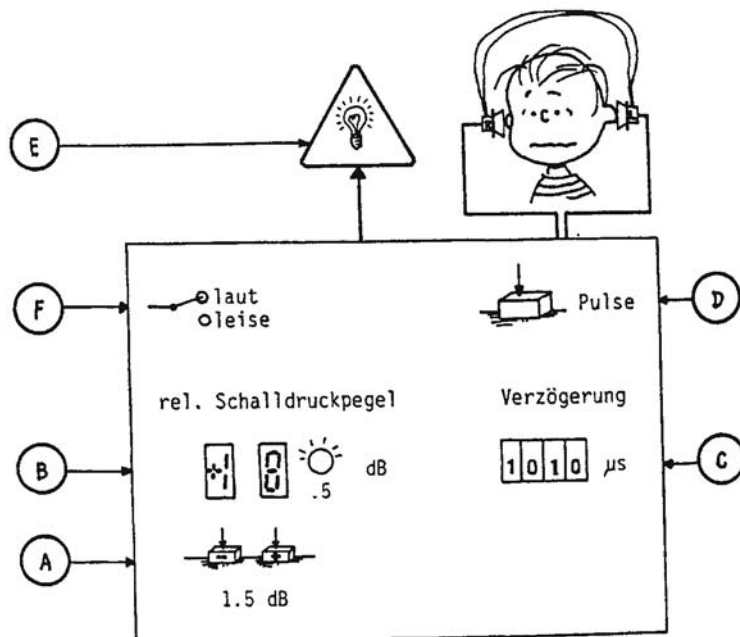
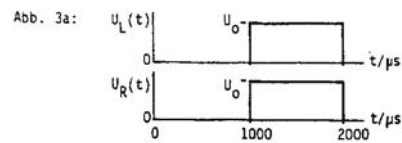


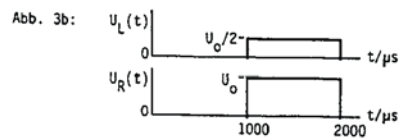
Abb. 2 - Bedienungselemente der Apparatur im Versuchsteil II

Für diese Messungen steht Ihnen ein Reizgerät zur Verfügung, bei dem Sie unabhängig voneinander den Schalldruckpegelunterschied und den Zeitunterschied eines Klickreizes am rechten und linken Ohr der Versuchsperson verändern können (s. Abb. 2). Der rechte Klick wird dabei im Schalldruck festgehalten und ist auf eine Verzögerung von $1000 \mu\text{s}$ fixiert. Der linke Puls kann in seinem Schalldruckpegel durch Tastendruck (A) in 1.5 dB -Schritten verstellt werden. Der Schalldruckpegelunterschied des linken Pulses relativ zum rechten wird direkt in dB angezeigt (B). Der linke Puls ist in seiner Verzögerung in $10 \mu\text{s}$ -Schritten einstellbar (C). Da der rechte Puls auf eine Verzögerung von $1000 \mu\text{s}$ fixiert ist, ergibt sich der eingestellte Zeitunterschied zwischen den Pulsen am rechten und linken Ohr daher als die eingestellte Zahl (C) minus $1000 \mu\text{s}$. Dieser Sachverhalt ist in Abb. 3 erläutert. Durch Betätigen der Taste (D) können Sie die Pulse auslösen. Um die Aufmerksamkeit der Versuchsperson immer gleich zu halten, leuchtet beim Drücken der Taste bei der Versuchsperson eine "Achtung"-Lampe auf (E), beim Lösen der Taste ertönen dann die Pulse im Kopfhörer. Achten Sie darauf, dass die Zeit zwischen Anschalten der Lampe und Klick in allen Versuchen etwa gleich lang ist (ca. 0.5 bis 1 s).

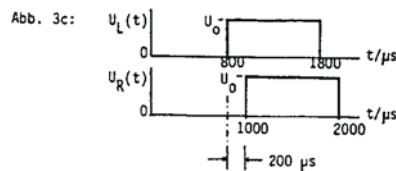
Die in Abb. 3 dargestellten Beispiele sollen Ihnen helfen, mit der Handhabung des Reizgerätes vertraut zu werden.



Einstellungen: 0 dB 1000 μ s
 Effekt: Die Tonpulse haben gleiche Amplitude und treten gleichzeitig auf
 Lokalisierung: weder "rechts" noch "links"



Einstellungen: -6 dB 1000 μ s
 Effekt: Der linke Puls ist schwächer, die Pulse treten gleichzeitig auf
 Lokalisierung: "rechts"



Einstellungen: 0 dB 800 μ s
 Effekt: Die Tonpulse haben gleiche Amplitude, der linke Puls ist 200 μ s früher als der rechte (800 μ s - 1000 μ s = -200 μ s)
 Lokalisierung: "links"

1. Bestimmung der binauralen Zeitdifferenzschwelle

Versuchsdurchführung:

Beide Pulse haben gleiche Amplitude (Einstellung 0 dB). Bestimmen Sie die zwei Verzögerungen, bei denen der Klick reproduzierbar eindeutig rechts bzw. links erscheint. Teilen Sie den dazwischenliegenden Bereich in etwa 10 Schritte (Vielfache von 10 μ s), und messen Sie jeden dieser Werte in zufälliger Reihenfolge mindestens 10mal. Bei dieser "forced choice"-Methode muss die Versuchsperson ihren Eindruck als "rechts" oder "links" benennen, die Angabe "Mitte" ist nicht zugelassen. Versuchen Sie, die Messung schnell durchzuführen, die Versuchsperson sollte nicht lange überlegen.

Auswertung:

Tragen Sie für jeden Testwert die relative Häufigkeit der beiden Richtungen in eine Abbildung ein. Der Wert, bei dem sich die beiden Kurven schneiden (beide Richtungen werden mit 50% Häufigkeit genannt), wird als subjektive Mitte bezeichnet. Wodurch können Abweichungen der subjektiven Mitte von der tatsächlichen Mitte verursacht werden?

Als Detektionskriterium in Versuchen dieser Art ist es üblich, einen 75%-Wert zu verwenden. Die Versuchsperson kann also die Richtung zuverlässig bei einem Wert erkennen, bei dem die Häufigkeitskurve dieser Richtung den 75%-Wert erreicht. Stellen Sie anhand Ihrer Messergebnisse fest, bei welcher Zeitdifferenz diese Bedingung für die beiden Richtungen erfüllt ist und in welchem Bereich die Versuchsperson keine klare Zuordnung vornehmen kann. Die binaurale Zeitdifferenzschwelle entspricht dem Zeitabstand des 75%-Wertes zur subjektiven Mitte als Vorausrichtung.

Bilden Sie den Mittelwert aus dem Betrag der Abweichungen für beide Richtungen. Welchem Winkel zur Vorausrichtung entspricht dieser Verzögerungswert? (Der durchschnittliche Ohrabstand beim Menschen beträgt 20 cm, die Schallgeschwindigkeit in Luft 330 m/s.)

Vergleichen Sie die so berechneten Werte mit Angaben in der Literatur, und diskutieren Sie evtl. auftretende Unterschiede.

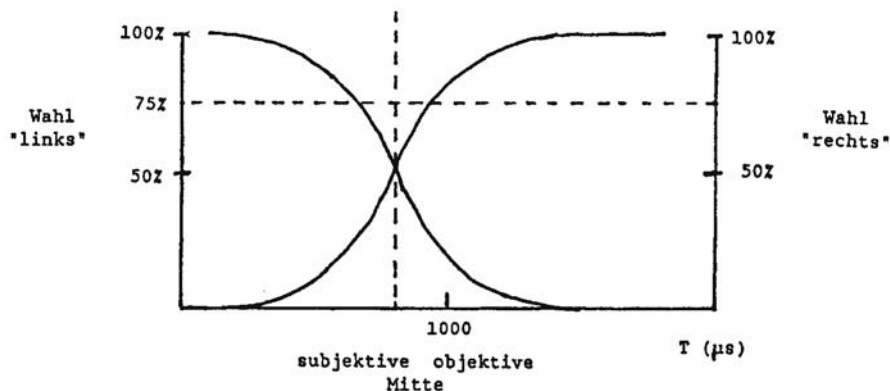


Abb. 4 - Beispielkurve zur Auswertung der Zeitdifferenzschwelle
 logistische Funktion: $f(x) = 1 / (1 + \exp(-(\beta + k \cdot x)))$

2. Die relative Bedeutung von Schalldruck- und Laufzeitunterschieden für das Richtungshören beim Menschen ("trading"-Messung)

Da sowohl Schalldruckunterschiede als auch Laufzeitunterschiede zur Auswertung der horizontalen Richtung einer Schallquelle benutzt werden, lässt sich die relative Bedeutung der beiden Faktoren im Versuch dadurch bestimmen, dass man sie gegenläufig verändert und damit einen "Mitte"-Eindruck erzeugt.

Versuchsdurchführung:

Wählen Sie 5 geeignete Verzögerungswerte aus, und verändern Sie bei jeweils festgehaltener Verzögerung den Schalldruckpegelunterschied so lange, bis die Reizrichtung als "Mitte" empfunden wird. Führen Sie diese Messung mindestens 5 mal durch.

Auswertung:

- Tragen Sie die gefundenen Wertepaare, die sich im Eindruck kompensieren, in eine Abbildung ein.
- Legen Sie eine Ausgleichsgerade durch die Messwerte und berechnen Sie den trading-ratio (µs/dB).

VERSUCHSTEIL III **Reflexe – motorische Reaktionen auf Sinneseindrücke**

Dehnungsreflexe sind ganz wesentlich an der Kontrolle unserer Körperhaltung unter wechselnden Einflüssen beteiligt. Sie ermöglichen bereits auf spinalem Niveau und ohne die Notwendigkeit von Willkürbewegungen die Kompensation von Störungen einer stabilen Position. Dehnungsreflexe lassen sich in der klinischen Praxis leicht und reproduzierbar auslösen und sind damit eine wichtige neurologische Untersuchungsmethode. Mit einem Reflexhammer wird durch einen leichten Schlag auf die entsprechende Sehne der Muskel gedehnt und damit eine Reflexkontraktion ausgelöst. Beim Kniesehenreflex (Patellarsehnenreflex) z.B. führt ein Schlag auf die Sehne unterhalb der Kniescheibe zu einer Kontraktion des Streckers im Oberschenkel und damit zum Heben des unbelasteten Unterschenkels. An dieser Reaktion lassen sich die Eigenschaften eines monosynaptischen, spinalen Reflexes gut beschreiben. Als Maß für die Stabilität eines solchen Reflexes lässt sich die Varianz der Reflexzeit verwenden. Modulierende Einflüsse durch andere motorische Aktivitäten können ebenfalls anhand der Reflexzeit nachgewiesen werden.

Messung der Bruttoreflexzeit des Patellarsehnenreflexes

Die Bruttoreflexzeit ist der Zeitraum zwischen dem Einfluss eines Reizes und dem Beginn der hierdurch ausgelösten motorischen Reaktion. Sie umfasst also die Zeiten, die für die sensorische Verarbeitung, Erregungsleitung, Verschaltung im ZNS und die Muskelkontraktion nötig sind. Am Beispiel des Patellarsehnenreflexes (PSR) soll diese Reflexzeit unter verschiedenen Randbedingungen untersucht werden.

Die Messung der Bruttoreflexzeit des PSR erfolgt durch eine elektronische Stoppuhr. Diese Uhr (oder ein Speicheroszilloskop) wird durch den Schlag mit dem Reflexhammer auf die Sehne gestartet (getriggert) und durch die reflektorische Bewegung des Unterschenkels wieder gestoppt.

Versuchsdurchführung:

Die Versuchsperson sitzt entspannt auf einem hohen Stuhl oder Tisch; der Unterschenkel muss frei hängen. Schließen Sie nun den elektrischen Timer an. Hierzu muss die Versuchsperson über eine Metallmanschette am Handgelenk geerdet werden (Verbindung mit der schwarzen Buchse des Timers). Hinter ihrer Ferse wird ein Stativ mit einem Elektrokontakt so aufgestellt, dass der Kontakt in Ruhestellung geschlossen ist (Verbindung mit der blauen Buchse des Timers). Der Reflexhammer wird mit der gelben Buchse des Timers verbunden.

Drücken Sie vor jeder Messung den "Reset"-Knopf. Der Timer wird genullt und die "Ready"-Lampe leuchtet, wenn ein guter Kontakt an Erdung und Ferse besteht. Mit einem leichten Schlag auf die Patellarsehne lösen Sie den Reflex aus. Durch den Reflexhammer wird zu diesem Zeitpunkt der Timer gestartet.

Führen Sie die folgenden Messung jeweils 16 mal durch.

- Bestimmen Sie die Bruttoreflexzeit in Ruhe. Die Versuchsperson sollte hierzu entspannt sitzen.
- Bestimmen Sie die Bruttoreflexzeit bei Belastung. Die Versuchsperson spannt einen Expander. Kurz danach wird der Reflex ausgelöst.
- Messen Sie die Reflexzeit einer bewussten Bewegung des Unterschenkel. Das Knie wird nur leicht mit dem Reflexhammer berührt. Die Versuchsperson streckt das Bein, wenn sie diese Berührung wahrnimmt.

Auswertung:

Berechnen Sie den jeweils den Mittelwert und die Standardabweichung Ihrer Messwerte bei den verschiedenen Bedingungen

Überprüfen Sie mit einem geeigneten Testverfahren (z.B. Wilcoxon-Test), ob sich die Bruttoreflexzeit in Ruhe und unter Belastung signifikant voneinander unterscheiden. Interpretieren Sie Ihr Ergebnis.

ANHANG: Der parameterfreie Rangsummentest nach WILCOXON

Lassen sich die für die Anwendung des t-Testes geforderten Bedingungen über die Streuungen nicht erfüllen oder macht der Nachweis zuviel Aufwand, so kann der "parameterfreie" Rangsummentest nach WILCOXON verwendet werden, der unabhängig vom Verhalten der Streuungen ist. Dafür werden alle Messwerte x_i der 2 Stichproben insgesamt nach ihrer Größe geordnet und ihrer Reihenfolge nach mit durchlaufenden Ordnungszahlen O_i versehen (Beginn bei 1). Kommen dabei gleichgroße Werte innerhalb einer Stichprobe mehrfach vor, so erhalten sie fortlaufende Ordnungszahlen. Gehören die gleichgroßen Werte zu den verschiedenen Stichproben, erhält jeder Wert als Ordnungszahl den Mittelwert der betreffenden Ordnungszahlen. Für beide Stichproben wird jeweils die Summe der Ordnungszahlen ihrer Elemente gebildet (T_S).

Die beiden Stichproben gelten als signifikant verschieden, wenn die kleinere Rangsumme (T_1) kleiner als der linke Grenzwert oder die größere Rangsumme (T_2) größer als der rechte Grenzwert der Tabelle ist.

a) 5%														
N1														
N2	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24
4	10-26	16-34	23-43	31-53	40-64	49-77	60-90	85-119	114-152	147-189	183-231	224-276	269-325	317-379
5	11-29	17-38	24-48	33-58	42-70	52-83	63-97	83-123	118-162	151-201	189-243	230-290	276-340	325-395
6	12-32	18-42	26-52	34-64	44-76	55-89	66-104	92-136	122-172	157-211	195-255	237-303	283-355	333-411
7	13-35	20-45	27-57	36-69	46-82	57-96	69-111	96-144	127-181	162-222	201-267	244-316	291-369	342-426
8	14-35	21-49	29-61	38-74	49-87	60-102	72-118	100-152	131-191	167-233	207-279	251-329	298-384	350-442
9	14-42	22-53	31-65	40-79	51-93	62-109	75-126	104-160	136-200	173-243	213-291	258-342	306-398	359-457
10	15-45	23-57	32-70	42-84	53-99	65-115	78-132	107-169	141-209	178-254	219-303	265-355	314-412	368-472
12	17-51	26-64	35-79	46-94	58-110	71-127	84-146	115-186	150-228	189-275	232-326	279-381	330-440	385-503
14	19-57	28-72	38-88	50-104	62-122	76-140	91-153	123-201	160-246	200-296	245-349	293-407	346-468	403-533
16	21-63	30-90	42-96	54-114	67-133	82-152	97-173	131-217	169-285	211-317	258-372	308-432	362-496	421-503
18	23-70	33-97	45-105	58-124	72-144	87-165	103-187	139-233	179-283	223-337	271-395	322-453	378-524	438-594
20	24-76	35-95	48-114	62-134	77-155	93-177	110-200	147-249	188-302	234-358	283-419	337-483	395-551	456-624
22	26-82	38-102	51-123	66-144	81-167	98-190	116-214	155-265	198-320	245-373	296-442	352-508	411-573	474-654
24	27-89	40-110	54-132	70-154	86-178	104-202	123-227	163-281	208-338	257-399	309-485	366-534	427-607	492-684
b) 1%														
N1														
N2	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24
4	-	-	21-45	28-56	37-67	46-80	57-93	81-123	109-157	141-195	177-237	218-282	262-332	310-386
5	-	15-40	22-50	29-62	38-74	48-87	59-101	84-132	112-168	145-207	182-250	223-297	267-349	316-404
6	10-34	16-44	23-56	31-67	40-80	50-94	61-103	87-141	116-178	149-219	187-263	228-312	274-364	323-421
7	10-38	16-49	24-60	32-73	42-86	52-101	64-116	90-150	120-188	158-242	197-289	240-340	287-396	337-455
8	11-41	17-53	25-65	34-78	43-93	54-108	66-124	93-159	123-199	158-242	197-289	240-340	287-396	337-455
9	11-45	18-57	26-70	35-84	45-99	56-115	68-132	96-168	127-209	163-253	202-302	246-354	293-411	345-471
10	12-48	19-63	27-75	37-89	47-105	58-122	73-139	99-177	131-213	167-265	208-314	252-368	300-426	352-488
12	13-55	21-69	30-84	40-100	51-117	63-135	76-154	105-195	139-239	177-287	218-340	264-396	314-456	368-520
14	14-62	22-78	32-94	43-111	54-130	67-149	81-163	112-212	147-259	186-310	230-364	277-423	328-486	383-553
16	15-69	24-86	34-104	46-122	58-142	72-162	86-184	119-229	155-279	196-332	241-398	290-450	342-516	399-585
18	16-76	26-94	37-113	49-133	62-154	76-176	92-198	125-247	164-298	206-354	252-414	302-478	357-545	415-617
20	18-82	28-102	39-128	52-144	66-166	81-198	97-213	132-264	172-318	216-376	263-439	315-505	371-575	431-649
22	19-89	29-111	42-132	55-155	71-178	85-203	102-228	139-281	180-338	225-398	275-463	328-532	380-604	447-681
24	20-95	31-119	44-142	58-166	74-191	90-216	107-243	146-298	188-358	235-421	286-488	341-553	400-634	464-712

VERSUCHSTEIL IV sensomotorische Integration

Zu Beginn des 20. Jahrhundert wurde eine erste, mittlerweile klassisch gewordene Einteilung der Augenbewegungen eines Menschen in 5 verschiedene Klassen vorgenommen (Dodge 1903):

1) Sakkaden: schnelle, ruckartige Augenbewegungen, die den Blick von einem zum anderen Fixationsziel bringen.

2) Glatte Augenfolgebewegungen: Augenbewegungen, die in ihrer Geschwindigkeit exakt an die Geschwindigkeit eines bewegten Objekts angepasst sind. Diese Augenbewegungen führen dazu, dass das retinale Bild eines bewegten Objekts stationär in der Fovea centralis ruht.

3) Vestibulo-okulärer Reflex (VOR): Die Bewegung des Kopfes führt zu einer Stimulation des Gleichgewichtsorgans im Innenohr, was wiederum zu einer stabilisierenden Augenbewegung führt. Das heißt, die Bewegung der Augachsen gleicht exakt die Bewegung des Kopfes aus, der Blick im Raum bleibt somit stationär.

4) Optokinetischer Reflex (OKR): Bewegen sich große Anteile des Gesichtsfeldes kohärent, d.h. mit identischer Geschwindigkeit und gleicher Richtung, unter natürlichen Umständen geschieht dies nur bei Eigenbewegung, so werden ebenfalls kompensatorische Augenbewegungen ausgelöst, die das Bild der bewegten Umwelt auf der Retina stabilisieren.

5) Vergenzbewegungen: Werden Blickziele in unterschiedlicher Tiefe im Raum fixiert, so müssen Augenbewegungen ausgeführt werden, die den Winkel zwischen den Sehachsen des linken und des rechten Auges ändern.

Diese Einteilung der Augenbewegung war rein phänomenologisch bedingt, wesentlich sinnvoller erscheint es heute, einen funktionalen Aspekt zu berücksichtigen und deshalb die Augenbewegungen in **blickstabilisierende** und **blickführende** Bewegungen einzuteilen. Zu den stabilisierenden Augenbewegungen kann der OKR und VOR gezählt werden, die blickführenden Bewegungen setzen sich aus Sakkaden, Glatten Folgebewegungen und Vergenzbewegungen zusammen.

Versuchsaufbau

Es steht ein Infrarot-Messsystem (IRIS) zur Aufzeichnung der horizontalen und vertikalen Position des Auges einer Versuchsperson zur Verfügung. Das Prinzip der Infrarot-Okulographie ist in der Abbildung 5 gezeigt. Es wird infrarotes Licht auf das Auge einer Versuchsperson gestrahlt und aus der Intensität der Reflexion an zwei verschiedenen Punkten kann die Position des Blickes bestimmt werden. Aus Gründen der Einfachheit wird lediglich die horizontale Position des linken Auges gemessen.

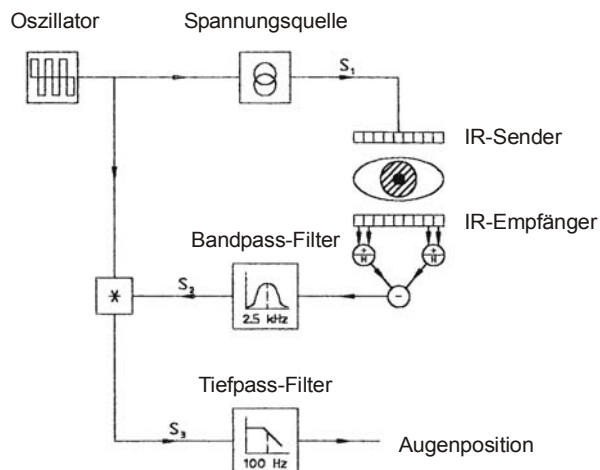


Abb. 5: Grundprinzip der Infrarot-Okulographie

Um reflektorsiche Augenbewegungen auszuschließen, die aus einer möglichen Kopfbewegung resultieren würden, wird der Kopf der Versuchsperson durch eine Kinnauflage sowie durch ein Stirnbrett immobilisiert. Ein Bildschirm befindet sich in 57 cm (warum gerade 57?) Entfernung vor der Versuchsperson, über den die visuelle Stimulation erfolgt. Der Ausgang des IRIS Systems ist einmal mit einem Oszilloskop verbunden und gleichzeitig mit dem Analog-Digital-Konverter eines Computers verbunden.

1. Linearität der IR-Okulographie

Auf dem Bildschirm wird an definierten Positionen ein weißer Punkt präsentiert (Programm CAL). Der rote Punkt repräsentiert die Position des Blickes. Durch eine geeignete Einstellung des Verstärkungsfaktors sowie der Nullposition muss die Apparatur zunächst geeicht werden.

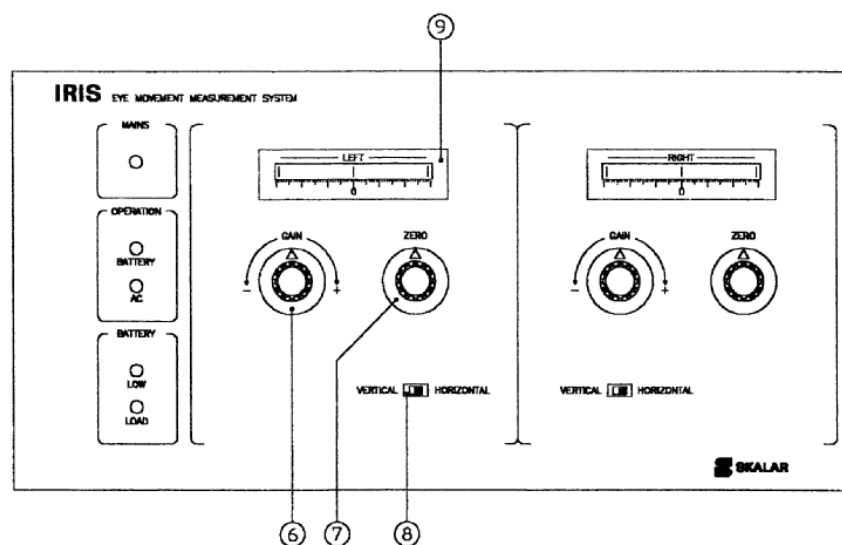


Abb. 6: Bedienungselemente des IRSI Systems. 6: Einstellung der Verstärkung, 7: Einstellung der Nulllage, 8: Wählschalter für horizontale oder vertikale Blickposition, 9: grobe Positionsanzeige

Nach erfolgter Kalibrierung wird das horizontale und vertikale Ausgangssignal für je 5 verschiedene Zielpositionen im Bereich zwischen 0 und 10° links, rechts, oben und unten in Grad Sehwinkel protokolliert. Gibt es ein Übersprechen zwischen vertikaler und horizontaler Position? Wie gut ist die Linearität der Messung? Tragen Sie dazu die Messwerte in ein x-y-Diagramm und berechnen Sie eine lineare Regression.

2. Glatte Augenfolgebewegungen

Das räumliche Auflösungsvermögen ist sehr unterschiedlich für die verschiedenen Bereiche des Gesichtsfeldes. Nur in der Fovea ist die Auflösung in der Größenordnung von etwa 60 Linien pro Grad. Bewegt sich ein Objekt, so sollten unsere Augen in der Lage sein, dieser Bewegung zu folgen. Das Programm FOLGE bietet eine Reihe von periodischen Zielbewegungen, die als Blickziel einer Versuchsperson dienen können. Dokumentieren Sie die Augenbewegungen in dieser Situation. Wie sieht die Initiierung der Folgebewegung aus? Bitten Sie die Versuchsperson, eine langsame Augenbewegung ohne einen bewegten Stimulus auszuführen. Wie sehen die Augenbewegungen in dieser Situation aus.

Können diese Augenbewegungen auch dann ausgeführt werden, wenn sich das Ziel vor einem strukturierten Hintergrund bewegt? Die Augenbewegung selbst führt zu einer Bewegung des retinalen Bildes des Hintergrund entgegengesetzt zur Blickfolgebewegung.

Bestimmen Sie den Frequenzgang der Augenfolgebewegungen. Messen Sie dazu die Augenbewegungen bei verschiedenen Frequenzen und bestimmen Sie zur Quantifizierung der Güte der Folgebewegung das Fehlerintegral (dh. die Summe der Abweichung der Augengeschwindigkeit von der Zielgeschwindigkeit).

Frage für das Protokoll: Nehmen Sie an, dass die Augenbewegungen tatsächlich exakt der Zielbewegung entsprechen. Dies hat zur Folge, dass sich das Bild des Zieles auf der Retina nicht mehr bewegt. Wird in dieser Situation die subjektive Wahrnehmung von der retinalen Bildverschiebung bestimmt?

3. Sakkaden

Sakkaden sind sehr schnell ruckartige Augenbewegungen zwischen zwei Fixationsphasen. Sie werden auch als „visueller Greifreflex“ bezeichnet. Dieser Begriff deutet die reflex-ähnliche Eigenschaft dieser Augenbewegungen an. Messen Sie mit einem geeigneten Messprogramm diese Augenbewegungen und analysieren Sie ihre Latenz. Ist die Latenz einer Sakkade abhängig von der Position des Ziels? Vergleichen Sie die sakkadische Latenz mit der Latenz des Kniesehenreflexes.

4. Augenbewegungen beim Lesen

Beim Lesen führen wir ein sehr gut zu beschreibendes Augenbewegungsmuster aus. Wie sieht dieses Muster aus, wie lässt es sich erklären? Gibt es Abhängigkeiten des Augenbewegungsmuster von Eigenschaften des Textes?

ERFOLGSKONTROLLE

Nach diesem Praktikumsteil sollten Sie in der Lage sein,

- den Unterschied zwischen Lautstärke und Schalldruck zu erklären,
- zu erklären, was ein Schallereignis physikalisch ist,
- den Unterschied zwischen Sinnesmodalität, Reizqualität und Reizintensität zu erklären,
- den Verlauf der menschlichen Hörschwelle zu skizzieren,
- die Maßeinheiten "dB SPL" und "Phon" zu definieren,
- das Verfahren zur Messung der Hörschwelle anzugeben,
- den Frequenzbereich des menschlichen Hörens anzugeben,
- den Hauptsprachbereich anzugeben,
- anzugeben, welche Kurvenform sich beim intermodalen Intensitätsvergleich in einer psychophysischen Messung ergibt,
- anzugeben, welche Parameter der Mensch zur horizontalen Richtungslokalisation verwendet,
- anzugeben, wie groß die Zeitdifferenzschwelle beim Menschen ist,
- ein Messverfahren anzugeben, mit dem die relative Bedeutung von Laufzeit- und Schalldruckunterschieden für das Richtungshören bestimmt werden kann,
- die Elemente eines monosynaptischen Reflexkreises am Beispiel des Patellarsehnenreflexes zu nennen,
- den Unterschied zwischen einem monosynaptischen und einem polysynaptischen Reflexkreis zu beschreiben,
- die Wirkung zusätzlicher zentraler Einflüsse auf die Ausprägung eines monosynaptischen Reflexes zu nennen,
- die extraokulären Muskeln und die sie versorgenden Hirnnerven aufzählen zu können,
- und Fixationen, Sakkaden und Glatte Augenfolgebewegungen unterscheiden zu können.