

Verhalten: Reflexe und Lernen

Reize - aus der Umwelt ebenso wie infolge von Veränderungen des Organismus selbst - werden von Sinnesorganen rezipiert („*Eingangsverhalten*“), vom Zentralnervensystem ausgewertet („*Zustandsverhalten*“) und können schließlich zu Reaktionen des Tieres führen, die sich oft in Bewegungen ausdrücken („*Ausgangsverhalten*“). Dies ist eine sehr allgemeine und daher unscharfe Definition von „Verhalten“. Sie macht aber zumindest deutlich, dass sich der Begriff nicht nur auf die äußerlich sichtbare Aktivität beschränkt, sondern die vorausgehenden sinnes- und neurophysiologischen Leistungen einschließt.

Definition „Verhalten“

Typisch für alle Arten von Verhaltensäußerungen ist, dass sie nicht völlig reproduzierbar ablaufen. Wie groß diese Variabilität ausfällt oder, umgekehrt, wie vorhersagbar („*stereotyp*“) ein Verhalten ist, hängt hauptsächlich vom Komplexitätsgrad des Prozesses ab. Eine solche Variabilität kann lediglich zufallsbedingt sein oder aber gerichtet und dadurch eine wichtige funktionale Komponente innerhalb des Verhaltens. Das ist dann notwendig, wenn sich das Verhalten selbst an die äußeren Bedingungen oder inneren Zustände des Organismus anpassen muss. Dazu zählen auch Lernvorgänge im weitesten Sinne.

Reflexe gehören zu den einfachsten Formen von Verhalten und sind oft Bestandteil von „automatischen“ Notfall-Strategien, etwa bei Fluchtauslösung oder Schutz von Organsystemen. Manche Reflexe laufen völlig starr und ohne willentliche Beeinflussung ab. Ihr Ergebnis ist unabhängig von den Umgebungsbedingungen stets weitgehend gleich und wirkt auch nicht auf die Ausführung des Reflexes zurück. Dabei handelt es sich um *ungeregelte Reflexe*.

Definition „Reflex“

Ungeregelte Reflexe sind relativ selten und treten in reiner Form vor allem in experimentellen Situationen auf, wenn die Einbindung in den normalen Verhaltenskontext aufgehoben wird. Der in der medizinischen Diagnostik genutzte unregelmäßige Kniesehnenreflex z.B. trägt normalerweise als geregelter Reflex zur Erhaltung der Körperbalance bei.

Andere Reflexe dienen dazu, einen bestimmten Zustand, z.B. eine Körperhaltung, zu erreichen oder möglichst gleichförmig beizubehalten. Sie sind dann Bestandteil eines umfangreicheren (motorischen) Verhaltenskomplexes, etwa Laufen oder Schwimmen. Hier muss die Rückwirkung des Reflexes auf die aktuelle Körperposition gemessen und für die nachfolgende Motorik berücksichtigt werden, die eventuell wiederum reflektorisch abläuft. Es handelt sich also um *geregelter Reflexe*.

Solche Reflexe stellen ein Beispiel für einen biologischen **Regelkreis** dar, einen Servomechanismus mit einem Rückkopplungselement und einem einstellbaren Soll-Wert. Das gilt etwa für den Mechanismus, mit dem wir durch Pupillenänderung die mittlere Lichtmenge möglichst konstant halten, die auf unsere Retina trifft. Da alle beteiligte Prozesse (Reizaufnahme, Erregungsleitung, Hirnaktivität und Muskelkontraktion) Zeit benötigen, also „träge“ sind, folgt die beobachtbare Änderung der Pupillenweite der einwirkenden Helligkeitsänderung immer verzögert: der Regelkreis weist eine „*Totzeit*“ auf. Deshalb vermag das System Serien schneller Helligkeitswechsel nicht angemessen zu folgen. Außerdem kann es den angestrebten Zielzustand nur asymptotisch oder durch einen Einschwingprozess erreichen. Das gilt prinzipiell für jeden (auch technischen) realen Regelkreis.

Regelkreis

einfacher:

Steuerung: eine Eingangsgröße beeinflusst nach bestimmten Regeln in einem dynamischen System eine Ausgangsgröße.

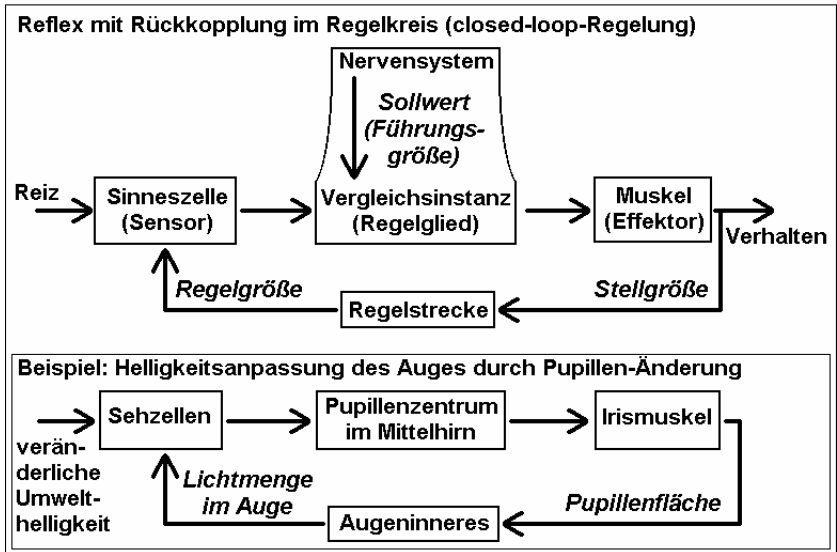
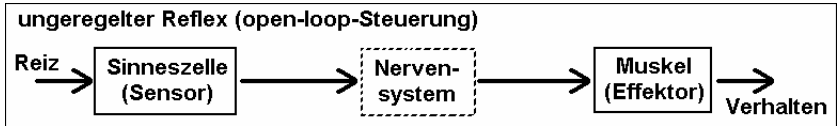
komplexer:

Regelung: ein System mit Rückkopplung, in dem die gesteuerte Ausgangsgröße selbst auf die Eingangsgröße oder deren Weiterverarbeitung einwirkt.

technische Begriffe:

open loop (offene Schleife): keine Rückkopplung

closed loop (geschlossene Schleife): Rückkopplung



bedingter Reflex

Zwei verschiedene Ereignisse werden (unbewusst) vom Organismus als zeitlich verknüpft erkannt. Danach bewirkt das eine Ereignis die Reaktion, die zuvor nur vom anderen verursacht wurde.

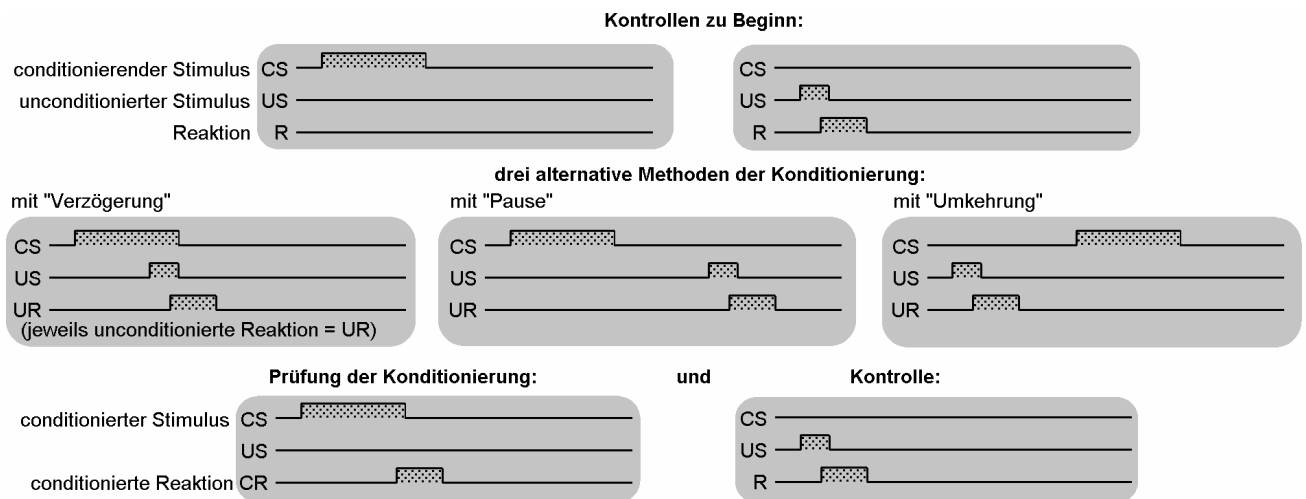
Iwan Pawlow (1849-1936) erforschte hauptsächlich Aspekte der Verdauung und des Kreislaufs. Dafür erhielt er 1904 den Nobelpreis. Seine Beschreibung des konditionierten Reflexes (1903) war eigentlich ein Nebenprodukt. Sie war grundlegend für die frühe Verhaltensforschung und Psychologie der folgenden Jahrzehnte und hat Pawlow bleibenden Ruhm gebracht, während seine meisten Arbeiten zur vegetativen Physiologie heute nur noch Spezialisten bekannt sind.

Reflexe können angeboren sein (wie der Pupillenreflex oder der Kniesehenreflex) oder als „**bedingte Reflexe**“ erworben werden (sogenannte **Konditionierung**). Dies ist eine einfache Form des **Lernens**, der Entwicklung von Fähigkeiten, dank derer der Organismus in Zukunft „besser“ mit den Bedingungen in seiner Umwelt umgehen kann. Das bekannteste Beispiel für bedingte Reflexe ist der sogenannte „*Pawlovsche Hund*“: nach einer Trainingsphase, in der Futter (**unconditionierter Stimulus, US**) gemeinsam mit einem Ton (**conditionierter Stimulus, CS**) angeboten wird, löst auch der Ton allein bereits Speichel- und Magensaftsekretion aus. An diesem geradezu sprichwörtlichen bedingten Reflex wird auch deutlich, dass das Ergebnis nicht unbedingt eine motorische Reaktion sein muss. Die Effektoren sind hier Drüsenzellen, die aber unter neuronaler Kontrolle stehen.

Vergleichbare Kopplungen der verschiedensten sensorischen Eingänge lassen sich bei allen Tieren konditionieren (Versuche an Einzellern sind allerdings widersprüchlich). Dabei gibt es mindestens drei prinzipielle Möglichkeiten der **Kontiguität**, d.h. der zeitlichen Kopplung:

- 1) CS kann vor US beginnen, US aber ganz einschließen („Verzögerung“);
- 2) CS kann US vorausgehen, wobei zwischen beiden eine Pause ohne Reizung bleibt („Pause“);
- 3) US kann CS vorausgehen, so dass CS eventuell sogar erst nach Ende der Reaktion erfolgt („Umkehrung“).

Je nach untersuchten Reizen können diese Methoden sehr unterschiedlich wirksam Konditionierungen auslösen; die „Umkehrung“ bleibt jedoch sehr oft erfolglos. In jedem Fall spielen aber die Dauer von CS und US und die Abstände zwischen CS und US eine wichtige Rolle. Außerdem gelingt eine Konditionierung nur, wenn für das Versuchstier das Auftreten von US selbst unvorhersehbar ist und erst durch CS vorhersehbar wird. Das gilt gleichermaßen für US, die eine „Belohnung“ oder die eine „Bestrafung“ darstellen, also vom Tier nach Möglichkeit aktiv gesucht oder vermieden werden.



Bewertet wird im Experiment das Auftreten (die Häufigkeit) und gegebenenfalls die Stärke und Dauer der Reaktion auf CS, also die **conditionierte Reaktion (CR)**, im Vergleich zur **unconditionierten Reaktion (UR)** nach US. In günstigen Fällen sind UR und CR etwa gleichartig. Es ist zu beachten, dass *jede* Reizung, gleichgültig ob als CS oder US, Einfluss auf die Entwicklung, Stärke und Nachhaltigkeit der Konditionierung hat. Deshalb erfordern solche Versuche eine besonders sorgfältige Planung, die dann auch strikt einzuhalten ist.

Nach erfolgter Konditionierung bleibt diese Kopplung zwischen CS und CR meist nicht auf Dauer erhalten sondern nimmt mit der Zeit allmählich ab: die „Bedeutung“ des conditionierten Reizes für das Tier wird wieder vergessen. Um diesen Zeitverlauf zu erfassen, gibt man in immer größeren Abständen CS ohne US und misst die Stärke der CR. Hier tritt ein konzeptionelles Problem auf: jeder derartige Test stellt gleichzeitig eine neue Trainingssituation dar, in der der Organismus erfährt, dass CS jetzt *nicht* mehr mit US gekoppelt auftritt, also keine Indikatorbedeutung mehr hat. Dieses Nachlassen der gelernten Reaktion aufgrund fehlender Bekräftigung durch US bezeichnet man als **Extinktion** oder **Auslöschung**. Im Ergebnis ist die Wirkung von Extinktion nicht von „spontanem“ Vergessen zu unterscheiden. Dennoch sind dies verschiedene Prozesse, denn schon durch einzelne CS-US-Kopplungen (also erneute Konditionierung) während der Testphase lässt sich Extinktion wieder aufheben, während das bei echtem Vergessen nicht ausreicht.

Vergessen und Extinktion (=Auslöschung) sind verschiedene Prozesse

Die bisher beschriebene „**klassische Konditionierung**“ geht von angeborenem (oder erworbenem) Verhalten aus, das durch die erlernte Kopplung an einen andersartigen Reiz ausgelöst wird, ohne dass eine „Willensentscheidung“ des Versuchstiers beteiligt ist. Im Gegensatz dazu steht die „**instrumentelle**“ oder „**operante Konditionierung**“, bei der das Tier durch eigene Aktivität mittels Versuch und Irrtum eine Art „Verständnis“ für eine kausale Beziehung zwischen einem zunächst spontan auftretenden Verhalten und einer Belohnung (oder Bestrafung) entwickelt. Danach wird dieses Verhalten häufiger oder rascher ausgeführt (oder vermieden) als vor der Konditionierung. Beispiele sind das Drücken eines Hebels, um eine automatische Futtergabe auszulösen, oder die Passage eines Labyrinths, das zu einem Futterplatz führt. In Lernversuchen am Menschen entspricht bei einer dem Probanden bekannten Aufgabe meist das Erreichen des Ziels selbst bereits der Belohnung.

klassische Konditionierung ↑
und **operante Konditionierung** ↓

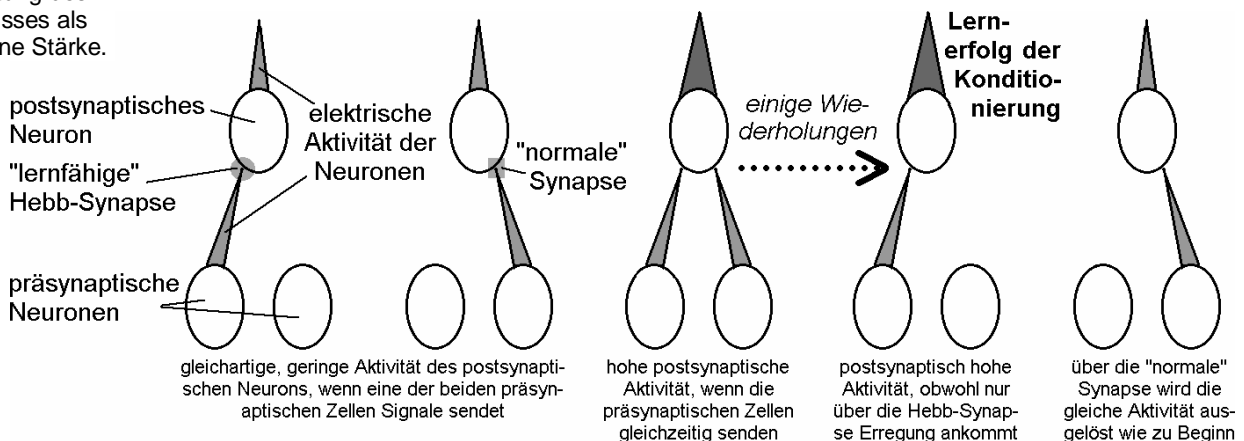
Operante Konditionierung liegt aber auch der Anpassung motorischer Regelkreise an neue oder veränderte mechanische Aufgaben zugrunde, etwa beim Erlernen neuer Bewegungsabläufe (z.B. Gehen mit fixiertem Kniegelenk) oder als Reaktion auf gestörte Sinneseingänge.

Lernen und Erinnern sind zwar verschiedene Vorgänge, aber so eng gekoppelt, dass sie stets nur zusammen untersucht werden können. Ihre Grundlagen müssen im Nervensystem zu finden sein. Zu beiden Prozessen gibt es z.T. gut begründete Hypothesen und Theorien, doch der Gesamtprozess ist vor allem für höhere Lernleistungen bei keinem Organismus völlig geklärt. Zentrale Bedeutung kommt aber sicher dem Prinzip der „**Hebb-Synapse**“ zu: Hebb postulierte vor fast 60 Jahren rein theoretisch, dass Lernen mit der verstärkten Aktivität von bestimmten Übertragungsstellen zwischen Neuronen zusammenhängt. Solche Synapsenbahnen werden verstärkt, wenn Transmitterstoff vom präsynaptischen Neuron gerade in dem Moment ausgeschüttet wird, in dem das postsynaptische Neuron durch andere erregende Eingänge depolarisiert wird, wenn also die beiden an der Synapse gekoppelten Neuronen gleichzeitig aktiv sind. Dadurch werden zeitliche *Koinzidenzen* wahrgenommen. Wiederholt sich diese synchrone Erregung mehrmals, wird die betroffene Synapsenbahn in Zukunft wirksamer übertragen, auch wenn das postsynaptische Neuron nicht depolarisiert ist. Wenn eine solche Hebb-Synapse zunächst gar nicht überträgt, wohl aber nach einer „erlernten“ Kopplung mit einem anderen Erregungssignal, kann dieses Modell den Prozess der Konditionierung erklären. Beispiele dafür konnten experimentell vielfach belegt werden. An Hebb-Synapsen werden biochemische Reaktionsketten aktiviert, die Stoffwechselveränderungen und Protein-Bildung bewirken, so dass sich – zusammen mit gänzlicher Neubildung von Synapsen – schließlich ein stabiles Langzeitgedächtnis bildet.

Diese (und verwandte) Steigerungen der Übertragungsfähigkeit wiederholt „benutzter“ Synapsen werden auch Potenzierung oder – üblicherweise auf Englisch – **Potentialiation** genannt. Hält dieser Effekt für Stunden bis Wochen an, spricht man von „long-term potentiation“ (**LTP**). LTP liegt damit zwischen dem **Kurzzeitgedächtnis**, das nur über Sekunden bis wenige Stunden arbeitet, und dem **Langzeitgedächtnis**, das den Bereich von Tagen bis Jahren (lebenslang) abdeckt. Der Zeitbereich, der dem Kurz-, Lang- und evtl. Mittelzeitgedächtnis zugeordnet wird, schwankt je nach Autor und Untersuchungsobjekt in Lehrbüchern und Original-Veröffentlichungen. Das hängt auch mit der sehr unterschiedlichen Lebensdauer verschiedener Organismen zusammen. Wo die Begriffe nicht auf die molekularen Ursachen zurückgeführt werden, bleiben sie ziemlich unspezifisch.

2 Dinge ereignen sich etwa gleichzeitig: Koinzidenz. Geschieht das oft, führt es zur Vermutung, dass sie ursächlich verknüpft sind: Korrelation. Beim assoziativen Lernen stellt das Nervensystem solche Vermutungen an.

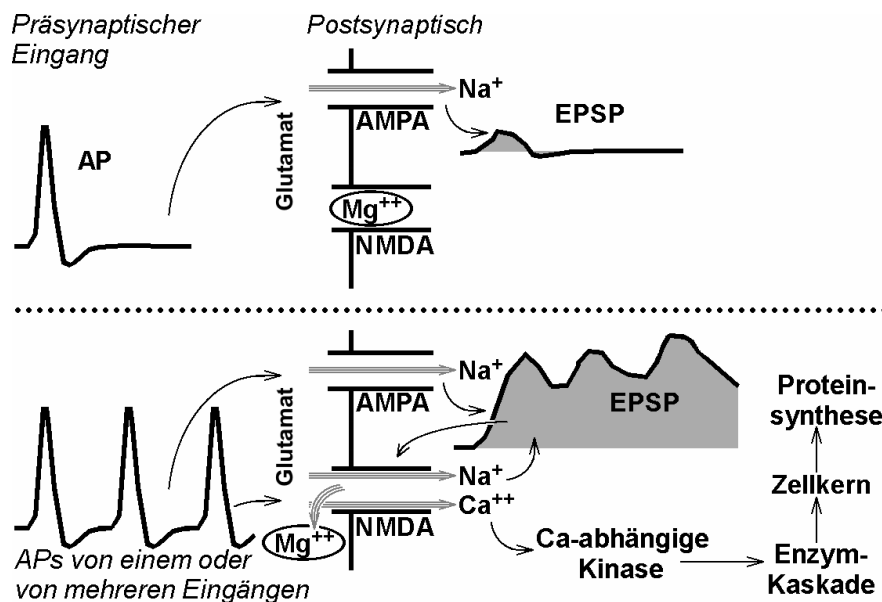
Im Schema symbolisieren die Dreiecke sowohl die Richtung des Signalflusses als auch seine Stärke.



Dies ist nur ein Beispiel für die vielfältigen Kombinationen, in denen zeitliche Kopplungen zu neuronaler Plastizität im Sinne der Hebb-Synapsen führen können.

Bei Wirbeltieren hat man LTP besonders im Hippocampus untersucht, einem Bestandteil des limbischen Systems aus dem Telencephalon (Endhirn) mit zentraler Bedeutung für Lernvorgänge. Hier kennt man inzwischen die neurophysiologischen Ursachen für LTP, die aber ebenso im übrigen Gehirn (vor allem im Neocortex), in der Peripherie und bei Wirbellosen vorkommt. Entscheidend sind drei ionotrope (d.h. selbst als Ionenkanäle fungierende) Rezeptor-Typen für den Transmitter Glutamat in der postsynaptischen Zelle. Normalerweise öffnen nur zwei dieser Kanäle (AMPA und K) bei einem präsynaptisch einlaufenden Aktionspotential. Nur bei stärkerer Aktivierung durch das gleiche (*homosynaptische LTP*) oder ein anderes (*heterosynaptische = assoziative LTP*) präsynaptisches Neuron kommt es zu einer stärkeren generellen Depolarisation der postsynaptischen Zelle. Erst dann öffnet auch der dritte, sonst durch Magnesiumionen blockierte Rezeptorkanal-Typ (NMDA). Dadurch entsteht ein viel größeres exzitatorisches postsynaptisches Potential (EPSP). Außerdem strömt durch den NMDA-Kanal neben Natrium auch viel Calcium in die postsynaptische Zelle, so dass Calcium-abhängige Kinasen aktiviert werden, die ihrerseits durch Phosphorylierung Enzymkaskaden starten.

NMDA wird gleichzeitig durch Glutamat und das Membranpotential gesteuert: ein molekularer Koinzidenzdetektor

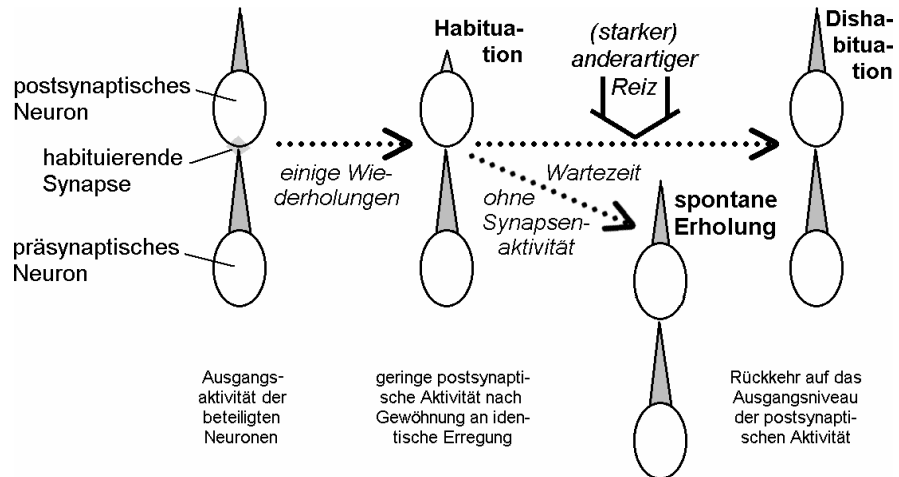


Solche Calcium-abhängigen Reaktionsketten führen zu lang andauernden Veränderungen der Zellphysiologie, etwa indem sie die Empfindlichkeit des AMPA-Kanals für Glutamat erhöhen. Im Laufe mehrerer Stunden können derart aktivierte Enzyme auch im Zellkern die Transkription ändern und die Proteinsynthese verstärken. Diese sogenannte „*Konsolidierungsphase*“ führt schließlich zum Langzeitgedächtnis. Dem könnten verschiedene Mechanismen zugrunde liegen, einige sind exemplarisch untersucht, doch hat man dafür bislang kein ähnlich geschlossenes Verständnis gewonnen wie für die LTP.

Ca⁺⁺-Einstrom in die Zelle ist wesentlich bei allen Lernprozessen eines Neurons.

Beide zuvor genannte Arten der Konditionierung (klassische und operante Kond.) gehören zum **assoziativen Lernen**, bei dem (mindestens) zwei verschiedene Vorgänge verknüpft werden. Dem steht das **nicht-assoziative Lernen** als noch einfachere Form gegenüber. Dort führt die identische Wiederholung eines Reizes zu verstärkter Reaktion (**Sensitivierung**, z.B. auf einen Duft als Futter-Lockstoff) oder zu immer schwächerer Reaktion (**Gewöhnung = Habituation**). Erst nach längeren Pausen ohne diesen Reiz, aber auch durch Einwirkung eines ganz anderen Reizes, kehrt die Reizantwort auf das Ausgangsniveau zurück (**Dishabituation**). Auch dies lässt sich auf Veränderungen im Übertragungsverhalten von wiederholt

aktivierten Synapsen zurückführen, und wiederum spielt eine Erhöhung der Ca^{++} -Konzentration dabei eine wichtige Rolle.

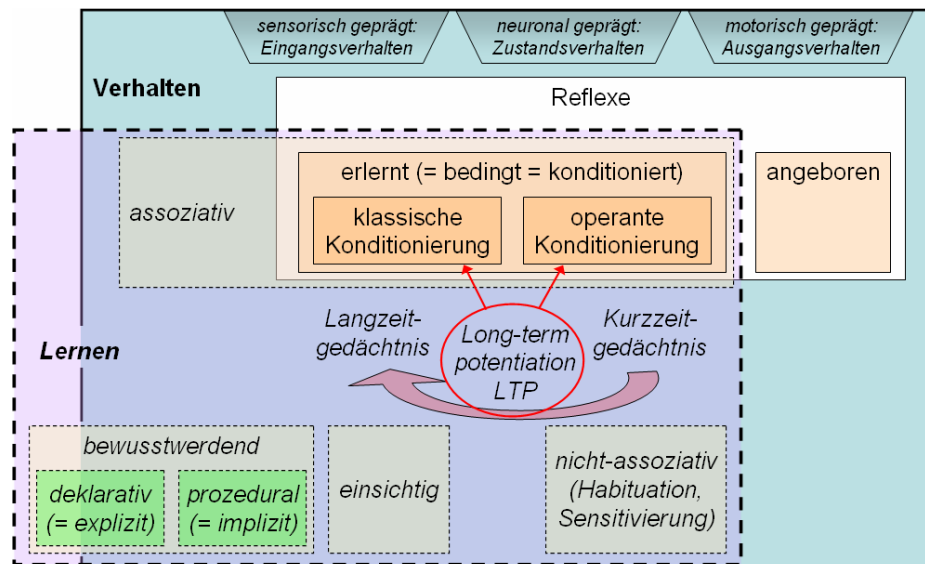


Sollen komplexere Verhaltensweisen erlernt werden, die aus einer Abfolge aufeinander aufbauender Bewegungen bestehen, entwickelt sich diese Sequenz allmählich in Form einer „Lernkurve“. Wenn plötzlich ein Prinzip für die Lösung der Aufgabe verstanden wird („Aha-Effekt“), zeigt die Lernkurve einen Sprung und danach andere (oder keine) Steigung. Es können verschiedene, vom jeweiligen Verhalten abhängige Parameter als Maß für den Lernerfolg herangezogen werden. Bei der Orientierung in einem Labyrinth zwischen Start und Ziel kann dies z.B. die für den Weg benötigte Zeit oder die Anzahl der dabei vorkommenden Fehl-Abzweigungen sein. Hier spielt nicht nur die Einprägung der Labyrinthgeometrie in Form einer „Landkarte“ oder der Reihenfolge von benötigten Links-Rechts-Abzweigungen eine Rolle sondern auch das Entstehen eines bestimmten motorischen Musters, in dem die Bewegung ausgeführt wird. Außerdem gibt es Wechselwirkungen mit den bisherigen Erfahrungen und der Motivation des Versuchstiers.

„höhere“
Lernleistungen

Solches Orientierungslernen stellt eine höhere Form assoziativen Lernens dar. „Einsichtiges Lernen“, bei dem eine Problemlösung durch Nachdenken ohne Ausprobieren gefunden wird, ist nur bei Primaten sicher nachgewiesen. Auf den Menschen beschränkt ist „bewusstwerdendes Lernen“ mit *deklarativem (explizitem)* Gedächtnis (Fakten, Bilder, Gesichter etc.) und *nicht-deklarativem (implizitem, prozeduralem)* Gedächtnis (durch Übung erworbene motorische Fähigkeiten, z.B. Hand- und Maschinenschreiben als separat zu erlernende Abläufe).

Das Schema fasst die wichtigsten Begriffe zusammen und versucht, ihre Zusammenhänge und Überschneidungen deutlich zu machen. Natürlich ist hier nur ein Bruchteil der Aspekte behandelt worden, die zum „Verhalten“ und zum „Lernen“ gehören. Weiterhin ist Verhalten ohne Lernen ebenso möglich wie (z.B. deklaratives) Lernen ohne Verhalten.



Experimente

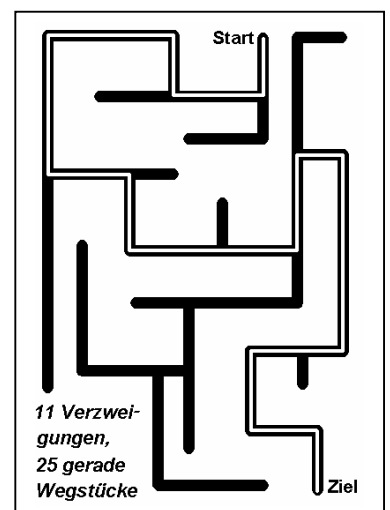
Das Skript enthält in verkleinerter Form Tabellen, die als lose Blätter am Kurstag zum Protokollieren der Versuchsdaten ausgeteilt werden. Machen Sie sich damit schon in der Vorbereitung vertraut. Darüber hinaus müssen Sie zusätzliche Beobachtungen und für die Experimente wichtige Angaben separat notieren.

Im Rahmen des Kurstages befassen wir uns nur mit experimentell besonders einfach zugänglichen Aspekten des Verhaltens, deren neuronale Ursachen dennoch sehr komplex sein können und vielfach bislang nur ansatzweise bekannt sind. Die Mehrzahl aller Verhaltensuntersuchungen, vor allem solchen zu plastischen Verhaltensänderungen und zum Lernen, basieren auf Beobachtungen und Versuchen, die einen Zeitrahmen von Tagen bis Monaten und sehr viele (oft Hunderte) Wiederholungen immer gleicher Prozeduren erfordern. Dazu kommt, dass „normales“ Verhalten stark von der Motivation abhängt und daher eigentlich nur von Tieren zu erwarten ist, die sich - ohne Störung durch den Experimentator - in ihrer natürlichen Umgebung befinden. Unter Laborbedingungen sind also nicht nur lange Gewöhnungs- und Ruhephasen nötig, sondern auch ein geübter Umgang mit den Versuchstieren. Da beide Anforderungen im Rahmen eines Halbtagspraktikums nicht erfüllt werden können, werden alle Experimente am Menschen durchgeführt. Dies kann zu Problemen führen, da wir für viele einfache Lernsituationen „zu schlau“ sind, d.h. alle unsere Handlungen und ihre Einordnung in die aktuelle Umweltsituation bewusst überdenken. Aufgrund der vorbereitenden Beschäftigung mit dem Praktikumstoff hinsichtlich Theorie und Arbeitsabläufen sind Sie keine „naiven Probanden“, wie es für derartige Versuche eigentlich erforderlich wäre, sondern gehen an jedes Experiment mit einer Vorerwartung heran, die das Ergebnis von Konditionierungs- und Lernversuchen möglicherweise beeinflusst. Dies darf für Sie natürlich kein Anlass sein, um auf eine gute Kursvorbereitung zu verzichten!

Ein Labyrinth der abgebildeten Art, das der Proband nicht kennt, ist als Schlitzspur (*schwarz*) in eine Plastikplatte geschnitten. Bei geschlossenen Augen muss der Proband nun vom „Start“ zum „Ziel“ mit einem Schreibstift den Weg (*weiß*) finden, der dabei auf einem untergelegten Papierbogen dokumentiert werden kann. Dabei sollen möglichst wenige Falschabzweigungen gemacht werden, die der Versuchsleiter zählt. Der Proband erhält darüber aber keine Rückmeldung. Als ein Fehler zählt jede Abweichung vom direkten Weg, weitere Fehler werden erst wieder gezählt, nachdem der Proband zum „richtigen“ Weg (durch Zufall) zurückgekehrt ist. Zusätzlich wird die zum Erreichen des Ziels benötigte Zeit gestoppt. Sobald die Messdaten protokolliert sind, setzt der Versuchsleiter die Hand des Probanden mit dem Schreibstift sofort wieder am Startpunkt an und der nächste Labyrinthdurchlauf beginnt.

Ein Lernerfolg kann nur bei voller Konzentration eintreten – dies ist ein Experiment, kein Gesellschaftsspiel! Unterhalten Sie sich deshalb während des Versuchs nicht miteinander. Machen Sie maximal 30 Labyrinthpassagen. Sie können schon vorher abbrechen, wenn mindestens dreimal in Folge kein Fehler oder eine konstante niedrige Zahl von Fehlern aufgetreten ist bzw. wenn die für einen Durchlauf benötigte Zeit nicht mehr abnimmt. Hinweise zur Auswertung werden bei Versuch 5 gegeben.

(1) Lernen im Labyrinth / Teil I



Versuch 1

| Wiederholung | Aufgabe: möglichst wenige Fehler | | Wiederholung | Aufgabe: möglichst wenige Fehler | |
|--------------|----------------------------------|------------|--------------|----------------------------------|------------|
| | Fehlerzahl | Zeitbedarf | | Fehlerzahl | Zeitbedarf |
| 1 | | | 16 | | |
| 2 | | | 17 | | |
| 3 | | | 18 | | |
| 4 | | | 19 | | |
| 5 | | | 20 | | |
| 6 | | | 21 | | |
| 7 | | | 22 | | |
| 8 | | | 23 | | |
| 9 | | | 24 | | |
| 10 | | | 25 | | |
| 11 | | | 26 | | |
| 12 | | | 27 | | |
| 13 | | | 28 | | |
| 14 | | | 29 | | |
| 15 | | | 30 | | |

Markieren Sie die Orientierung des Labyrinths, die jeweilige Startposition und ihre Gruppennummer eindeutig mit beschrifteten Klebestreifen auf der Plastikplatte. Später muss in Versuch 5 mit den gleichen Bedingungen erneut begonnen werden.

Anschließend soll der Proband den erlernten Weg „freihändig“, also ohne Verwendung des im Training benutzen Labyrinths, auf einem Blatt Papier aufzeichnen, wenn möglich auch nochmals mit der anderen Hand (also beim Rechtshänder mit der linken). Daraus kann man Rückschlüsse darauf ziehen, ob eher motorisches oder „Landkarten“-Lernen stattgefunden hat.

(2) Verhalten im Regelkreis; Pupillengröße

Die der aktuellen Beleuchtungsintensität „angemessene“ Pupillenweite wird durch zentralnervöse Mittelwertbildung aus der Helligkeit in beiden Augen bestimmt und dann beidseitig identisch mit der Iris eingestellt. Daher kann man Lichtreize auf nur einem Auge anbieten und die Wirkung am anderen Auge beobachten.

Ein Auge des Probanden wird bei geringer Umgebungshelligkeit abwechselnd mit einem starken Lampenlicht beleuchtet oder mit der Hand verdunkelt. Der Versuchsleiter beobachtet den Zeitverlauf der Pupillenänderung am anderen Auge. Ist zu Beginn der Helligkeitsänderung ein Überschwingen über den späteren Endzustand hinaus zu beobachten? Hängt dies von der Geschwindigkeit ab, mit der die Helligkeit geändert wird? Ist damit beim Probanden eine entsprechende subjektive Empfindung („pulsierende Helligkeit“) verbunden?

Wiederholen Sie solche schnellen Hell-Dunkel-Wechsel etwa im 5-Sekunden Rhythmus mindestens fünfundzwanzigmal. Ist danach das Ausmaß und/oder der Zeitverlauf der Pupillenänderung sowie die subjektive Empfindung des Probanden geändert? Gibt es also Hinweise auf nicht-assoziatives Lernen und eine Habituation beim Pupillenreflex?

Versuch 2

Tritt Überschwingen der Pupillenänderung bei Belichtungsbeginn auf?

Beeinflusst Geschwindigkeit der Helligkeitsänderung das Überschwingen?

Subjektiver Eindruck des Probanden während der Pupillenveränderung?

Nach 25maliger Wiederholung der Helligkeitsänderung im 5-Sekunden-Abstand:

Gibt es Änderungen im Verlauf des Pupillenreflexes?

Hat sich der subjektive Eindruck des Probanden geändert?

Also: habituiert der Pupillenreflex?

Abdeckung der Pupille mit einer schwarzen Kreis-Blende bis zum "Pulsieren des Bildes":

Subjektiver Eindruck des Probanden:

Beobachtung des Versuchsleiters am anderen Auge (kann auch vom Probanden selbst gezählt und dem Versuchsleiter zur Zeitmessung angesagt werden):

Dauer für 10 Pulsationen (Achtung: wirklich 10 Perioden messen,[Sekunden]

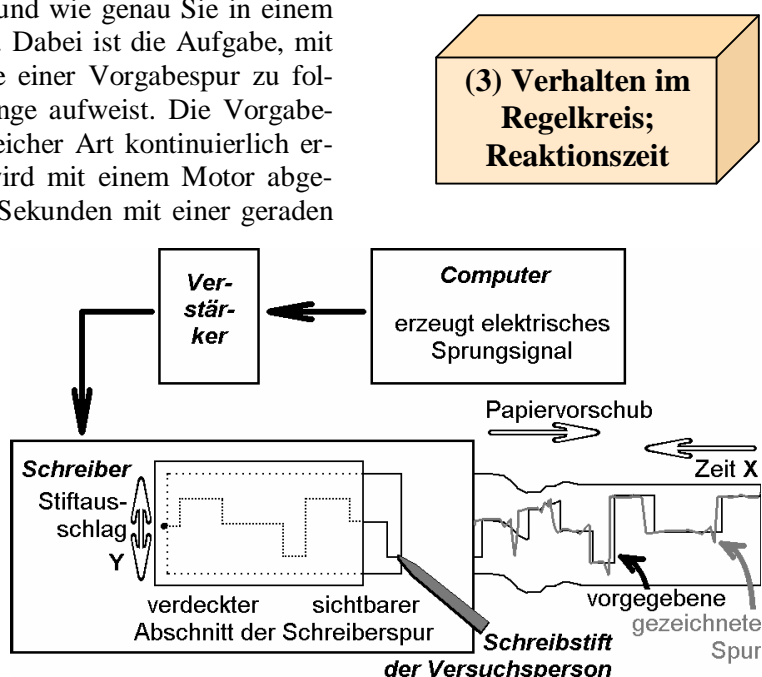
also z.B. von der 1. bis zur 11. Öffnung der Pupille)

Mittlere Periodendauer:[Sekunden] Frequenz der Regelkreis-Schwingung:[Hz]

Ein durchsichtiger Plastikstreifen trägt einige schwarze Kreisscheiben abgestufter Größe. Schauen Sie auf eine helle Fläche oder aus dem Fenster, während Sie diesen Streifen so nah wie möglich vor ein Auge halten, und zwar so, dass jeweils eine Kreisscheibe als Blende die Pupille möglichst gut abdeckt. Probieren Sie, bis Sie die Blendengröße finden, bei der das Bild zu pulsieren scheint. Welche Änderungen nimmt der Proband dabei wahr? Der Versuchsleiter beobachtet die Irisbewegung währenddessen am anderen Auge. Messen Sie die Zeit für 10 (oder so viele sie zusammenhängend schaffen) Bewegungsperioden (eine Periode ist die ganze Sequenz "Öffnen-Schließen" bis zum nächsten Öffnen), errechnen Sie daraus die mittlere Periodendauer und, als Kehrwert, die Frequenz der Regelkreis-Schwingung.



Wir wollen quantitativ erfassen, wie schnell und wie genau Sie in einem Reaktionstest ein "Zielfolgeverhalten" zeigen. Dabei ist die Aufgabe, mit einem Schreibstift längs einer Anschlagkante einer Vorgabespur zu folgen, die in unregelmäßigen Abständen Sprünge aufweist. Die Vorgabespur wird von einem Computer in immer gleicher Art kontinuierlich erzeugt oder ein vorbereiteter Papierstreifen wird mit einem Motor abgspult. Jede Einzelsequenz beginnt für einige Sekunden mit einer geraden Linie ohne Sprünge. Starten Sie erst während dieses „Vorlaufs“ den Schreiber mit 25 mm Papiervorschub pro Sekunde (1 mm entspr. 40 ms) und zeichnen Sie die im Schreiberfenster sichtbare Linie dann für eine ganze Signalsequenz (1 min) möglichst genau nach. Hand und Unterarm, die den Schreibstift führen, sollen dabei nicht aufliegen oder gestützt werden. Alle Einzelexperimente werden von der gleichen Versuchsperson durchgeführt. Je nach den Versuchsbedingungen kann man erwarten, dass die Aufgabe unterschiedlich „gut“ gelöst wird.



(A) Stellen Sie die Abdeckung so ein, dass der sichtbare Abschnitt der Schreiberspur 15 mm, 5 mm bzw. 1 mm lang ist. Je kleiner dieser Abschnitt ist, desto geringer ist auch Ihre „Voraussicht“ der bevorstehenden Sprünge: Es ist zu erwarten, dass von Durchgang zu Durchgang die Reaktionszeit länger und die Genauigkeit der Spur-Verfolgung schlechter wird.

(B) Welchen Einfluss hat die Konzentration auf die Bewältigung dieser Aufgabe? Verwenden Sie hier wieder einen sichtbaren Abschnitt der Schreiberspur von 1 mm. Diesmal soll der Proband während des Experiments verständlich rückwärts ab 100 zählen oder - was schwieriger ist - in Dreierschritten ab 200 rückwärts zählen (200, 197, 194, 191 ...). Der Versuchsleiter kontrolliert dabei die Zählung. Die Versuchsperson neigt meist dazu, während der Kurvensprünge und der dabei nötigen Hand- und Stiftbewegungen das Zählen zu unterbrechen. Das ist ausdrücklich *nicht* erlaubt, sonst lässt sich der Einfluss der „ablenkenden“ Tätigkeit auf die Spurverfolgung nicht quantifizieren.

(C) Unterbrechen Sie die Kabelverbindung zum Schreiber und stellen Sie den sichtbaren Abschnitt der Schreiberspur auf 15 mm. Während der Proband der jetzt geraden Vorgabelinie folgt, lenkt der Versuchsleiter dessen Hand oder Unterarm mehrfach durch einen kleinen Stoß aus der momentanen Position seitlich aus. Wie gut wird diese äußere Störung kompen-

siert? Verläuft die anschließende Korrekturbewegung ebenso schnell und genau wie bei der Verfolgung eines Sprungs in der Vorgabespur bei (A)?

Versuch 3A – Einfluss der Vorausschau
Die Vorgabespur enthält einige große und zahlreiche kleine Sprünge, deren Verfolgung separat ausgewertet werden muss.

Spaltbreite (=sichtbare Vorgabespur) **15 mm**

| | kleine Sprünge | | | | | | | | | | | | Mittelwert | große Sprünge | | | | Mittelwert | |
|--------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------------|---------------|---|---|---|------------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Reaktionszeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Überschwingen [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gesamtzeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Als kleine Sprünge sollen nur diejenigen von der Mittel-Position zu einem der Ränder benutzt werden. Bei ihnen ist der Versuchsperson die nötige Sprungweite schon bekannt, nicht aber die Sprungrichtung. Bei den großen Sprüngen ist dagegen die Richtung bekannt, nicht aber die Sprungweite.

Spaltbreite (=sichtbare Vorgabespur) **5 mm**

| | kleine Sprünge | | | | | | | | | | | | Mittelwert | große Sprünge | | | | Mittelwert | |
|--------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------------|---------------|---|---|---|------------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Reaktionszeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Überschwingen [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gesamtzeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Spaltbreite (=sichtbare Vorgabespur) **1 mm**

| | kleine Sprünge | | | | | | | | | | | | Mittelwert | große Sprünge | | | | Mittelwert | |
|--------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------------|---------------|---|---|---|------------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Reaktionszeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Überschwingen [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gesamtzeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Versuch 3B - Konzentrationsstörung durch(eintragen, z.B. Rückwärtszählen)
Die Vorgabespur enthält einige große und zahlreiche kleine Sprünge, deren Verfolgung separat ausgewertet werden muss.

Spaltbreite (=sichtbare Vorgabespur) **1 mm**

| | kleine Sprünge | | | | | | | | | | | | Mittelwert | große Sprünge | | | | Mittelwert | |
|--------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------------|---------------|---|---|---|------------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Reaktionszeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Überschwingen [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gesamtzeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Versuch 3C - mechanische Auslenkung der Hand

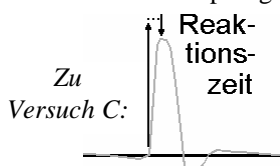
Spaltbreite (=sichtbare Vorgabespur) **15 mm**

(für diesen Versuch ist die Spaltbreite eigentlich unerheblich, da keine Vorausschau möglich ist)

| | Auslenkung der Hand | | | | | | | | | | | | Mittelwert | | | | | | |
|--------------------|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------------|--|--|--|--|--|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | | | | | |
| Reaktionszeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Überschwingen [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gesamtzeit [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

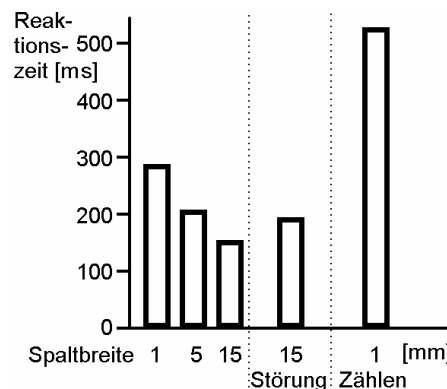
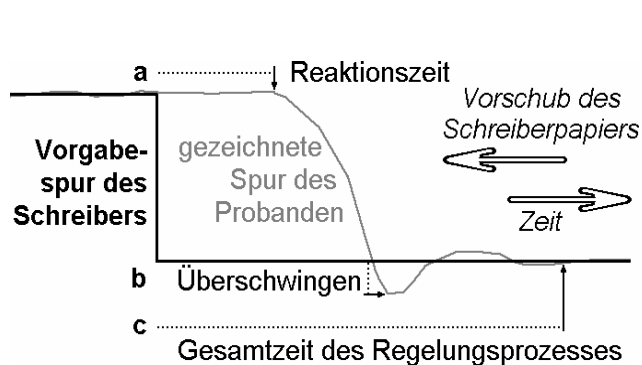
Auswertung: Alle Messgrößen werden vom Schreiberpapier als Millimeter-Distanzen abgelesen. Berücksichtigen Sie die Vorschubgeschwindigkeit, um Strecken in x-Richtung in Sekunden umzurechnen. Für jeden der Einzelversuche wird ausgewertet,

(a) wie groß bei einem Sprung der x-Abstand zwischen Vorgabespur und erster Verschiebung der Reaktionsspur, d.h. wie lang die Reaktionszeit ist [bei Spaltbreite 15mm beginnt die Bewegung oft schon vor dem eigentlichen Sprung – dann werden „negative“ Reaktionszeiten abgelesen, die natürlich eine Folge der Vorausschau sind; bei Versuch C wird die erste Abweichung der selbst gezeichneten Spur von der geraden Vorgabelinie als Augenblick der vom Versuchsleiter aufgezwingenen Auslenkung gewertet, obwohl das Anstoßen des Armes einen Sekundenbruchteil zuvor geschehen und vom Probanden auch schon wahrgenommen worden ist – die Reaktionszeit dauert von dort bis zur Umkehr der Stiftbewegung],



(b) wie weit die Reaktionsspur über die Vorgabespur in y-Richtung hinwegführt (Überschwingen des Regelungsprozesses) und

In der Skizze geben die Punkt-Linien an, in welcher Richtung gemessen wird, und die dünnen Pfeile, bis zu welchem Ort der Registrierkurve. Die Länge der Punkt-Linie ist also die jeweilige Messgröße.



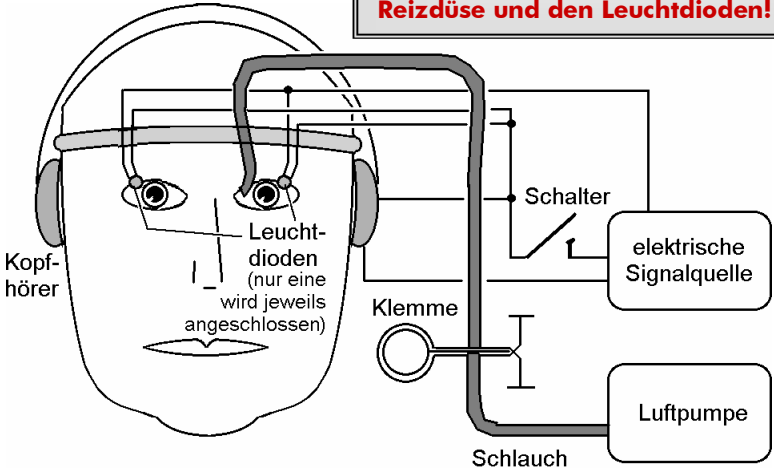
(c) wie lange es dauert, bis die Reaktionsspur nach einem Sprung die Vorgabespur wieder genau trifft [wenn bei Spaltbreite 15mm eine „negative“ Reaktionszeit auftritt, wird die Gesamtzeit des Regulationsprozesses vom Beginn dieser Reaktion und nicht vom Sprung der Vorgabespur aus gemessen].

Protokollieren Sie für die Versuche 3A und 3B separat die Werte für kleine (aus der Mitte) bzw. große (vom Rand) Vorgabe-Sprünge und bilden Sie jeweils die Mittelwerte. Für Versuch 3C werden alle Auslenkungen zusammengefasst, unabhängig von ihrer Weite. Stellen Sie die Ergebnisse nicht nur in einer Zahlentabelle dar, sondern zeichnen Sie daraus für *jede* der 3 Messgrößen (a), (b) und (c) ein Säulendiagramm in der für Reaktionszeiten angedeuteten Art.

Ein wichtiger Schutzreflex für unsere Augen ist der Lidschluß bei mechanischer Reizung der Hornhaut und der Bindehaut eines Auges. Wie auch der Pupillenreflex wirkt er sich auf beide Augen gemeinsam aus. Wir lösen ihn durch einen kurzen Windstoß aus einer Luftpumpe aus, der durch einen Schlauch an einem Stirnband auf den nasenseitigen Innenwinkel eines Auges gelenkt wird. In zeitlicher Kopplung dazu erhält der Proband einen Tonreiz über Kopfhörer (um andere Gruppen nicht zu stören) oder ein Lichtsignal über eine Leuchtdiode. Alle Reizgebungen erfolgen durch den Versuchsleiter „von Hand“ und können zeitlich beliebig verknüpft werden. Nach einer Trainingsphase wird geprüft, ob Ton bzw. Licht allein den Lidschluß auslösen und wie oft dieser bedingte Reflex auftritt, bis die erlernte Kopplung durch Extinktion oder Vergessen wieder aufgehoben ist. **Dieser Versuch erfordert eine genaue vorherige Planung des Ablaufs, die Sie selbst erstellen sollen. Machen Sie sich darüber unbedingt schon während der Vorbereitung VOR dem Kurs Gedanken. Wegen der knappen verfügbaren Zeit kann ein konkreter Reizplan nicht erst während des Kurstags angefertigt werden, sondern muss bereits vorbereitet sein. Der Versuchsplan wird von den Kursbetreuern mit jeder Teilnehmer-Gruppe hinsichtlich Fragestellung, Durchführbarkeit, Zeitbedarf und möglichen Schlussfolgerungen am Kurstag besprochen.**

(4) Klassische Konditionierung; Lidschlußreflex

Vorsicht – Verletzungsgefahr: Schließen Sie die Augen beim Anlegen des Stirnbands mit der Reizdüse und den Leuchtdioden!



Versuch 4 erstellen Sie hierfür einen eigenen Versuchsplan mit entsprechenden Protokoll-Tabellen der durchzuführenden Versuche (welche Reiztypen wie oft in welcher Reihenfolge, welche Zeitabstände dazwischen, welche Kontrollversuche, Unterscheidung Extinktion von Vergessen)

Als Hinweis einige Punkte, die sicher bedacht werden müssen:

- Was ist hier der conditionierte (CS), was der unconditionierte Stimulus (US)?
- Welche und wie viele Kontrollversuche sind vor und nach der Konditionierung nötig? Könnten solche Kontrollversuche die Abläufe und Wirksamkeit der Konditionierung selbst beeinflussen?
- Welches Zeitschema soll bei der Konditionierung angewendet werden, mit „Verzögerung“ (empfehlenswert) oder mit „Pause“? Mit „Umkehrung“ ist hier erfahrungsgemäß nicht ratsam. - Zu den Begriffen siehe den Theorieteil des Skripts.

Wie lang sollen CS und US geboten werden, um welches Zeitintervall soll CS dem US vorausgehen? (Sinnvoll sind hier Werte im Bereich von 0-2 Sekunden.)

Wie soll der Zeitabstand zwischen Reizgebungen sein (sinnvoller Bereich: 10-30 Sekunden)? Warum sollte man Abstände verwenden, die in Bezug zu einem vorgewählten Mittelwert um einige Sekunden (z.B. $\pm 5s$) zufällig variieren?

Wie oft soll CS+US gegeben werden, bevor nur mit CS der Erfolg der Konditionierung geprüft wird? In welchem Abstand ist dann diese Prüfung zu wiederholen? Ebenso wie während der Konditionierung?

Wenn der konditionierte Reflex wieder ausbleibt, kann er durch erneute Kopplung CS+US möglicherweise rascher und/oder anhaltender hervorgerufen werden als beim ursprünglichen Training. Das wäre ein Zeichen für eingetretene Extinktion. Wie kann man das prüfen?

Wie kann man experimentell zwischen Extinktion und Vergessen unterscheiden?

Sind Ton- und Lichtreiz als CS gleich wirksam? Beeinflusst die Konditionierung auf einen dieser Reize die spätere Konditionierung auf den anderen?

Wird eine Konditionierung auf einen Lichtreiz vor dem einen Auge auf einen identischen Reiz vor dem anderen übertragen?

Die vorzubereitende tabellarische Aufstellung der geplanten Versuchsschritte soll bereits die Zeiten enthalten, zu denen US, CS oder CS+US geboten werden, und eine Spalte, in denen der erfolgreich ausgelöste Lidschluss einfach abgehakt werden kann. Zusätzliche Beobachtungen (z.B. unvollständiger Lidschluss, zufälliges Zusammenfallen mit spontanem Lidschluss etc.) sind ebenfalls zu protokollieren.

Der Gesamtversuch darf nicht mehr als etwa 30-40 Minuten benötigen. Daher kann bei weitem nicht jeder der genannten Punkte von Ihnen wirklich im Experiment berücksichtigt werden; Sie müssen für einen realisierbaren Zeitplan also daraus auswählen. Es wäre trotzdem schön, wenn Sie über die genannten Punkte hinaus Aspekte zumindest benennen könnten, die sich hier untersuchen lassen, oder variable Größen in der Versuchsdurchführung, die die Resultate beeinflussen können. Dieser Versuch ist vielfältig ausbaubar und soll Ihnen – im begrenzten Zeitrahmen des Praktikums – Möglichkeit zu eigenständigem Experimentieren bieten.

Auswertung: Beschreiben Sie Ihren Versuchsablauf genau und nachvollziehbar. Suchen Sie selbst für Ihre Messergebnisse eine geeignete Darstellungsweise, nicht nur tabellarisch sondern auch in Diagrammform. Diskutieren Sie die Befunde kritisch hinsichtlich möglicher Fehlerquellen und Störeinflüsse unter Kursbedingungen.

Beispiel für den Beginn einer vorbereiteten Versuchstabelle (Zeiten und Reizarten können bei Ihnen ganz anders gewählt werden):

| Absolutzeit nach Versuchsbeginn (min:sec) | Reizart (US, CS, CS+US) | Lidschluss (ja/nein) | Bemerkungen |
|---|-------------------------|----------------------|-------------|
| 0:0 | US | | |
| 0:16 | US | | |
| 0:29 | US | | |
| 0:48 | CS | | |
| 1:01 | CS | | |
| 1:18 | CS | | |
| 1:30 | CS+US | | |
| 1:49 | CS+US | | |
| 2:03 | CS+US | | |
| 2:20 | CS+US | | |
| 2:32 | CS+US | | |
| 2:44 | CS+US | | |
| 3:00 | CS+US | | |
| 3:14 | CS+US | | |
| 3:32 | CS+US | | |
| 3:47 | CS+US | | |
| 4:02 | CS | | |
| 4:19 | CS | | |
| 4:34 | CS | | |
| 4:50 | CS | | |
| usw. | usw. | | |
| usw. | usw. | | |
| usw. | usw. | | |

(5) Lernen im Labyrinth / Teil II

Die gleiche Versuchsperson wie in Versuch 1 zeichnet nach Verschließen der Augen zunächst freihändig das anfangs erlernte Labyrinth auf ein Blatt Papier und führt dann nochmals maximal 20 Durchläufe im gleichen Labyrinth aus. Wieder ist die Zielsetzung, möglichst wenige fehlerhafte Abzweigungen auf dem Weg vom Start zum Ziel zu machen, wobei der Zeitbedarf für den Probanden keine Rolle spielt, als Messgröße zusätzlich zur Fehlerzahl aber dennoch registriert wird (Versuchsteil A).

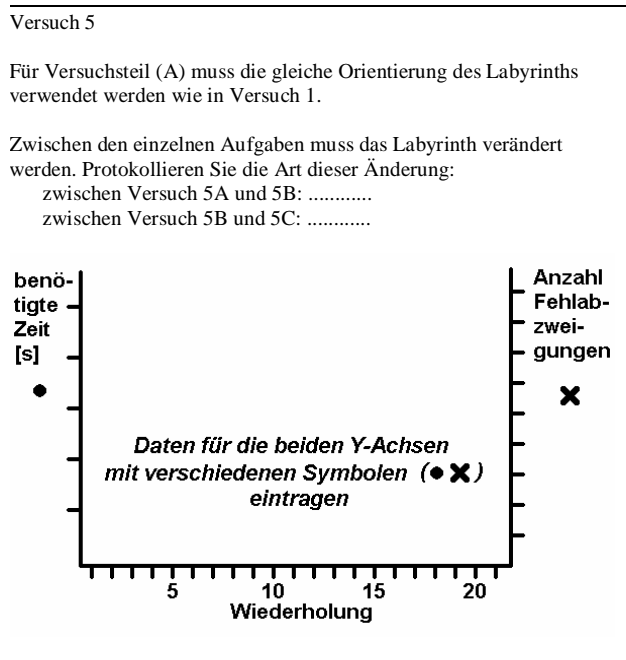
Anschließend wird das Labyrinth jeweils gedreht und/oder umgewendet (d.h. gespiegelt), bevor wiederum jeweils maximal 20 Durchläufe begonnen werden. Zusätzlich kann die Start- und Ziel-Position vertauscht wer-

den. Den allermeisten Menschen fällt es viel schwerer, die zuvor erlernte Struktur des Labyrinths „in Gedanken“ ebenfalls zu drehen und wieder anzuwenden als sie nun komplett neu zu lernen. Nach der Umorientierung beginnt das Training also praktisch von neuem an einem „unbekannten“ Labyrinth, das aber genau den gleichen Komplexitätsgrad hat. Zusätzlich gibt es ein alternatives Labyrinth, das aus den gleichen, nur anders angeordneten Teilstrecken besteht und in dem der Lösungsweg (nahezu) genauso lang ist wie im zu Anfang erlernten Labyrinth.

In den weiteren Versuchsteilen (B) und (C) soll der Lernprozess im Hinblick auf andere Randbedingungen optimiert werden: In (B) darf der Proband beliebig viele Fehler machen, soll aber das Ziel möglichst schnell erreichen. In (C) soll er sowohl wenige Fehler machen als auch wenig Zeit brauchen. Tatsächlich sind beide Bedingungen in der Praxis stets gekoppelt: Jeder Fehler bedeutet zusätzliche Wegstrecken und Fehlerkorrekturen; beides erfordert Zeit und verlängert so den Durchlauf.

Der Versuchsleiter protokolliert jeweils beide Messgrößen. Bei (B) kann das Zählen der Fehler schwierig werden, denn die Stiftbewegungen des Probanden sind dann zumindest zu Beginn oft sehr hektisch. Wie in Versuch 1 können die Durchläufe vorzeitig abgebrochen werden, wenn mindestens dreimal in Folge kein Fehler oder eine konstante niedrige Zahl von Fehlern aufgetreten ist bzw. wenn die für einen Durchlauf benötigte Zeit nicht mehr abnimmt.

| Wiederholung | (A) Aufgabe: möglichst wenige Fehler | | (B) Aufgabe: möglichst schnell zum Ziel | | (C) Aufgabe: wenige Fehler und schnell zum Ziel | |
|--------------|--------------------------------------|------------|---|------------|---|------------|
| | Fehlerzahl | Zeitbedarf | Fehlerzahl | Zeitbedarf | Fehlerzahl | Zeitbedarf |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |



Auswertung: Tragen Sie entsprechend dem gezeigten Koordinatensystem die Lernkurven für Versuch 1 sowie für Versuch 5A bis 5C auf; abhängig von der in Versuch 1 durchgeführten Anzahl von Wiederholungen muss die x-Achse angemessen verlängert werden. Wie verlaufen diese Kurven, sind sie für die beiden Messgrößen identisch? Deutet der Vergleich von Versuch 1 und 5A darauf hin, dass Versuch 1 zu einem Lernerfolg geführt hat, der über mehrere Stunden anhält? Ist dies schon „Langzeitgedächtnis“? Wird in Versuch 5A schneller gelernt und wird ein besserer Erfolg erreicht als in Versuch 1? Gibt es Unterschiede zwischen den Kurven aus den Teilversuchen 5A-C? Wie könnte man sie deuten (in diesen Versuchen sind oft mehrere verschiedene Erklärungsmöglichkeiten denkbar)? Gibt es Hinweise, dass nicht nur das individuelle Labyrinth erlernt wird

sondern dass sich durch dieses „Training“ die allgemeine Lernfähigkeit für solche Labyrinth-Aufgaben verbessert?

Auf jeden Fall spielen hier zwei separate Ebenen des Lernens eine Rolle: das abstrakt-geometrische Weg-Lernen (bei unseren Labyrinthen immer eindeutig, da es keine alternativen Passagen gibt) und das motorische Lernen der benötigten Bewegungsabläufe (verschiedene Sequenzen von unterschiedlich starken Kontraktionen in Arm- und Handmuskeln können zum Ziel führen). Ähnlich lernt ein Pianist eine Melodie nach dem Notenbild, kann sie aber mit verschiedenen, nach einigem Üben dann konstanten und unbewusst ablaufenden Fingerbewegungen spielen.