Schiller-Schule Bochum

Jahrgangsstufe Q1/I

Schuljahr 2015/16

FACHARBEIT

im Leistungskurs Biologie

Die neurophysiologischen Zusammenhänge und Vorgänge während des Lernens im Bezug auf die Entwicklung des biologischen Lernspiels „Biological Pursuit“

Verfasserin:	Katharina Goede
Betreuende Lehrkraft:	Dr. Florian Schaller

Bearbeitungszeit:	05.10.2015 – 16.12.2015
Abgabetermin:	16.12.2015 – 12.00 Uhr

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....S. 3

Ergebnisteil I – Die Neurophysiologie des Lernens.....S. 4

2.1 Definition des Lernens.....S. 4

2.2 Wie wir lernen.....S. 4

2.2.1 Gehirn und Hippocampus..... S. 4

2.2.2 Neurobiologische Hintergründe der Informationsübertragung..... S. 5

2.2.2.1 Neuronen und Gliazellen .....S. 5

2.2.2.2 Impulse und Synapsen.....S. 6

2.2.3 Neuronale Entwicklung und Plastizität..... S. 6

2.2.4 Neuropsychologie des Gedächtnisses ..... S. 8

2.2.5 Zelluläre und molekulare Mechanismen ..... S. 8

2.2.5.1 Kurzzeitgedächtnis.....S. 8

2.2.5.2 Langzeitgedächtnis.....S. 9

2.3 Was das Lernen beeinflusst.....S. 10

2.3.1 Aufmerksamkeit.....S. 10

2.3.2 Emotionen.....S. 10

2.3.3 Motivation.....S. 11

2 Ergebnisteil II - Das Lernspiel „Biological Pursuit“.....S. 12

3.1 Vorlage: „Trivial Pursuit“.....S. 12

3.2 Konzeptionierung und Erstellung von „Biological Pursuit“.....S. 13

3 Diskussion und Ausblick.....S. 14

4 Literatur- und Quellenverzeichnis.....S. 16

5 Anhang.....S. 17

6.1 Abbildungen.....S. 17

6.2 Spielanleitung.....S. 19

6.3 Spielbrett.....S. 21

6.4 Lernkarten der Kategorie Neurophysiologie.....S. 22

6 Selbstständigkeitserklärung.....S. 46

1 Einleitung

In sämtlichen pädagogischen Lerntheorien ist der Nachweis von Lernen auf das veränderte Verhalten zurückzuführen, die Vorgänge im Gehirn werden dabei außen vorgelassen. In meiner Facharbeit mit dem Thema „Die neurophysiologischen Zusammenhänge und Vorgänge während des Lernens im Bezug auf die Entwicklung des biologischen Lernspiels „Biological Pursuit““ lege ich die neurophysiologischen Zusammenhänge und Vorgänge im Gehirn während des Lernens dar und möchte somit diese in pädagogischen Theorien unberücksichtigten Aspekte des Lernens erläutern.

Um den Vorgang des Lernens anschaulich darzulegen, beschreibe ich zunächst allgemein den Aufbau und die Vorgänge im Gehirn und anschließend die neuronalen Hintergründe des Lernens. Noch dazu findet sich eine Darstellung der Faktoren, die das Gehirn während des Lernens beeinflussen.

Angeregt wurde meine Untersuchung durch die Projektarbeit zum Erstellen des Lernspiels „Biological Pursuit“. Drei andere Schülerinnen der aktuellen Q1 und ich haben nach der Vorlage des Wissensspiels „Trivial Pursuit“ ein biologisches Lernspiel angefertigt. Mein Themenbereich stellte dabei die Neurophysiologie dar.

Da sich Ergebnisteil II mit diesem Spiel auseinandersetzt, werde ich zum Schluss als Diskussion die neurologischen Vorgänge und Einflüsse während des Lernens mit der Effektivität des Lernspiels verknüpfen.

2 Ergebnisteil I – Die Neurophysiologie des Lernens

2.1 Definition des Lernens

Lernen bezeichnet den Erwerb von Verhalten und Wissen, welche dem Organismus bisher noch nicht bekannt waren und kann somit von der Reifung unterschieden werden, dessen Veränderung des Zentralnervensystems (ZNS) genetisch bedingten Reifungsprozessen zugrunde liegt (vgl. Schmidt / Schaible 2006, S.402).

Eine gängige Definition formulierten E. R. Hilgard und G. H. Bower im Wörterbuch von Schaub und Zenke. Danach ist Lernen

> „[…] eine Veränderung im Erleben und Verhalten eines Individuums, die durch wiederholte Erfahrungen in der Interaktion mit der Umwelt zustande kommt. Vorausgesetzt wird, dass diese Veränderung des Verhaltensrepertoires nicht auf neurophysiologische Reifungsvorgänge oder vorübergehende Zustände des Organismus (z. B. Ermüdung, Erkrankung) zurückgeführt werden kann. Lernvorgänge selbst sind nicht unmittelbar beobachtbar, sondern können nur aus dem Vergleich der Reaktionen des Lernenden auf Umweltsituationen geschlossen werden."
> (Schaub / Zenke 2000, S. 352)

Gelernt werden können Reaktionen, Wörter, Sprachen, Sachverhalte und Begriffe, erwünschtes und nicht erwünschtes Verhalten sowie Emotionen, wobei die Nutzung des Gedächtnisses vorausgesetzt wird. Lernen und das Gedächtnis sind nach heutigen Kenntnissen also unmittelbar miteinander verbunden. Das Lernen bezeichnet in diesem Zusammenhang nämlich die Aneignung und im Gedächtnis passieren Speicherung und Abrufung. Ein anderer Begriff für diese Vorgänge im Gehirn ist menschliche Informationsverabeitung (vgl. Reich 2005, S.20f.).

Der Prozess des Lernens passiert nicht nur in der Schule, sondern ist allgemein von den Umwelteinflüssen abhängig. Es werden als nicht nur isolierte Fähigkeiten erworben, sondern auch die Individualität einer Person, die während ihres ganzen Lebens weiter definiert wird, durch zum Beispiel spezielle Kenntnisse, Vorlieben, Fähigkeiten (vgl. Reich 2005, S.21).

2.2 Wie wir lernen

2.2.1 Gehirn und Hippocampus

Das menschliche Gehirn, welches für das Lernen die entscheidende Rolle der Informationsverarbeitung und Speicherung darstellt, ist der Ort, an dem der Mensch denkt und fühlt. Dort werden bewusste Denkvorgänge und Prozesse geleistet, aber dort finden auch dem Menschen unbewusste Vorgänge statt. Selbst während des Schlafens

arbeitet das Gehirn.

Es wiegt zwischen 1,3 und 1,4 Kilogramm (vgl. Reich 2005, S.31) und besteht aus Nervenzellen und Gliazellen. Es ist in verschiedene Teile unterteilt, sowohl räumlich (Abbildung 1, Anhang S.16) als auch funktionell.

Die Strukturen des menschlichen Gehirns sind das verlängerte Rückenmark, der Hirnstamm, das Kleinhirn (Cerebellum), das Zwischenhirn und das Großhirn (Cerebrum). Die Großhirnrinde, auch Cortex genannt, umgibt das gesamte Gehirn und ist in verschiedene auf Funktionen spezialisierte „Karten" geteilt. Dort herrscht eine genaue Ordnung. Der Cortex ist in zwei Hirnhälften (Hemisphären) geteilt, die wiederum in vier Hirnlappen unterteilt sind (Abbildung 2, Anhang S.16). Es gibt den Frontallappen (Stirnlappen), Parietallappen (Scheitellappen), Okzipitallappen (Hinterhauptslappen) und Temporallappen (Schläfenlappen). Der Temporallappen ist am Gedächtnis beteiligt und ihm werden die Bereiche Lernen und Emotionen zugeordnet.

Der Hippocampus (griechisch: „Seepferdchen") stellt aufgrund seiner Funktion bei der Abspeicherung von Informationen eine wichtige Rolle des Lernens dar (vgl. Reich 2005, S.33). Er lernt wichtige und neue Einzelheiten schnell und ist in der Lage, unvollständige Informationen zu ergänzen, da er sehr stark mit sich selbst verknüpft ist (vgl. Spitzer 2007, S.37). Der Hippocampus befindet sich an der Innenseite des Schläfenlappens der Großhirnrinde jeweils rechts und links. Ob er einen Bestandteil des limbischen Systems darstellt, ist umstritten, da dieses als Saum des Hirnstamms das gesamte Gehirn durchzieht. Es steht jedoch fest, dass das limbische System und der Hippocampus in einem engen Verhältnis zueinander stehen.

2.2.2 Neurobiologische Hintergründe der Informationsübertragung

2.2.2.1 Neuronen und Gliazellen

Neuronen (Nervenzellen) und Gliazellen, ihre Stützzellen, stellen die spezialisierten Zellen des Nervensystems dar. Sie sind für die Reizaufnahme, Umwandlung in Aktionspotenziale und Weiterleitung der Signale zuständig. Im Gehirn befinden sich rund 100 Milliarden Neuronen, von denen jedes mit durchschnittlich über 1000 anderen Neuronen verbunden ist (vgl. Markl 2010, S.380). Es findet außerdem eine Unterteilung in sensorische Neuronen, die mit den Sinnesorganen verbunden sind, Motoneuronen, die mit dem Muskeln verbunden sind, und Interneurone, die zwischen andere Neuronen geschaltet sind und mengenmäßig überwiegen, statt.

Vom Zellkörper (Soma) eines Neurons gehen ein Axon und meist mehrere Dendriten

aus (Abbildung 3, Anhang S.17). Soma und Dendriten empfangen die eingehenden erregenden und hemmenden Signale. Am Axonhügel wird eine Erregung in eine Aktionspotenzialfrequenz umgewandelt. Anschließend leitet das Axon diese Aktionspotenziale über die Synapsen an den Endknöpfchen über die Ausschüttung von Neurotransmittern an andere Neuronen oder an Muskel- oder Drüsenzellen weiter.
Die Gliazellen umhüllen das Axon und bilden die Myelinscheiden, durch die das Axon isoliert wird und das Aktionspotenzial „springend“, daher sehr schnell, weitergegeben werden kann. Weitere Funktionen stellen die Bildung von Stützelementen und die Trennung von Neuronen untereinander dar, da die Gliazellen im Gehirn größere Einheiten bilden und gleichzeitig mehrere Axone umwickeln. Bei Kindern sind die Gliazellen noch nicht vollständig entwickelt und stellen somit eine wichtige Rolle bei der Entwicklung des Gehirns dar.

2.2.2.2 Impulse und Synapsen

Die Impulse, die in Form von Reizen auf die Sinneszellen treffen werden meist noch in den Sinneszellen in eine Aktionspotenzialfrequenz umgewandelt. Aktionspotenziale haben immer die gleiche Form und werden erzeugt, sobald ein Schwellenwert erreicht wird. Der Reiz muss also eine Mindestgröße haben.
Im Ruhezustand hat ein Neuron aufgrund der Ionenverteilung um die Membran ein Ruhepotenzial von -70 mV. Wird dieses um nur 10 mV positiver, da ein Aktionspotenzial an einer Synapse, dem Ort, an dem zwei Neuronen aufeinander treffen, einen Ioneneinstrom verursacht, kann am Axonhügel ein neues Aktionspotenzial entstehen, welches wiederum weitergeleitet werden kann.
Die Übertragung der Signale erfolgt also an den Synapsen. Beim Eintreffen eines Aktionspotenzials verschmelzen mit Neurotransmittern gefüllte Vesikel mit der präsynaptischen Membran, wodurch diese freigesetzt werden und als Botenstoffe fungieren. Sie diffundieren durch den synaptischen Spalt und tragen zur Öffnung von Ionenkanälen der postsynatischen Membran bei. Ionen strömen in das Folgeneuron und erreichen bei ausreichender Anzahl und Stärke den Schwellenwert. Die postsynaptische Membran wird depolarisiert und ein neues Aktionspotenzial beziehungsweise mehrere Aktionspotenziale können entstehen (Abbildung 4, Anhang S. 17).

2.2.3 Neuronale Entwicklung und Plastizität

Die Ausbildung spezifischer synaptischer Verbindungen unter früher Umweltauseinandersetzung ist eine Voraussetzung des Lernens. Die neuronalen

Wachstumsvorgänge sind zwar Grundlagen für die Grobverbindungen des Nervensystems, die Entwicklung geordneter Verhaltensweisen und Wahrnehmungen ist jedoch von der frühen und angemessenen Stimulation der jeweiligen neuronalen Systeme in einer kritischen Entwicklungsphase abhängig. Deprivation, die Isolation vor jedem äußeren Einfluss, kann zu fehlenden synaptischen Verbindungen und somit einer dauerhaften Veränderung in der plastischen Struktur des Gehirns führen (vgl. Schmidt / Schaible 2006, S.403).

Unter Neuroplastizität versteht man die Reorganisation von neuronalen Verbindungen. Es gibt drei Ebenen, nämlich die der Synapsen, Neuronen und cortikalen Karten. Der Prozess der Langzeitpotenzierung (siehe 2.2.5.2) an den Synapsen findet innerhalb von Sekunden bis Stunden statt und dient auch zur Markierung von Synapsen, die später einer länger dauernden Veränderung der neuronalen Verbindungen dienen. Das Wachstum von Neuronen dauert Tage bis Wochen, welches hauptsächlich der „Wanderung“ zum Einsatzort dient. Cortikale Karten brauchen länger, um sich zu verändern. Die Veränderung von Repräsentationen in Größenordnungen von mehr als einem Zentimeter können Jahre dauern (vgl. Spitzer 2007, S. 95). Die cortikalen Karten repräsentieren verschiedene sensorische Empfindungen und können sich also verändern. Es kann sowohl zu einer Vergrößerung als auch Verkleinerung kommen, was die biologische Basis von Individualität bildet (vgl. Reich 2005, S.47).

Die neuroplastischen Veränderungen finden nach der Hebb-Regel statt, wonach die prä- und postsynaptischen Elemente gleichzeitig aktiviert werden müssen, damit assoziative Verknüpfungen gebildet werden. Wird eine bestimmte Erregung mehrmals wiederholt, führt dies zu Wachstum oder einer Stoffwechselveränderung in beiden oder einem der beiden beteiligten Neurone.

Erreicht werden kann das Lernen im Zentralnervensystem durch die Verstärkung häufig benutzter synaptischer Verbindungen und das Absterben (Apoptose) von nicht benutzten Verbindungen. Neuronale Reorganisationen, bei denen erwünschtes Verhalten angeregt und nicht erwünschtes Verhalten ausgelöscht werden soll, verknüpfen diese beiden Teilaspekte (vgl. Schmidt / Schaible 2006, S. 404).

Die spezifischen Wachstumsvorgänge von Neuronen und cortikalen Karten werden durch eine anregende Umgebung und zielgerichtete geistig-körperliche Aktivität erreicht. Viele synaptische Verbindungen existieren bereits vor der Lernbedingung und werden durch das Lernen eher „aufgeweckt“ und demaskiert, nicht aber neu hergestellt (vgl. Schmidt / Schaible 2006, S.406).

2.2.4 Neuropsychologie des Gedächtnisses

Die beiden Hauptformen des Lernens im Gedächtnis sind das deklarative, explizite Behalten und das prozedurale, implizite Behalten. Diese liegen unterschiedlichen Hirnregionen und -verbindungen zugrunde.

Das deklarative Behalten beinhaltet die bewusste Speicherung von Fakten und Ereignisse. Es ist an die Intaktheit des Hippocampus und die mit ihm verbundenen temporalen Hirnstrukturen gebunden. Das hippocampale System verbindet neue Wahrnehmungen und neue Gedanken, so dass sie die Gesamtheit des Gedächtnisinhaltes bilden. Passiert dies erfolgreich, kann zu einem späteren Zeitpunkt ein Einzelaspekt genügen, um die entsprechende Gesamtsituation zu reproduzieren. Somit ist der Hippocampus Voraussetzung von der Langzeit-Konsolidierung von Gedächtnismaterial, ohne selbst dieses Material in seinem Zellsystem zu enthalten.

Das prozeduale Lernen passiert unbewusst und bezieht sich auf Fertigkeiten, Gewohnheiten, Bewegungsfolgen und Regeln sowie das klassische Konditionieren. Es passiert eher reflexhaft und ist kein aktiver, bewusster Suchprozess, weshalb dafür primär subcortikale Bereiche verantwortlich sind (vgl. Schmidt / Schaible 2006, S. 408-413).

2.2.5 Zelluläre und molekulare Mechanismen

Die drei Gedächtnisformen des sensorischen Gedächtnisses (Speicherung für Millisekunden bis Sekunden), Kurzzeitgedächtnisses (Sekunden bis Minuten) und Langzeitgedächtnisses (Minuten bis Jahre) basieren auf unterschiedlichen molekularen und zellulären Mechanismen.

Das sensorische Gedächtnis ist vermutlich durch elektrische Prozesse an den Synapsen repräsentiert und bezeichnet die Tatsache, dass wir uns nicht alles merken, was wir wahrnehmen. Das Kurzzeitgedächtnis basiert jedoch schon auf Veränderungen der Membranstruktur und Transmitterausschüttung an der Synapse. Beim Langzeitgedächtnis wird die Arbeitsweise des genetischen Apparats der beteiligten Nervenzelle verändert (vgl. Schmidt / Schaible 2006, S. 414).

2.2.5.1 Kurzzeitgedächtnis

Die Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses beträgt sieben Objekte, wobei die Zahl sowohl nach oben als auch nach unten um zwei schwanken kann. Das Kurzzeitgedächtnis weist als Endstrecke eine verstärkte Ausschüttung des

Neurotransmitters aus den Synapsen der am Lernen beteiligten sensorischen Neurone auf. Der Mechanismus lässt sich dabei mit dem Rezeptor mGluR7 erklären, der metabotrope Glutamat-Rezeptor Typ 5, der das Einströmen von positiv geladenen Kalziumionen bewirkt, wodurch das Gleichgewichtspotenzial innerhalb der Zelle so weit verschoben wird, dass immer wieder ein Signal ausgelöst wird. Die Aktivierung des Rezeptors mGluR7 bewirkt also eine länger anhaltende postsynaptische Depolarisation. Dadurch bleibt die Nervenzelle mehrere Sekunden oder Minuten lang aktiv, auch wenn das auslösende Signal bereits verklungen ist und die Information ist länger aktiv. Eine einmalige Einspeicherung der Information hat dabei eine kurze Speicherdauer. Findet eine wiederholte Einspeicherung statt, bleibt die Information länger aktiv beziehungsweise wird wieder in das Kurzzeitgedächtnis zurückgeführt, nachdem sie durch eine neue Information „verdrängt“ wurde (vgl. http://arbeits-blaetter.stangl-taller.at/GEDAECHTNIS/ModelleSpeicher.shtml, 04.12.2015).

Wird die Information länger elaboriert, also durch Anstrengung verknüpft und an andere Informationen angebunden, findet eine Überführung ins Langzeitgedächtnis statt. Dabei werden Proteine gebildet, die diesen Vorgang automatisch ermöglichen. So ist der Übergang ins Langzeitgedächtnis möglich (vgl. Schmidt / Schaible 2006, S.416-418).

Die Inhalte des Kurzzeitgedächtnisses können also als Aktivierung von Neuronen, als Hirnaktivität, definiert werden (vgl. http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/GEDAECHT-NIS/ModelleSpeicher.shtml, 04.12.2015).

2.2.5.2 Langzeitgedächtnis

Die Inhalte des Langzeitgedächtnisses sind dagegen in Form von Verbindungen zwischen Neuronen gespeichert, also als Hirnstruktur. Gedächtniskonsolidierung ist die Folge. Die Überführung der Information vom Kurzzeitgedächtnis ins Lang-zeitgedächtnis kann man mit der Langzeitpotenzierung (LTP) erklären, wobei die Amplitude und Dauer der exzitatorischen postsynaptischen Potenziale durch die Erhöhung von wiederholten Stimulationen der Neuronen im gleichen Zeitraum erhöht werden. Diese geschieht im Hippocampus und Cortex.

Auch hier wird eine Erhöhung des Ca^{2+}-Einstroms bewirkt, diesmal jedoch über einen längeren Zeitraum. Beteiligt daran ist der Transmitter Glutamat, der unter anderem an den NMDA-Rezeptor bindet. Ist die Erregung ausreichend intensiv, öffnet sich der NDMA-Kanal und ermöglicht einen erhöhten Einstrom von Na^{+}- und Ca^{2+}-Ionen. Die Entblockierung von dem durch Mg^{2+} verschlossenen Kanal ist dabei nur möglich, wenn

„starke“ Synapsen am selben Dendriten zur selben Zeit aktiv sind, also zeitlich oder örtlich die Synapse im Sinne einer Hebbschen assoziativen Verbindung aktiviert wird. Im Zellinneren des dendritischen Fortsatzes, der Spines, werden dadurch Ca^{2+}-abhängige Kinasen aktiviert, die einen weiteren Einstrom von Ca^{2+}-Ionen bewirken und außerdem zu Formveränderungen der dendritischen Spines führen.
Durch eine lang anhaltende LTP wird also die Gedächtniskonsolidierung ermöglicht, indem die Strukur der Synapsen mit dendritischen Spines verändert wird (vgl. Schmidt / Schaible 2006, S. 420-423).

2.2 Was das Lernen beeinflusst

Es gibt verschiedene Faktoren, die sich günstig oder auch ungünstig auf das Lernen auswirken, wie z.B. ob das Gehirn aufmerksam ist oder nicht, motiviert oder unmotiviert, ob es Freude oder Angst empfindet, Sicherheit oder Unsicherheit, wenn alles funktioniert oder es einen Fehler macht (vgl. Spitzer 2007, S.139) .

2.2.1 Aufmerksamkeit

In welchem Maße man etwas behält hängt von Aufmerksamkeitsprozessen ab. Damit sind zwei Prozesse gemeint, erstens die Vigilanz und zweitens die selektive Aufmerksamkeit auf etwas bestimmtes (vgl. Spitzer 2007, S.155).
Vigilanz beschreibt „einen quantitativ angebbaren Zustand des Organismus, der von hellwach bis (im Extremfall) komatös reicht“ (Spitzer 2007, S.141) und betrifft die Aktivierung des Gehirns, wohingegen die selektive Aufmerksamkeit die geistige Zuwendung zu bestimmten Sachverhalten meint, während man alle anderen gezielt ausblendet (vgl. Spitzer 2007, S.141). Dadurch werden bestimmte Gehirnareale aktiviert, die für das Verarbeiten der zu behandelten Information zuständig sind.
Die Aktivierung der selektiven Aufmerksamkeit ist somit für das Einspeichern von Gedächtnisinhalten von äußerster Bedeutung (vgl. Spitzer 2007, S.156).

2.2.2 Emotionen

Um die Wirkung von Emotionen auf die Gehirnfunktion zu untersuchen, kann man die Wirkung von Stresshormonen, eine Folge negativer Emotionen wie Angst und Furcht, auf die Neuronen betrachten.
Stresshormone wirken sich negativ auf die Neuronen des Hippocampus aus. Sie vermindern die Energieversorgung im Gehirn und erhöhen die Toxizität des Neurotransmitters Glutamat. Eine erhöhte Beanspruchung und geringere Energiezufuhr

der Neuronen ist die Folge. Der Hippocampus, einer der aktivsten Strukturen im Gehirn, ist besonders betroffen. Bei chronischem Stress können hippocampale Schäden und Leistungsverminderungen mit einher gehen, obwohl kurzzeitiger Stress das Einspeichern von neuen Inhalten fördert (vgl. Spitzer 2007, S.171).
Ohne Angst kann besser assoziiert und gelernt werden und ein kreativeres Verhalten ist möglich. In Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass beim Einspeichern von Informationen diejenigen am besten gespeichert wurden, die unter einem positiven emotionalen Kontext eingespeichert wurden (vgl. Reich 2005, S. 51).

2.2.3 Motivation

Abhängig ist die Motivation von den Dopaminsystemen im Gehirn. Dopamin ist ein Botenstoff, der von den dopaminergen Neuronen ausgeschüttet wird und unterschiedliche Funktionen an unterschiedlichen Orten erfüllt.
Das dritte Dopaminsystem, neben dem der Steuerung von Bewegungsabläufen und dem der Steuerung von bestimmten Hormonen, ist an Erleben und Verhalten beteiligt. Unser Gehirn ist kontinuierlich damit beschäftigt, vorherzusagen und zu berechnen, was als nächstes geschehen wird. Für die Bewertung von Reizen ist Dopamin zuständig. Bedeutsam ist dabei für uns, was neu, was gut für uns und was besser ist, als wir das zuvor erwartet hätten. Wenn Ereignisse eintreten, die sich von den Berechnungen des Gehirnes positiv abheben, wird gelernt. Das passiert deshalb, weil gelernt wird, was positive Konsequenzen hat und so der Organismus im Laufe der Zeit sein Verhalten optimiert. So treibt dieses System den Menschen an, motiviert seine Handlungen und bestimmt, was gelernt wird (vgl. Spitzer 2007, S. 195).
Ist man unmotiviert, durch weniger spannendere Umwelteinflüsse und weniger Interesse, Abwechslung oder andere Umstände, wird außerdem die Speicherkapazität im Kurzzeitgedächtnis herabgesetzt (vgl. http://arbeits-blaetter.stangl-taller.at/GEDAECHTNIS/ModelleSpeicher.shtml, 04.12.2015).

3 Ergebnisteil II - Das Lernspiel „Biological Pursuit“

3.1 Vorlage: „Trivial Pursuit“

„Trivial Pursuit“ ist ein Gesellschaftsspiel ab 15 Jahren für 2-36 Spielern, welches als „Jagd ums Allgemeinwissen“ beschrieben werden kann.

Ziel dieses Spiels ist es durch Beantwortung der Fragen in den verschiedenen Kategorien (Erdkunde; Unterhaltung; Geschichte; Kunst und Literatur; Wissenschaft und Technik; Sport und Vergnügen) seinen Spielstein (eine Art Torte) als erster mit den so genannten „Purtings“ (die Totenstücke) zu füllen.

„Trivial Pursuit“ existiert in 19 Sprachen in 33 Ländern, wurde bis zum Jahre 2012 bereits über 90 Millionen Mal verkauft (Stand 2012) und liegt in über 30 verschiedenen Editionen vor (vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Trivial_Pursuit, 07.10.2015 / vgl. http://www.hilfreich.de/trivial-pursuit-von-parker-die-verschiedenen-editionen_9183, 09.10.2015).

Die Idee zu diesem Spiel hatten die zwei kanadische Journalisten Chris Haney und Scott Abott im Jahre 1979 und brachten es 1981 mit Unterstützung von Haney's Bruder und einem Freund in Kanada auf den Markt.

In Deutschland wurde „Trivial Pursuit“ im Jahre 1984 zum ersten Mal verkauft (vgl. http://www.focus.de/kultur/leben/trivial-pursuit-was-wissen-sie-ueber-deutschland_aid_463255.html, 07.10.2015; Artikel vom 15.12.2009).

„Trivial Pursuit“ kann mit 2 bis 36 gespielt werden. Das Ziel des Spieles ist, möglichst schnell seinen Wissensspeicher zu füllen. Dies gelingt, indem man möglichst viele Fragen richtig beantwortet.

Bei 2 bis 6 Spielern wählt jeder Spieler einen Wissensspeicher und stellt ihn auf das Zentrum des Spielfeldes. Nachdem der erste Spieler gewürfelt hat stellt er seinen Wissensspeicher die entsprechende Anzahl Felder nach außen. Von einem Mitspieler wird ihm die Frage einer Fragekarte gestellt, die der Farbe des Feldes entspricht auf dem er gelandet ist. Es darf solange gewürfelt werden, bis eine Frage falsch beantwortet wird, dann ist der nächste Spieler an der Reihe. Es muss versucht werden, durch geschicktes Setzen auf Eckfeldern zu landen. Wir die Eckfeldfragen richtig beantwortet bekommt man eine Wissensecke. Wurden Eckfelder jedes Themenbereich – es gibt Erdkunde, Unterhaltung, Geschichte, Kunst und Literatur, Wissenschaft und Technik und Sport und Vergnügen - richtig beantwortet, muss der Spieler in die Mitte zurückkehren und eine Fragebeantworten, deren Themenbereich seine Mitspieler

aussuchen dürfen. Der Spieler, der als erstes seinen Wissensspeicher gefüllt und die Letzte Frage beantwortet hat, hat gewonnen. Mit 36 Mitspielern werden bis zu 6 Mannschaften gebildet, in denen jedem Spieler ein „Expertenstatus“ für einen Themenbereich übertragen wird.

3.2 Konzeptionierung und Erstellung von „Biological Pursuit“

Nach der Vorlage des Lernspiels “Trivial Pursuit” haben wir ein vom Aufbau her gleiches Lernspiel erstellt. Ausgerichtet ist dies auf die abiturrelevanten biologischen Themen, um den Schülern im Leistungskurs Biologie die Vorbereitungen auf das Abitur zu erleichtern. Dabei haben wir in einer Projektgruppe von vier Schülerinnen gearbeitet, wobei jede einen Themenbereich der Genetik, Neurophysiologie, Ökologie und Evolution bearbeitet und die entsprechenden Aufgaben- und Antwortkarten erstellt hat.
Diese stellen die vier Kategorien bei “Biological Pursuit” dar. Die Karten sind so aufgebaut, dass auf der Vorderseite ein Begriff oder eine Frage in kursiver Schrift steht. Die Rückseite ist mit der passenden Definition oder Antwort bedruckt (s. Anhang).
Das Spiel kann man in zwei Versionen spielen, zum einen mit 2-4 Spielern, also jeder spielt für sich selber. Es ist jedoch auch möglich mit bis zu 16 Spielern eine Lerneinheit zu bilden, indem vier Gruppen à vier Schülern gebildet werden. Während des Spiels wird gewürfelt und der Spieler, der an der Reihe ist, versetzt seinen Wissenscontainer um die gewürfelte Anzahl auf dem Spielbrett (s. Anhang). Je nachdem, welches Feld erreicht wird, muss eine Frage zu dem entsprechenden Themenbereich beantwortet werden. Kommt man während des Spiels auf das Zentrum, darf man sich einen Themenbereich, von dem eine Karte gezogen wird, aussuchen. Entspricht die Antwort des Spielers der Antwort auf den Karten, darf er noch einmal würfeln. Ist die Antwort falsch, ist der nächste an der Reihe. Durch die Beantwortung der Fragen füllt man seinen “Wissenscontainer”, da man pro richtige Antwort auf einem der Eckfelder eine Wissenssäule erhält. Ist dieser vollständig besetzt, darf man die Abschluss-Aufgabe im Zentrum beantworten, was das Ziel des Spiels darstellt. Die Kategorie der Abschluss-Aufgabe wird von den restlichen Mitspielern ausgewählt, noch bevor eine konkrete Karte gezogen wird.

4 Diskussion und Ausblick

Lernen bedeutet im Gehirn Veränderungen von Synapsen, Neuronen, und cortikalen Karten. Bei dem von uns entwickelten Lernspiel „Trivial Pursuit“ ist das deklarative, explizite Behalten, welches im Hippocampus passiert, also die bewusste Speicherung von Fakten über die abiturrelevanten Themen der Biologie erwünscht. Um diese Informationen für einen längeren Zeitraum zu speichern und zu jedem späteren Zeitraum abrufen zu können, ist eine Speicherung der Informationen im Langzeitgedächtnis notwendig. Da die Schüler/Schülerinnen, die die Zielgruppe des Spiels darstellen, im Biologie-Unterricht die Informationen schon einmal gehört/gesehen und sich mit diesen auseinandergesetzt haben, bewirkt das wiederholte Auseinandersetzen während des Spielens den Übergang der Informationen vom Kurzzeitgedächtnis ins Langzeitgedächtnis. Die beteiligten Neurone werden erneut stimuliert und eine Langzeitpotenzierung wird erreicht. Die Verbindungen werden durch Formveränderungen verstärkt und ermöglichen eine lange Speicherung. Ist die Speicherung der Informationen des Spiels erfolgreich, bilden sie zusammen mit dem Vorwissen die Gesamtheit des Gedächtnisinhaltes und später reicht ein Einzelaspekt, um die Gesamtsituation der einzelnen Fakten zu reproduzieren.

Dabei spielen die äußeren Faktoren eine große Rolle. Jeder Schüler kann sich zu Hause die zu lernenden Fakten wiederholt durchlesen, eine lange Speicherung dieser ist jedoch nicht immer die Folge. Das Lernspiel bietet zusätzlich zur wiederholten Auseinandersetzung mit den biologischen Themen die richtigen äußeren Faktoren.

Die selektive Aufmerksamkeit wird erreicht, da Schüler sich beim Spielen komplett auf das Spiel konzentrieren und dadurch weniger leicht abgelenkt werden können als zum Beispiel zu Hause am Schreibtisch.

Ein positiver, emotionaler Kontext, der sich verbessernd auf die Speicherung auswirkt, kann leichter beim Spielen zustande kommen. Mit Mitschülern und Freunden zusammen wird automatisch Spaß erzeugt und man kann die Wichtigkeit und den Zwang, sich die Fakten merken zu müssen, während des Spielens ausblenden. Stress während des Lernens, der durch Stresshormone negativ auf die Neuronen des Hippocampus wirken kann, wird somit leichter umgangen.

Zuletzt spielt der Aspekt der Motivation eine große Rolle. Dies hängt natürlich zu einem großen Teil vom Schüler selbst ab. Ist man nicht motiviert beziehungsweise besitzt kein Interesse an den im Spiel benutzten Informationen und dem Spielen selber, kann die Speicherung der Informationen nicht ausreichend stattfinden. Da „Trivial Pursuit“ eine

Vorbereitung auf das Abitur darstellt, besitzt der Schüler, der das Spiel freiwillig spielt, vermutlich eine gewisse Eigenmotivation, die intrinsische Motivation. Noch hinzu kommt die Motivation des Spielens selber, also als Erster seinen Wissenscontainer gefüllt zu haben und somit das Spiel zu gewinnen. Wird mit dieser Grundeinstellung der Vorgang der Speicherung bewältigt, ist diese effektiver und schneller.

Das Spiel „Trivial Pursuit“ beinhaltet noch weitere Faktoren, die sich günstig auf das Behalten im Gehirn auswirken. Jeder Spieler ist die ganze Zeit in das Spiel eingebunden, entweder durch die Beantwortung einer Frage oder das Stellen einer Frage. Selbst wenn man nicht an der Reihe ist, wird mitgedacht. Dies und auch das Helfen bei anderen Fragen bewirken zusätzliche Wiederholungen der Informationen. Diese Wiederholungen und das Elaborieren, die absichtliche Verknüpfung mit in diesem Fall dem Vorwissen, wirken sich zusätzlich positiv auf das Lernen aus.

Das von uns entwickelte „Lernspiel“ ist also als Hilfe für das Lernen für das Abitur gedacht, wobei eine gewünschte Speicherung der Informationen der vier Teilbereiche Genetik, Neurophysiologie, Ökologie und Evolution das Ziel ist. Sind die Mitspieler positiv gestimmt, interessiert an den Themen und bereit, das Spiel als Lernmöglichkeit zu sehen, wirkt sich das alles positiv auf die Speicherung der Informationen im Gehirn aus und ermöglicht den Übergang vom Kurzzeitgedächtnis ins Langzeitgedächtnis.

Das Spiel „Trivial Pursuit“ kann also am effektivsten Schülern der Oberstufe mit Abitur- oder sogar Leistungsfach Biologie zur Verfügung gestellt werden. Dabei muss beachtet werden, dass während einer Runde nicht alle Informationen des Spiels zum Zuge kommen können, und es somit keine ausreichende alleinige Vorbereitung der Themenbereiche darstellt.

5 Literatur- und Quellenverzeichnis

Markl, Prof. Dr. Jürgen (hrsg) ([1]2010): Markl Biologie. Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart.

Reich, Eberhard (2005): Denken und Lernen – Hirnforschung und pädagogische Praxis. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

Schaible, Hans-Georg (Hrsg) / **Schmidt**, Robert F. (Hrsg) ([5]2006): Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer Medizin Verlag, Heidelberg.

Spitzer, Manfred (2007): Lernen – Gehirnforschung und die Schule des Lebens. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.

o. A. : Trivial Pursuit. https://de.wikipedia.org/wiki/Trivial_Pursuit, 07.10.2015

o.A.: Trivial Pursuit von Parker: Die verschiedenen Editionen. http://www.hilfreich.de/trivial-pursuit-von-parker-die-verschiedenen-editionen_9183, 09.10.2015

o.A.: http://www.focus.de/kultur/leben/trivial-pursuit-was-wissen-sie-ueber-deutschland_aid_ 463255.html, 07.10.2015

o.A.: Speicherabhängige Gedächtnisformen. http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/GEDAECHTNIS/ModelleSpeicher.shtml, 04.12.2015

Bilderverzeichnis

Abb. 1: http://www.liss-kompendium.de/hirnforschung/Roth-Bild1.jpg

Abb. 2: https://de.wikipedia.org/wiki/Gehirn#/media/File:Gehirn,_lateral_-_Lobi_%2B_Stammhirn_%2B_Cerebellum_deu.svg

Abb. 3: http://www.airflag.com/Hirn/w3/nerv.jpg

Abb. 4: http://www.medizinfo.de/kopfundseele/alzheimer/images/synaptische_uebertragung.gif

6 Anhang

6.1 Abbildungen

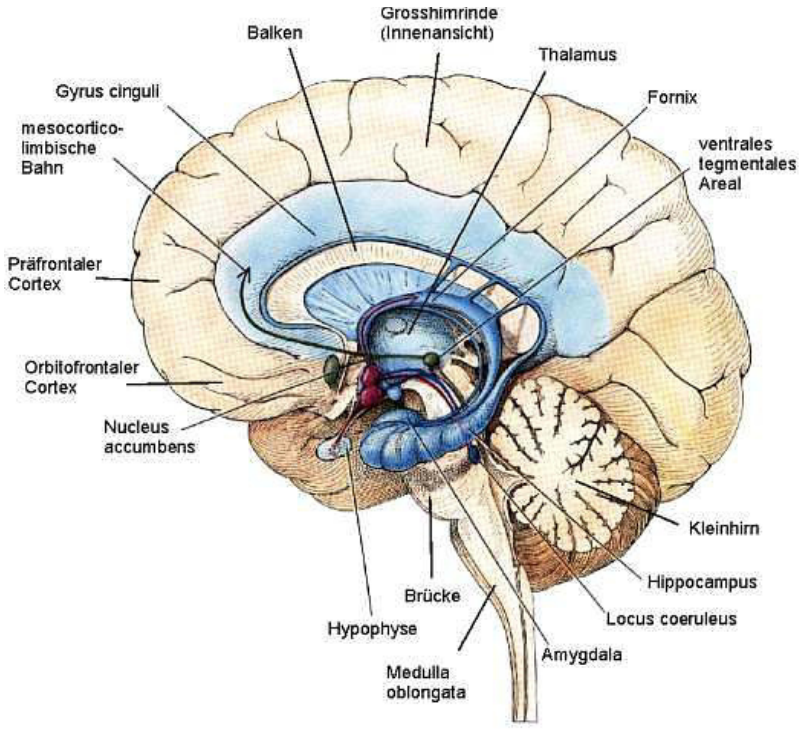


Abbildung 1: Aufbau des menschlichen Gehirns (http://www.liss-kompendium.de/hirn-forschung/Roth-Bild1.jpg)

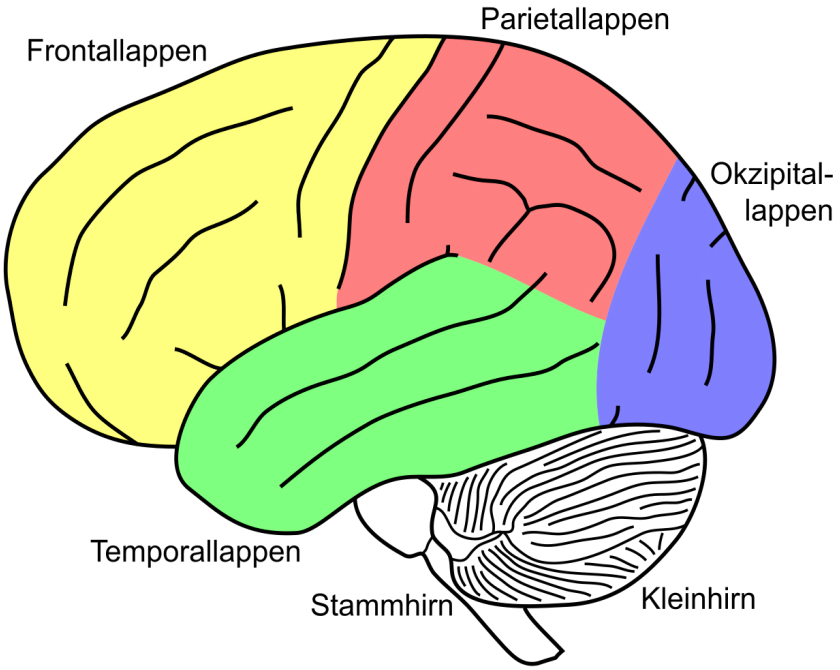


Abbildung 2: Modellhafte Darstellung der einzelnen Bereiche der Großhirnrinde des Menschen (https://de.wikipedia.org/wiki/Gehirn#/media/File:Gehirn,_lateral_-_Lobi_%2B_Stammhirn_%2B_Cerebellum_deu.svg)

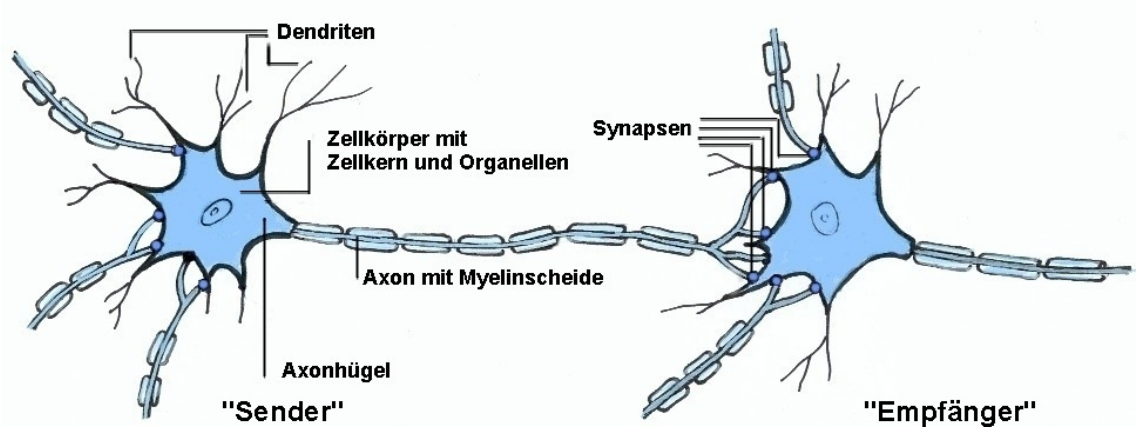


Abbildung 3: Aufbau und Verschaltung zweier Neurone (http://www.airflag.com/Hirn/w3/nerv.jpg)

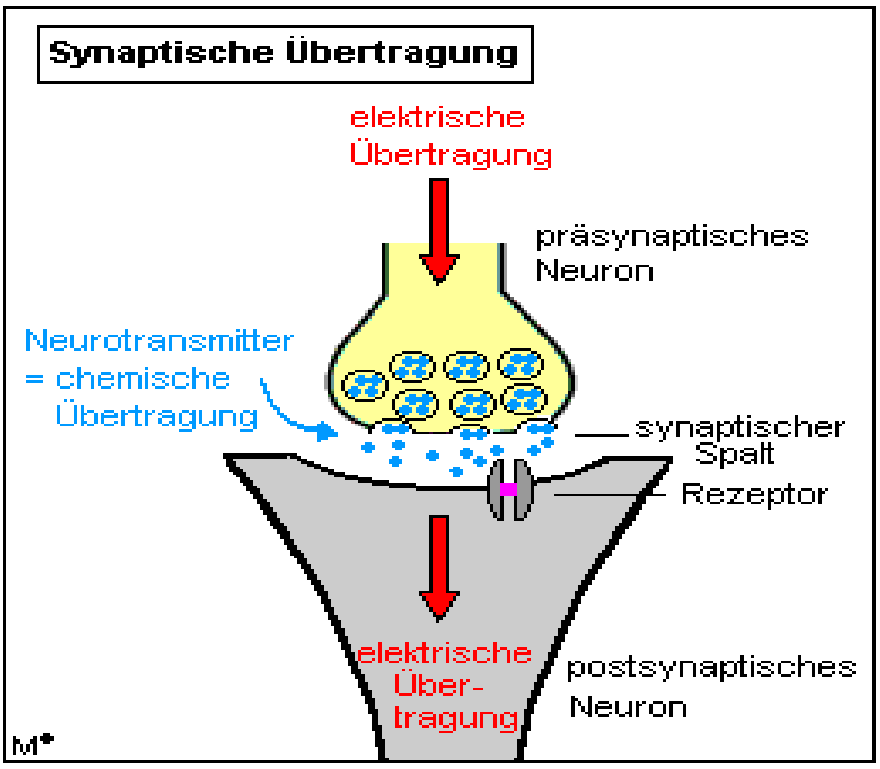


Abbildung 4: Übertragung eines elektrischen Signals an einer Synapse (http://www.medizinfo.de/kopfundseele/alzheimer/images/synaptische_uebertragung.gif)

6.2 Spielanleitung

Biological Pursuit

Spielbeschreibung

Anzahl der Spieler

Es können 2 bis 16 Spieler an Biological Pursuit teilnehmen. Zunächst wird der Spielverlauf für 2 bis 4 Spieler erklärt; danach folgen die Regeln für bis zu 16 Spielern.

Spielausstattung

- 1 Spielbrett
- 1 Kartenbox
- Aufgaben- und Antwortkarten
- 4 Spielsteine (Wissenscontainer)
- 16 Wissenssäulen (4 pro Farbe)
- 1 Würfel
- Papier und Stift
- optional: Sanduhr oder Stoppuhr

Ziel des Spiels

Ziel von Biological Pursuit ist es, möglichst schnell den Wissenscontainer mit Wissenssäulen zu füllen, um dann schließlich die Abschluss-Aufgabe im Zentrum beantworten zu dürfen.

Spielvorbereitung (2 bis 4 Mitspieler)

Jeder Spieler wählt einen Wissenscontainer als seinen Spielstein aus und legt sich 4 Wissenssäulen, von jeder Farbe eine, vor sich hin. Diese Wissenssäulen muss man sich während des Spielverlaufs verdienen. Die Wissenscontainer werden zum Start in das Zentrum des Biological Pursuit-Rades auf das Spielbrett gestellt.

Jeder Spieler würfelt einmal; der Spieler mit der höchsten Zahl beginnt. Danach kommt jeweils der Spieler zur Linken an die Reihe.

Spielablauf

Nachdem der erste Spieler gewürfelt hat, setzt er seinen Spielstein (Wissenscontainer) aus dem Zentrum auf einer beliebigen Speiche des Rades um die entsprechende Anzahl von Feldern nach außen. Er landet dabei z.B. auf einem blauen Feld. Nun wird ihm die blaue Genetik-Aufgabe von einer Aufgaben- und Antwortkarte von einem Mitspieler vorgelesen. Kann er die Aufgabe lösen, darf er noch einmal würfeln; ist die Antwort nicht richtig, ist sein Mitspieler zur Linken mit Würfeln an der Reihe.

Die Aufgaben- und Antwortkarten werden aus dem jeweiligen Farbfach der Kartenbox von hinten der Reihe nach gezogen und nach Gebrauch vorne wieder eingeordnet. Mischen ist nicht erforderlich.

Jeder Spieler muss nun versuchen, durch geschicktes Setzen auf ein Eckfeld zu gelangen. Die Eckfelder sind jeweils die durch farbige Wissensecken markierten Schnittpunkte von den 4 Speichen mit dem äußeren Rad.

Kommt ein Spieler auf ein Eckfeld und kann die Aufgabe lösen, so darf er seinen Wissenscontainer mit der entsprechenden Wissenssäule, die noch vor ihm liegt, versorgen. Er muss nun noch auf die restlichen Eckfelder gelangen, um so – Aufgaben jeweils richtig gelöst - seinen Wissenscontainer nach und nach zu füllen.

Die Farben bedeuten im Einzelnen:
Blau ..... Genetik
Gelb ..... Neurophysiologie
Grün ..... Ökologie
Orange ..... Evolution

Das Setzen kann grundsätzlich in jede Richtung erfolgen: auf dem äußeren Rad, abknickend auf eine Speiche, von einer Speiche über das Zentrum auf eine andere Speiche. Das Zentrum ist ein neutrales Feld, bei dem sich der auf ihm verweilende Spieler den Fragebereich alleine aussuchen kann. Die besonders gekennzeichneten weißen Würfelfelder (8 Felder auf dem Rad) gestatten dem Besucher ein nochmaliges Würfeln, ohne eine Aufgabe bearbeiten zu müssen.

Spielende

Nachdem ein Spieler seinen Wissenscontainer mit 4 Wissenssäulen gefüllt hat, muss der „Alleswisser" möglichst schnell in das Zentrum des Rades zurückkehren, um dort die letzte Aufgabe zu seinem Sieg zu lösen.

Gemeinerweise bestimmen jedoch seine Mitspieler den Aufgabenbereich noch bevor die Karte aus der Box gezogen wird. Kann der Siegesanwärter die Aufgabe lösen, so steht der Sieger fest; wird die Antwort jedoch nicht als richtig akzeptiert, so muss der Siegesanwärter das Zentrum bei seinem nächsten Würfeln wieder verlassen, um dann einen neuen Versuch zu starten.

Da eine richtige Antwort immer ein weiteres Setzen bedeutet, kann es vorkommen, dass ein Spieler gleich beim ersten Zug alle Aufgaben löst und gewinnt. In diesem Fall darf jeder Spieler, der noch nicht an der Reihe war, würfeln und versuchen, das gleiche Ergebnis zu erzielen. Bei einem Gleichstand entscheidet ein weiteres Spiel.

Spieltips

1. Das Setzen über das Zentrum hinweg gibt dem Spieler die Möglichkeit, sich den Aufgabenbereich selbst aussuchen zu können, da die Reihenfolge der Farben auf den Speichen unterschiedlich ist.
2. Ein Feld kann von mehreren Wissenscontainern gleichzeitig genutzt werden.
3. Es gibt prinzipiell keine Zeitbegrenzung zur Beantwortung einer Frage. Darüber, und ob eine Frage vollständig richtig beantwortet worden ist, entscheiden die Mitspieler selbst. Durch den optionalen Einsatz einer Sanduhr oder einer Stoppuhr kann, um das Spiel zu verschärfen und zu beschleunigen, jedoch auch ein Zeitlimit für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen festegelegt werden.

Biological Pursuit als Mannschaftsspiel (bis zu 16 Spielern)

Das Spiel eignet sich hervorragend als Mannschaftsspiel. So werden alle Spieler in 4 Mannschaften aufgeteilt und jedem ein „Expertenstatus" für einen Aufgabenbereich übertragen. Bitte von vorn herein vereinbaren, ob Mannschaftsberatungen stattfinden dürfen oder nicht.

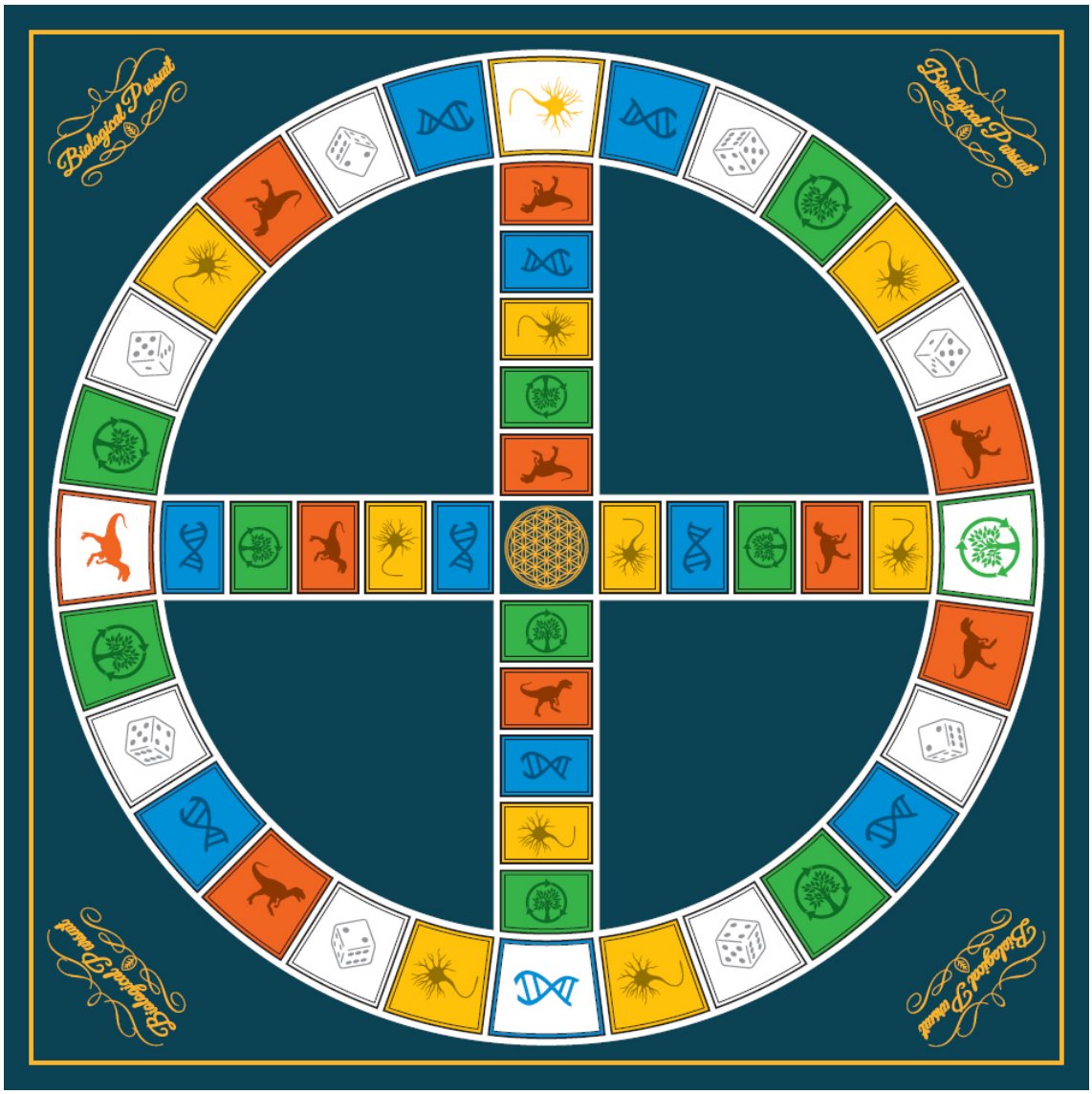
Kontakt

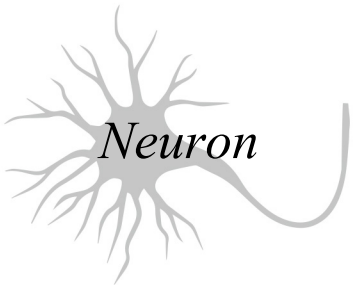
Dr. Florian Schaller
Schiller-Schule Bochum
Waldring 71
44789 Bochum

Telefon: 0234/9304411
E-Mail: 169171@schule.nrw.de
Homepage: www.schiller-schule.de
Homepage: www.schiller-mobil.de

*Mo*lekular*bi*ologisches *L*abor
Schiller-Schule Bochum
Städtisches Gymnasium für Jungen und Mädchen
Sekundarstufe I und II

6.3 Spielbrett



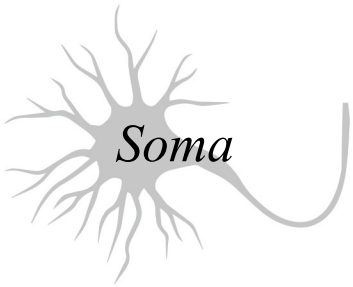


Neuron

Sensorische Nerven

Motoneuron

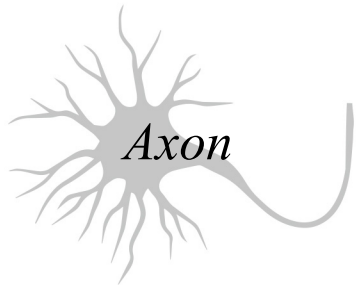
Interneuron



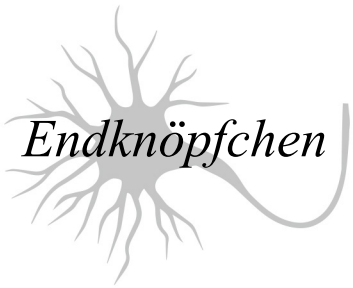
Soma

Dendriten

Axonhügel



Axon



Endknöpfchen

Aktionspotenzial

- Kleine Anschwellungen an den Axonendigungen, die mit den Folgezellen Synapsen bilden
- in ihnen befinden sich Vesikel mit Neurotransmittern

- Während der Erregung des Axons gemessener zeitlicher Verlauf des Membranpotenzials
- Pflanzt sich über das Axon durch Veränderung der Ionenkanäle fort
- Nach überschwelligem Reiz folgt Reaktion nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip:
  1) Depolarisation
  2) Repolarisation
  3) Hyperpolarisation

- Überschreiten die dendritischen Signale einen Schellenwert, erzeugt der Axonhügel, die Zellmembran am Anfang des Axons, ein Aktionspotenzial bzw. eine Aktionspotenzialfrequenz

- Fortsatz eines Neurons, der elektrische Nervenimpulse vom Soma weg leitet
- bei Wirbeltieren mit Myelinscheide → saltatorische Erregungsleitung (sehr schnell)
- bei Wirbellosen ist Leitungsgeschwindigkeit abhängig von Durchmesser (deutlich langsamer)

- Zellkörper eines Neurons, enthält Zellkern, endoplasmatisches Reticulum und einen Großteil der Organellen, die den Stoffwechsel und die Poteinbiosynthese bewerkstelligen

- Kurze, sich verjüngende und stark verzweigende Zellfortsätze; gehen vom Soma aus
- Bilden immer den Postsynaptischen Teil und leiten die PSP weiter bis diese (unter Abnahme) zum Axonhügel gelangen und dort überlagert werden (Summation)
- Je größer der Abstand zwischen der Synapse am Dendrit zum Axonhügel, desto geringer der Einfluss auf das Generatorpotenzial

- Motorisches Neuron
- Steht in Kontakt mit den Muskelzellen und löst eine Bewegung aus
- werden auch als efferente Nerven bezeichnet

- Neuron, das zwischen andere Neurone zwischengeschaltet ist und Signale verrechnet, verarbeitet und weiterleitet
- Einfachste Form in Reflexbögen
- Keine sensorische oder motorische Aufgabe
- Daher überwiegende Anteil der Neurone im ZNS Interneurone
- Meist inhibitorisch

- Nervenzelle
- Spezialisierte Zellen, die die von den Sinneszellen wahrgenommenen Reize empfangen, verarbeiten, codieren und in Form von elektrischen Erregungen bzw. ausgeschütteten Neurotransmittern weitergeben

- Werden auch als afferente Nerven bezeichnet
- Gehören zum peripheren Nervensystem
- Leiten die Erregung von den Sinneszellen zum Gehirn bzw. zum Rückenmark (ZNS)

Synapse

Adäquater Reiz

Sinneszelle

Effektoren

Gliazelle

Oligodendrocyten

Schwann'sche Zellen

Myelinscheide

Mikrogliazellen

Astrocyten

- Funktion: Beseitigung von Zelltrümmern
- „Gesundheitspolizei“ des Gehirns

- Funktion: Nährstoffversorgung der Neuronen
- Beteiligt an Blut-Hirn-Schranke

- Produzieren die lipidreiche Substanz Myelin
- Myelinschichten isolieren das Axon des peripheren Nervensystems bis auf die Ranvier'schen Schnürringe
- Membranwiderstand wird erhöht und elektrische Kapazität wird vermindert

- Umhüllung eines Axons durch Schwann‘sche Zellen, die durch Ranvier‘sche Schnürringe eine schnellere Reizweiterleitung ermöglichen

- Neuronen sind von Gliazellen umgeben
- erfüllen Schutz-, Stütz- und Ernährungsfunktion
- Zentralnervensystem: Oligodendrocyten
- Periphere Neuronen: Schwann'sche Zellen

- Gliazellen des Zentralnervensystems
- Umhüllen gleich mehrere Axone abschnittsweise und halten diese so auch zusammen

- Rezeptorzelle
- Spezialisierte Zelle, die adäquate äußere und innere chemische oder physikalische Reize in ein Rezeptorpotenzial umwandelt, wodurch bei Überschreitung des Schwellenwertes Aktionspotenziale entstehen können

- Erfolgsorgane, -zellen oder -organellen, die die Reaktion eines Organismus auf Reize ausführen
- z. B. Muskeln oder Drüsen

- Kontaktstelle zwischen Endknöpfchen und Folgezelle (Nerven-, Muskel- oder Drüsenzelle) zur Erregungsübertragung und Ausbreitung von Aktionspotenzialen
- präsynaptische Membran + synaptischer Spalt + postsynaptische Membran

- Reiz, für den eine Rezeptorzelle die größte Empfindlichkeit besitzt, auf den sie spezialisiert ist, z.B. Licht (Photonen) für die Sehsinneszellen

Kanal- und Transportproteine

Drei relevante Arten von Ionenkanälen

K^+-Gleichgewichtspotenzial

Natrium-Kalium-Pumpe

Membranpotenzial

Selektive Permeabilität

Drei Zustände der spannungsgesteuerten Na^+-Kanäle

Schwellenwert

Depolarisation

Repolarisation

- Änderung des Membranpotenzials in Richtung positiver (bzw. weniger negativer) Werte
- Na^+ -Ionen strömen in das Innere des Neurons, die Membran wird innen um rund 100 mV positiver
- +30 mV

- Na^+ -Kanäle schließen sich
- K^+ -Kanäle öffnen sich und K^+ strömt aus
- Zellinneres lädt sich wieder negativ
- Hyperpolarisierendes Nachpotenzial kann entstehen

- Geschlossen und aktivierbar: Aktivierungstor
- Offen
- Sekundär geschlossen und nicht aktivierbar (=refraktär): Inaktivierungstor

- muss überschritten werden, damit Aktionspotenziale folgen
- Membranpotenzial muss durch elektrische Erregung 5 bis 10 mV positiver als das Ruhepotenzial werden, damit sich die Aktivierungstore der spannungsgesteuerten Na+-Kanäle öffnen und ein Aktionspotenzial entsteht

- Elektrische Spannung über elektrochemischer Doppelschicht (Membranpotenzialdifferenz)
- Ruhepotenzial liegt bei ca. –70mV

- Biomembran lässt nur bestimmte oder sehr kleine Moleküle durch
- Beim Neuron ist die Membran selektiv permeabel für Kalium

- Kalium-Kanäle im Ruhezustand geöffnet
- Kalium diffundiert dem Konzentrationsgradienten entlang aus der Zelle aus (außerhalb wenig Kalium)
- Jedes ausströmende Kalium-Ion erhöht negativen Ladungsüberschuss innerhalb der Zelle → positiv geladenes Kalium wird von negativ geladener Zelle angezogen

- Unter Anwendung von Energie (ATP → ADP+P)
- Schafft den Natriumausgleich in der Zelle während des Ruhepotenzials
- 2 Kalium-Ionen rein, gleichzeitig 3 Natrium-Ionen aus der Zelle raus

- erzeugen eine elektrische Leitfähigkeit der Membran (erlauben unter bestimmten Umständen den Durchtritt von kleinen Ionen)
- In ihrem offenen Zustand wassergefüllte Poren in der Membran, also Ionenkanäle

- Spannungsgesteuerte Na- und K-Kanäl (öffnen sich bei bestimmten Membranpotenzial, zuständig für das Zustandekommen von Aktionspotenzialen)
- Ligandengesteuerte Ionenkanäle (öffnen sich beim Andocken von spezifischen Botenstoffen)
- Mechanosensitive Ionenkanäle (öffnen sich durch mechanische Verformung der Membran, in manchen Sinneszellen)

Hyperpolarisation

Alles-oder-Nichts-Prinzip

Welche Rolle spielt die Refraktärzeit bei der Signalausbreitung am Axon?

Leitungsgeschwindigkeit

Bedeutung der Isolation durch Gliazellen

Ranvier'sche Schnürring

Saltatorische Erregungsleitung

Überschwelliger Reiz

Einfache Nervenverschaltung

Afferente Nerven

- Übertragung eines Signals von einem sensorischen auf einen motorischen Neuron im zuständigen Lendensegment des Rückenmarks
- Führt zur immer gleichen Reaktion, ein **Reflex**

- Nervenbahn vom Rezeptor (Sinneszelle) zum Rückenmark/Gehirn (Zentralnervensystem)

- Aktionspotential scheint von Schnürring zu Schnürring zu springen (saltare (lat.): springen)
- Über den isolierten Abschnitt des Axons kann sich das Signal elektrotonisch ausbreiten und den nächsten freiliegenden Abschnitt des Axons früher bis zum Schwellenwert depolarisieren
- Benötigt weniger Stoffwechselenergie

- Physikalischer Reiz ist stark genug, um die Reizschwelle des Rezeptorpotenzials zu überschreiten und ein oder mehrere Aktionspotenziale zu verursachen

- Hoher Membranwiderstand
- Geringe Membrankapazität (gegenpolige Ladungen werden weit voneinander getrennt, dadurch weniger gegenseitige Anziehung und können in Lägsrichtung schneller abfließen)

- Lücken zwischen Schwann'schen Zellen, Axonmembran liegt frei zur extrazellulären Flüssigkeit
- Dicht mit spannungsgesteuerten Ionenkanälen besetzt
- Aktionspotenziale können nur an diesen Stellen neu entstehen

- Aktionspotenzial kann sich vom Axonhügel aus nur in eine Richtung ausbreiten
- Dies geschieht durch die Selbsterregung des Aktionspotenzial im nächsten Abschnitt
- Na^+-Kanäle im vorherigen Abschnitt sind refraktär

- Hängt am Axon u. a. vom Durchmesser des Axons ab
- Isolation eines Neurons durch Myelin erhöht Leitungsgeschwindigkeit

- Durch K^+ -Ausstrom lädt sich das Zellinnere negativer als im Ruhezustand
- Ruhepotential wird durch Na^+ -K^+ -Pumpen wiederhergestellt

- Eine Reaktion auf einen Reiz wird entweder vollständig oder gar nicht ausgelöst
- Bei überschwelligem Reiz: spannungsgesteuerte Na^+ -Kanäle öffnen sich → Weiterleitung
- Bei unterschwelligem Reiz: nichts passiert → keine Weiterleitung

Efferente Nerven

Zwei Arten von Reflexen

Renshaw-Zelle

Reflexbogen

Chemische Synapse

Neurotransmitter

Acetylcholin-Esterase

Spezifische Rezeptoren in der postsynaptischen Membran

EPSP (erregendes postsynaptisches Potenzial)

IPSP (inhibitorisches postsynaptisches Potenzial)

- An erregender Synapse erzeugen Transmitter durch Öffnung der Na+-Kanäle eine kurzzeitige Depolarisation in der postsynaptischen Zelle, welches bei Überschreitung des Schwellenwertes am Axonhügel zur Bildung eines Aktionspotenzials führt

- An hemmender Synapse erzeugt das Aktionspotenzial bzw. der Transmitter eine kurzzeitige Hyperpolarisation der Folgezelle durch Cl-- Einstrom oder K+-Ausstrom, was ein negatives postsynaptisches Potenzial auslöst und so die Wahrscheinlichkeit für die Bildung von Aktionspotenzialen am Axonhügel senkt

- Enzym, welches spezifisch den Neurotransmitter ACh in Cholin und Acetat-CoA hydrolysiert
- Um Zeitabstand der von den Neuronen übertragenen Reize durch sofortigen Abbau des Neurotransmitters so kurz wie möglich zu halten

- Werden durch Neurotransmitter aktiviert
- Führen zu einer veränderten Ionenduchlässigkeit der Membran
- Lösen so postsynaptische Potenziale (PSP) aus, die zu Aktionspotenzialen am Axonhügel des postsynaptischen Neurons führen können

- Präsynaptische Membran
- Synaptischer Spalt (extrazellulärer Raum): 20 nm breit
- Postsynaptische Membran
- Ermöglicht durch Neurotransmitter eine gezielte und beeinflussbare Erregungsübertragung auf ein anderes Neuron

- Botenstoff
  - Wird präsynaptisch ausgeschüttet
  - Diffundiert über den synaptischen Spalt
  - Bindet an spezifische Rezeptoren in der postsynaptischen Membran
- Substanzen, die als Neurotransmitter fungieren: Acetylcholin, Einfache Aminosäuren, Biogene Amine, Peptide

- im Rückenmark, inhibitorisches Interneuron, enthält Glycin als hemmenden Neurotransmitter
- an der rückläufigen (rekurrenten) Hemmung eines Alpha-Motoneurons beteiligt
- Selbstschutz von Mukeln: Je stärker die Innervation des Muskels, desto stärker die inhibitorische Rückkopplung, die für eine Minderung dieser Innervation sorgt
- Feinkoordination der distalen (rumpf-fernen) Anteile der Extremitäten

- Weg, den ein Reiz vom Auslöser zum reagierenden Organ nimmt

- Nervenbahnen vom Rückenmark/Gehirn zu Erfolgsorganen (Muskeln und Drüsen)

- Monosynaptische Reflexe (mit nur einer Synapse)
- Polysynaptische Reflexe (Schaltkreis ist um einen Hemmmechanismus über ein Interneuron erweitert)

Synaptische Vesikel

Erläutere die einzelnen Schritte der Übertragung eines Signals an einer chemischen Synapse!

G-Protein-gekoppelte Rezeptoren

Second messenger

Erregende Synapse

Inhibitorische Synapse

Ligand

Agonist

Antagonist

Motorische Endplatte

- Gegenspieler
- Hemmt den Agonisten und blockiert in der Synapse die Wirkung des Rezeptors, wodurch die synapsische Übertragung unterbunden wird
- Meistens Gifte
- Auch bei Muskeln gibt es das Agonist-Antagonist System

- spezialisierte Synapse, die für die Übertragung der Erregung von der Nervenfaser auf die Muskelfaser verantwortlich ist
- Durch Na+-Einstrom werden Muskelaktionspotenziale bewirkt, wodurch wiederum Calciumkanäle geöffnet werden, die eine Muskelkontraktion hervorrufen

- First messenger
- Zuständig für Signalübertragung zwischen den Zellen
- Bei der synaptischen Übertragung z.B. ACh

- gr.: „Handelnde“
- Bei Synapsen z.B. Nicotin, Muscarin (Fliegenpilzgift) und Barbiturate (Narkosemittel), die an weitere Bindungsstellen der Ionenkanäle binden
- z.B. Nikotin bewirkt Adrenalinausschüttung

- EPSP entsteht, eine Depolarisation der postsynaptischen Membran folgt

- IPSP entsteht, eine Hyperpolarisaton der postsynaptischen Membran folgt

- G steht für GTP-bindend, ein Molekül ähnlich dem ATP
- Manche wirken direkt, andere über sekundäre Botenstoffe

- Sekundärer Botenstoff
- Zuständig für Signalübertragung innerhalb der Zelle, also intrazellulär

- Mit Neurotransmittermolekülen gefüllte, membranumhüllte Bläschen
- Werden durch Exocytose (Verschmelzung mit der Membran der Präsynapse) entleert
- Werden durch Endocytose am Rand der Präsynapse zurückgewonnen und im Endknöpfchen wieder „aufgefüllt)

1. Aktionspotenzial
2. Exocytose durch Vesikel
3. Transmitterdiffusion
4. Transmitterbindung an Rezeptorkanäle
5. Depolarisation oder Hyperpolarisation des Folgeneurons

Räumliche Summation

Zeitliche Summation

Generatorpotenzial

Durch welche Mechanismen an der chemischen Synapse wird die große Komplexität der Verrechnung erreicht?

Codewechsel

Analoges Signal

Digitales Signal

Hebb'sche Lernregel

Potenzierung

Langzeitpotenzierung durch:

- Verstärkung der synaptischen Übertragung
- Unterteilt in Langzeit- und Kurzzeitpotenzierung

- Aktivierung von NMA-Rezeptor-Kanälen infolge hochfrequenter, wiederholter Depolarisation → Ca^{2+} + Na^{+}-Einstrom
- Enzymatische Phosporylierung von AMDA-Kanälen → erhöhter Ionenfluss
- Zusätzlicher Einbau von Rezeptorkanälen → Wachstum der Synapse als Grundlage des Langzeitgedächtnisses

- Frequenz-Code
- Elektrisches Signal zur Reizweiterleitung von Aktionspotenzialen nach dem „Alles-oder-Nichts-Prinzip“

- Die Effizienz einer präsynaptischen Zelle wird beim Erzeugen von Akionspotenzialen in einer Zielzelle umso größer, je häufiger diese Zellen bereits gemeinsam aktiv waren → synaptische Plastizität

- Am Axonhügel Codewechsel: Information über Erregungsstärke wird in Frequenz identischer Aktionspotenziale codiert
- Wechsel von analogem zu digitalem Signal
- deshalb keine Abschwächung bei der Fortleitung

- Amplituden-Code des PSP oder des Generatorpotenzials
- Chemisches Signal als Menge des ausgeschütteten Transmitters

- Gesamtheit der räumlichen und zeitlichen Summation von PSPs
- Signal, welches dann letztendlich am Axonhügel in eine Aktionpotenzialfrequenz umgewandelt wird

- Räumliche Summation
- Zeitliche Summation
- Überlagerung von EPSPs und IPSPs

- Addition von (unterschwelligen) Potenzialen, die von verschiedenen Synapsen ausgelöst werden
- kann stark genug werden, um am Axonhügel über dem Schwellenwert zu liegen und ein Aktionspotenzial zu erzeugen

- Auslösen eines AP‘s durch Eintreffen mehrerer unterschwelliger Potenziale innerhalb kurzer Zeit am Axonhügel

Depression

Totzeit

Elektrische Synapse

Gap junction

Rezeptorpotenzial

Signaltransduktion

Wahrnehmung

Primäre Sinneszelle

Sinnesnervenzelle

Sekundäre Sinneszelle

- Zellkern liegt weit weg und sendet Dendriten zum Ort der Reizaufnahme
- Freie Nervenendigungen (z.B. bei Schmerzrezeptoren) oder von Hüllzellen umgeben

- Rezeptorzellen, die ihre elektrische Erregung über Synapsen auf nachgeschaltete Nervenzellen übertragen

- Vorgang der Sinneswahrnehmung von z.B. physikalischen Reizen aus der Außenwelt, aber auch Innenwelt eines Lebewesens
- Bewusste und unbewusste Sammlung von Informationen eines Lebewesens über seine Sinne

- Sinneszelle, die eigene Aktionspotenziale generieren kann, da sie die Transduktion und Erregungsleitung zum ZNS über ein eigenes Axon leisten

- durch einen Reiz hevorgerufene Veränderung des Membranpotenzials einer Sinneszelle
- Amplitude des Rezeptorpotenzials hängt von der Reizintensität ab

- Signalübertragung oder Signalübermittlung
- Prozesse, mittels derer Zellen auf äußere Reize reagieren, diese umwandeln und in das Zellinnere weiterleiten

- Ansammlung von Zell-Zell-Kanälen, die die Zellmembranen zweier benachbarter Zellen durchqueren
- Gebildet aus Connexinen (aus Proteinkomplexen)
- Aufgabe: Kommunikation zweier benachbarter Zellen bei einer elektrischen Synapse

- Spannungsgesteuerte, transmitterfreie Synapse
- Ermöglicht schnelle und synchrone Ausbreitung von Aktionspotenzialen

- Abschwächung der synaptischen Übertragung
- Unterteilt in Langzeit- und Kurzzeitdepression

- Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen eines Signals und der Weitergabe an die Folgezelle
- elektrische Synapse: keine Totzeit
- chemische Synapsen mit Rezeptorkanälen: 0,1-0,5 ms Totzeit
- chemische Synapsen mit Neurotransmitter-Rezeptoren, die nicht selbst Ionenkanäle bilde: >10 ms Totzeit

Enterorezeptoren

Chemorezeptoren

Mechanorezeptoren

Photorezeptoren

Thermorezeptoren

Adaption

Kognition

Zentralnervensystem

Peripheres Nervensystem

Spinalnerv

- Teil des Nervensystems, der außerhalb des zentralen Nervensystems liegt
- Spinalnerven
- sensorische + motorische Nerven + Sympathikus und Parasympathikus

- Nerv, der über Vorder- und Hinterwurzel der einen Seite eines bestimmten Rückenmarksegmentes zugeordnet ist
- Gehören zum peripheren Nervensystem
- Beim Menschen: 31 paarige Spinalnerven

- Gedankliche Weiterverarbeitung des Wahrgenommenen
- Auffassen, Beurteilen, Assoziieren

- Gehirn und Rückenmark
- Dort befinden sich die meisten Neuronen

- Kälteempfindliche Ionenkanäle öffnen sich, wenn Hauttemperatur absinkt und Kälte-Sinneszellen werden depolarisiert
- wärmeempfindliche Ionenkanäle öffnen sich, wenn Hauttemperatur ansteigt und Wärme-Sinneszellen werden depolarisiert

- Anpassung von Sinnesorganen an unterschiedliche Reizintensitäten
- Auch von neuronalen Strukturen

- Kanäle reagieren auf mechanische Reize (z.B. Dehnung der Membran)
- Elektrische Erregungen entstehen

- Ermöglichen Lichtwahrnehmung
- Lichtrezeptor Rhodopsin
- Signalkaskade verstärkt und kann Millionen Na^+-Kanäle pro Lichtquelle schließen → negative Logik

- Sprechen z.B. auf die im Körperinneren entstehenden Reize an
- Dienen der überwiegend unbewussten Regelung Regelung zahlreicher Körperfunktion

- Messen Zustände im Inneren des Körpers (pH-Wert, Kohlenstoffdioxidanteil oder Glucosespiegel im Blut)
- Geschmacksrezeptoren:
  - Na^+-Salzrezeptoren: Na^+-Einstrom: „salzig“
  - H^+-Sauerrezeptoren: Na^+-Blockung: „sauer“
  - Zucker-, Bitter- und Geruchsrezeptoren: lösen über Signalkaskaden verstärkte Signale aus

Gehirn

Funktion vom Hirnstamm

Funktion vom Kleinhirn

Funktion vom Zwischenhirn

Funktion vom Großhirn

Hemisphären des Großhirns

Autonomes Nervensystem

Sympathisches Nervensystem

Parasympathisches Nervensystem

Cholinerge Bahnen

- Teil des autonomen Nervensystems
- Gegenspieler des sympathischen Nervensystems
- Dient dem Stoffwechsel, der Regeneration und dem Aufbau körpereigener Reserven, stellt den Körper auf Ruhe und Erholung ein
- Benutzt Acetylcholin als Neurotransmitter auf die Zielorgane

- Die ersten Neuronen schütten alle Acetylcholin als Neurotransmitter aus
- Befinden sich sowohl im sympathischen als auch im parasympathischen Nervensystem, wo sie vom Hirnstamm und Rückenmark ausgehen

- Stellt Verbindung zwischen dem zentralen Nervensystem und vielen physiologischen Körperfunktionen dar
- Vermittelt grundlegende biologische, automatisch ablaufende Anpassungen und Regulationsvorgänge im Körper (z.B. Vitalfunktionen)
- unwillkürliches Nervensystem

- Teil des autonomen Nervensystems
- Gegenspieler des parasympathischen Nervensystems
- Erhöht die nach außen gerichtete Handlungsbereitschaft, stellt den Körper auf z.B. Flucht ein
- Benutzt Noradrenalin als Neurotransmitter auf die Zielorgane

- Cortex (Großhirnrinde): 4 mm dick
- Sensorische Wahrnehmung
- Lernen und Gedächtnis
- Bewusste Verhalten

- Jede Hemisphäre mit vier Hirnlappen
- Werden durch einen Balken verbunden
- Linke Körperhälfte wird sensorisch wie motorisch von der rechten Hirnhälfte kontrolliert und umgekehrt
- Trotzdem auch Spezialisierungen

- vergleicht geplante mit momentanen Zuständen
- sendet Korrekturbefehle

- Hypothalamus: regelt physiologische Funktionen und beeinflusst Gefühle und Sexualverhalten
- Thalamus: „Pförtner zum Bewusstsein“

- Hirnstamm: Verlängertes Rückenmark, Brückenhirn, Mittelhirn
- Kleinhirn
- Zwischenhirn: Hypothalamus, Thalamus, Hirnanhangdrüse
- Großhirn mit Großhirnrinde (Cortex)

- kontrolliert lebensnotwendige Prozesse
  - Atmung
  - Kreislauf
  - Reflexe (Schlucken und Erbrechen)

Ganglien

Limbisches System

Kollaterale

Konvergenz

Divergenz

cAMP

Tonischer Rezeptor

Phasischer Rezeptor

Phasisch-tonischer Rezeptor

Spontanaktiver Rezeptor

- Codierung des eingehenden Reizes zu Beginn hochfrequent, dann konstant niedriger
- Am häufigsten vorkommend

- Ständige Codierung (auch ohne Reiz)
  - Aber Änderung des Codierungsmusters bei Reiz
  - Vorteil: Reiz in beide Richtungen wahrnehmbar

- Sie ändern ihre Impulsfrequenz bei Dauerreizung (und bei gleicher Reizstärke) nicht. Die Reizstärke wird exakt codiert.
- Biol. Sinn: Die Wahrnehmung lässt nicht durch Gewöhnung mit der Zeit nach, sondern bleibt gleich empfindlich.
- Beispiel: Hörsinneszellen

- Codierung des eingehenden Reizes nur sehr kurzzeitig:
  - Frühes Abfallen des Rezeptorpotenzials (und daher auch des Aktionspotenzials) auf Null
- Sehr empfindliche Reaktion auf Reizänderungen

- Durch die Aufzweigungen seines Axons kann das Signal eines Neurons kann an mehrere andere Neuronen übermittelt werden

- **Cyclisches Adenosinmonophosphat** ist ein biochemisch vom Adenosintriphosphat (ATP) abgeleitetes Molekül, welches als **Second Messenger** bei der zellulären Signaltransduktion dient und insbesondere zur Aktivierung von Proteinkinasen (Enzyme) führt

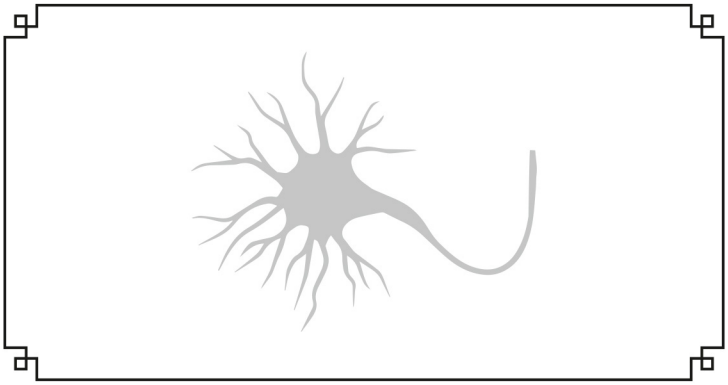
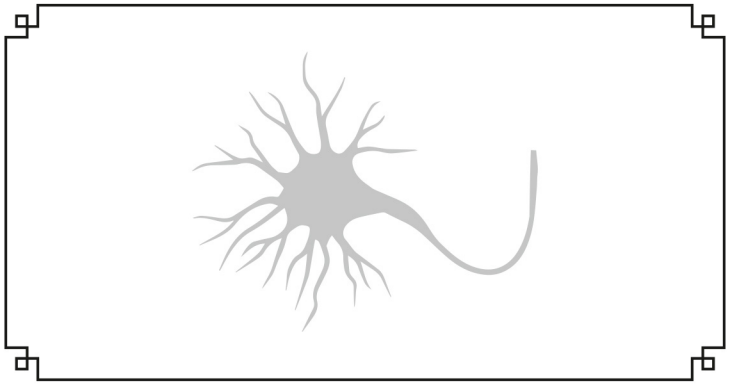
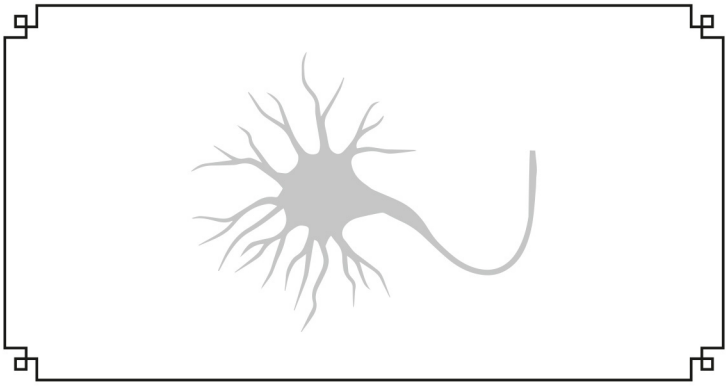
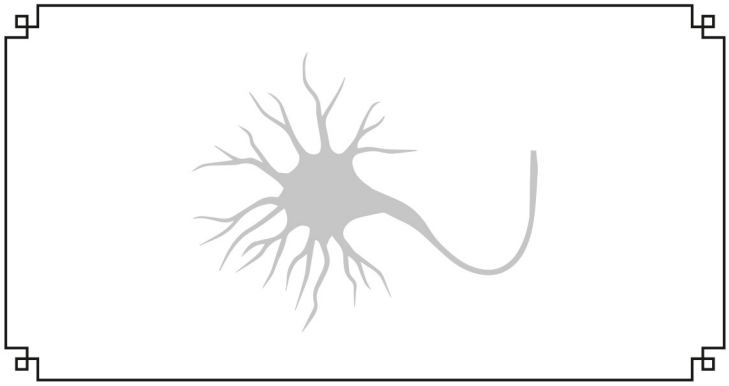
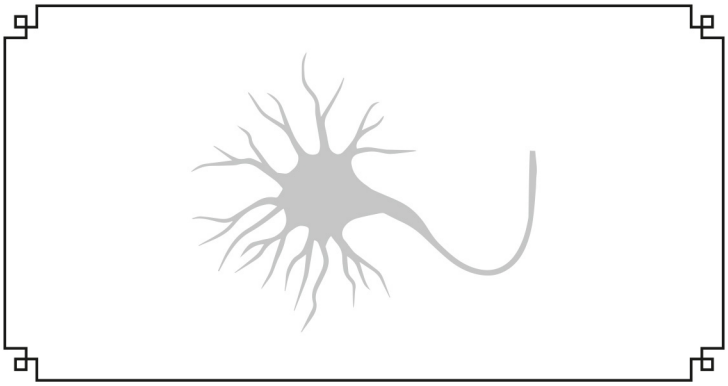
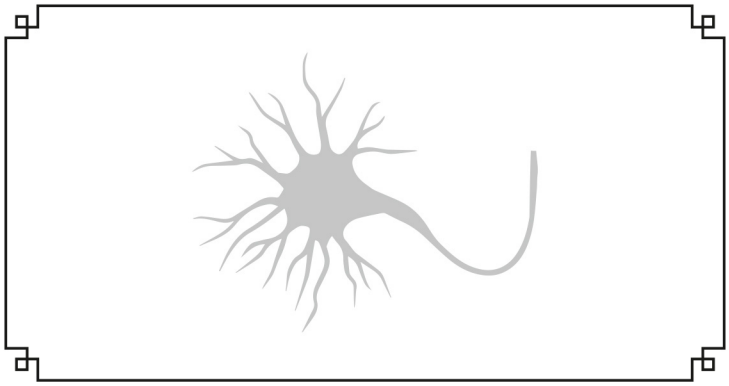
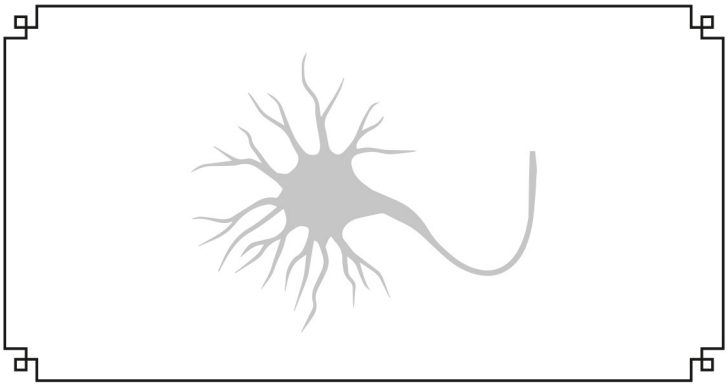
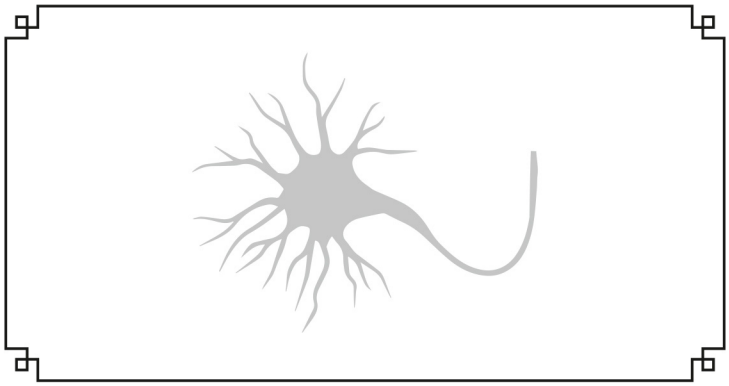
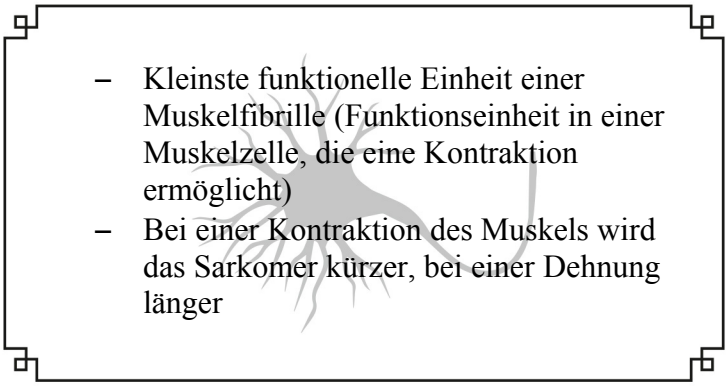
- Wenn sich ein Axon teilt und beide Teilaxone an unterschiedliche Nervenzellen enden

- Einem Neuron fließen Signale von unterschiedlichen Neuronen zu, welche sich summieren

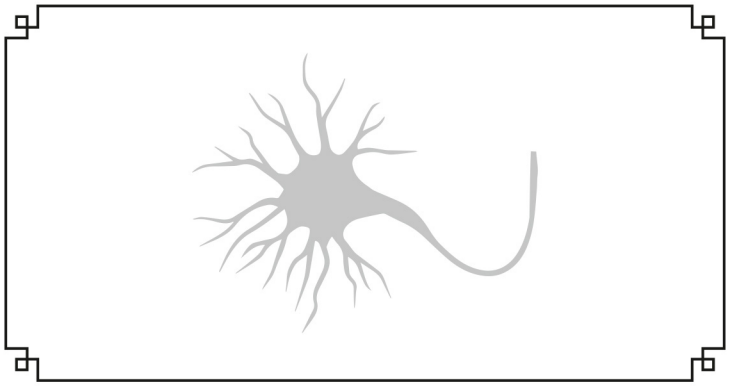
- Ansammlungen von Nervenzellkörpern außerhalb des ZNS
- Sympathisches Nervensystem: beidseitig zum Rückenmark in Grenzsträngen
- Parasympathisches Nervensystem: in der Nähe der Zielorgane oder direkt auf den Organen aufsitzend

- Umgibt den Hirnstamm wie ein Saum
- Gedächtnisfestigung
- Verarbeiten von Emotionen
- Entstehen von physiologischen Erhaltungstrieben und Instinktverhalten
- Ausschüttung von Endorphinen
- Mandelkern: Angstgedächtnis

Sarkomer

- Kleinste funktionelle Einheit einer Muskelfibrille (Funktionseinheit in einer Muskelzelle, die eine Kontraktion ermöglicht)
- Bei einer Kontraktion des Muskels wird das Sarkomer kürzer, bei einer Dehnung länger



7 Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literatur- und Quellenverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ort, Datum	Unterschrift