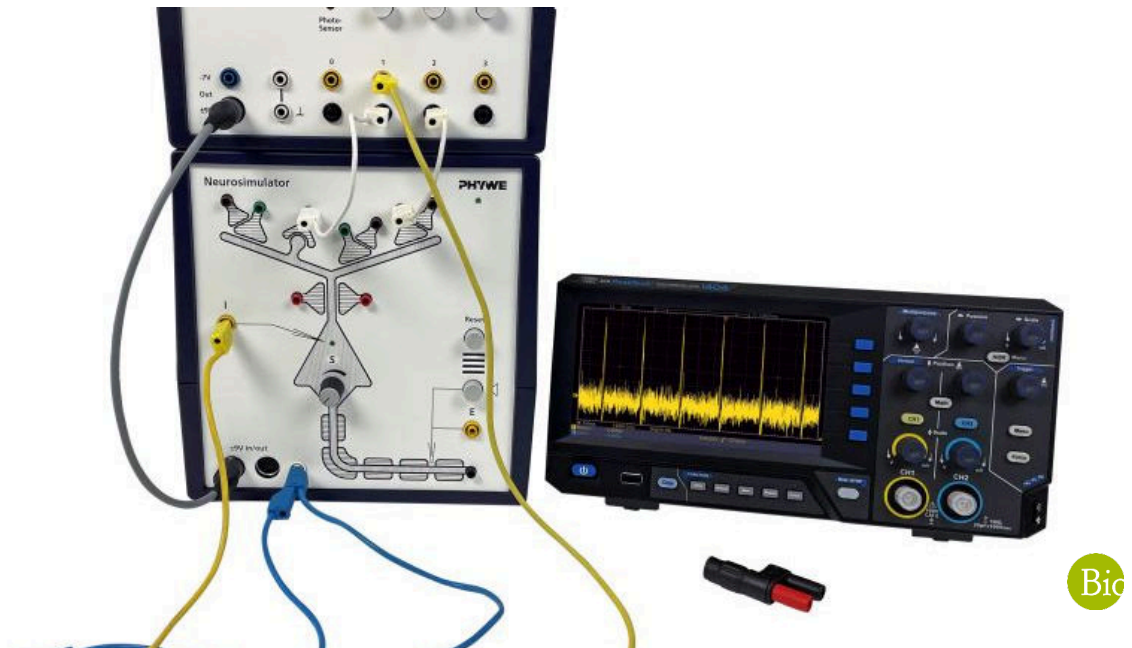


Die Nervenzelle mit Cobra SMARTsense



Mit diesem Versuch lassen sich folgende Aspekte einer Nervenzelle untersuchen: Membranpotenzial und Aktionspotential, Membranzeitkonstante sowie die Funktionsweise der verschiedenen Synapsentypen (erregende Synapse, Hebbsche Synapse, hemmende Synapse, Veto-Synapse).

Biologie

Nervensystem / Neurobiologie



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

-



Vorbereitungszeit

10 Minuten



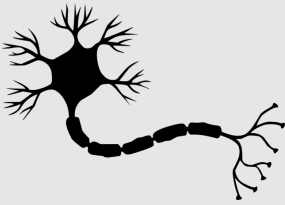
Durchführungszeit

45+ Minuten

Diesen Inhalt finden Sie auch digital unter:



<https://www.curriculab.de/c/63c149883809aa000348c403>



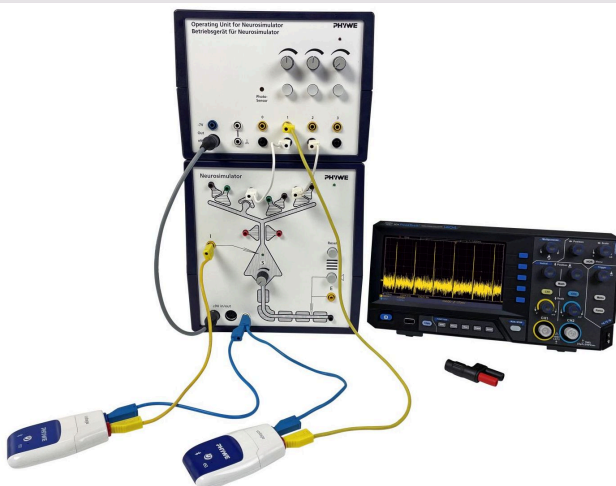
PHYWE
excellence in science



Allgemeine Informationen

Anwendung

PHYWE
excellence in science



Versuchsaufbau mit 2 Spannungssensoren. Das Oszilloskop misst die Aktionspotenziale.

Die wichtigste strukturelle und funktionelle Einheit des Nervensystems ist die Nervenzelle (Neuron). Nervenzellen sind für den Empfang und die Übertragung von Informationen vom und zum Gehirn zuständig. Neuronen übermitteln verschiedene Nachrichten aus den verschiedenen Teilen des Körpers an das Gehirn.

Ein menschlicher Körper enthält Milliarden von Nervenzellen. Ihre Form, Größe und Struktur hängen von der Lokalisierung und Funktion im Körper ab. Aber im Allgemeinen haben alle Nervenzellen des menschlichen Körpers drei Teile: einen Zellkörper, ein Axon und Dendriten.

Sonstige Informationen (1/5)

PHYWE
excellence in science

Vorwissen



- **Grundlagenwissen der Neurobiologie**, insbesondere zum Aufbau und der Funktionsweise einer Nervenzelle ist sinnvoll.
- Falls die Schüler und Studenten noch nie mit einem **Oszilloskop** gearbeitet haben, ist dieser Versuch besonders geeignet, ihnen dessen wichtigste Funktionen zu vermitteln.
- Die Lernenden sollten sich in früheren Experimenten schon einmal mit dem digitalen Messen mit **Cobra SMARTsense-Sensoren** und mobilen Endgeräten vertraut gemacht haben, wenn nicht im Biologieunterricht, so im Physik- oder Chemieunterricht.

Prinzip



In diesem Experiment wird die Funktionsweise der neuronalen Datenübertragung sowie der Eigenschaften der verschiedenen Synapsen untersucht.

Sonstige Informationen (2/5)

PHYWE
excellence in science

Lernziel



Die Schüler und Studenten werden mit der Funktionsweise einer Nervenzelle vertraut gemacht, indem sie die Neuroneneinheit "Neurosimulator" verwenden, die eine generalisierte Nervenzelle mit einem apikalen Dendriten und seinen synaptischen Kontakten, einem Zellkörper (Soma) und einer Nervenfaser (Axon) mit Myelinhüllen und einem Ranvier-Ring simuliert.

Aufgaben



Mit dem Nervenfunktionsmodell können folgende Aspekte einer Nervenzelle untersucht werden: Membranpotenzial und Aktionspotenzial, Membranzeitkonstante und Tiefpassfilterung, Synapsentypen (erregende Synapse, Hebb-Synapse, hemmende Synapse, Veto-Synapse).

Sonstige Informationen (3/5)

PHYWE
excellence in science

Folgende Themen werden in den 5 Versuchen und Versuchsreihen behandelt:

- Bau und Funktionen von Nervenzellen, Potenzialmessungen an Membranen: alle Versuche
- Ruhepotenzial, Aktionspotenzial, Erregungsleitung: Versuch 1
- Räumliche und zeitliche Summation: Versuch 2
- Erregende Synapse, Depolarisation: Versuche 2, 3, 5
- Hebbsche Synapse, synaptisches Lernen und Vergessen: Versuch 3
- Hemmende Synapse, Hyperpolarisation: Versuch 4
- Vetosynapse: Versuch 5



Sonstige Informationen (4/5)

PHYWE
excellence in science

In diesem Versuch werden sowohl **schnelle** (mehr als 10.000 Hz) als auch **langsame** Messungen (bis zu 1.000 Hz) durchgeführt. Je nach Messgeschwindigkeit kommen verschiedene Messgeräte zum Einsatz. Für die schnellen Messungen (z.B. Messung des Aktionspotenzials) wird ein **Oszilloskop** verwendet, für die langsamen Messungen eignet sich der **Spannungssensor aus der Cobra SMARTsense-Familie** mit seinem benutzerfreundlichen Interface.

Wird das Membranpotenzial nicht gleichzeitig mit dem Aktionspotenzial gemessen, ist es hilfreich den akustischen Monitor für das Aktionspotenzial zuzuschalten um es hörbar zu machen.

Sonstige Informationen (5/5)

- Der Dendrit besteht aus erregenden, hemmenden, präsynaptischen (Veto-) und hebbischen **Synapsen**, die durch die entsprechenden Farben der Sockel gekennzeichnet sind.
- Die **Verbindung zwischen dem wegführenden (efferenten) Axon einer Neuroneneinheit oder der Reizausgangsbuchse der Bedieneinheit und einer Synapse** wird durch ein weißes Kabel hergestellt, das in die gewünschte Synapsenbuchse eingeführt wird.
- Die **gelbe Buchse des Aktionspotenzials (E)** dient der Ableitung des Erregungszustandes des simulierten Neurons. Sie muss mit dem Oszilloskop verbunden werden. Mit Hilfe des integrierten **akustischen Monitors** können die Aktionspotentiale hörbar gemacht werden.
- Die **gelbe Buchse für die Messung des Membranpotenzials (I)** wird mit dem Sensor Cobra SMARTsense Voltage verbunden.
- Der **Drehknopf "S"** dient zur Einstellung der "Feuerschwelle" des Neurons.
- Der Stromkreis für die Messungen wird durch Anschluss an die **Erdungsbuchse** geschlossen.

Sicherheitshinweise



Für diesen Versuch gelten die allgemeinen Hinweise zum sicheren Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	Set Neurobiologie mit einer Nervenzelle mit Cobra SMARTsense	65963-22	1
2	PHYWE Neuron, Modell	MOD-NEURON	1

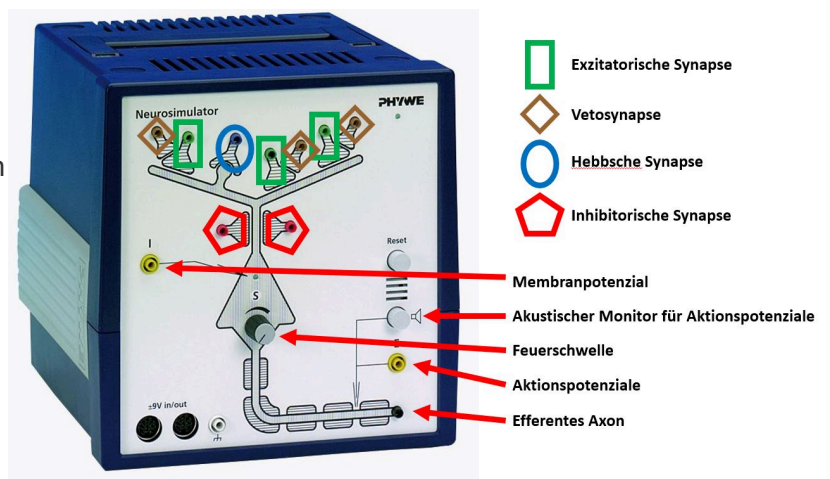
Versuch 1 - Theorie 1/2

Membranpotential und Aktionspotential, Membranzeitkonstante

In dieser Versuchsreihe werden das Membranpotential und das Aktionspotential sowie die Membranzeitkonstante untersucht. Die Depolarisation der Membran muss einen bestimmten Wert erreichen oder überschreiten, damit Aktionspotentiale ausgelöst werden - die Zündschwelle. Bei vielen Nervenzellen liegt der Wert der Zündschwelle bei etwa -50 mV, er ist jedoch von Zelltyp zu Zelltyp unterschiedlich. Auch bei einzelnen Zellen hat sie keinen konstanten Wert. Vielmehr hängt ihr Wert von einer Reihe von intra- und extrazellulären Faktoren ab. Unmittelbar nach der Freisetzung eines Aktionspotenzials ist die Feuerungsschwelle beispielsweise stark erhöht und sinkt erst nach einer gewissen Zeit, typischerweise innerhalb von 2-10 ms (Refraktärzeit), auf ihren ursprünglichen Wert zurück. Darüber hinaus kann die Schwelle durch externe Modulatoren, die direkt oder indirekt auf die Membranporen wirken, sowie durch Veränderungen der internen oder externen Umgebung beeinflusst werden.

Versuch 1 - Theorie 2/2

Das **Aktionspotential** entsteht durch den Einstrom von Natriumionen durch die Natriumkanäle der Nervenzellen. Die Bewegung des Reizes entlang des Axons erfolgt durch den fortlaufenden Einstrom von Natriumionen entlang der Zellmembran. Die Messmethode dieses Experiments unterscheidet sich von der der anderen Experimente insofern, als dass das Aktionspotential mittels eines Oszilloskops dargestellt wird. In den anderen Experimenten (mit Ausnahme der Experimente, die sich mit der erregenden Synapse befassen) wird stattdessen das Membranpotential (EPSP) gemessen.





Aufbau und Durchführung

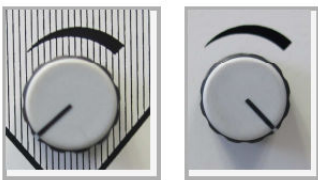
Versuch 1

Versuch 1 - Aufbau 1/4

Zunächst weisen wir durch Messung nach, dass das Aktionspotenzial (AP) vom exzitatorischen postsynaptischen Potenzial (EPSP) abhängt, indem wir verschiedene Parameter variieren.

Anmerkungen:

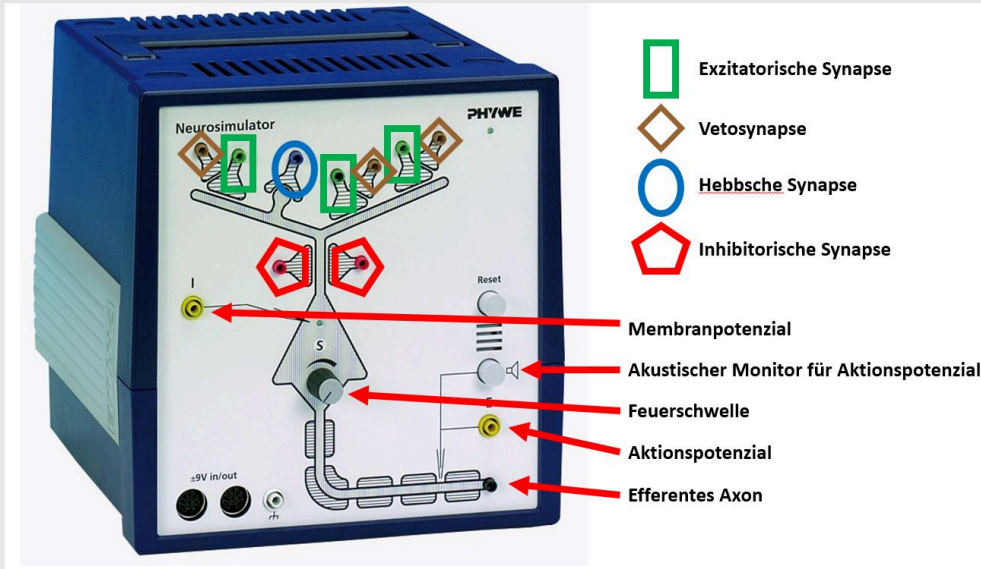
Die Drehknöpfe sind stufenlos einstellbar.



Linker Drehknopf: Feuerschwelle (Neurosimulator)

Rechter Drehknopf: Einstellung der Erregungsstärke der Reizkanäle 1, 2 und 3 (Betriebsgerät)

Versuch 1 - Aufbau 2/4

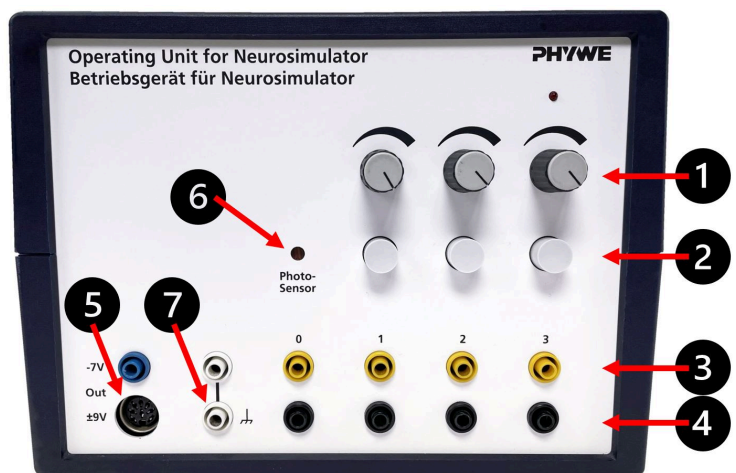


1. Mit dem grauen Kabel das Betriebsgerät für den Neurosimulator mit dem Neurosimulator an den beiden 9V-Buchsen miteinander verbinden.
2. Mit einem weißen Kabel Reizkanal 1 des Betriebsgeräts (schwarze Buchse) mit einer exzitatorischen Synapse (grüne Buchse) verbinden.
3. Betriebsgerät anschalten.

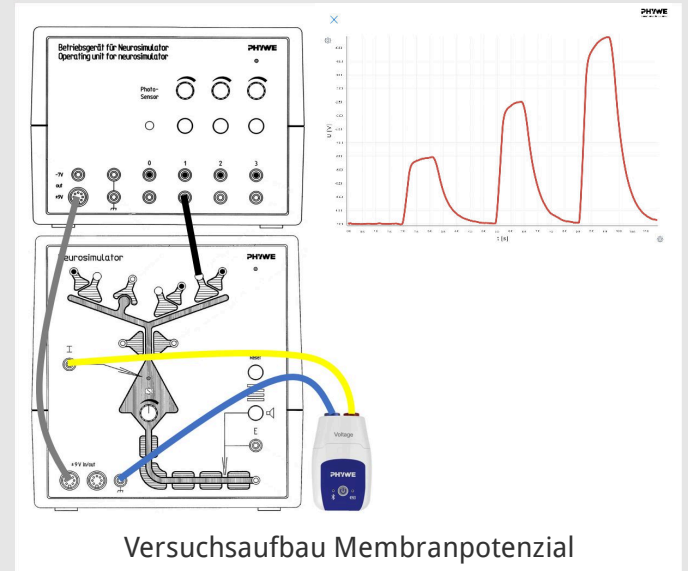
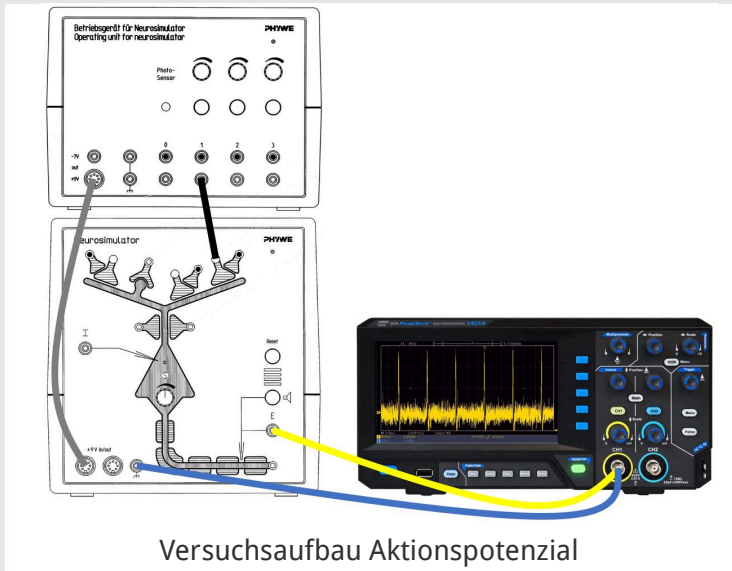
Versuch 1 - Aufbau 3/4

Funktionen des Betriebsgeräts

1. Drehknöpfe Reizintensität für Reizkanäle 1 bis 3
2. Reiztasten für Reizkanäle 1 bis 3
3. Vier gelbe Reizausgänge für die Messgeräte
4. Vier schwarze Reizausgänge für die Synapsen
5. Spannungsversorgung für "9V in"-Buchse des ersten Neurosimulators
6. Photosensor für den Versuch "Konditionierung" mit 2 Neurosimulatoren
7. Masse zum Schließen der Stromkreise



Versuch 1 - Aufbau 4/4



Versuch 1 - Durchführung 1/3

Zunächst wird das **Aktionspotenzial** und das **Membranpotenzial** gemessen.

Dabei werden in einer Versuchsreihe **Erregungsstärke des Reizes** und **Schwellenwert der Feuerschwelle** variiert (einige Einstellungsbeispiele siehe Abbildungen rechts) und protokolliert, wobei der minimale Ausschlag des Drehknopfs mit 0% und der maximale Ausschlag mit 100% bezeichnet werden.

Es wird zunächst das Aktionspotenzial mit dem **Oszilloskop** und danach das Membranpotenzial mit dem **SMARTsense Voltage-Sensor** gemessen.

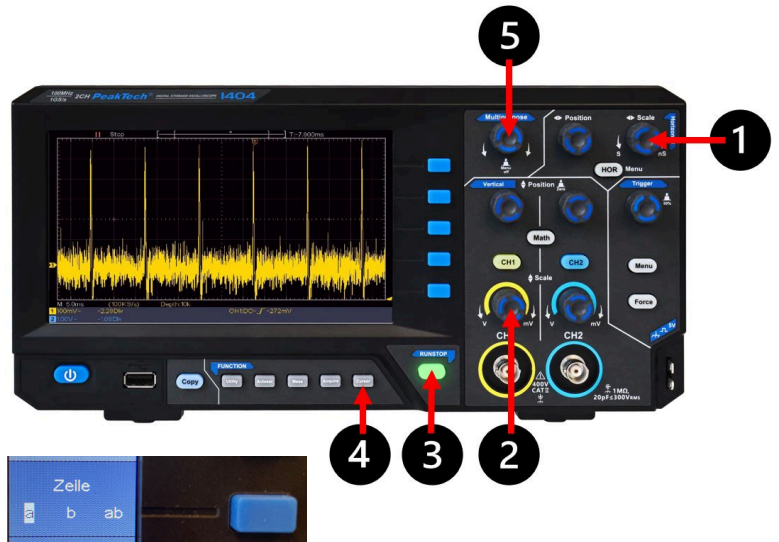
Das Aktionspotenzial wird am Neurostimulator am Kanal E abgegriffen und das Membranpotenzial am Kanal I. Den Stromkreis schließen, indem das zweite Kabel an der Buchse für die Erdung angeschlossen wird.



Versuch 1 - Durchführung 2/3

Die wichtigsten Funktionen eines Oszilloskops

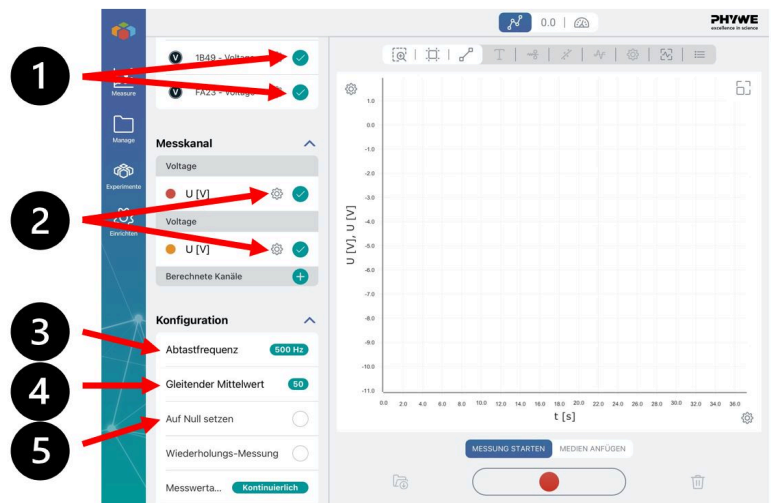
- 1: "Horizontal Scale": Spreizt die Aktionspotenziale auf der Zeitachse
- 2: Drehknopf "CH1" zum Verändern der Amplitude in Y-Achse
- 3: Taste RUN/STOP: Einfrieren der Messung auf dem Bildschirm
- 4: Cursor: Messwerkzeug zum Messen der Zeitabstände zwischen den Aktionspotenzialen
- 5: Drehknopf "Multipurpose": Verschieben der Cursor a, b und beider Cursor gleichzeitig (ab)



Versuch 1 - Durchführung 3/3

Datenaufnahme mit der measureAPP

- 1: Spannungssensoren auswählen.
- 2: Evtl. Darstellungsparameter ändern (Farbe, Liniendicke, etc.).
- 3: Abtastfrequenz auf Maximum einstellen.
- 4: Gleitenden Mittelwert auf 50 Werte einstellen.
- 5: Kalibrieren: wenn beide Spannungssensoren das Membranpotenzial messen (Buchsen I), bei offenem Stromkreis die Spannung auf Null setzen.

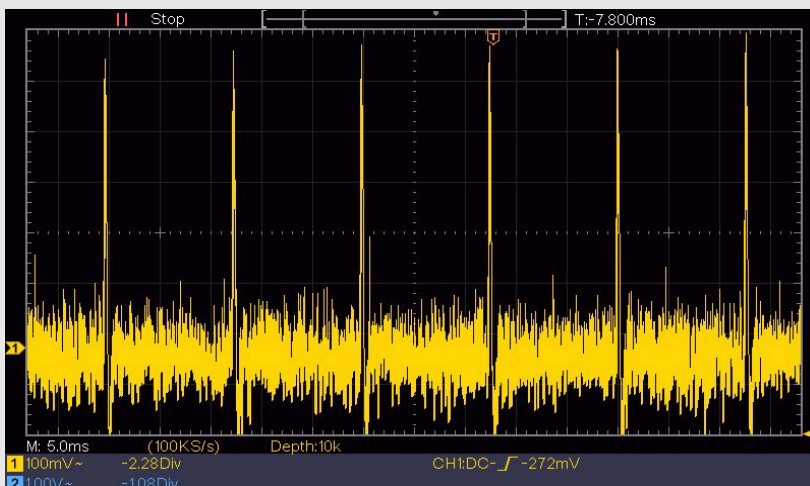




Auswertung

Versuch 1

Versuch 1 - Ergebnis 1/3



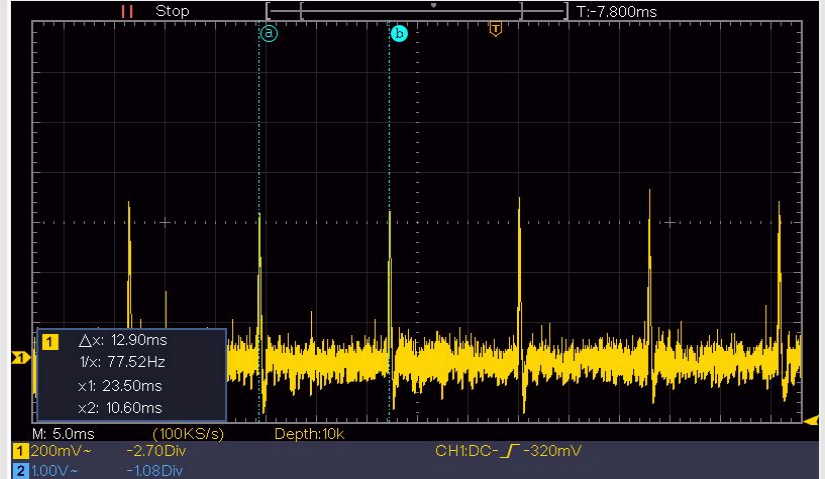
Typischer Kurvenverlauf des Aktionspotenzials.
Messung bei 20 mV DC mit einem Oszilloskop

Das Schwellenpotenzial ist der kritische Wert, auf den ein Membranpotenzial depolarisiert werden muss, um ein Aktionspotenzial auszulösen.

Der Schwellenwert kann in Abhängigkeit von zahlreichen Faktoren wie den Ionenleitfähigkeiten von Natrium oder Kalium, dem Durchmesser des Axons sowie der Dichte und den Eigenschaften der Natriumkanäle variieren.

Versuch 1 - Ergebnis 2/3

Die Auswirkungen der verschiedenen Einstellungen auf das Aktionspotenzial können unmittelbar während der Betätigung des Tasters am Betriebsgeräts für den aktiven Kanal auf dem Bildschirm des Oszilloskops angezeigt werden und lassen sich mit der Cursor-Funktion des Oszilloskops auch quantifizieren, wie beispielhaft in der Abbildung gezeigt. Damit ist ein Vergleich der verschiedenen Einstellungen möglich.



Ergebnisse der Cursor-Auswertung mit dem Oszilloskop im Bild unten links

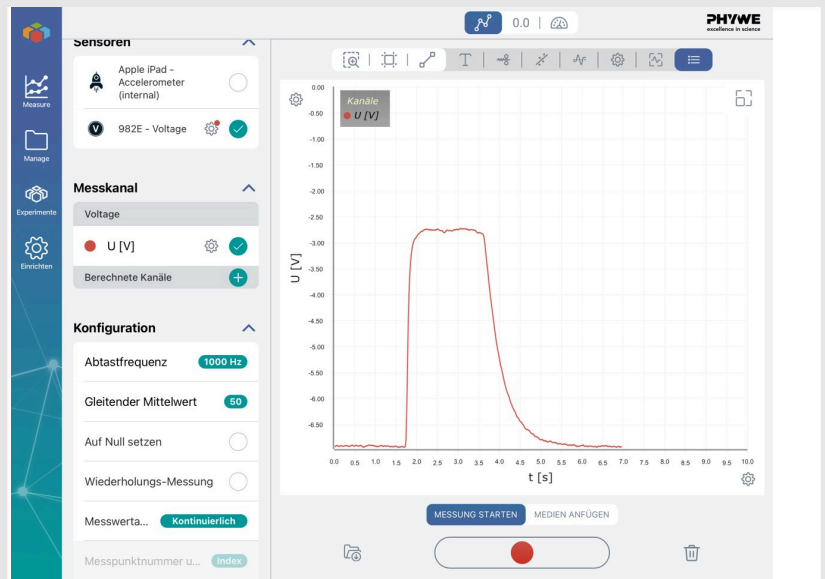
Versuch 1 - Ergebnis 3/3

Darstellung des Membranpotenzials

Optimale Messergebnisse werden erzielt, indem in der Software measureAPP die Abtastfrequenz des Voltage-Sensors auf 1000 Hz und ein gleitender Mittelwert von "50" eingestellt wird.



Hinweis: Falls das Aktionspotenzial nicht gleichzeitig gemessen wird, kann es zur Orientierung über den akustischen Monitor für das Aktionspotenzial hörbar gemacht werden (Hörbeispiel: Tonspur mit zunehmender Frequenz der Aktionspotenziale).



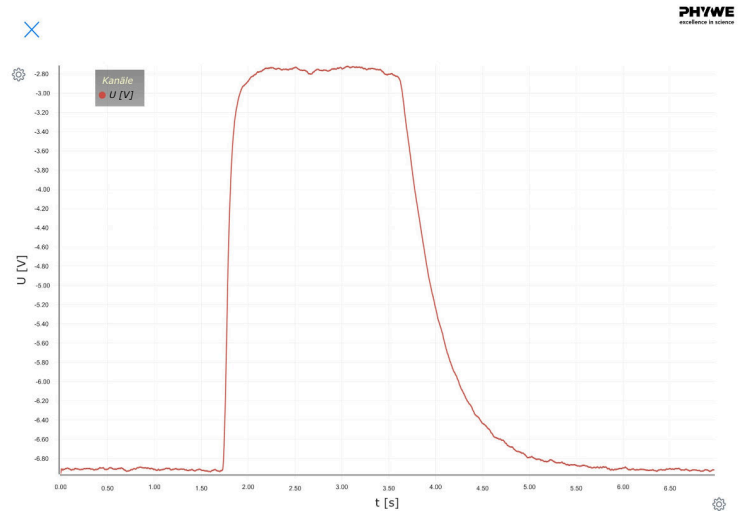
Versuch 1 - Auswertung 1/2

Membranpotenzial

Der Neurosimulator misst ein Membranpotenzial, das dem 100-fachen des Potenzials in einer echten Nervenzelle entspricht:

D.h. beispielsweise, wenn mit dem Neurosimulator ein Schwellenwert von -5,41 V gemessen wird, entspricht das einem Schwellenwert -54,1 mV in einer echten Nervenzelle.

Vergleiche die Schwellenwerte aller Messungen.



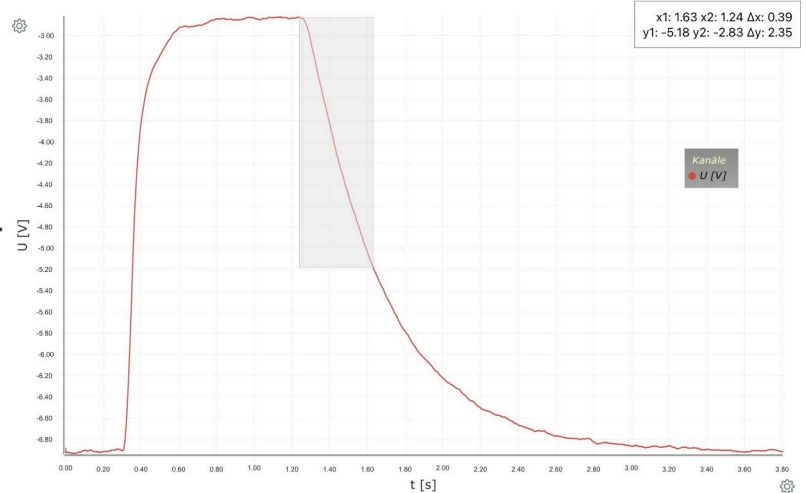
Versuch 1 - Auswertung 2/2

Membranzeitkonstante und Membranlängskonstante

Verwende das Messwerkzeug (siehe Symbol unten) zur Ermittlung der Werte für beide Konstanten.

Die **Membranzeitkonstante** ist die Zeit, die vergeht, nachdem 63 % von U_{max} im **steigenden** Bereich des Graphen erreicht sind.

Die **Membranlängskonstante** ist die Zeit, die vergeht, nachdem 63 % von U_{max} im **fallenden** Bereich des Graphen erreicht sind.



Versuch 2 - Theorie 1/2

Exzitatorische Synapse

Die Erregungssynapsen sind in der Regel an den distalen (vom Zellkörper entfernten) Abschnitten der Dendriten lokalisiert. Afferente Signale, die die Zelle über eine erregende Synapse erreichen, depolarisieren das Neuron, d. h. das Membranpotenzial wird auf einen positiveren Wert verändert. Da das Ruhepotenzial im Verhältnis zur Zellumgebung negativ ist, sinkt es ab. Dies geschieht hauptsächlich durch den Zustrom von Natriumionen in die Zelle. Die stimulierende Wirkung der Depolarisation beruht auf dem Anstieg des Membranpotenzials bis in die Nähe der Feuerungsschwelle oder sogar darüber. Transmittersubstanzen erregender Synapsen sind zum Beispiel Acetylcholin oder Glutamat.

Versuch 2 - Theorie 2/2

Stimulationen über erregende Synapsen depolarisieren die Zellmembran des intrazellulären Potentials, d.h. der Spannungsgradient zwischen innerhalb und außerhalb der Nervenzellmembran wird weniger negativ. Die folgenden Experimente können durchgeführt werden:

1. Wirkung der erregenden Synapse
2. Zeitliche Summation
3. Räumliche Summation
4. Synaptische Verstärkung durch terminale Verzweigungen



Aufbau und Durchführung

Versuch 2

Versuch 2, Teilversuch 1 - Aufbau

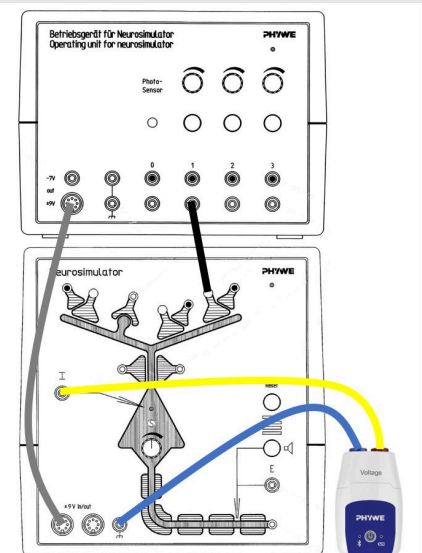
Wirkungsweise der exzitatorischen Synapse

Der Aufbau erfolgt ebenso wie bei den vorhergehenden Versuchen.

Es wird das Membranpotenzial mit dem SMARTsense Voltage-Sensor gemessen.

Der akustische Monitor für das Aktionspotenzial kann zugeschaltet werden.

- Neurosimulator: Drehknopf Feuerschwelle: 0%
- Betriebsgerät: Drehknopf Reizintensität 1: 100%



Versuch 2, Teilversuch 1 - Durchführung

- Die Stimulationstaste 1 ca. eine Sekunde lang drücken.
- Die Messung beenden, sobald die Spannung des exzitatorischen postsynaptischen Potenzial (EPSP) den Ausgangswert erreicht hat.

Versuch 2, Teilversuch 2 - Aufbau

Zeitliche Summation

Versuchsaufbau wie zuvor.

- Neurosimulator: Drehknopf Feuerschwelle: 50% (Mittelstellung)
- Betriebsgerät: Drehknopf Reizintensität 1: 66% (zwischen Mittelstellung und vollem Ausschlag)

In diesem Teilversuch wird der integrierte Lautsprecher der Bedieneinheit (akustischer Monitor) genutzt. Das Signal hilft, die Reizstärke zu finden, bei der kein akustisches Signal abgegeben wird, wenn der Stimulationsknopf sehr kurz gedrückt wird: vorsichtig kalibrieren, indem der Stimulationsknopf gegen den Uhrzeigersinn gedreht und der Knopf gedrückt wird.



Versuch 2, Teilversuch 2 - Durchführung

PHYWE
excellence in science

Zeitliche Summation (Fortsetzung)

- Die Stimulationstaste dauerhaft drücken. Bei der Messung des EPSP-Kuvenverlaufs darauf achten, in welchem Stadium des Messverlaufs akustische Signale ertönen und die akustischen Ergebnisse protokollieren.
- Die Messung beenden, sobald die Spannung des EPSP den Ausgangswert erreicht hat.

Versuch 2, Teilversuch 3 - Aufbau

PHYWE
excellence in science

Räumliche Summation / synaptische Verstärkung durch Endverzweigung

Versuchsaufbau wie zuvor, jedoch zusätzlich eine zweite und dann eine dritte Leitung vom Reizkanal 1 zu den weiteren exzitatorischen Synapsen (Endverzweigung) sowie Verbindung von zwei Reizkanälen mit je einer anderen exzitatorischen Synapse (räumliche Summation).

- Neurosimulator: Drehknopf Feuerschwelle: 50% (Mittelstellung)
- Betriebsgerät: Drehknopf Reizintensität 1: 33% (zwischen Null- und Mittelstellung)

Versuch 2, Teilversuch 3 - Durchführung

PHYWE
excellence in science

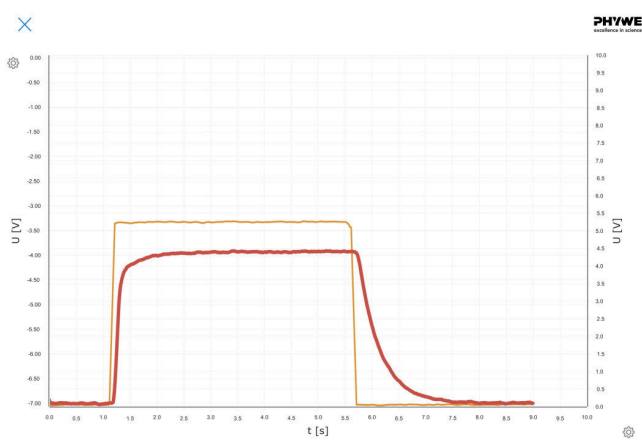
Räumliche Summation: Die Reizkanäle 1 und 2 werden mit je einer exzitatorischen Synapse verbunden. Nun wird getrennt für jeden Reizkanal der Reizpegel bei dauerhaft gedrücktem Taster langsam reduziert, bis gerade keine Aktionspotenziale mehr ausgelöst werden. Es wird nun mit jedem Reizkanal ein unterschwelliges EPSP ausgelöst. Werden beide Reizkanäle gleichzeitig betätigt, so wird das resultierende EPSP infolge der räumlichen Summation überschwellig und es werden Aktionspotenziale ausgelöst.

Synaptische Verstärkung durch Endverzweigung: Es wird nur Reizkanal 1 verwendet, mit Verbindung zu zwei oder drei exzitatorischen Synapsen. Vorgehensweise ansonsten wie oben.

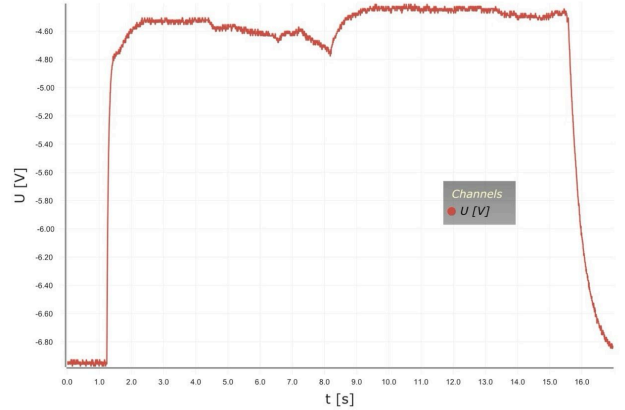
PHYWE
excellence in science

Auswertung Versuch 2

Versuch 2, Teilversuch 1 und 2 - Ergebnis



Wirkung der Stimulation der erregenden Synapse auf das Membranpotenzial (EPSP).

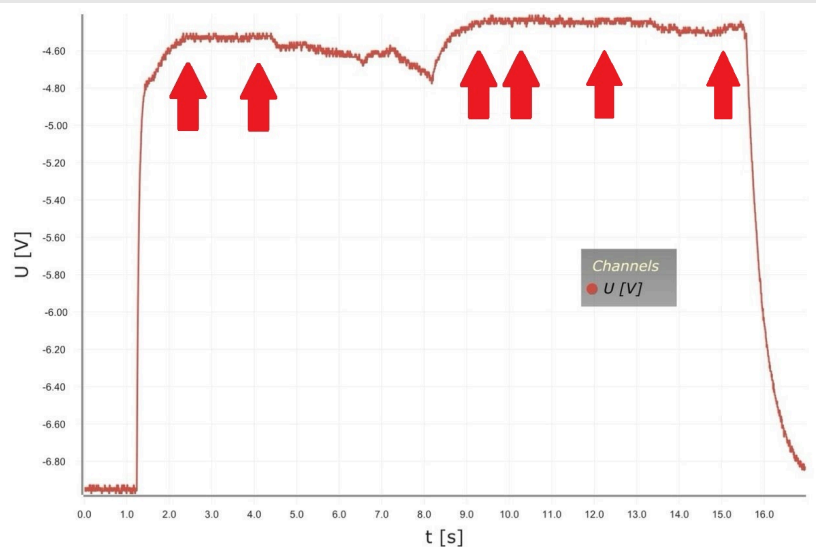


Zeitliche Summation: Messkurve des EPSP. Der akustische Monitor meldet erst nach längerem Drücken der Reiztaste das Auslösen von Aktionspotentialen.

Versuch 2, Teilversuch 1 und 2 - Ergebnis

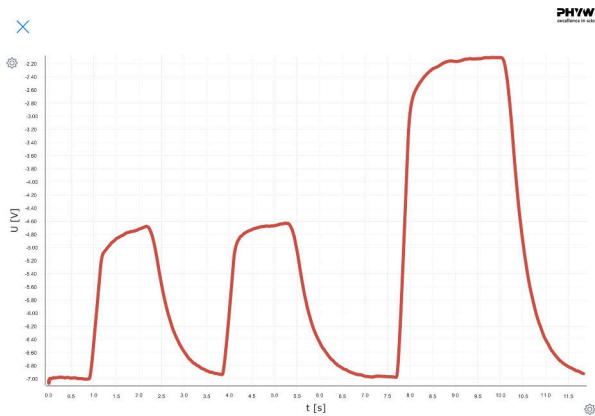
Zeitliche Summation: Interpretation

Aktionspotential-Ereignisse: Bei Dauerdrücken der Reiztaste ertönt am akustischen Monitor für kurze Zeit das Signal für ein Aktionspotential (rote Pfeile in der Spannungskurve des EPSP).

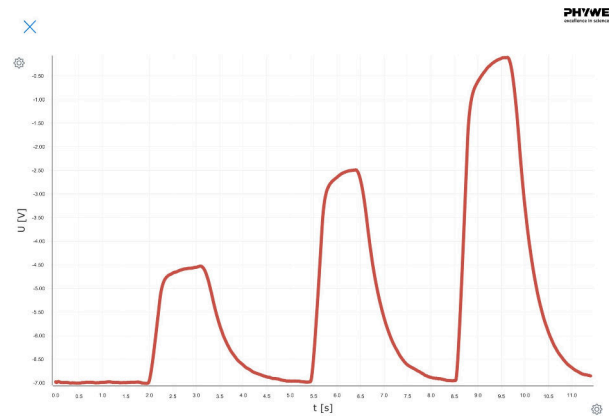


Versuch 2, Teilversuch 3 - Ergebnis

PHYWE
excellence in science



Räumliche Summation: Zunächst wird nur ein Reiz ausgelöst (Reizkanal 1, dann Reizkanal 2), dann beide gleichzeitig.



Synaptische Verstärkung durch Endverzweigung: Zunächst wird der Reiz auf eine erregende Synapse geleitet, dann auf zwei gleichzeitig, zuletzt auf drei.

Versuch 3 - Theorie 1/3

PHYWE
excellence in science

Hebbsche Synapse

Im anatomischen Präparat befindet sich die Hebbsche Synapse am Ende der dendritischen Dornen. Es handelt sich um eine erregende Synapse mit variablem Übertragungsverhalten. Synapsen vom Hebbschen Typ (benannt nach dem kanadischen Verhaltens- und Neurobiologen Donald Hebb) sind erregende Synapsen, die ihre Übertragungseigenschaften in Abhängigkeit von den zeitlichen Erregungsbedingungen ändern. Ausgehend von einer sehr geringen Übertragungsstärke nimmt das Verhältnis des Ausgangssignals zum Eingangssignal der Synapse, der Übertragungsfaktor, zu, wenn zwei Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind: Erstens muss ein afferentes Signal vorhanden sein, zweitens muss eine intrazelluläre Depolarisation vorliegen, die nicht das Ergebnis dieses Signals ist. Sind diese beiden Bedingungen über einen ausreichend langen Zeitraum erfüllt, kommt es zu einer lang anhaltenden Verstärkung des Übertragungsfaktors (Langzeitpotenzierung = LTP), die als Grundlage für Gedächtnisprozesse gilt. Wenn diese Bedingungen über einen längeren Zeitraum nicht erfüllt sind, kommt es zum "Vergessen", d.h. zur Abschwächung des Übertragungsfaktors.

Versuch 3 - Theorie 2/3

Der verstärkende Effekt wird wahrscheinlich durch einen erhöhten postsynaptischen Einstrom von Kalziumionen infolge der Öffnung zusätzlicher spannungsabhängiger Kalziumkanäle während der synaptischen Potenzierung erreicht. Die experimentellen Ergebnisse legen nahe, dass Glutamat als Transmitter der afferenten Faser an den N-Methyl-D-Aspartat (NMDA)-Rezeptor der postsynaptischen Membran bindet. Ist der Dendrit nicht ausreichend polarisiert, weil die Aktivität anderer erregender Afferenzen zu gering ist, blockieren Magnesiumkationen den Rezeptor, und eine LTP kann nicht stattfinden. Bei ausreichend starker Polarisierung kann Magnesium nicht mehr an den NMDA-Rezeptor binden. Glutamat tritt an seine Stelle und führt zu einer Öffnung der Kalziumkanäle: Kalzium-Ionen können in die Zelle eindringen. Der Anstieg der postsynaptischen Kalziumkonzentration im dendritischen Stachel ist die Voraussetzung für die Stabilisierung der LTP. Man geht davon aus, dass die erhöhte Kalziumkonzentration zur Aktivierung des Enzyms Proteinkinase führt, das eine Phosphatgruppe auf andere Proteine überträgt und diese so aktiviert. Handelt es sich dabei um Membranproteine, so können die Eigenschaften der Ionenkanäle verändert und die Aktivität der Zelle erhöht werden. Das folgende Experiment kann durchgeführt werden:

- Wirkung der Hebbschen Synapse - ein grundlegender Mechanismus für synaptische Plastizität

Versuch 3 - Theorie 3/3

Alle Schritte werden in einer Messung erfasst:

- Schritt 1: Aktivierung der Hebbschen Synapse.
- Schritt 2: Aktivierung der erregenden Synapse.
- Schritt 3: Aufeinanderfolgende Aktivierung der Hebbschen und der erregenden Synapse (kein Lernprozess).
- Schritt 4: Gleichzeitige Aktivierung der Hebbschen und der erregenden Synapse (Lernprozess).
- Schritt 5: Aktivierung der Hebbschen Synapse nach dem Lernprozess.
- Schritt 6: Aktivierung der Hebbschen Synapse nach dem synaptischen Vergessen.



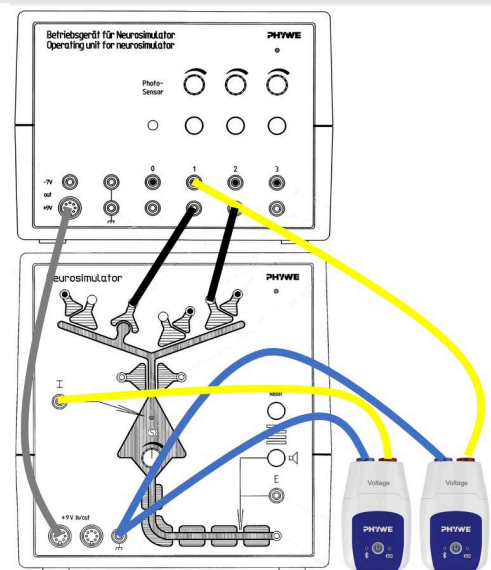
Aufbau und Durchführung

Versuch 3

Versuch 3 - Aufbau 1/2

In dieser Folge von Teilversuchen werden die Hebb'sche Synapse und eine exzitatorische Synapse mit je einem Reizausgang des Betriebsgeräts (schwarze Buchsen) verbunden. Anschließend wird der Spannungssensor mit der gelben Buchse (I) zur Messung des EPSP verbunden. Dabei den Stromkreis durch Anschluss an die Erdungsbuchse schließen.

Optional kann ein weiterer Spannungssensor verwendet werden, um die Reizintensität zur Hebb'schen Synapse zu messen (gelbe Buchse des Betriebsgeräts).



Versuch 3 - Aufbau 2/2



- Neurosimulator: Drehknopf Feuerschwelle: 0%
- Betriebsgerät: Drehknopf Reizintensität 1 und Reizintensität 2: je 100%
- Drücken Sie die Reset-Taste am Neurosimulator. Die Reset-Taste löst das synaptische Vergessen aus.

Versuch 3 - Durchführung 1/2

- Messung starten (Hinweis: Zwischen jedem Tastendruck sollte die Spannung des EPSP den Ausgangswert erreichen (ca. -7 V).
- Reiztaste 1 dreimal eine Sekunde lang zur Aktivierung der Hebbschen Synapse drücken.
- Reiztaste 2 dreimal eine Sekunde lang zur Aktivierung der erregenden Synapse drücken.
- Reiztasten 1 und 2 abwechselnd, jede Taste dreimal eine Sekunde lang zur aufeinanderfolgenden Aktivierung der Hebbschen und der erregenden Synapse drücken.
- Reiztasten 1 und 2 gleichzeitig 20 Mal je eine Sekunde lang zur gleichzeitigen Aktivierung der Hebbschen und erregenden Synapse drücken.

Versuch 3 - Durchführung 2/2

PHYWE
excellence in science

- Reiztaste 1 dreimal eine Sekunde lang zur Aktivierung der Hebbschen Synapse drücken.
- Reset-Taste des Neurosimulators drücken (synaptisches Vergessen).
- Reiztaste 1 erneut dreimal für etwa eine Sekunde zur Aktivierung der Hebbschen Synapse drücken.
- Messung beenden, sobald die Spannung den Ausgangswert erreicht hat.
- Ergebnisse speichern und auswerten.

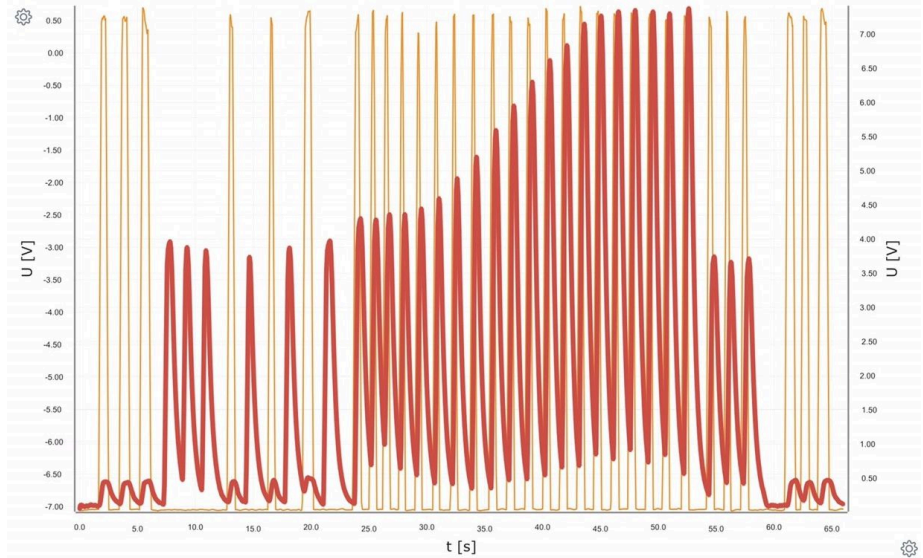
PHYWE
excellence in science

Auswertung Versuch 3

Versuch 3 - Ergebnis 1/2

PHYWE
excellence in science

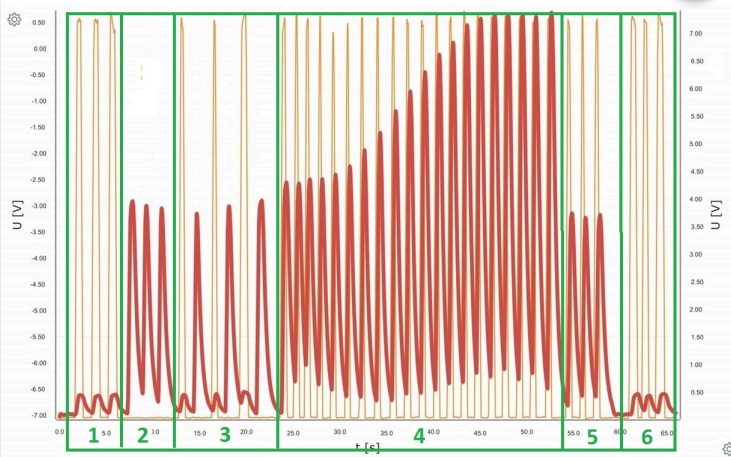
In der measureAPP sieht das Ergebnis der Messreihe so aus:



Versuch 3 - Ergebnis 2/2

PHYWE
excellence in science

Die Messreihe lässt sich wie folgt interpretieren:



1. Aktivierung der Hebbschen Synapse.
2. Aktivierung der erregenden Synapse.
3. Aufeinanderfolgende Aktivierung der Hebbschen und erregenden Synapsen (kein Lernprozess).
4. Gleichzeitige Aktivierung der Hebbschen und erregenden Synapsen (Lernprozess).
5. Aktivierung der Hebbschen Synapse nach dem Lernprozess.
6. Aktivierung der Hebbschen Synapse nach dem synaptischen Vergessen.

Versuch 4 - Theorie

Hemmende (inhibitorische) Synapsen

Afferente Signale, die die Zelle über hemmende Synapsen erreichen, hyperpolarisieren das Neuron, d.h. das intrazelluläre Potenzial ändert sich in die negative Richtung. Da das Ruhepotential bereits negativ ist, wird die negative Polarität verstärkt: Hyperpolarisation. Dies ist im Allgemeinen das Ergebnis eines Abflusses von Kaliumkationen aus der Zelle und eines Zuflusses von Chloridanionen. Die hemmende Wirkung der Hyperpolarisation beruht darauf, dass sich das Membranpotenzial weiter von der Zündschwelle entfernt. Eine häufige hemmende Transmittersubstanz ist die Gamma-Aminobuttersäure (GABA). In der anatomischen Probe befindet sich der Ort der hemmenden Synapse im Schaft des Dendriten einer Nervenzelle. Die folgenden Experimente können durchgeführt werden:

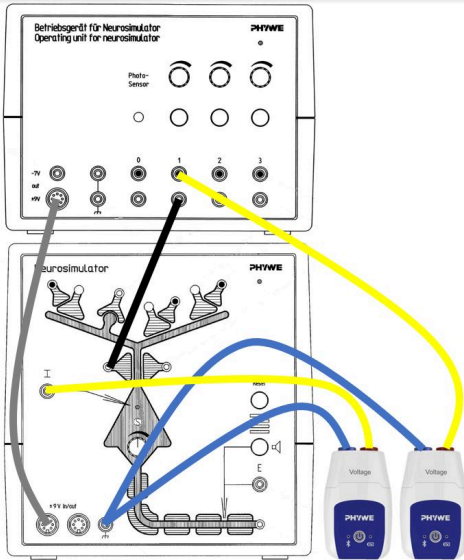
1. Hyperpolarisation
2. Räumliche inhibitorisch-erregende Summation



Aufbau und Durchführung Versuch 4

Versuch 4, Teilversuch 1 - Aufbau 1/2

PHYWE
excellence in science



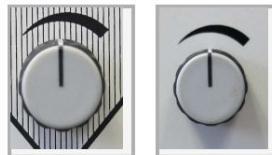
Teilversuch 1: Hyperpolarisation

In diesem Versuch wird eine **inhibitorische Synapse** mit einem Reizausgang des Betriebsgeräts (schwarze Buchsen) verbunden. Anschließend wird der Spannungssensor mit der gelben Buchse (I) zur Messung des IPSP (inhibitorisches postsynaptisches Potenzial) verbunden. Dabei den Stromkreis durch Anschluss an die Erdungsbuchse schließen.

Optional kann ein weiterer Spannungssensor verwendet werden, um die Reizintensität zur inhibitorischen Synapse zu messen (gelbe Buchse des Betriebsgeräts).

Versuch 4, Teilversuch 1 - Aufbau 2/2

PHYWE
excellence in science



- Neurosimulator: Drehknopf Feuerschwelle: 50%
- Betriebsgerät: Drehknopf Reizintensität 1: 50%

Versuch 4, Teilversuch 1 - Durchführung

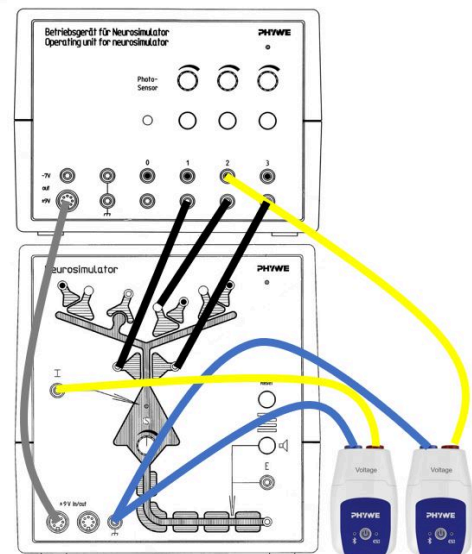
- Messung starten
- Reizstaste 1 ein bis zwei Sekunden drücken.
- Messung beenden, sobald die Spannung des IPSP den Ausgangswert erreicht hat.
- Messung speichern und auswerten.

Versuch 4, Teilversuch 2 - Aufbau 1/2

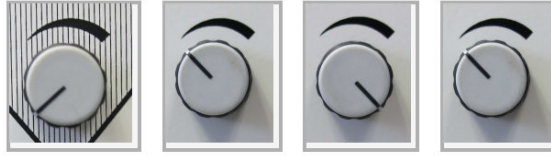
PHYWE
excellence in science

Teilversuch 2: Räumliche inhibitorisch-exzitatorische Summation

Für die Messung des exzitatorischen postsynaptischen Potenzials (EPSP) wird das Experiment wie im Bild gezeigt aufgebaut. Nun messen wir die Reizstärke der erregenden Synapse und das EPSP als Ergebnis der räumlichen inhibitorisch-erregenden Summation.



Versuch 4, Teilversuch 2 - Aufbau 2/2

PHYWE
excellence in science

- Neurosimulator: Drehknopf Feuerschwelle: 0%
- Betriebsgerät: Drehknopf Reizintensität 1: 33%
- Betriebsgerät: Drehknopf Reizintensität 2: 100%
- Betriebsgerät: Drehknopf Reizintensität 3: 33%

Versuch 4, Teilversuch 2 - Durchführung

PHYWE
excellence in science

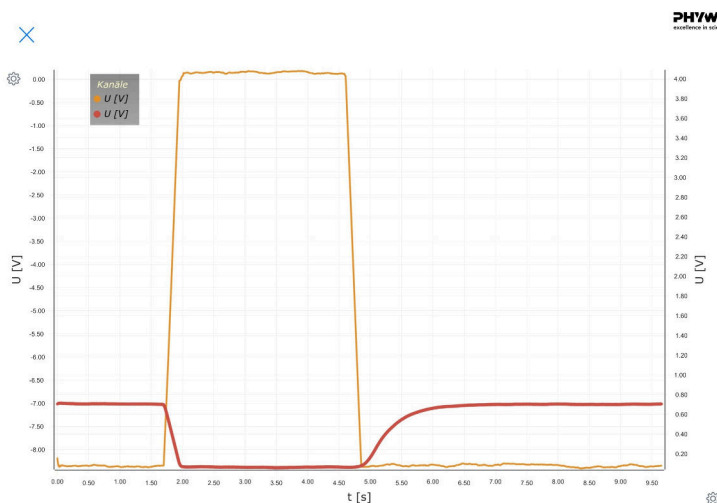
- Messung starten.
- Reiztaste 2 für die erregende Synapse zwei Sekunden lang gedrückt halten.
- Reiztaste 1 zusätzlich zwei Sekunden lang drücken.
- Nun Reiztaste 3 zusätzlich zwei Sekunden lang drücken.
- Messung beenden, sobald die Spannung des EPSP den Ausgangswert erreicht hat.
- Ergebnis speichern und auswerten.



Auswertung

Versuch 4

Versuch 4, Teilversuch 1 - Ergebnis

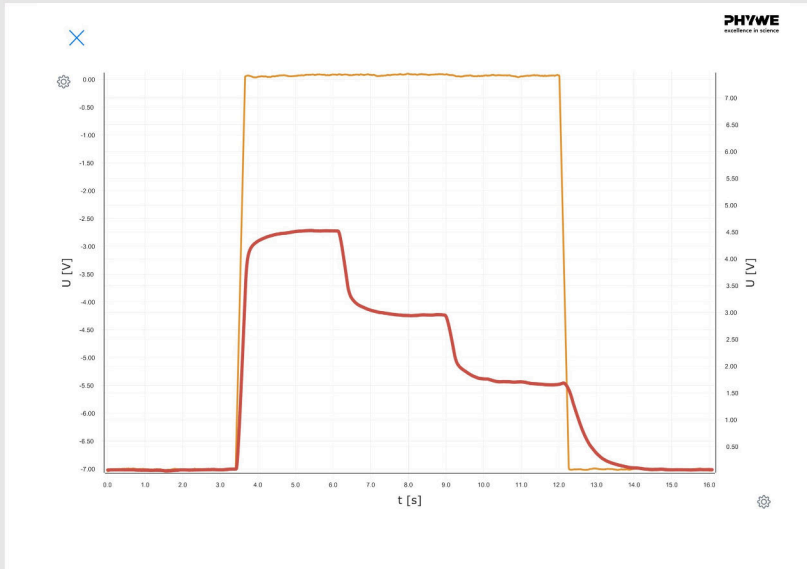


Teilversuch 1: Hyperpolarisation

Inhibitorische Synapsen üben eine hemmende Wirkung aus. Die Wirkung ist ähnlich wie bei exzitatorischen Synapsen, jedoch umgekehrt: die negative Polarisation des intrazellulären Potentials nimmt weiter zu ($> 70 \text{ mV}$) = Hyperpolarisation = reduzierte Erregung.

Versuch 4, Teilversuch 2 - Ergebnis

PHYWE
excellence in science



Teilversuch 2: Räumliche inhibitorisch-erregende Summierung

Versuch 5 - Theorie

PHYWE
excellence in science

Veto-Synapse

Synapsen mit Veto-Eigenschaften sind meist präsynaptisch zu erregenden Synapsen. Sie verhindern die Erregung postsynaptischer Zellen, indem sie die Signalübertragung einer erregenden Synapse selektiv stoppen. Dies kann durch eine Blockade der Transmitterverteilung in den entsprechenden erregenden Synapsen erfolgen. In der Folge zeigt die postsynaptische Zelle, je nach Intensität des Signals an der Vetosynapse, nur eine geringe oder keine Depolarisation bei gleichzeitiger Aktivierung der erregenden und vetohemmenden Afferenzen.

Ein Signal an den Vetosynapsen allein hat keinen Einfluss auf das Potenzial der postsynaptischen Zelle und im Gegensatz zu den inhibitorischen Synapsen findet keine Hyperpolarisation statt. Auch die Signale anderer Synapsen werden nicht beeinflusst. Diese Art der Hemmung wird als "stille Hemmung" bezeichnet, da sie nicht abgeleitet werden kann. Im Folgenden wird das Experiment "Wirkung der Veto-Synapse" durchgeführt.



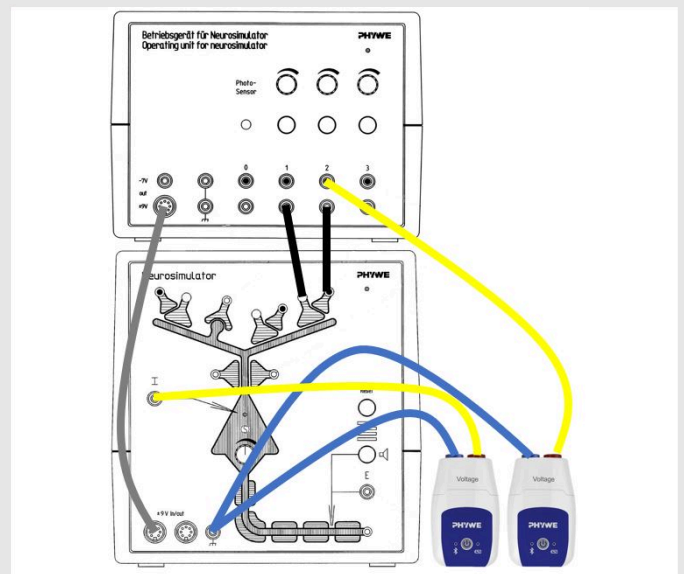
Aufbau und Durchführung

Versuch 5

Versuch 5 - Aufbau 1/2

In diesem Versuch wird eine **exzitatorische Synapse** und ihre **Veto-Synapse** mit je einem Reizausgang des Betriebsgeräts (schwarze Buchsen) verbunden. Anschließend wird der Spannungssensor mit der gelben Buchse (I) zur Messung des EPSP verbunden. Dabei den Stromkreis durch Anschluss an die Erdungsbuchse schließen.

Optional kann ein weiterer Spannungssensor verwendet werden, um die Reizintensität zur Veto-Synapse zu messen (gelbe Buchse des Betriebsgeräts). Dadurch kann die Messkurve leichter interpretiert werden.



Versuch 5 - Aufbau 2/2



- Neurosimulator, Drehknopf Feuerschwelle: 50%
- Betriebsgerät, Drehknopf Reizintensität 1: 66%
- Bedieneinheit, Drehknopf Reizintensität 2: 66%

Versuch 5 - Durchführung

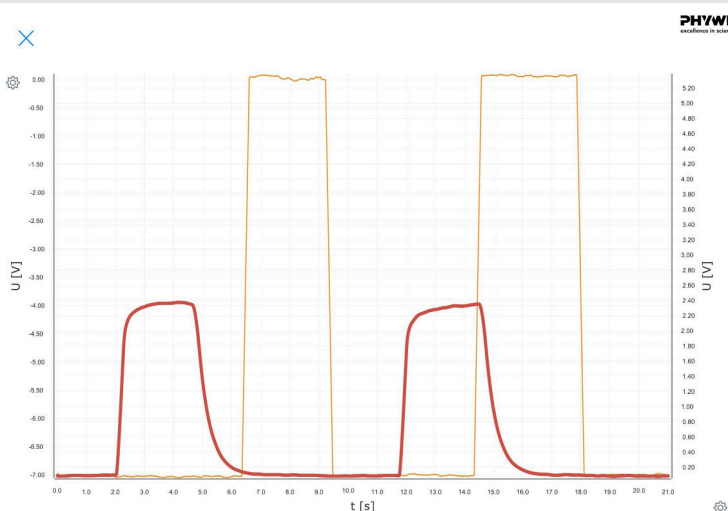
- Messung starten.
- Reiztaste 1 ein bis zwei Sekunden lang drücken. Warten bis die Spannung des EPSP den Ausgangswert erreicht hat.
- Reiztaste 2 ein bis zwei Sekunden lang drücken. Warten bis die EPSP-Spannung den Anfangswert erreicht hat.
- Reiztaste 1 drücken. Taste zwei Sekunden lang gedrückt halten. Jetzt zusätzlich die Reiztaste 2 drücken und beide Tasten ein bis zwei Sekunden lang gedrückt halten.
- Messung beenden sobald die Spannung des EPSP den Ausgangswert erreicht hat.
- Ergebnisse speichern und auswerten.



Auswertung

Versuch 5

Versuch 5 - Ergebnis



Die Veto-Synapse bewirkt keine Veränderung des Membranpotenzials (sog. stille Hemmung). Sie wirkt nur auf die erregende Synapse, an die sie angeschlossen ist (sog. präsynaptische Hemmung oder shunting inhibition). Es findet keine räumliche Summation statt.



Glossar

Glossar: Exzitatorische Synapse

Solche Synapsen befinden sich in der Regel an den distalen (vom Zellkörper entfernten) Abschnitten der Dendriten. Afferente Signale, die die Zelle über eine exzitatorische Synapse erreichen, depolarisieren das Neuron, d. h. das intrazelluläre Potenzial wird auf einen positiveren Wert verändert. Da das Ruhepotenzial im Verhältnis zur Zellumgebung negativ ist, sinkt es ab. Dies geschieht hauptsächlich durch den Zustrom von Natriumionen in die Zelle. Die stimulierende Wirkung der Depolarisation beruht auf dem Anstieg des Membranpotenzials bis in die Nähe der Erregungsschwelle oder sogar darüber. Transmittersubstanzen erregender Synapsen sind zum Beispiel Acetylcholin oder Glutamat.

Glossar: Hemmende Synapse

PHYWE
excellence in science

Inhibitorische Synapsen üben eine hemmende Wirkung aus. Afferente Signale, die die Zelle über hemmende Synapsen erreichen, hyperpolarisieren das Neuron, d.h. das intrazelluläre Potenzial ändert sich in die negative Richtung. Da das Ruhepotential bereits negativ ist, wird die negative Polarität verstärkt: Hyperpolarisation. Diese wird im Allgemeinen durch einen Abfluss von Kaliumkationen aus der Zelle und einen Zufluss von Chloridanionen bewirkt. Die hemmende Wirkung der Hyperpolarisation beruht darauf, dass sich das Membranpotential weiter von der Zündschwelle entfernt. Ein häufiger hemmender Botenstoff ist die Gamma-Aminobuttersäure (GABA).

Glossar: Hebbsche Synapse (1/2)

PHYWE
excellence in science

Synapsen vom Hebbschen Typ (benannt nach dem kanadischen Verhaltens- und Neurobiologen Donald Hebb) sind erregende Synapsen, die ihre Übertragungseigenschaften in Abhängigkeit von zeitlichen Erregungsbedingungen ändern. Ausgehend von einer sehr geringen Übertragungsstärke nimmt das Verhältnis des Ausgangssignals zum Eingangssignal der Synapse, der Übertragungsfaktor, zu, wenn zwei Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind: Erstens muss ein afferentes Signal vorhanden sein, zweitens muss eine intrazelluläre Depolarisation vorliegen, die nicht das Ergebnis dieses Signals ist. Sind diese beiden Bedingungen über einen ausreichend langen Zeitraum erfüllt, kommt es zu einer lang anhaltenden Verstärkung des Transmissionsfaktors (Langzeitpotenzierung = LTP), die als Grundlage für Gedächtnisprozesse gilt. Ein "Vergessen", d.h. eine Abschwächung des Übertragungsfaktors, tritt ein, wenn diese Bedingungen über einen längeren Zeitraum nicht erfüllt sind.

Glossar: Hebbsche Synapse (2/2)

PHYWE
excellence in science

Der verstärkende Effekt wird wahrscheinlich durch einen erhöhten postsynaptischen Einstrom von Kalziumionen infolge der Öffnung zusätzlicher spannungsabhängiger Kalziumkanäle während der synaptischen Potenzierung erreicht. Die experimentellen Ergebnisse legen nahe, dass Glutamat als Transmitter der afferenten Faser an den N-Methyl-D-Aspartat (NMDA)-Rezeptor der postsynaptischen Membran bindet. Ist der Dendrit nicht ausreichend polarisiert, weil die Aktivität anderer erregender Afferenzen zu gering ist, blockieren Magnesiumkationen den Rezeptor, und eine LTP kann nicht stattfinden. Bei ausreichend starker Polarisierung kann Magnesium nicht mehr an den NMDA-Rezeptor binden. Glutamat tritt an seine Stelle und bewirkt eine Öffnung der Kalziumkanäle: Kalzium-Ionen können in die Zelle eindringen. Der Anstieg der postsynaptischen Kalziumkonzentration im dendritischen Stachel ist die Voraussetzung für die Stabilisierung der LTP. Man geht davon aus, dass die erhöhte Kalziumkonzentration zur Aktivierung des Enzyms Proteinkinase führt, das eine Phosphatgruppe auf andere Proteine überträgt und diese so aktiviert. Handelt es sich dabei um Membranproteine, dann können die Eigenschaften der Ionenkanäle verändert und so die Aktivität der Zelle erhöht werden.

Glossar: Veto-Synapse

PHYWE
excellence in science

Synapsen mit Veto-Eigenschaften sind meist präsynaptisch zu erregenden Synapsen. Sie verhindern die Erregung der postsynaptischen Zellen, indem sie die Signalübertragung einer erregenden Synapse selektiv stoppen. Dies kann durch eine Blockade der Transmitterverteilung in den entsprechenden erregenden Synapsen erreicht werden. Infolgedessen zeigt die postsynaptische Zelle, je nach Intensität des Signals an der Vetosynapse, nur eine geringe oder keine Depolarisation bei gleichzeitiger Aktivierung der erregenden und der Veto hemmenden Afferenzen. Ein Signal an den Vetosynapsen allein hat keinen Einfluss auf das Potenzial der postsynaptischen Zelle, im Gegensatz zu den inhibitorischen Synapsen findet keine Hyperpolarisation statt. Signale anderer Synapsen werden so ebenfalls nicht beeinflusst. Diese Art der Hemmung wird als "stille Hemmung" bezeichnet, da sie nicht abgeleitet werden kann.

Glossar: Ableitung (1/2)

Elektrophysiologische Ableitungen der Aktivität von Nervenzellen sind Messungen von Spannungen oder zeitlichen Veränderungen der Spannung innerhalb oder außerhalb der Zelle mit Hilfe von Elektroden. Als Referenz für die abgeleitete Spannung dient ein Potential, das von einer im Präparat an neutraler Stelle positionierten Elektrode (0-Potential, Erdpotential) stammt. Die ableitende Elektrode wird als unterschiedliche Elektrode, die Masseelektrode als indifferente Elektrode bezeichnet. Die Höhe der abgeleiteten Spannung hängt von der Position der Ableitelektrode relativ zum aktiven Nervengewebe ab. Sie ist am höchsten, wenn sich die Spitze der Elektrode innerhalb der Zelle befindet. Solche intrazellulären Elektroden sind meist fein ausgezogene Kapillaren, die mit einer Elektrolytlösung gefüllt sind. Sie haben einen Spitzendurchmesser von weniger als einem Mikrometer. Die gemessene Spannung ist bei extrazellulärer Ableitung geringer, da sich die Elektrode in diesem Fall außerhalb der Zelle und in oft großer Entfernung von ihr befindet. Diese Elektroden benötigen nicht so feine Spitzen (typischerweise 2 bis 10 Mikrometer), so dass diese robuster sind. Die Ableitung hält extrazellulär oft länger, da die Zelle nicht angestochen wird und somit besser intakt bleibt.

Glossar: Ableitung (2/2)

Das Elektroenzephalogramm ist eine besondere Form der Ableitung. Hier wird die lokale elektrische Aktivität eines großen Teils des Gehirns direkt von der Schädeloberfläche abgeleitet. Aufgrund der großen Entfernung zum aktiven Gewebe werden nur sehr schwache Signale empfangen, so dass diese mit verschiedenen technischen Tricks verarbeitet werden müssen. Da das abgeleitete Signal aus der untrennbaren Summe der Aktivitäten vieler tausend Nervenzellen stammt, lassen sich mit dieser Methode keine Details über die Verarbeitung von Informationen gewinnen.

Glossar: Feuerschwelle

Die intrazelluläre Depolarisation muss einen bestimmten Wert erreichen oder überschreiten, damit Aktionspotenziale ausgelöst werden können - die Feuerschwelle. Dies entspricht also einem Grenzwert für das Potenzial. Bei vielen Nervenzellen liegt der Wert der Zündschwelle bei etwa -50 mV, er ist jedoch von Zelltyp zu Zelltyp unterschiedlich. Auch bei einzelnen Zellen hat sie keinen konstanten Wert. Vielmehr hängt ihr Wert von einer Reihe intrazellulärer und extrazellulärer Faktoren ab. Unmittelbar nach der Freisetzung eines Aktionspotenzials beispielsweise ist die Feuerschwelle stark erhöht und sinkt erst nach einer gewissen Zeit, in der Regel innerhalb von 2 bis 10 ms (Refraktärzeit), auf ihren ursprünglichen Wert zurück. Darüber hinaus kann die Schwelle durch externe Modulatoren, die direkt oder indirekt auf die Membranporen wirken, sowie durch Veränderungen der internen oder externen Umgebung beeinflusst werden.