

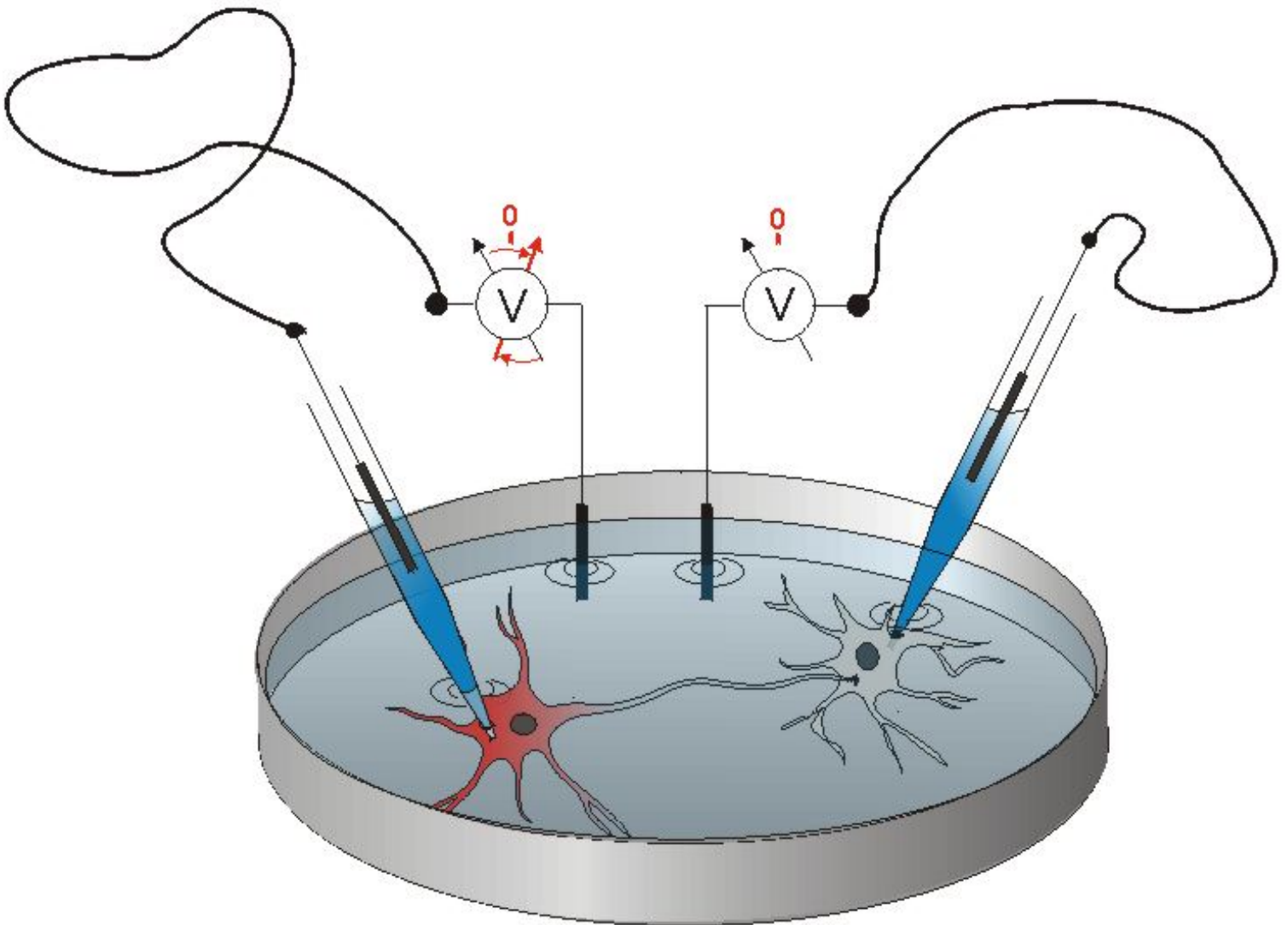
## Elektro II

### Das Aktionspotential

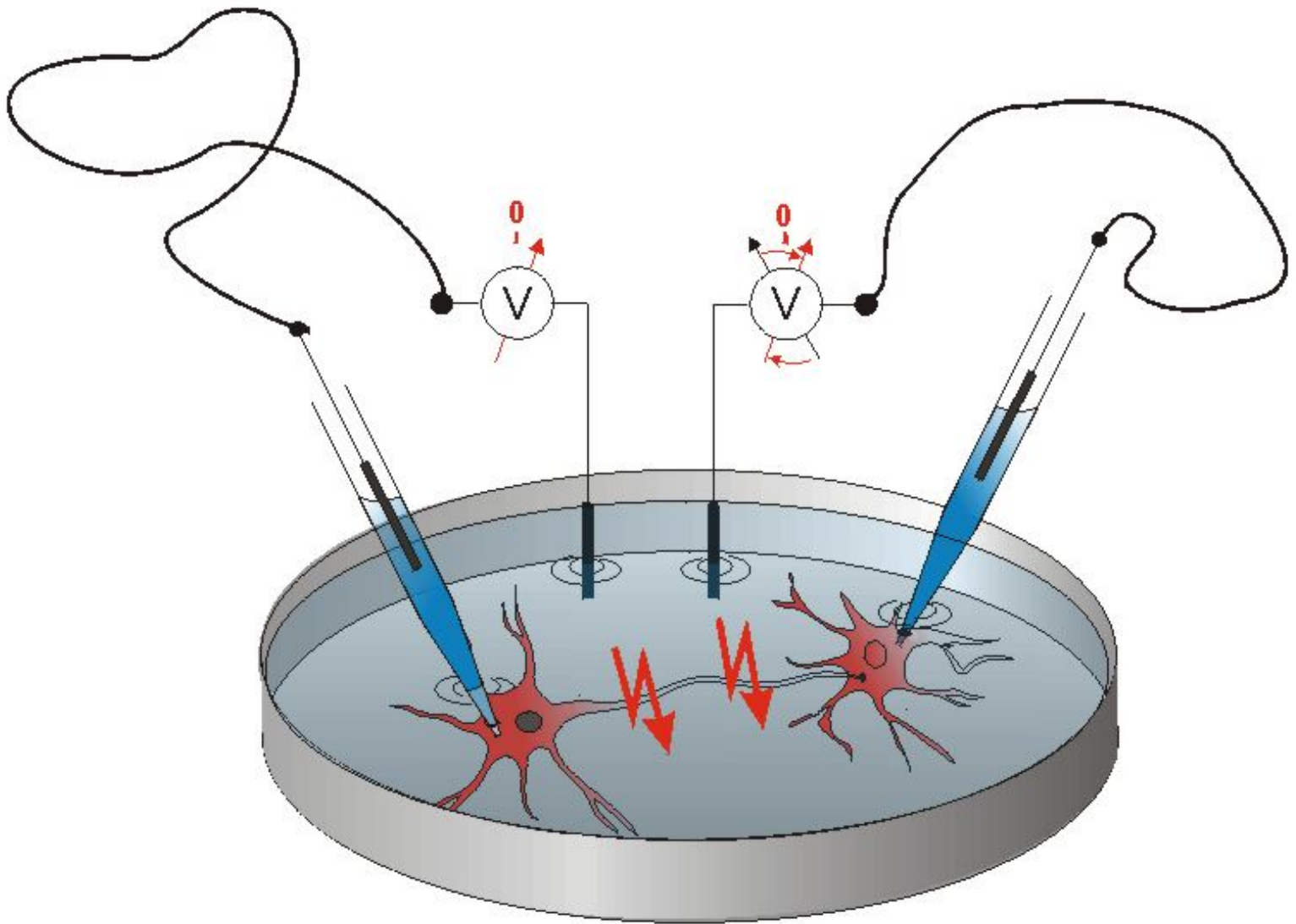
#### Themen:

- [Kommunikation zwischen Nervenzellen](#)
- [Dendriten und Axone](#)
- [Spannungssensoren](#)
- [Spannungsgesteuerte Natriumkanäle](#)
- [Spannungsgesteuerte Kaliumkanäle](#)
- [Das Aktionspotential](#)
- [Zusammenfassung](#)

### Kommunikation zwischen Nervenzellen



Zwei Nervenzellen wachsen in einer Kulturschale. Sie sind miteinander durch ein Axon verbunden, das die eine Zelle zur anderen hin wachsen lassen. In Ruhe haben beide Zellen ein [Ruhepotential](#) von etwa -80 mV. Wird die eine Zelle erregt (durch chemische, mechanische oder elektrische Stimulation), wird ihr Membranpotential positiver; sie **depolarisiert**. Diese Erregung kann die Zelle durch ihr Axon auf die andere Zelle übertragen.



Die Erregung wird durch das Axon übertragen. Die für die Erregungsübertragung verwendeten Signal sind die Aktionspotentiale. Die Signale laufen immer nur in **eine** Richtung über das Axon. Dazu zunächst etwas zur Struktur von miteinander kommunizierenden Nervenzellen:

..... weiter bei: [Dendriten und Axone](#)

**Biologie III****Grundvorlesung Tier- und Humanphysiologie WS 2002/2003**Mo - Do, **10:00 - 10:45 Uhr**,

großer Hörsaal des Zoologischen Instituts, Im Neuenheimer Feld 230

[Startseite](#)**Fragen, Tipps und Kommentare  
bitte an unser Forum:****Forum****Merkzettel**

Termin	Titel / html-Skript	DOWNLOAD html-Skript	DOWNLOAD pdf-Datei	DOWNLOAD Powerpoint
--------	---------------------	-------------------------	-----------------------	------------------------

**Bitte drucken Sie die Powerpoint-Dateien NICHT im URZ aus !!!  
Verwenden Sie für Ausdrucke bitte die pdf-Dateien.**

20.01.03	Elektro 1: <a href="#">Das Ruhepotential</a>	<a href="#">elek01s.zip</a>	<a href="#">elektro1.pdf</a>	<a href="#">elektro1.ppt</a>
21.01.03	Elektro 2: <a href="#">Das Aktionspotential</a>	<a href="#">elek02s.zip</a>	<a href="#">elektro2.pdf</a>	<a href="#">elektro2.ppt</a>
22.01.03	Synapse: <a href="#">Elektrokommunikation</a>	<a href="#">synapses.zip</a>	<a href="#">synapse.pdf</a>	<a href="#">synapse.ppt</a>
23.01.03	Muskel 1 <a href="#">Elektromechanische Kopplung</a>	<a href="#">muskel01s.zip</a>	<a href="#">muskel1.pdf</a>	<a href="#">muskel1.ppt</a>
27.01.03	Muskel 2: <a href="#">Muskelkontraktion</a>	<a href="#">muskel02s.zip</a>	<a href="#">muskel2.pdf</a>	<a href="#">muskel2.ppt</a>
28.01.03	Sinne 1: <a href="#">Haarzellen</a>	<a href="#">sinne1.zip</a>	<a href="#">sinne1.pdf</a>	<a href="#">sinne1.ppt</a>
29.01.03	Sinne 2: <a href="#">Gleichgewicht und Gehör</a>	<a href="#">sinne2.zip</a>	<a href="#">sinne2.pdf</a>	<a href="#">sinne2.ppt</a>
03.02.03	Sinne 3: <a href="#">Photoelektrische Transduktion</a>	<a href="#">sinne3.zip</a>	<a href="#">sinne3.pdf</a>	<a href="#">sinne3.ppt</a>
04.02.03	Sinne 4: <a href="#">Linsenaugen und Komplexaugen</a>	<a href="#">sinne4.zip</a>	<a href="#">sinne4.pdf</a>	<a href="#">sinne4.ppt</a>
05.02.03	Sinne 5: <a href="#">Riechzellen</a>	<a href="#">sinne5.zip</a>	<a href="#">sinne5.pdf</a>	<a href="#">sinne5.ppt</a>
06.02.03	Sinne 6: <a href="#">Geschmackszellen</a>	<a href="#">sinne6.zip</a>	<a href="#">sinne6.pdf</a>	<a href="#">sinne6.ppt</a>
11.02.03	Sinne 7: <a href="#">Elektroortung</a>	<a href="#">sinne7.zip</a>	<a href="#">sinne7.pdf</a>	<a href="#">sinne7.ppt</a>
12.02.03	ZNS: <a href="#">Zentrales Nervensystem</a>	<a href="#">zns.zip</a>	<a href="#">zns.pdf</a>	<a href="#">zns.ppt</a>

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Februar 2003

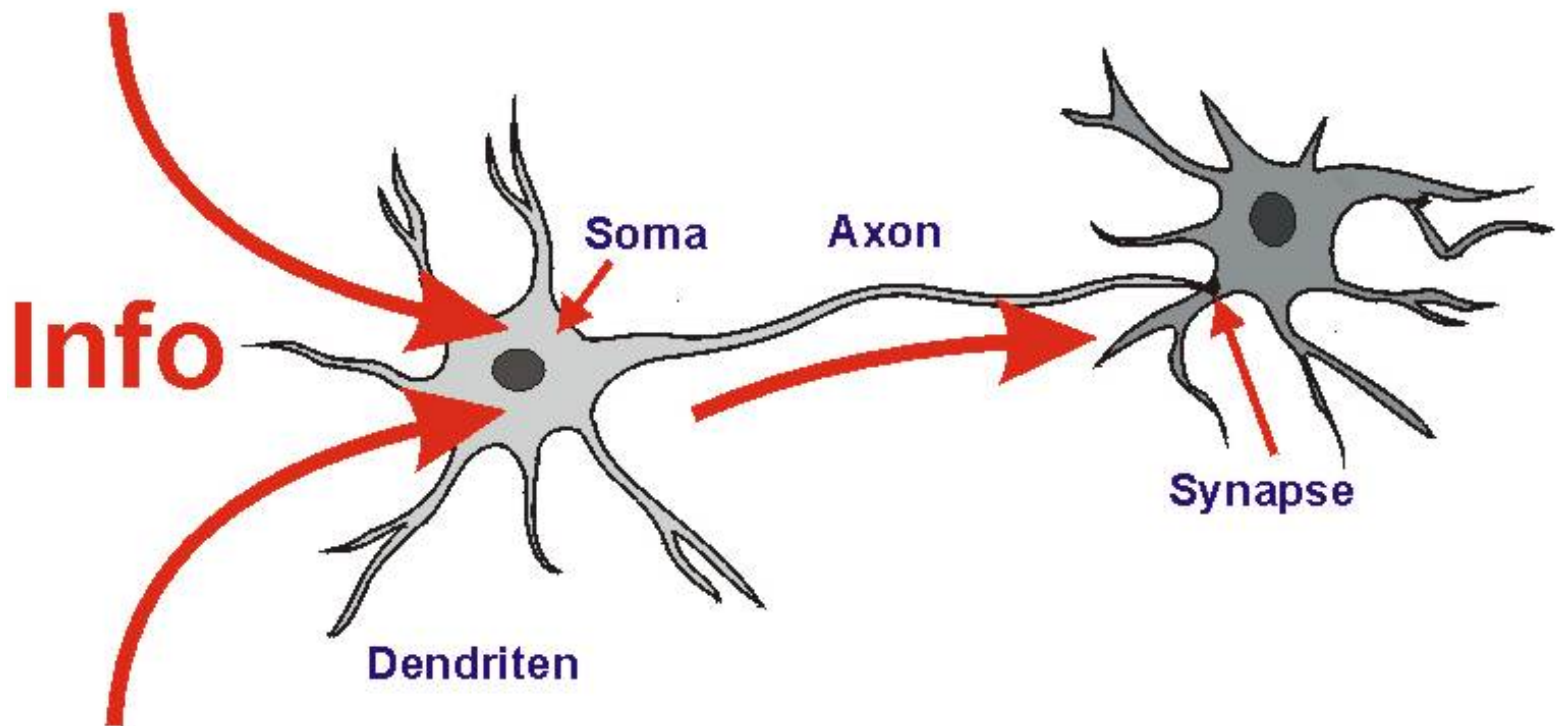
[s.frings@zoo.uni-heidelberg.de](mailto:s.frings@zoo.uni-heidelberg.de)

## Elektro II Das Aktionspotential

### Themen:

- [Kommunikation zwischen Nervenzellen](#)
- [Dendriten und Axone](#)
- [Spannungssensoren](#)
- [Spannungsgesteuerte Natriumkanäle](#)
- [Spannungsgesteuerte Kaliumkanäle](#)
- [Das Aktionspotential](#)
- [Zusammenfassung](#)

### Dendriten und Axone



Schematische Darstellung von zwei miteinander verknüpften Nervenzellen (Neuronen). Die linke Nervenzelle nimmt neuronale Information (Input von anderen Neuronen) über ihre Dendriten auf. Die Dendriten mancher Neurone sind mit tausenden anderen Nervenzellen verknüpft und integrieren die hereinkommenden Signale.

Über ein einzelnes Axon wird das Ausgangssignal der linken Zelle zur rechten Zelle weitergeleitet. Das Axon dient dabei der **Reizweiterleitung**, die Synapse am Ende des Axons zur **Reizübertragung**.

Wie kommen die Signale zustande, mit denen Nervenzellen kommunizieren?

... weiter mit: [Spannungssensoren](#)

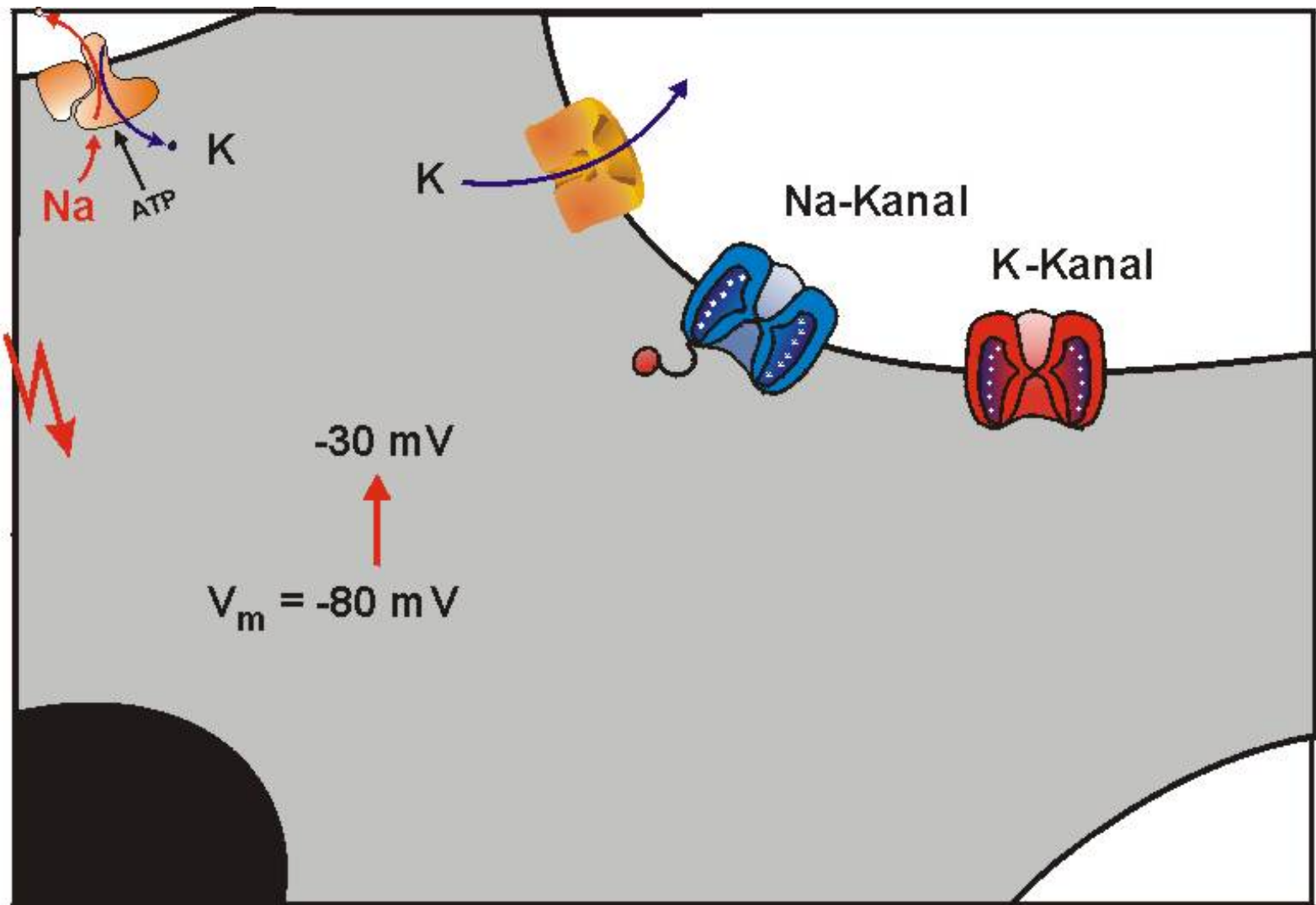
## Elektro II

## Das Aktionspotential

## Themen:

- [Kommunikation zwischen Nervenzellen](#)
- [Dendriten und Axone](#)
- [Spannungssensoren](#)
- [Spannungsgesteuerte Natriumkanäle](#)
- [Spannungsgesteuerte Kaliumkanäle](#)
- [Das Aktionspotential](#)
- [Zusammenfassung](#)

## Spannungssensoren



Eine Nervenzelle reagiert auf einen Reiz mit einer Änderung des Membranpotentials. Bei Stimulation verschiebt sich das Membranpotential vom Ruhepotential (ca -80 mV) aus zu positiveren (= weniger negativen) Werten. Dieser Vorgang wird als **Depolarisation** bezeichnet. Um diese Spannungsänderung als Signal verwenden zu können, muss die Zelle die Depolarisation erst einmal registrieren. Dafür besitzt sie als **Spannungssensoren** spannungsgesteuerte Kalium- und Natriumkanäle (die blauen und roten Symbole im Bild oben).

Spannungsgesteuerte Kanäle besitzen geladene Proteindomänen, die sich - je nach Membranpotential - in der Membran verschieben. Die Öffnung der Kanalpore wird durch diese Bewegung im Protein gesteuert.

... weiter mit: [Spannungsgesteuerte Natriumkanäle](#)

# Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

**START**

## Elektro II

### Das Aktionspotential

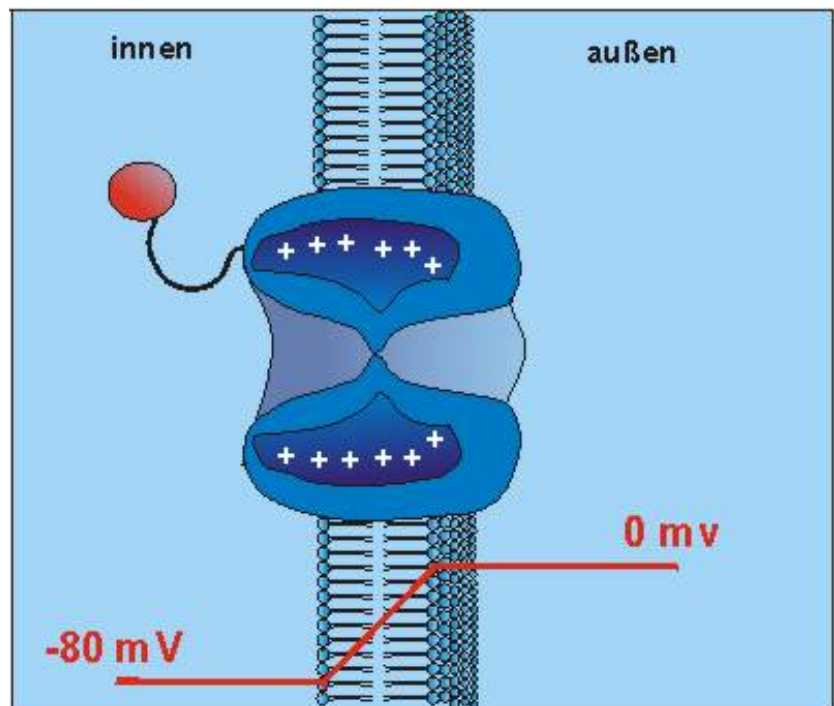
#### Themen:

- [Kommunikation zwischen Nervenzellen](#)
- [Dendriten und Axone](#)
- [Spannungssensoren](#)
- [Spannungsgesteuerte Natriumkanäle](#)
- [Spannungsgesteuerte Kaliumkanäle](#)
- [Das Aktionspotential](#)
- [Zusammenfassung](#)

### Spannungsgesteuerte Natriumkanäle

Im Unterschied zu den immer offenen Kaliumkanälen, die für das Ruhepotential verantwortlich sind, ist die Pore der spannungsgesteuerten Natriumkanäle beim Ruhepotential geschlossen. Das liegt daran, dass diese Proteine vier Proteindomänen (Spannungssensoren, hier sind nur 2 davon symbolisiert) mit jeweils ca 8 positiv geladenen Aminosäureresten besitzen. Auf diese geladenen Domänen wirkt im elektrischen Feld über der Membran eine Kraft: Bei negativem Potential werden die vier Spannungssensoren zur Zellinnenseite hin gezogen und verschliessen dabei die Pore.

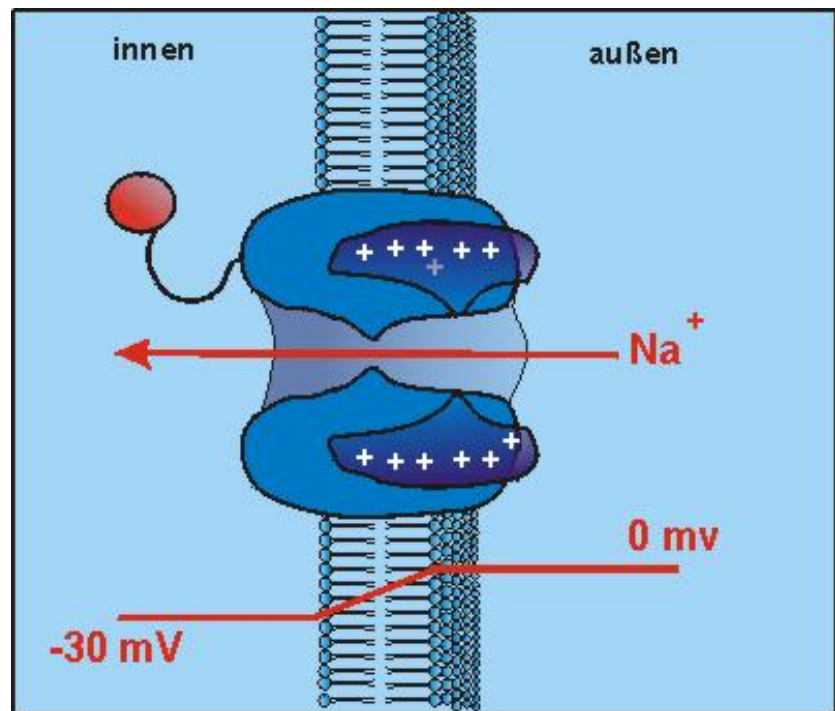
Beim Ruhepotential sind diese Kanäle folglich geschlossen und leiten keinen Strom.



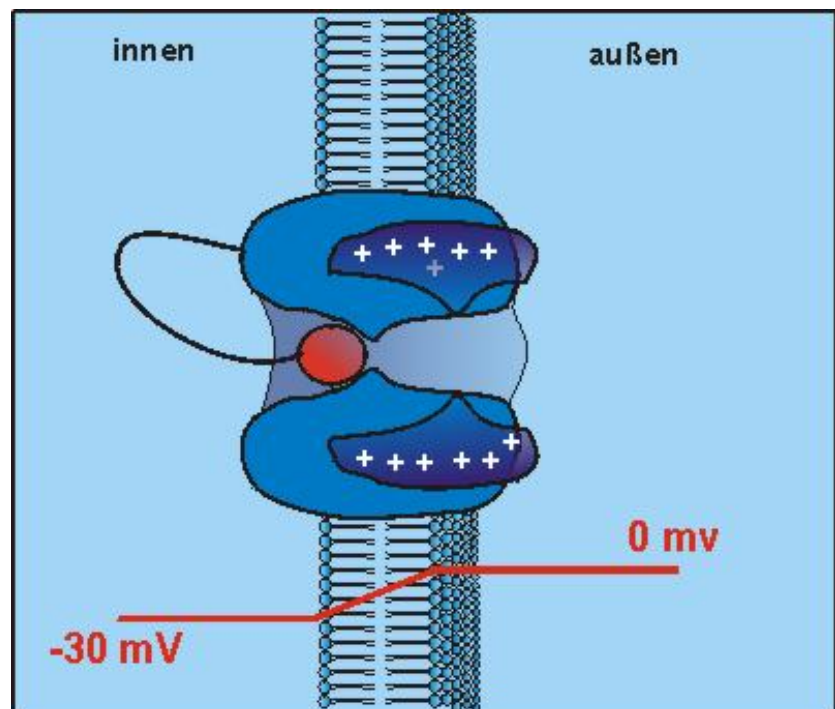
Bei einem depolarisierenden Reiz wird das Membranpotential positiver, und die Kraft, die auf die Spannungssensoren wirkt, nimmt ab. Bei ca -40 mV wird die Kraft so schwach, dass die Sensoren zur Zellaussenseite hin verschoben werden und die Kanalpore freigeben. Sofort fließen Na-Ionen in die Zelle ein, denn sie werden sowohl von ihrem chemischen Potential (ausßen 150 mM, innen 15 mM) als auch vom elektrischen Potential (innen immer noch negativ) in die Zelle getrieben. Dieser Kanal wird also durch Depolarisation **aktiviert**.

Diese Steuerung der Kanalpore durch die Spannung wird im Englischen als "voltage-gating" bezeichnet (von gate = Tor). Als "gate" dient dabei ein Teil des Proteins, der die Pore verschliessen kann, selbst aber durch die Spannungssensoren gesteuert wird. Der genaue Mechanismus des "gating"-

Prozesses ist bisher noch nicht aufgeklärt.



Nach Öffnung der Pore haben die Na-Ionen aber nur wenig Zeit, um in die Zelle zu gelangen. Schon nach 1-3 Tausendstel Sekunden (1-3 ms) verschliesst ein kugelförmiger Anhang des Kanalproteins die Pore und stoppt den Na-Einstrom. Obwohl die Pore noch offen ist, wird der Kanal von der Zellinnenseite her verstopft. Dieser Prozess der Selbstabschaltung des Na-Kanals wird als **Inaktivierung** bezeichnet. Der Kanal bleibt solange inaktiv, bis das Membranpotential wieder zum Ruhepotential zurückkehrt. Erst dann verschieben sich die Spannungssensoren wieder zur Zellinnenseite, und die Kugel löst sich aus dem Kanal. Der **reaktivierte Kanal** ist dann wieder bereit, bei einer erneuten Depolarisation für kurze Zeit Na in die Zelle zu leiten.



Die Inaktivierungskugel (engl.: "ball-and-chain mechanism") stellt also sicher, dass die spannungsgesteuerten Na-Kanäle immer nur sehr kurz aufgehen. Warum das wichtig ist für die Erzeugung von Signalen in Nervenzellen wird klar, wenn man die zweite Art von Ionenkanälen betrachtet, die an diesem Signal beteiligt sind, die [spannungsgesteuerten Kaliumkanäle](#).

# Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

**START**

## Elektro II Das Aktionspotential

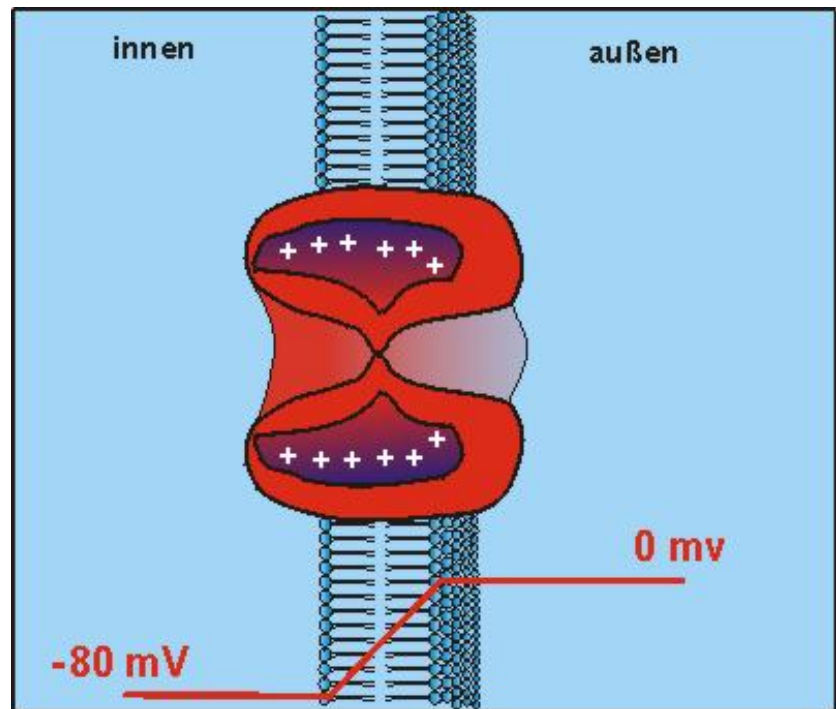
### Themen:

- [Kommunikation zwischen Nervenzellen](#)
- [Dendriten und Axone](#)
- [Spannungssensoren](#)
- [Spannungsgesteuerte Natriumkanäle](#)
- [Spannungsgesteuerte Kaliumkanäle](#)
- [Das Aktionspotential](#)
- [Zusammenfassung](#)

### Spannungsgesteuerte Kaliumkanäle

Auch die spannungsgesteuerten K-Kanäle von Nervenzellen sind beim Ruhepotential geschlossen. Wie bei den Na-Kanälen wird auch hier die Pore von einem Gating-Mechanismus verschlossen, der von vier Spannungssensoren kontrolliert wird.

Dennoch funktioniert dieser Kanal ganz anders als der Na-Kanal!

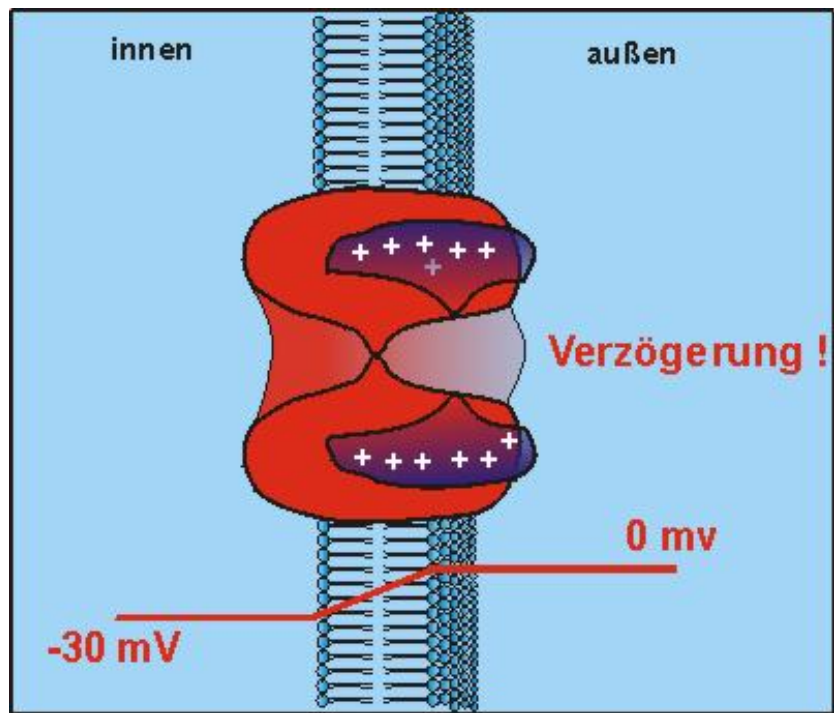


Bei Depolarisation verschieben sich hier die Spannungssensoren nach aussen. Zunächst aber passiert nichts - die Pore bleibt zu. Erst nach einer Verzögerung von einigen Millisekunden öffnet sich die Pore und lässt K-Ionen (getrieben von ihrem chemischen Potential) nach aussen fließen.

Diese Verzögerung ist entscheidend für die Funktion der K-Kanäle. Sie öffnen sich nämlich erst, wenn die Na-Kanäle schon wieder zu gehen. Die beiden Kanalsorten werden also zwar **gleichzeitig aktiviert** aber **nacheinander geöffnet**.

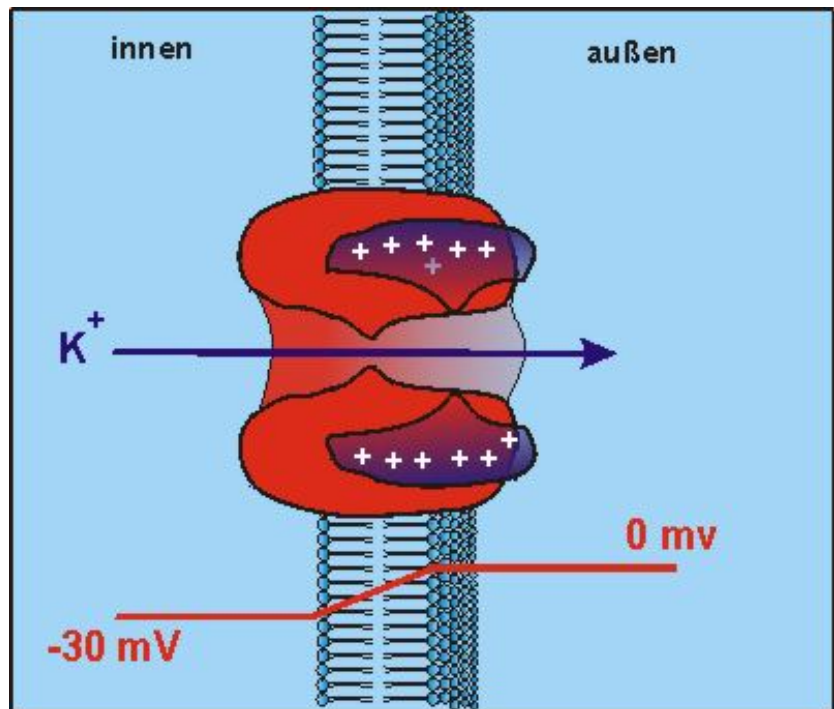
Die eingebaute Verzögerung hat den K-Kanälen im Englischen den Namen "delayed rectifier" eingebracht. "Delayed" bezeichnet die Verzögerung, "rectifier" (Gleichrichter) deutet an, dass die K-Ionen nur in eine

Richtung (nach aussen) fließen.



Wenn die K-Kanäle einmal geöffnet sind, bleiben sie offen bis das Membranpotential wieder auf den Ruhewert (-80 mV) gelangt. Erst dann werden die Spannungssensoren wieder nach innen verschoben und schliessen die Pore.

Im Gegensatz zu den Na-Kanälen besitzen die K-Kanäle keine Inaktivierungskugeln. Sie werden **ausschliesslich** durch die Spannungssensoren gesteuert.



Wie entstehen aus dem Zusammenspiel von Na- und K-Kanälen Signale, mit denen Nervenzellen kommunizieren?

.... weiter mit: [Das Aktionspotential](#)

# Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

**START**

## Elektro II Das Aktionspotential

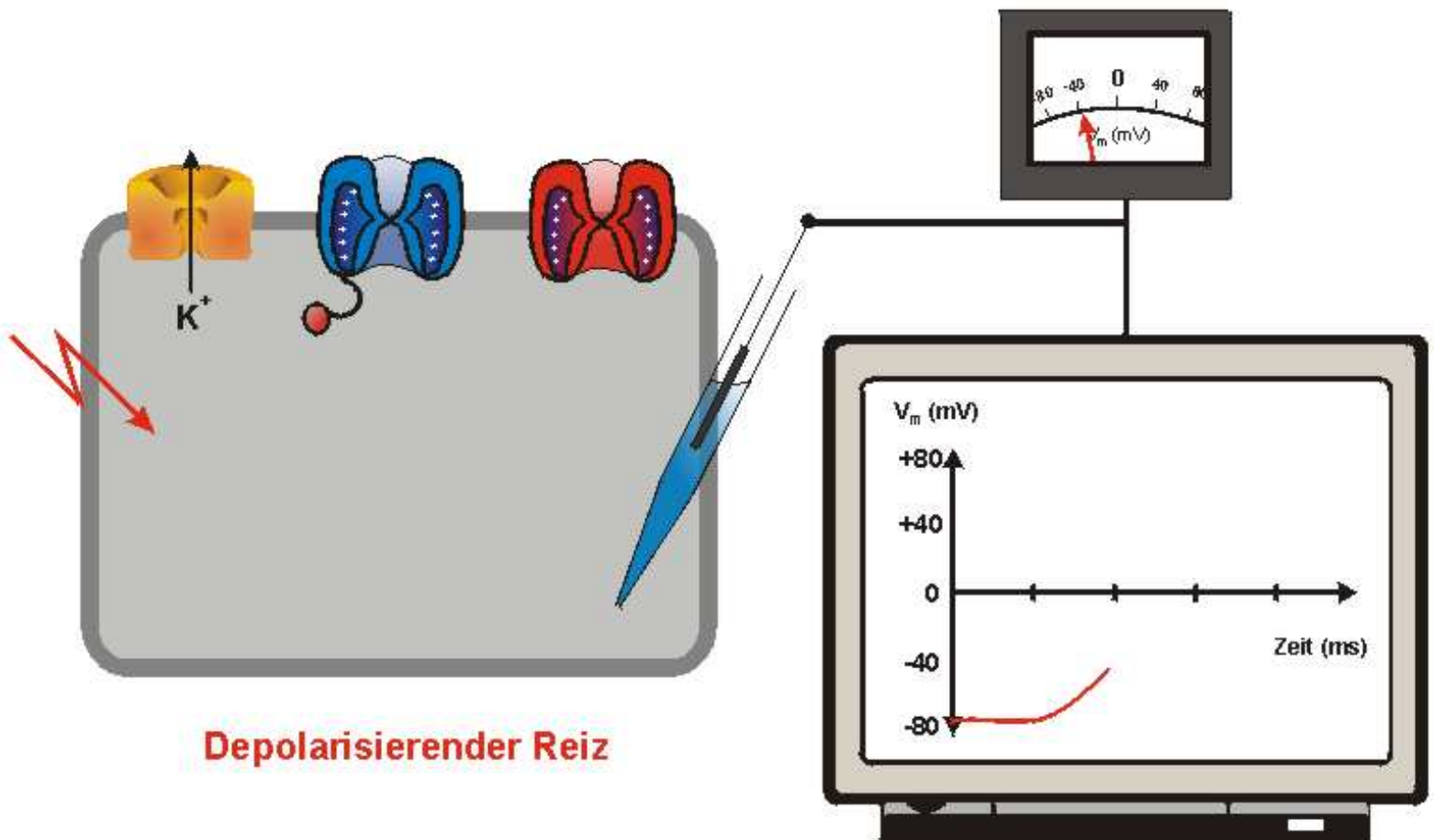
### Themen:

- [Kommunikation zwischen Nervenzellen](#)
- [Dendriten und Axone](#)
- [Spannungssensoren](#)
- [Spannungsgesteuerte Natriumkanäle](#)
- [Spannungsgesteuerte Kaliumkanäle](#)
- [Das Aktionspotential](#)
- [Zusammenfassung](#)

### Das Aktionspotential

### [Die Form neuronaler APs](#)

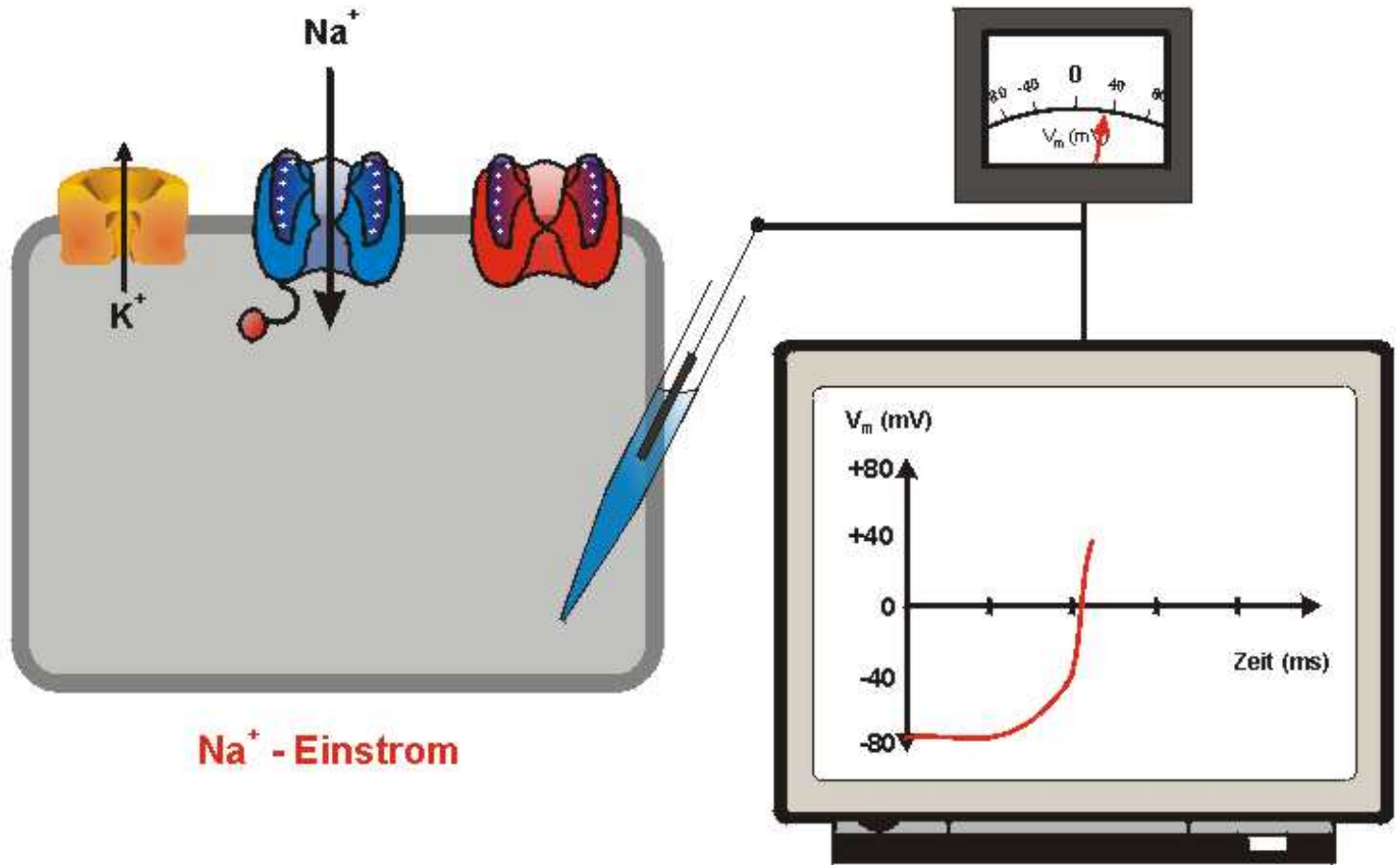
### [APs als Signale zwischen Neuronen](#)



### Depolarisierender Reiz

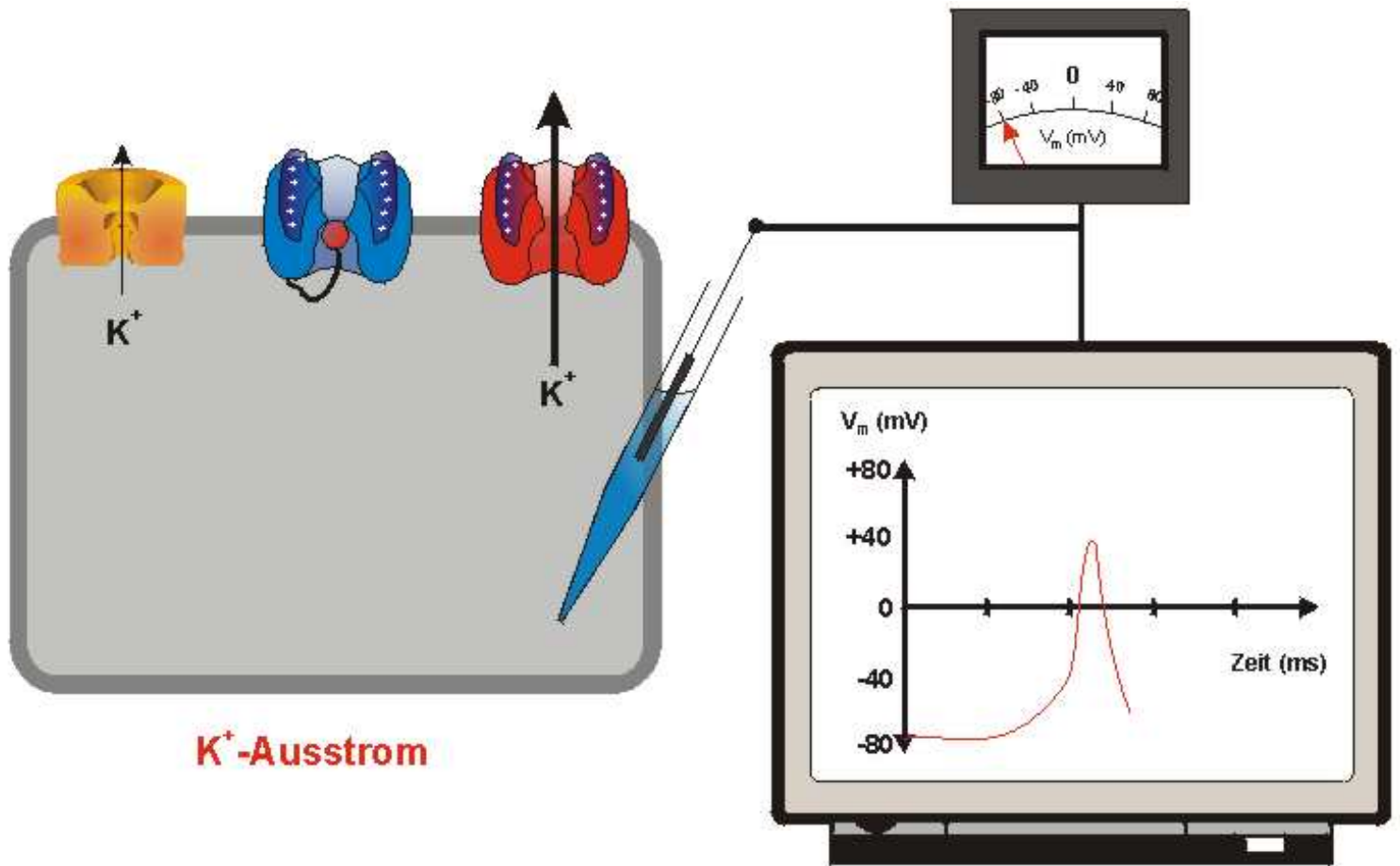
Hier soll modellhaft dargestellt werden, wie die spannungsgesteuerten Ionenkanäle eines Neurons ein Aktionspotential bilden. Die Kanalsymbole (gelb: immer offene  $K^+$ -Kanäle; blau: spannungsgesteuerte  $Na^+$ -Kanäle; rot: spannungsgesteuerte  $K^+$ -Kanäle) stehen für mehrere hundert oder tausend Kanäle in jedem Neuron. Mit einer Mikroelektrode wird das Membranpotential abgeleitet und mit einem Voltmeter (oben rechts) dargestellt. Gleichzeitig registriert ein Computer (unten rechts) den Zeitverlauf des Membranpotentials auf einem Diagramm.

Wenn die Zelle einen **depolarisierenden Reiz** empfängt, z.B. über eine Synapse, wird das Membranpotential vom Ruhewert (ca. -80 mV) zu positiveren Werten hin ausgelenkt (Depolarisation). Solange das Potential negativer als ca. -40 mV bleibt, geschieht nicht viel, außer, dass Kalium durch die immer offenen Kanäle nach draussen fließt.

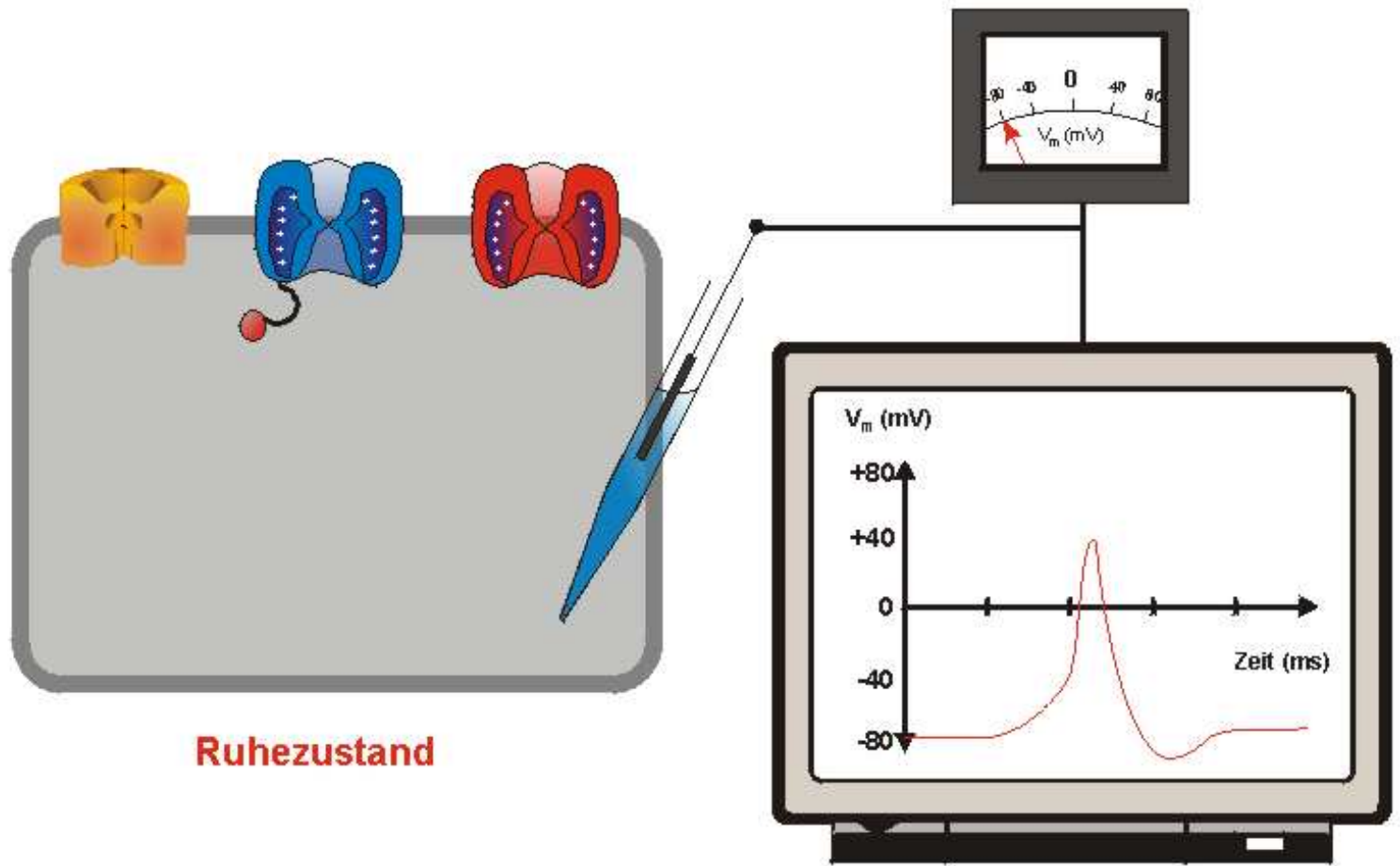


Wird jedoch die **Schwellesspannung** ca -40 mV überschritten, öffnen sich die spannungsgesteuerten **Na-Kanäle**, ein starker Na-Strom fließt in die Zelle und **depolarisiert die Membran weiter**. Dabei können sogar positive Werte erreicht werden.

Während die Na-Kanäle schon Na-Strom leiten, werden die K-Kanäle noch durch ihren Verzögerungsmechanismus geschlossen gehalten.



Nach nur 1-2 ms werden die **Na-Kanäle inaktiviert** und die **K-Kanäle geöffnet**. der Na-Strom stoppt, und ein K-Strom fließt aus der Zelle und hyperpolarisiert die Membran (verschiebt das Potential zu negativeren Werten).



Beim wiederhergestellten Ruhepotential schliessen die Poren von Na- und K-Kanälen, und die Inaktivierung wird wieder aufgehoben. Die Zelle ist jetzt im Ruhezustand und kann erneut auf einen depolarisierenden Stimulus reagieren.

Und [so](#) sehen Aktionspotentiale in Neuronen fast immer aus!

# Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

**START**

## Elektro II

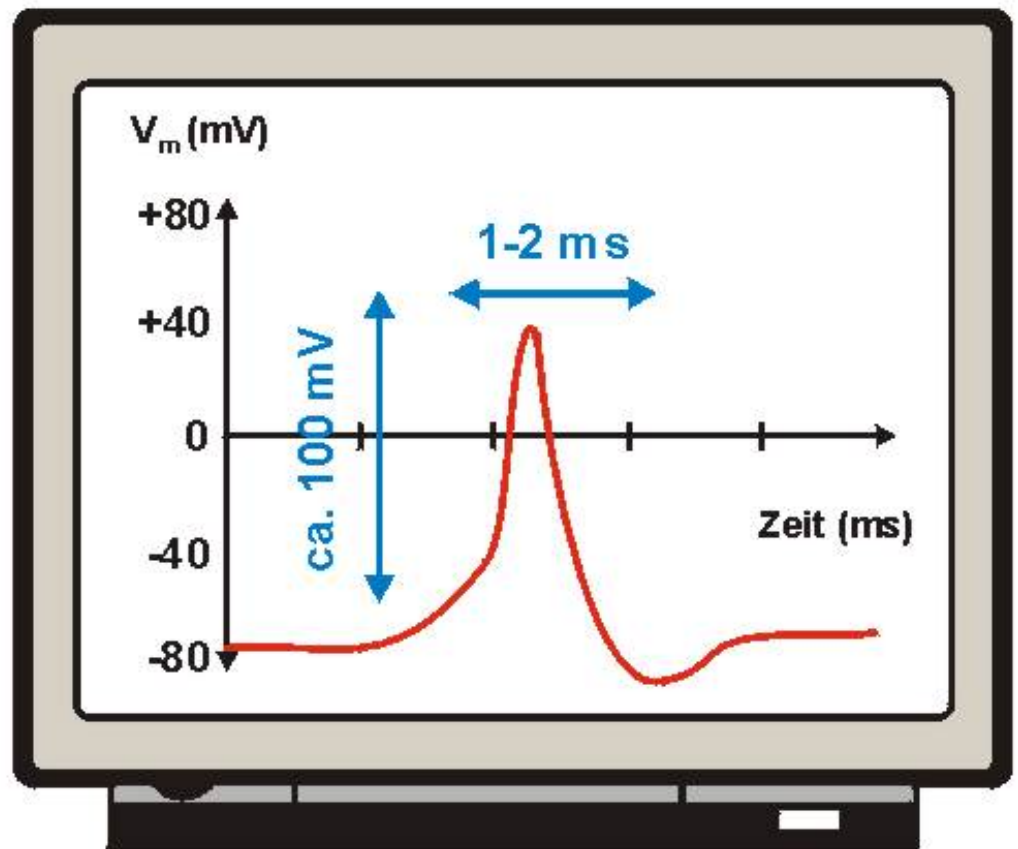
### Das Aktionspotential

#### Themen:

- [Kommunikation zwischen Nervenzellen](#)
- [Dendriten und Axone](#)
- [Spannungssensoren](#)
- [Spannungsgesteuerte Natriumkanäle](#)
- [Spannungsgesteuerte Kaliumkanäle](#)
- [Das Aktionspotential](#)
- [Zusammenfassung](#)

#### Zusammenfassung

- Nervenzellen haben spannungsgesteuerte Ionenkanäle
- Na- und K-Kanäle öffnen bei Depolarisation
- Na-Kanäle inaktivieren, K-Kanäle öffnen mit Verzögerung
- Das Zusammenspiel von Na- und K-Kanälen führt zur Bildung von Aktionspotentialen, die immer die gleiche Form haben
- Aktionspotentiale übertragen Signale von Neuron zu Neuron. Die Information ist dabei in der Frequenz der APs, nicht in deren Amplitude kodiert.



# Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

**START**

## Elektro I Das Ruhepotential

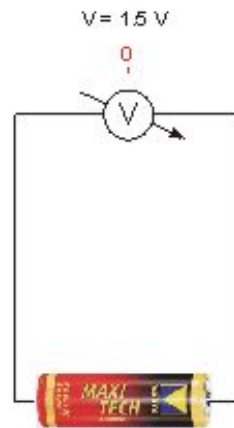
### Themen:

- [Das Ohm'sche Gesetz](#)
- [Die Zelle als Batterie](#)
- [Wie entsteht das Membranpotential?](#)
- [Ionenkanäle](#)
- [Das elektrochemische Potential](#)
- [Zusammenfassung](#)

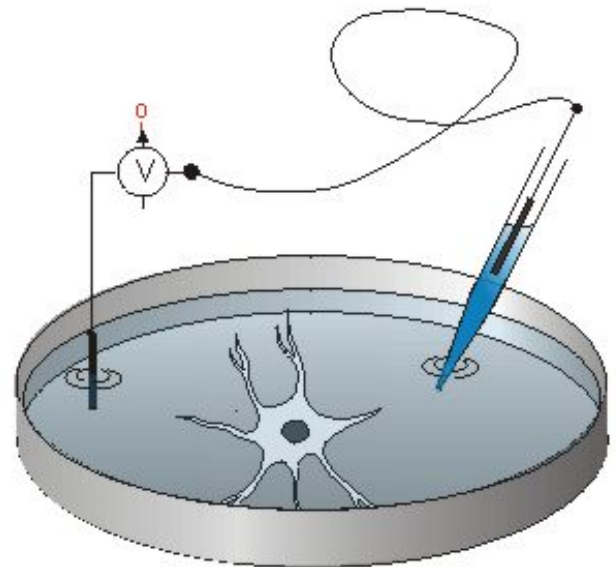
### Die Zelle als Batterie

Sind Zellen Spannungsquellen? Haben sie eine elektrische Ladung wie eine Batterie?

Bei einer Batterie ist die Ladung leicht zu messen. Man verbindet die beiden Pole mit einem Spannungsmessgerät (Voltmeter). Die Anzeige bei der abgebildeten Batterie ist 1.5 V.



In eine Zelle kann man nicht einfach Messdrähte stecken. Man verwendet dazu Mikroelektroden aus Glas mit einer sehr feinen Spitze, die man durch die Plasmamembran stechen kann, ohne die Zelle umzubringen.



Eine Messelektrode befindet sich in der Mikropipette, die andere (die Referenzelektrode) taucht in die Nährlösung ein.

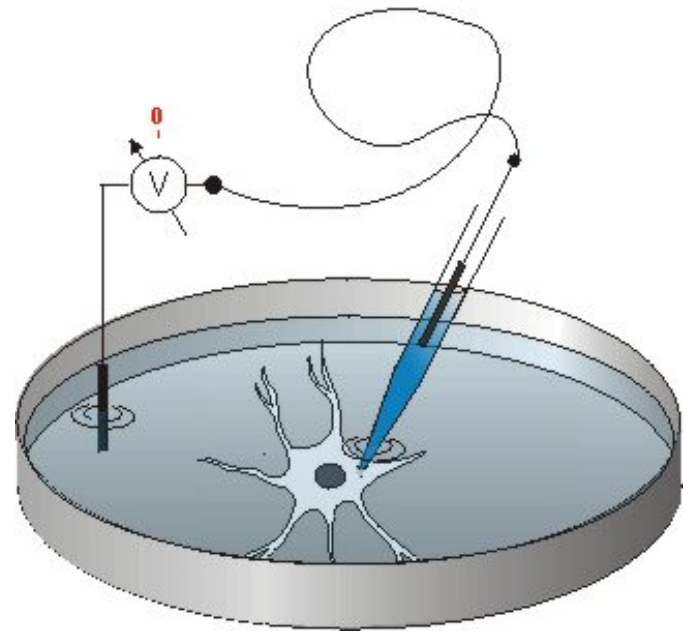
Solange Mikroelektrode und Referenzelektrode in der Nährlösung sind, zeigt das Voltmeter keine Spannung an (0 V).

Beim Einstechen der Mikropipette in die Zelle springt die Anzeige auf einen negativen Wert (zB auf -70 mV; 1 mV = 1/1000 V). Das passiert bei fast allen lebendigen Zellen: fast alle Zellen sind innen negativ geladen.

Warum ist das so?

Wofür ist diese Spannung (das Membranpotential) gut?

... weiter mit: [Wie entsteht das Membranpotential?](#)



Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Januar 2003

[s.fring@zoo.uni-heidelberg.de](mailto:s.fring@zoo.uni-heidelberg.de)