

Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Elektro I Das Ruhepotential

Themen:

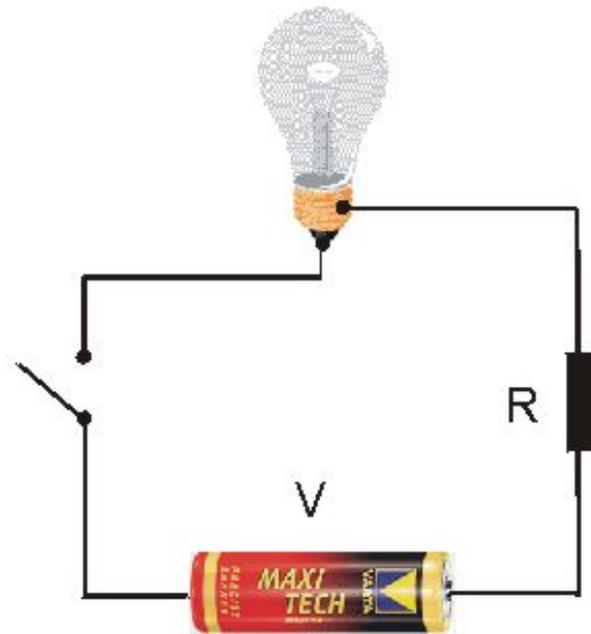
- [Das Ohm'sche Gesetz](#)
- [Die Zelle als Batterie](#)
- [Wie entsteht das Membranpotential?](#)
- [Ionenkanäle](#)
- [Das elektrochemische Potential](#)
- [Zusammenfassung](#)

Das Ohm'sche Gesetz

Das Ohm'sche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen Strom (I), Spannung (V) und Widerstand (R) in einem einfachen Stromkreis.

Zu einem Stromkreis gehören eine Spannungsquelle (Batterie), Verbindungsdrähte mit einem gewissen Widerstand, ein Schalter, sowie ein Verbraucher (Lampe)

Licht an !



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

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Februar 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Elektro I Das Ruhepotential

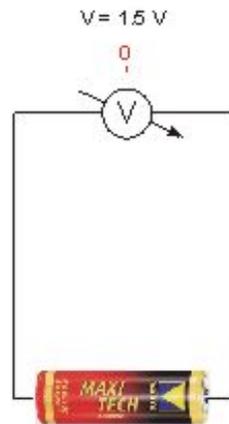
Themen:

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

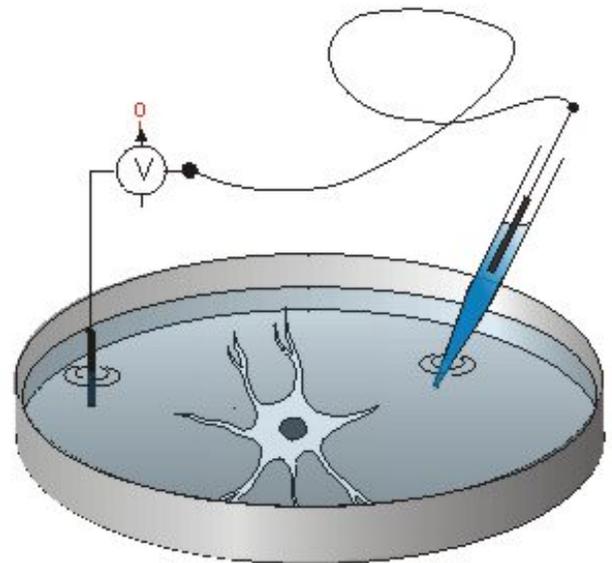
Die Zelle als Batterie

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.

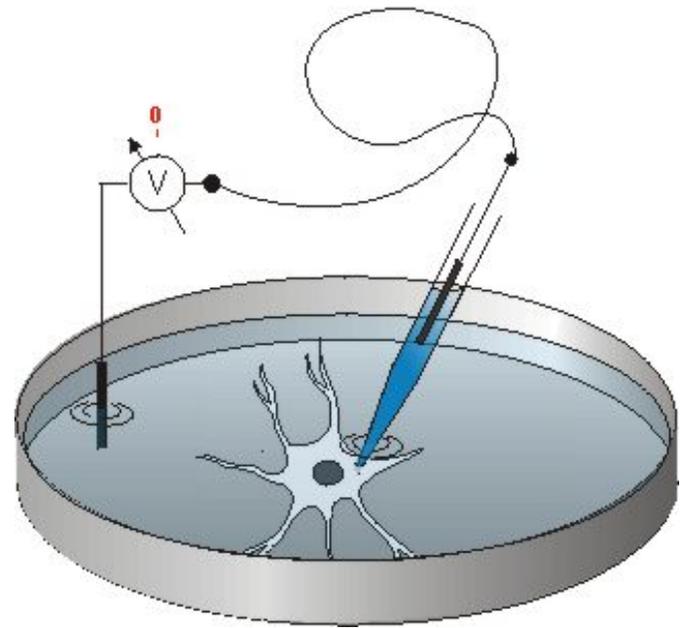
Solange Mikroelektrode und Referenzelektrode in der Nährlösung sind, zeigt das Voltmeter keine Spannung an (0 V).

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?](#)

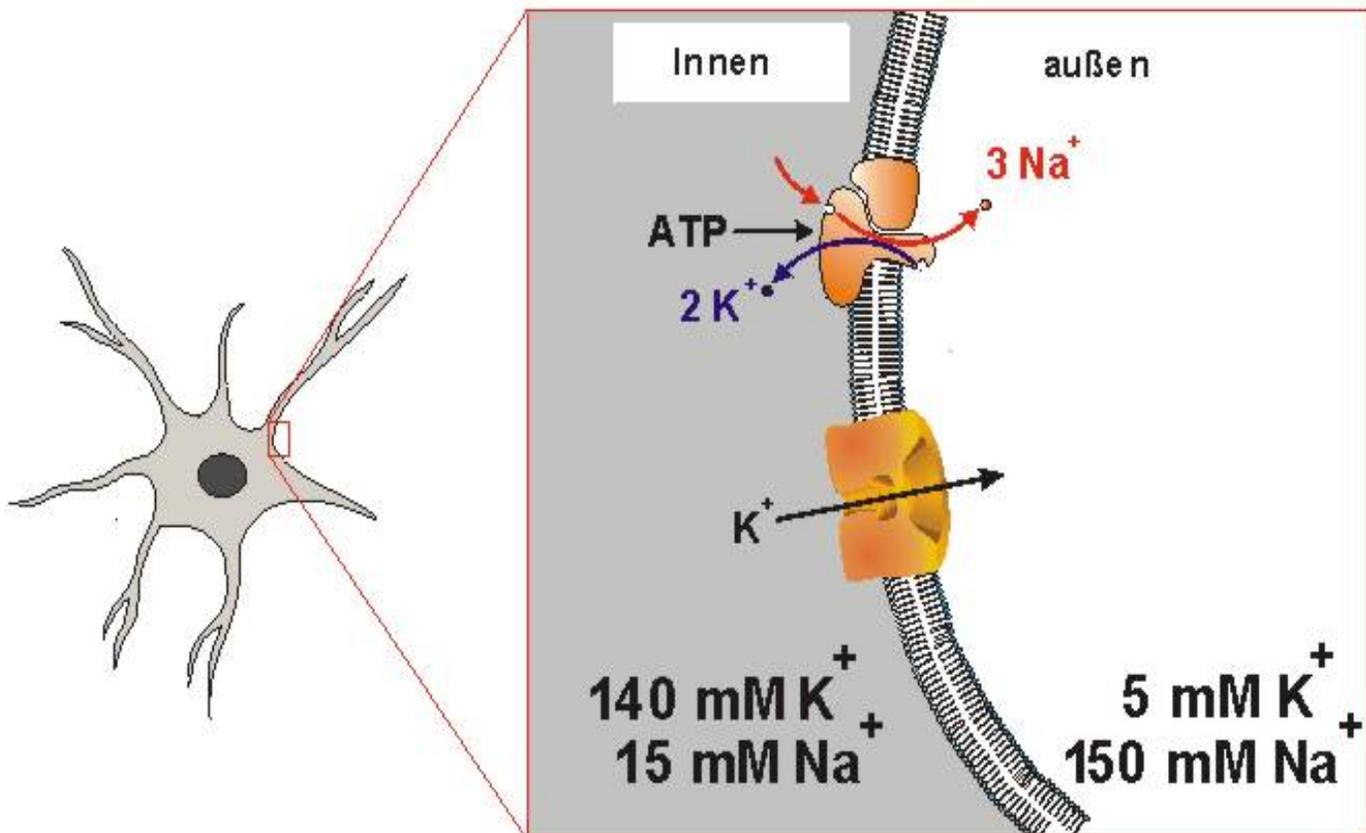


Elektro I Das Ruhepotential

Themen:

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

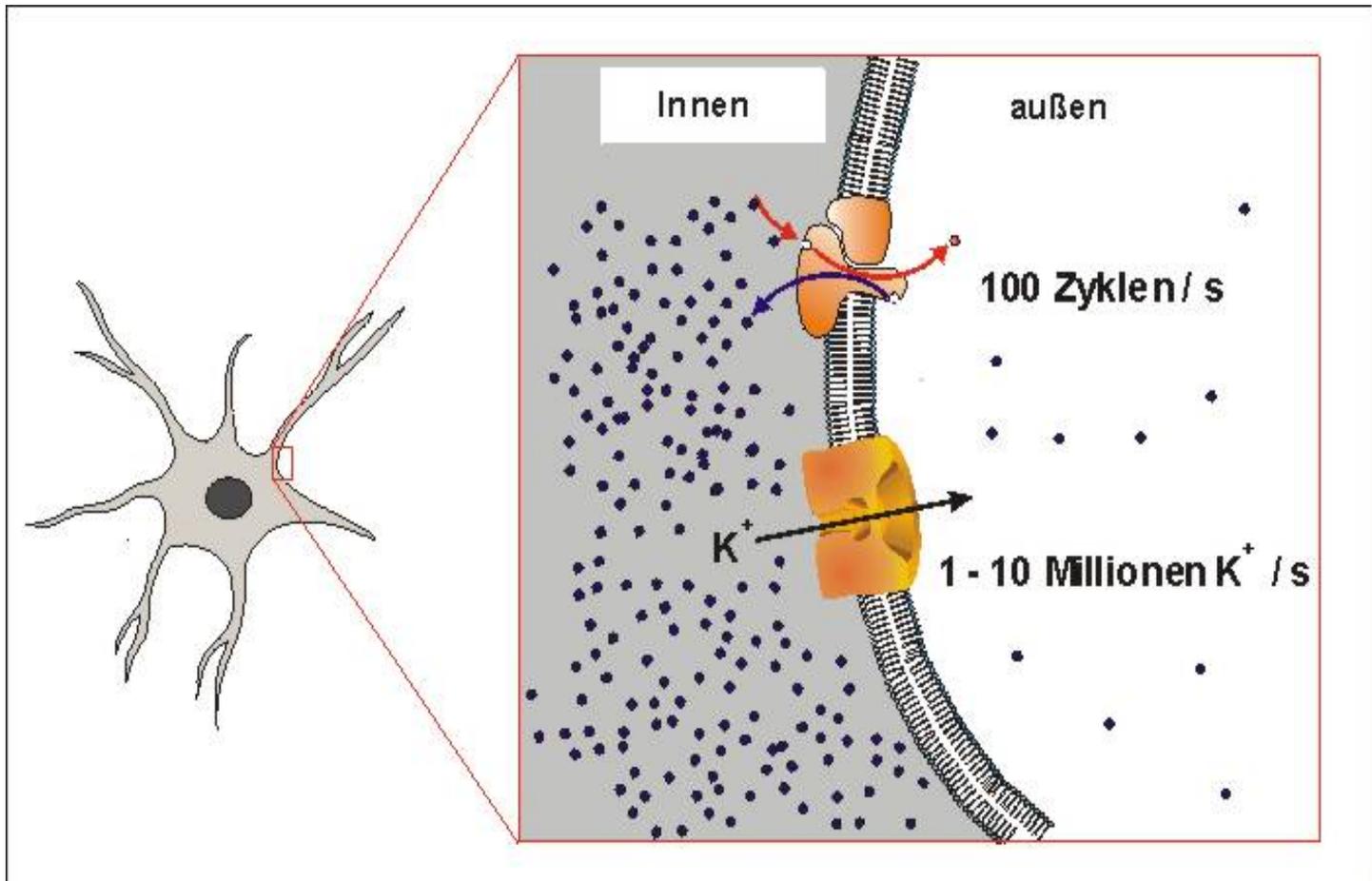
Wie entsteht das Membranpotential?



Lebende Zellen haben in ihrer Plasmamembran (=Zellmembran) Na/K-Pumpen. Diese Proteine nutzen chemische Energie in Form von ATP, um Ionen über die Membran zu "pumpen". Dabei wird das ATP gespalten (hydrolysiert), und mit der dabei frei werdenden Energie werden Kaliumionen in die Zelle und Natriumionen hinaus transportiert.

Diese Pumpen sind immer aktiv und verbrauchen 30 - 50 % der Stoffwechselenergie der Zelle. Durch ihre Aktivität reichert sich K im Zytoplasma an, und die Na-Konzentration fällt auf niedrige Werte. Typische intrazelluläre Konzentrationen sind oben angegeben. Solch ein energieverbrauchender Ionentransport wird als **AKTIVER TRANSPORT** bezeichnet.

Neben den Na/K-Pumpen befinden sich auch Kaliumkanäle in der Membran. Durch diese Proteine können K-Ionen die Zelle wieder verlassen. Dadurch entsteht ein Mangel an positiven (= ein Überschuss an negativen) Ladungen im Zellinnern: das negative Membranpotential. Wenn nur ein kleiner Anteil (ca. 0.001%; [Warum?](#)) die Zelle verlässt, stellt sich ein Membranpotential von -70 bis -90 mV ein. Der Fluss von K-Ionen durch Kaliumkanäle ist nicht an ATP gekoppelt. Man spricht von **PASSIVEM TRANSPORT**.



Eine kleine Bilanz: Die K - Transportleistung der Na/K-Pumpen einer beträgt bei 100 Zyklen/s und einer Pumpenzahl von ca 1000/Zelle (grobe Schätzung !) etwa 200.000 K-Ionen/s. Ein Kaliumkanal kann etwa 1 Millionen K/s leiten und ist auch mit etwa 1000 Kopien in der Zelle vertreten. Damit liegt die Transportleistung der Kanäle bei 1 Milliarde K/s.

Import: 200.000/s; Export 1 Milliarde/s. Wieso läuft nicht in ein paar Sekunden alles K aus der Zelle?

... weiter mit: [Ionenkanäle](#)

Elektro I Das Ruhepotential

Themen:

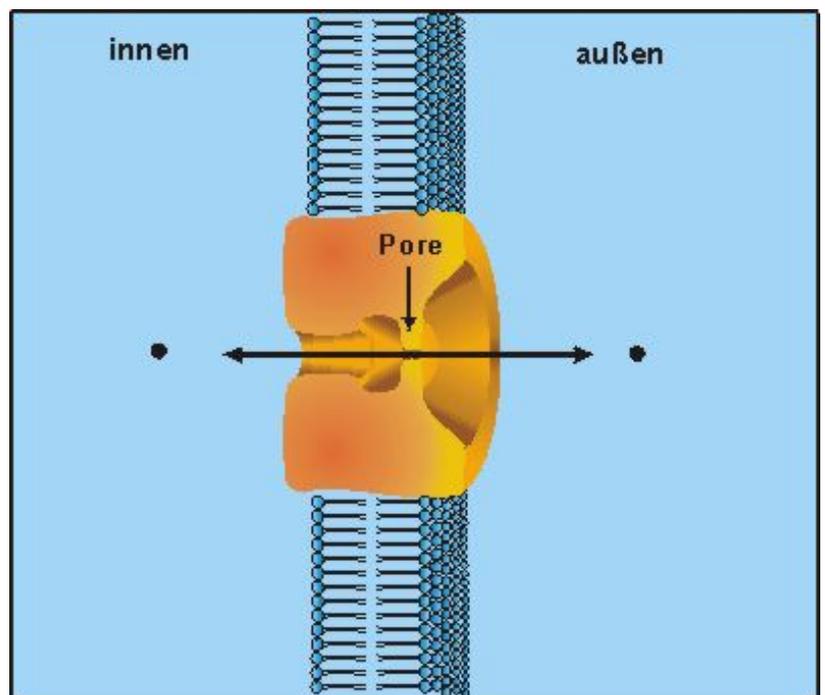
- [Das Ohm'sche Gesetz](#)
- [Die Zelle als Batterie](#)
- [Wie entsteht das Membranpotential?](#)
- [Ionenkanäle](#)
- [Das elektrochemische Potential](#)
- [Zusammenfassung](#)

Ionenkanäle

Ionenkanäle sind Membranproteine, die die Zellmembran von innen nach aussen durchspannen und die - das ist das besondere - eine enge Pore besitzen, durch die Ionen aus der Zelle heraus oder in die Zelle hinein gelangen können. Neben den Poren der Ionenkanäle haben die Ionen noch die Ionenpumpen und Ionentransporter für den Weg über die Membran. Die Membran selbst ist für Ionen undurchlässig.

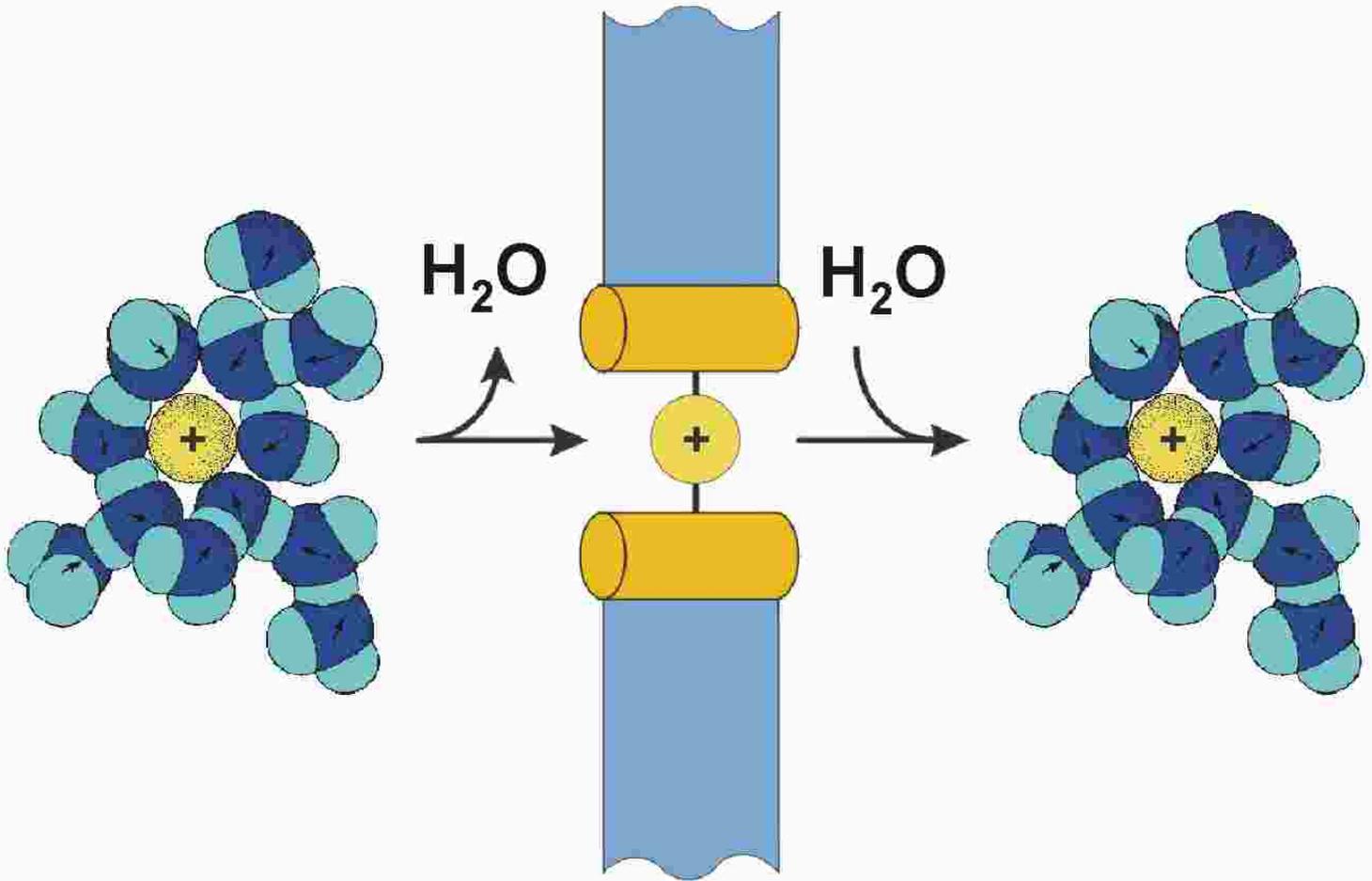
Ionenkanäle transportieren in beide Richtungen. Aber: Die Pore ist nicht einfach ein Loch. Die Pore ist vielmehr eine Bindestelle für das transportierte Ion. Diese Bindestelle ist nötig, um das Ion von seinem Wassermantel (Hydrathülle) zu befreien, mit dem zusammen es nicht durch die Pore passt.

In der Pore entscheidet sich auch, welches Ion (K, Na, Ca, Cl) durchgelassen wird und welches nicht.



Exkurs: Dehydratation

Ionen liegen in wässriger Lösung nicht isoliert vor, sondern sie sind in einen Komplex von Wassermolekülen eingebunden, den sogenannten Hydratmantel. Die Wasserdipole sind darin elektrostatisch an das Ion gebunden. Hydratisierte Ionen gelangen im allgemeinen nicht durch die Poren von Ionenkanälen, weil der Porendurchmesser an der engsten Stelle nur wenig größer ist als das transportierte Ion. Eine Voraussetzung für den Ionen-fluß durch eine Kanalpore ist deshalb die Entfernung des Hydratmantels, die Dehydratation. Dazu muß die Energie der Wechselwirkung von Ion und Wasser (Hydratationsenergie) durch die Energie der Bindung des Ions an die Kanalpore (Bindungsenergie) ersetzt werden. Die Bindungsenergie wird von einer (oder mehreren) Bindestellen in der Pore bereitgestellt. Die Energiedifferenz [Bindungsenergie - Hydratationsenergie] entscheidet also darüber, ob ein Ion von einem Kanal über die Membran geleitet wird. Unterschiede in der Hydratationsenergie sind eine Grundlage der Ionenselektivität von Kanäle, die allein aufgrund der Ionengröße nicht zu erklären ist.

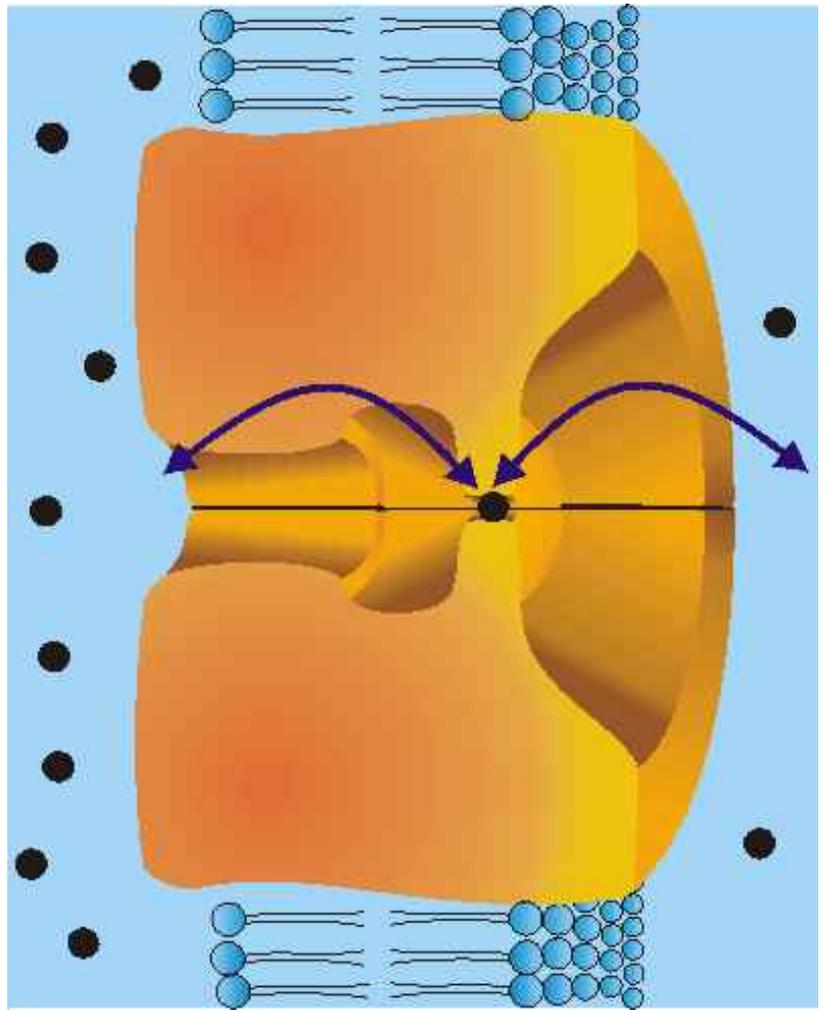


Ist das Ion erst einmal in der Pore gebunden, springt es mit der gleichen Wahrscheinlichkeit zur Innenseite wie zur Aussenseite heraus. Zu einem K-Nettofluss von innen nach aussen kommt es nur, weil viel mehr Ionen von der Innenseite her in die Pore gelangen als von aussen. Denn die Anzahl der K-Ionen, die in Reichweite des Kanals sind und in die Pore diffundieren können ist innen grösser (140 mM K) als aussen (5 mM K).

Die Fähigkeit einer Ionensorte, in einen Ionenkanal zu diffundieren bezeichnet man als **chemisches Potential**, eine Grösse, die der Konzentration des jeweiligen Ions proportional ist.

Neben dem chemischen Potential wird der Ionenfluss durch Ionenkanäle auch durch das elektrische Potential bestimmt. Zusammen ergeben diese beiden Faktoren das [elektrochemische Potential](#).

... weiter mit: [Das elektrochemische Potential](#)



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](#)

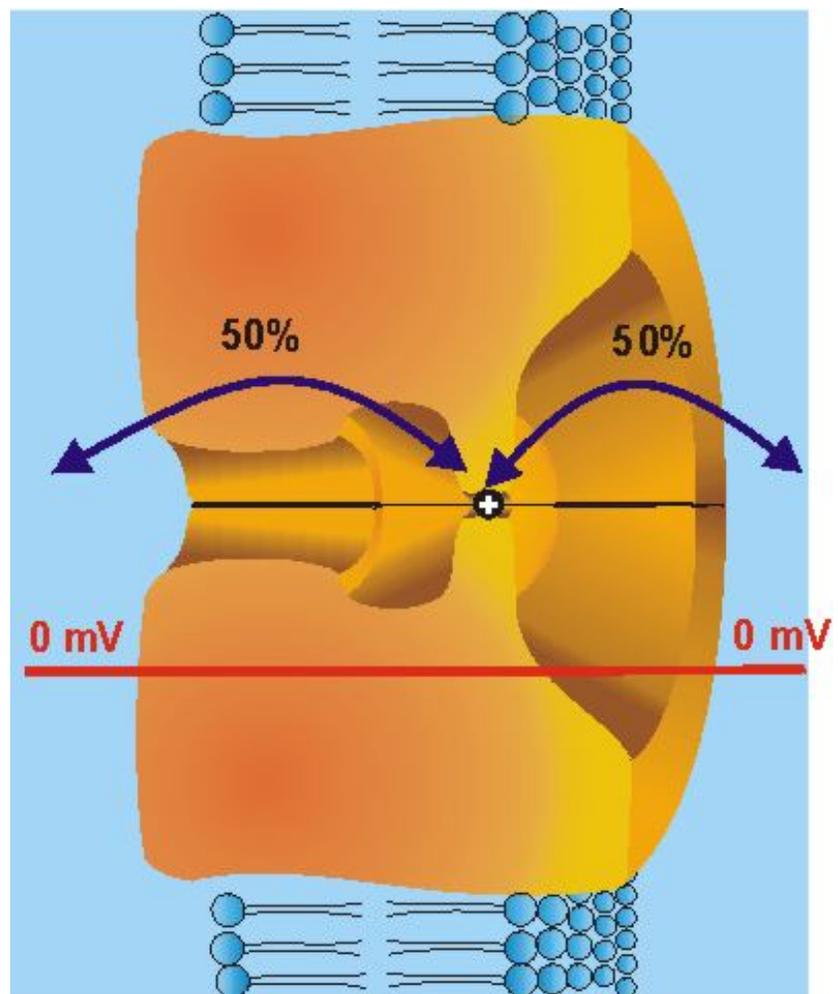
Das elektrochemische Potential

Warum läuft nicht alles K aus der Zelle?
Wie kommt es zur Einstellung des Ruhepotentials?

Die Antwort auf beide Fragen ist die Abhängigkeit des Ionenflusses von der Membranspannung - vom **elektrischen Potential**.

Wenn keine Spannung über der Membran anliegt (**rechts**) - das Membranpotential ist dann 0 mV - springt das Ion aus der Pore mit gleicher Wahrscheinlichkeit nach innen und nach aussen. Denn der Ionenkanal selbst gibt keine Richtung vor. Auf das Ion wirkt dann keine elektrostatische Kraft ein.

Anders ist das, wenn ein negatives Membranpotential anliegt (**unten**). Dieses Potential erzeugen die K-Ionen selbst, indem sie - getrieben von ihrem **chemischen Potential** - durch den Kanal nach aussen diffundieren und dabei ein Defizit an positiven Ladungen im Zellinnern hinterlassen.

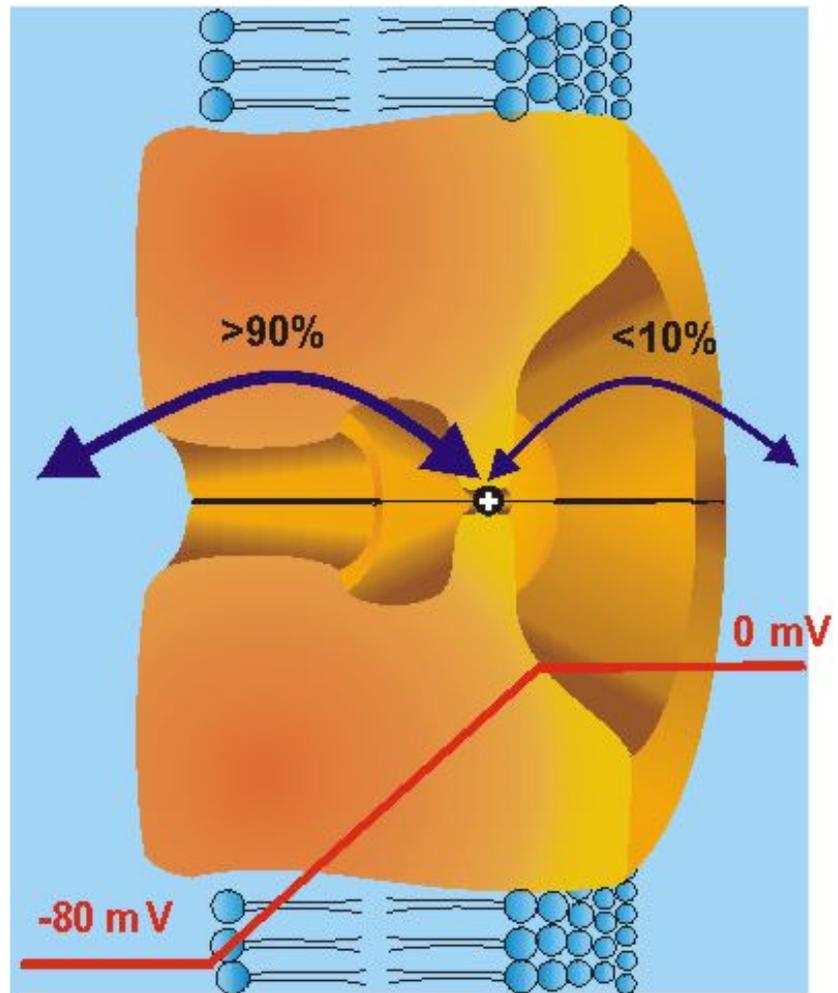


Wenn ein negatives Membranpotential über der Membran liegt, werden die K-Ionen in der Bindestelle elektrostatisch zum Zellinnern hin angezogen: Im elektrischen Feld über der Membran wirkt ein Kraft auf das Ion. Diese Kraft sorgt dafür, dass Sprünge nach innen wahrscheinlicher sind als Sprünge nach aussen.

Je weiter negativ das Membranpotential ist, desto stärker ist die Kraft, die das Ion nach innen zieht. Bei etwa -90 bis -80 mV springen die K-Ionen praktisch immer nach innen: der Ausstrom kommt zum Erliegen. Dies ist der Ruhezustand einer gesunden Zelle. Ihr Membranpotential liegt bei etwa -80 mV, und der K-Ausstrom ist vollständig unterdrückt.

Das chemische Potential treibt K-Ionen nach aussen. Das elektrische Potential hält Kationen in der Zelle zurück, ist also dem chemischen Potential entgegengerichtet. Beim Ruhepotential sind chemisches und elektrisches Potential gleich gross!

Die Summe aus beiden Potentialen - **das elektrochemische Potential** - ist im Ruhezustand der Zelle = 0.



Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

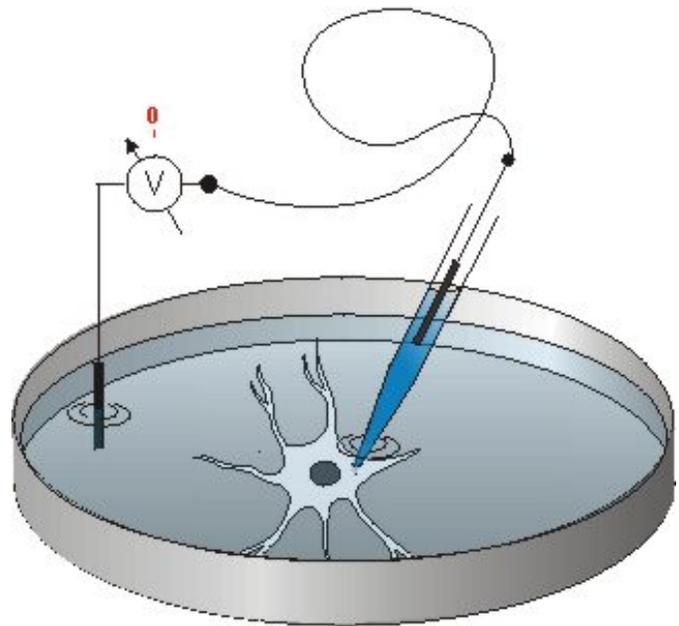
Elektro I Das Ruhepotential

Themen:

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

Zusammenfassung

- **Ruhende Zellen haben negative Membranpotentiale**
- **Das Ruhepotential ist die Folge von Kaliumausstrom**
- **Na/K-Pumpen stabilisieren in der Zelle eine hohe Kaliumkonzentration (ca 150 mM) und eine niedrige Natriumkonzentration (ca. 15 mM)**
- **Ionenkanäle leiten Ionen über die Zellmembran. Die treibende Kraft für den Ionenfluss ist das elektrochemische Potential.**
- **Im Ruhezustand liegt das Membranpotential (= Ruhepotential) bei etwa -80 mV, das elektrochemische Potential ist Null.**



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](#)

Das Ohm'sche Gesetz

Das Ohm'sche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen Strom (I), Spannung (V) und Widerstand (R) in einem einfachen Stromkreis.

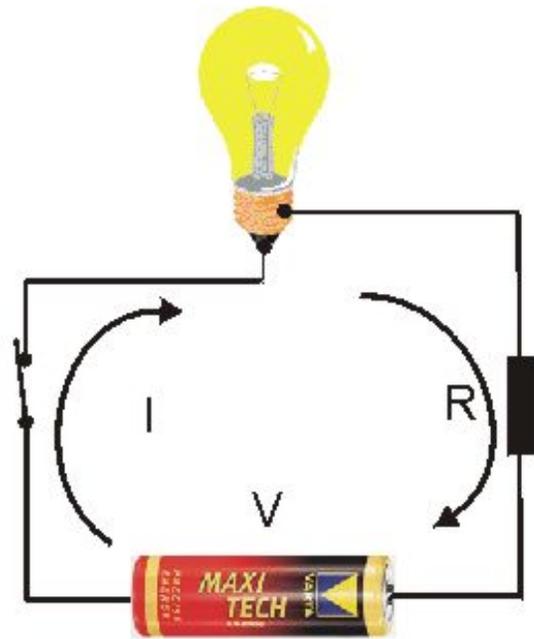
Zu einem Stromkreis gehören eine Spannungsquelle (Batterie), Verbindungsdrähte mit einem gewissen Widerstand, ein Schalter, sowie ein Verbraucher (Lampe)

Der Schalter gibt den Stromkreis frei. Der Strom, der die Lampe zum Leuchten bringt, wird von der Spannungsquelle über den Widerstand getrieben. Jetzt gilt:

$$I = V / R \quad (\text{Ohmsches Gesetz})$$

mit den Einheiten:

- Ampere (A) für Strom I
- Volt (V) für Spannung V
- Ohm (Ω) für Widerstand R



w Mit dem Ohm'schen Gesetz kann man eine Vielzahl bioelektrischer Vorgänge verstehen. Ohne so gut wie nichts ...

... weiter mit: [Die Zelle als Batterie](#)