

# Membran- und Donnanpotentiale

(Zusammenfassung)

**Inhaltsverzeichnis**

1. Elektrochemische Membranen.....Seite 2

2. Diffusionspotentiale.....Seite 2

3. Donnanpotentiale.....Seite 3

4. Zusammenhang der dargestellten Potentiale bezüglich der elektrochemischen Membran.....Seite 4

5. Anwendung auf die Nervenzelle.....Seite 4

6. Quellenverzeichnis.....Seite 9

**1. Elektrochemische Membranen**

Elektrochemische Membranen trennen zwei Elektrolytlösungen voneinander. Die beiden Elektrolytlösungen können unterschiedliche Ionen enthalten. Im einfachsten Fall sind die beiden Solventien, in denen die Elektrolyte gelöst sind identisch. Die trennende Membran kann dabei für alle Ionensorten passierbar (permeabel), oder aber nur für ganz bestimmte Ionensorten durchlässig (semipermeabel) sein. Dabei interessieren die Phänomene, die an der Grenzfläche zwischen den beiden Elektrolyten, also an der Membran, stattfinden. Diese können durch Einstellung eines Gleichgewichtes, aufgrund eines vorhandenen Konzentrationsgradienten oder durch Ladungsübertragung mit Hilfe der Ionen charakterisiert sein. Dabei bildet sich ein sogenanntes Membranpotential  $\Delta\phi_M$  heraus.

Lösung 1 | ← Membran d → | Lösung 2 .....  $\Delta\phi_M = \Delta\phi_2 - \Delta\phi_1$  (1)<sup>[1]</sup>

Anbei soll noch erwähnt werden, dass es homogene Membranen gibt, bei denen die gesamte Membranoberfläche an dem Ionenaustausch beteiligt ist, genauso wie es heterogene Membranen gibt, bei denen die aktive Komponente entweder in einem geeigneten Träger verankert ist, oder aber in die Membran eingebaut ist (Ionenkanäle). Auch bei den Nervenzellen des Menschen handelt es sich um elektrochemische Membranen (siehe Kapitel 5).

**2. Diffusionspotentiale**

Damit Diffusion stattfinden kann, muss ein Konzentrationsgradient vorhanden sein. Das bedeutet, dass auf einer Seite der Membran, beispielsweise Lösung 1 wie oben dargestellt, eine größere Teilchenanzahl eines bestimmten Elektrolyten vorhanden ist, als in Lösung 2. Das kann mehrere gelöste Elektrolyte betreffen. Es wird angestrebt, dass auf beiden Seiten der Membran jeweils die gleiche Anzahl eines jeweiligen Teilchens vorhanden ist, sich also ein Gleichgewicht ausbildet. Zum Ausgleich würden also Teilchen der Lösung 1 in die Lösung 2 diffundieren (bezüglich dem genannten Beispiel), beziehungsweise wandern jeweilige Teilchen von der Lösung mit großer Konzentration in die Lösung mit geringer Konzentration ab. Dabei handelt es sich um geladene Teilchen mit jeweils anderen Wanderungsgeschwindigkeiten, was dazu führt, dass ein Diffusionspotentialgefälle ausgebildet wird. Man spricht auch von einem Flüssigkeitspotential. Die Diffusion ist dabei ein sehr langsamer Vorgang und findet auch ohne Anlegung einer Spannung

statt. Allerdings führt die Diffusion zur Bildung eines elektrischen Potentialgradienten. Das Symbol für das Diffusionspotential ist  $\Delta\phi_L$ . Es gilt die Nernst-Planck-Gleichung:

$$J_i = -z_i \cdot F \cdot (c_i \cdot u_i \cdot \delta U / \delta x) + D_i \cdot \delta c_i / \delta x \quad (2)^{[1]}$$

Dabei handelt es sich um einen Grenzfall der Membranpotentiale. Die Membran muss dabei für Kationen und Anionen durchlässig sein

### 3. Donnanpotentiale

Donnanpotentiale entstehen bei Membranen, die beispielsweise für Kationen, aber nicht für Anionen durchgängig sind, also im Allgemeinen semipermeabel sind. Dabei findet keine Diffusion, sondern Osmose statt und durch die so entstehende Potentialdifferenz ein osmotischer Druck. Das System befindet sich dann im Gleichgewicht, wenn auf beiden Seiten der Membran die Ladungen ausgeglichen sind, beziehungsweise ein identisches chemisches Potential herrscht. Ist dies nicht der Fall, kommt es zur Ausbildung eines Potentials, dem Donnanpotential ( $\Delta\phi_D$ ). In der Zelle befinden sich negativ geladene gelöste Proteinmoleküle, welche nicht diffusionsfähig sind. Das extrazelluläre Medium ist jedoch positiv geladen und zum Ladungsausgleich müssten diese Moleküle durch die Membran diffundieren. Da das aber nicht funktioniert, müssen entgegengesetzt geladene Ionen in die Zelle diffundieren, um das Gleichgewicht auszubilden. Anstelle der Konzentrationen werden Aktivitäten verwendet.

$$\mu_{n,1}(T, p_1) = \mu_{n,2}(T, p_2) \quad (\text{Gleichgewichtsbedingung}) \quad (3)^{[1]}$$

Die Zahl gibt jeweils die Nummer der Lösung an und  $\mu$  ist das chemische Potential.

Für einen diffusionsfähigen Nichtelektrolyten gilt:

$$R \cdot T \cdot \ln(a_{n,2}/a_{n,1}) = 0 \quad (4)^{[1]}$$

Für ein diffusionsfähiges Kation gilt:

$$R \cdot T \cdot \ln(a_{+,2}/a_{+,1}) + z_+ \cdot F \cdot (\phi_2 - \phi_1) = 0 \quad (5)^{[1]}$$

Für ein diffusionsfähiges Anion gilt analog:

$$R \cdot T \cdot \ln (a_{-,2}/a_{-,1}) + z_- \cdot F \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) = 0 \quad (6)^{[1]}$$

Die Terme für die chemischen Potentiale können mathematisch eliminiert werden, so dass letztendlich ein Koeffizient für die Verteilung der Ionen (Donnankoeffizient;  $\lambda$ ) erhalten wird.

$$(a_{+,2}/a_{+,1})^{1/z_+} = (a_{-,2}/a_{-,1})^{1/z_-} = \lambda \quad (7)^{[1]}$$

Daraus kann dann letztendlich das Donnanpotential formuliert werden:

$$\Delta\varphi_D = \varphi_2 - \varphi_1 = - (RT/F) \ln\lambda \quad (8)^{[1]}$$

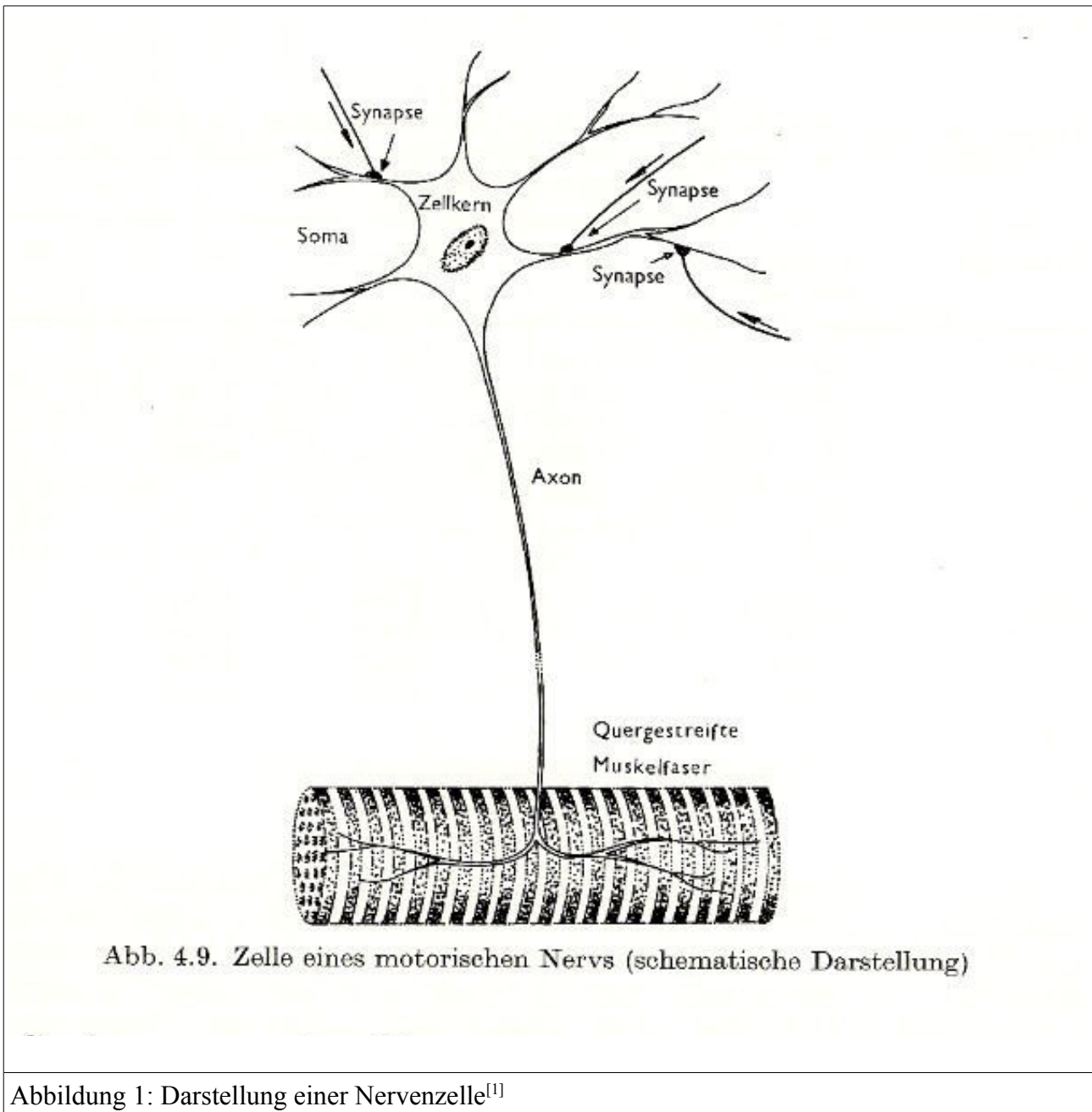
Der Donnankoeffizient gibt dabei die Abweichung von der Gleichverteilung der geladenen Teilchen an. Dabei gilt es außerdem zu beachten, dass mit den mittleren Aktivitäten gerechnet werden muss.

#### **4. Zusammenhang zwischen den dargestellten Potentialen bezüglich der elektrochemischen Membran**

Diffusionspotential und Donnanpotential bilden zwei Grenzfälle bei der Beschreibung von elektrochemischen Membranen. Dabei sei nochmals erwähnt, dass eine Membran, die für alle Ionen durchlässig ist, durch ein Flüssigkeitspotential (Diffusionspotential), und eine semipermeable Membran durch ein Donnanpotential charakterisiert wird.

#### **5. Anwendung auf Nervenzelle**

Die Informationsverarbeitung und -Weitergabe im menschlichen Körper findet über die Nervenzellen mit Hilfe von elektrischen Impulsen statt (Abbildung 1; Darstellung einer Nervenzelle). Dafür sind freie Ladungsträger notwendig. Im Cytoplasma und dem extrazellulären Raum sind das  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ , und  $HCO_3^-$  - Ionen. Zudem gibt es noch weitere unbewegliche Ladungsträger innerhalb der Zellen, wie beispielsweise negativ geladene Proteinmoleküle, welche zudem eine negative Ladung des Cytoplasmas verursachen. Im Zellinneren sind  $K^+$  - Ionen hochkonzentriert, wohingegen im Außenmedium  $Na^+$  - Ionen in hoher Konzentration vorliegen.



Es gibt zahlreiche Kalium- und Natrium-Ionenkanäle in der Zellmembran, die stets geöffnet sind. Die Kalium- und Natriumionen diffundieren gemäß eines herrschenden Konzentrationsgradienten durch diese Membran. Kaliumionen also in den extrazellulären Raum, und Natriumionen in das Cytoplasma. da dies alsbald einen Ausgleich der Ionenkonzentrationen hätte, und eine Erregung der Nervenzelle damit unmöglich wäre, ist eine sogenannte Natrium-Kalium-Pumpe notwendig, die die verschiedenen Ionenkonzentrationen aufrecht erhält. Eine Spannungsdifferenz kommt von etwa -70 mV kommt also durch verschiedene Ionenkonzentrationen zustande, wobei das Cytoplasma negativ, und der extrazelluläre Raum positiv geladen ist (siehe Abbildung 2).

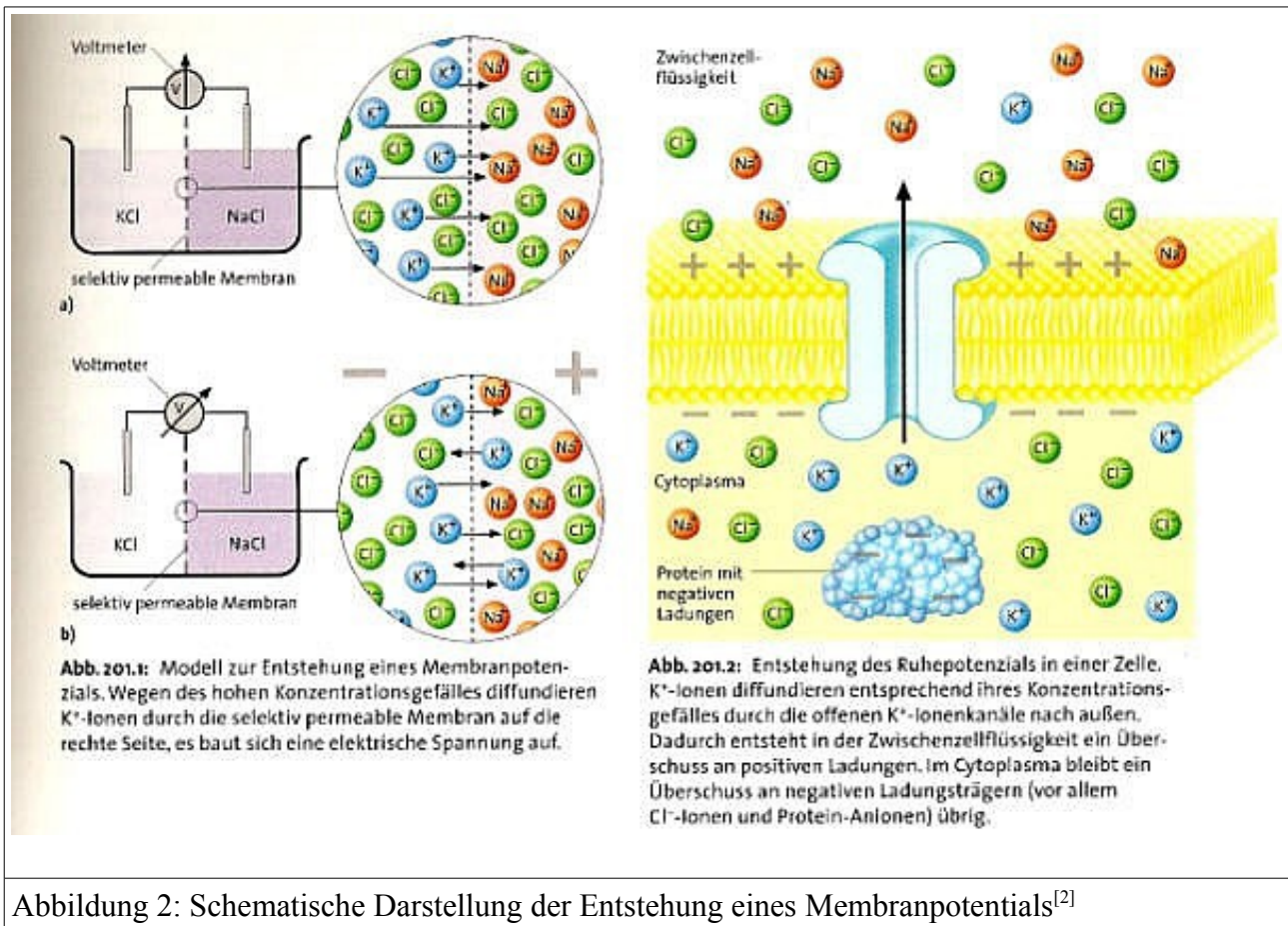


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Entstehung eines Membranpotentials<sup>[2]</sup>

Zusätzlich zu den genannten, immer geöffneten Ionenkanälen, sind spannungsgesteuerte Ionenkanäle in der Axonmembran vorhanden. Wird eine Nervenzelle durch einen elektrischen Impuls erregt, und dabei ein festgelegter Schwellenwert überschritten, so werden die spannungsgesteuerten Natriumionenkanäle geöffnet und Natriumionen strömen in das Cytoplasma. Dadurch nimmt das negative Ruhepotential ab und wird sogar bis +30 mV depolarisiert. Zeitgleich werden die spannungsgesteuerten Kaliumkanäle geöffnet. Diese öffnen sich jedoch so langsam, dass sie erst vollständig geöffnet sind, wenn sich die Natriumkanäle bereits wieder schließen. Die Depolarisation dauert 1-2 ms. Durch die nun geöffneten Kaliumkanäle strömen Kaliumionen in den extrazellulären Raum. Dadurch erhält die Zelle ihr negatives Ruhepotential zurück. Die Polarisation geht zunächst etwas über den Wert des Ruhepotential hinaus, was sich Hyperpolarisation nennt.



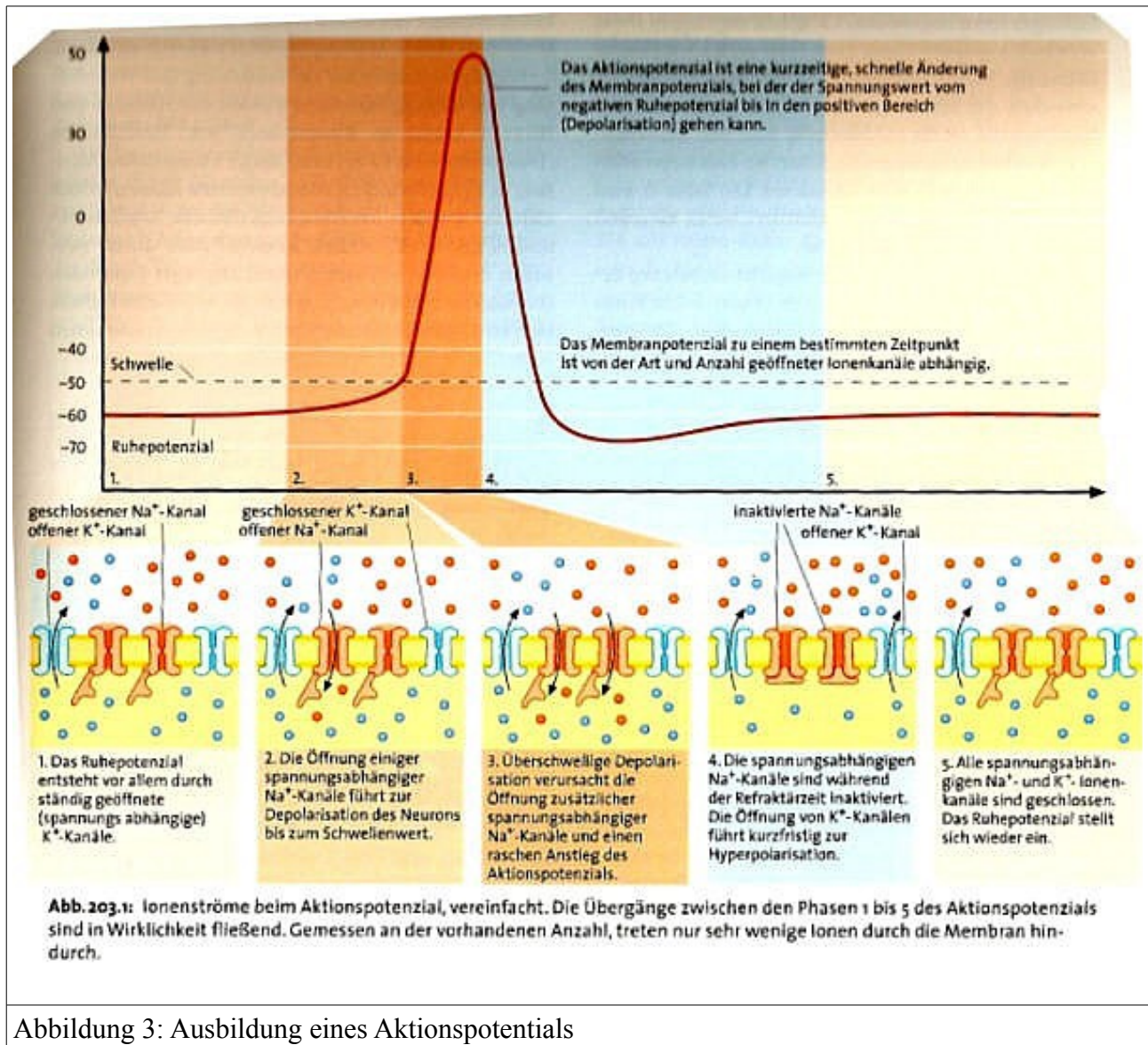


Abbildung 3: Ausbildung eines Aktionspotentials

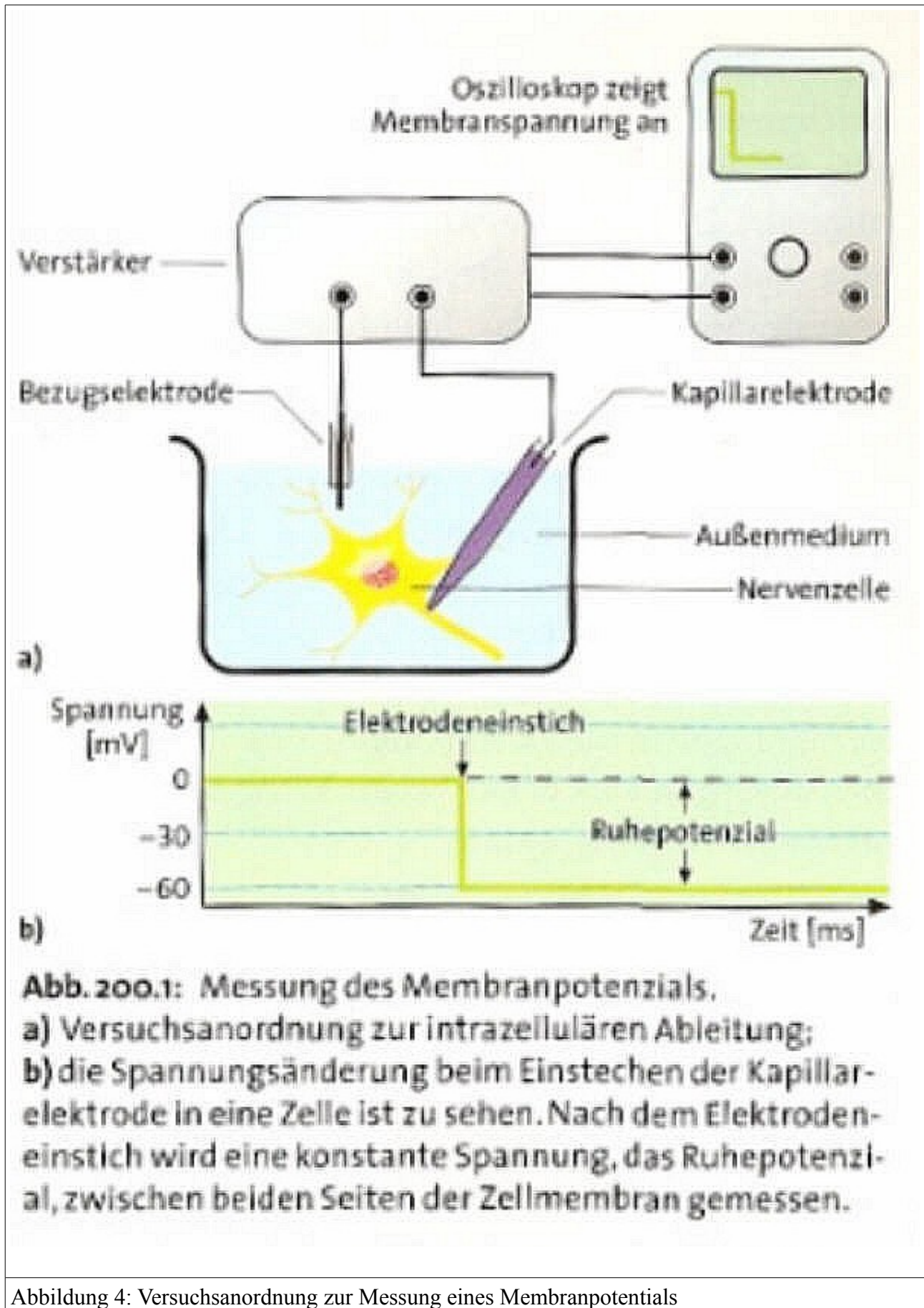
Allgemein sind nur wenige Ionen für die Ausbildung eines Aktionspotentials notwendig. Das Membranpotential kann über die in Abbildung dargestellte Versuchsanordnung gemessen werden.



## **Membran- und Donnanpotentiale**

Jessica Hänisch

Dazu wird eine herkömmliche Bezugselektrode in den extrazellulären Raum gesteckt, und die andere Elektrode in Form einer Glaskapillare mit einem Durchmesser von  $0,5\ \mu\text{m}$  auf die Membran gesteckt, welche sich dort derartig ansaugt, dass eine Wechselwirkung mit dem Außenmedium ausgeschlossen werden kann. Ein Oszilloskop misst anschließend die Spannung.



**Abb. 200.1:** Messung des Membranpotenzials.

**a)** Versuchsanordnung zur intrazellulären Ableitung;

**b)** die Spannungsänderung beim Einstechen der Kapillarelektrode in eine Zelle ist zu sehen. Nach dem Elektrodeneinstich wird eine konstante Spannung, das Ruhepotenzial, zwischen beiden Seiten der Zellmembran gemessen.

Abbildung 4: Versuchsanordnung zur Messung eines Membranpotentials

**6. Quellenverzeichnis**

- [1] Koryta, Dvořák, Boháčková; *Lehrbuch der Elektrochemie*; zweite Auflage **1975**; Springer  
Verlag Wien New York
- [2] Linder; *Biologie*; 22. Auflage **2005**; Westermann Schroedel Diesterweg
- [3] P.W. Atkins, J. de Paula; *Physikalische Chemie*; vierte Auflage **2006**; Wiley-VCH