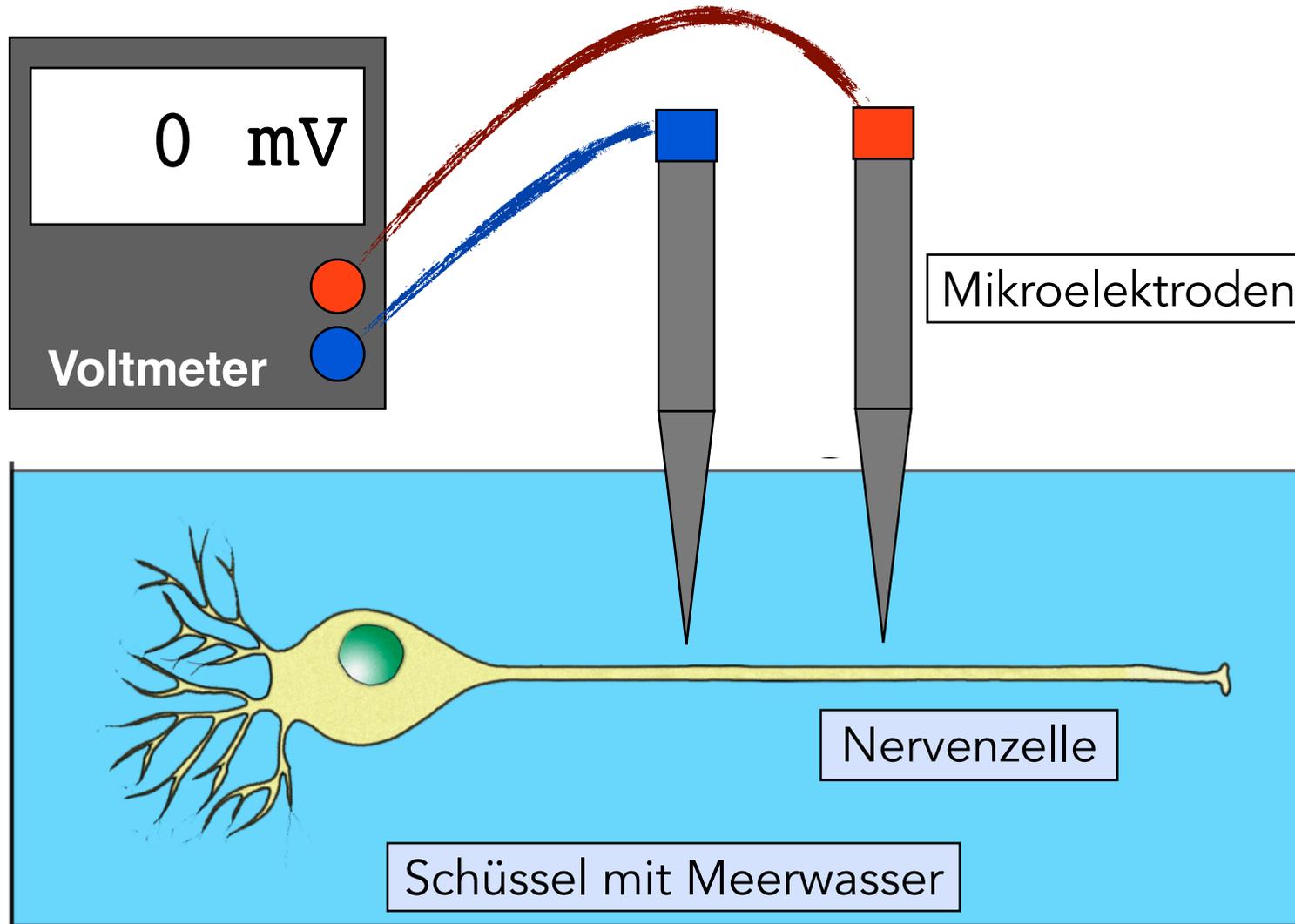
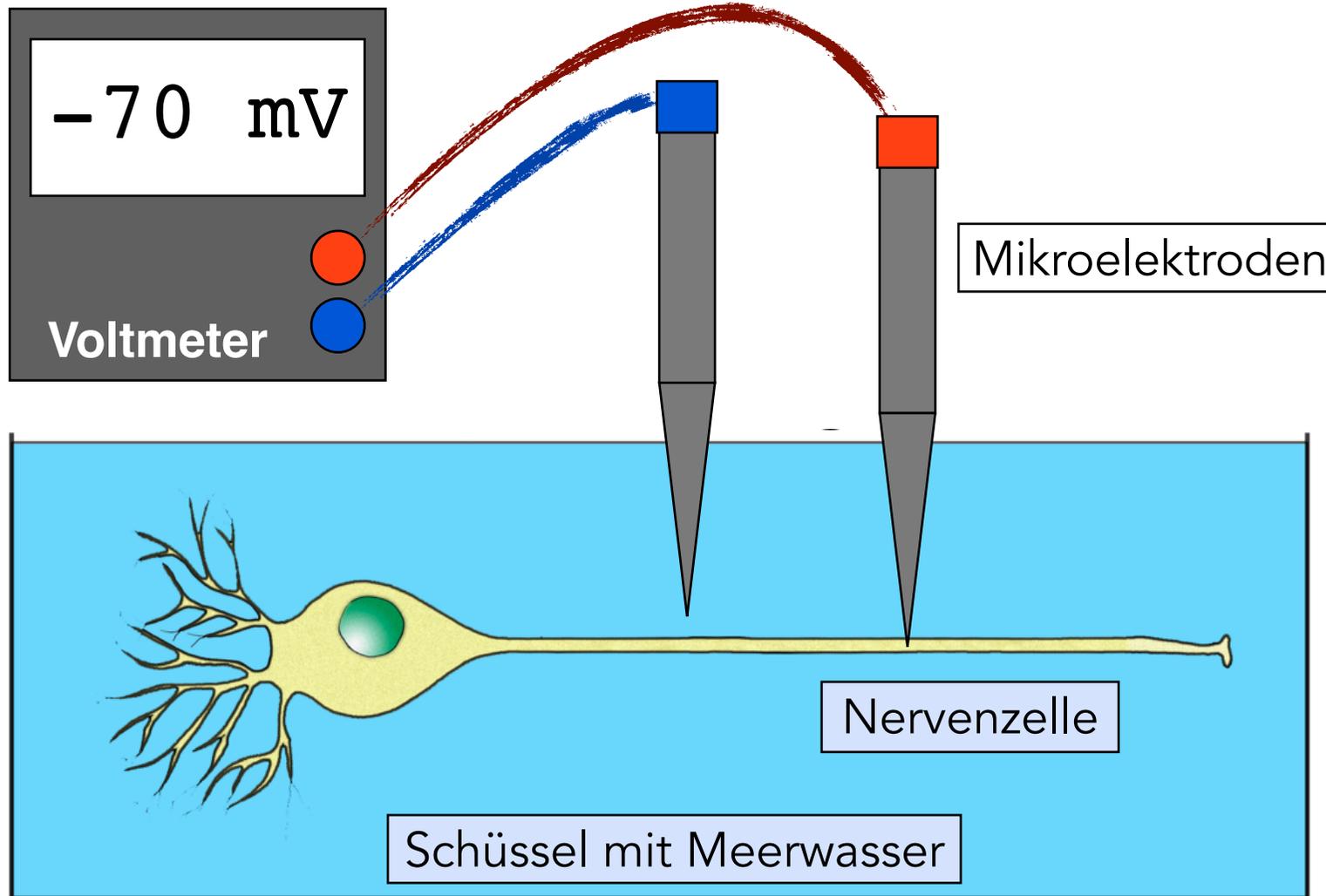


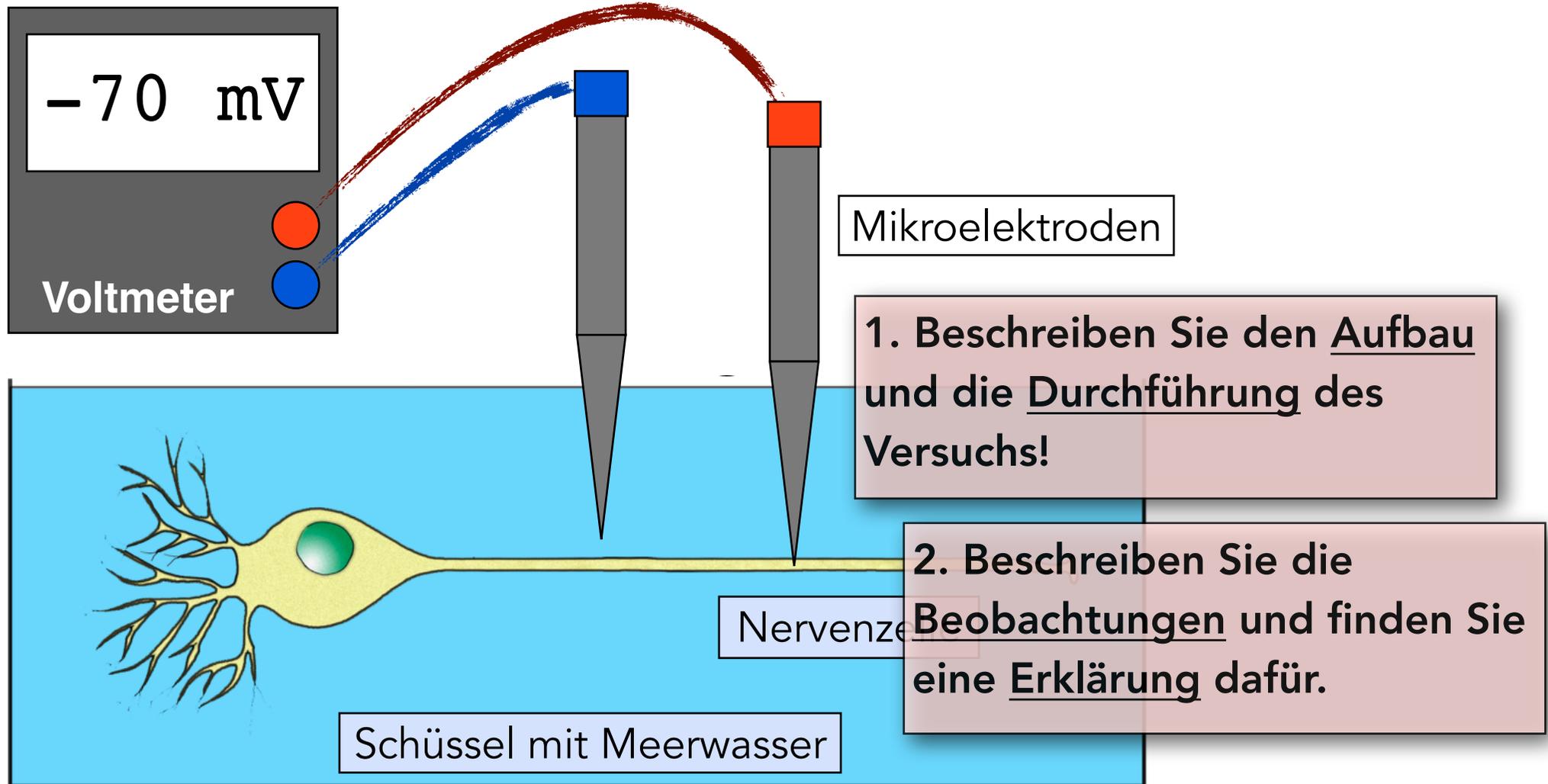
# Messung des Membranpotenzials



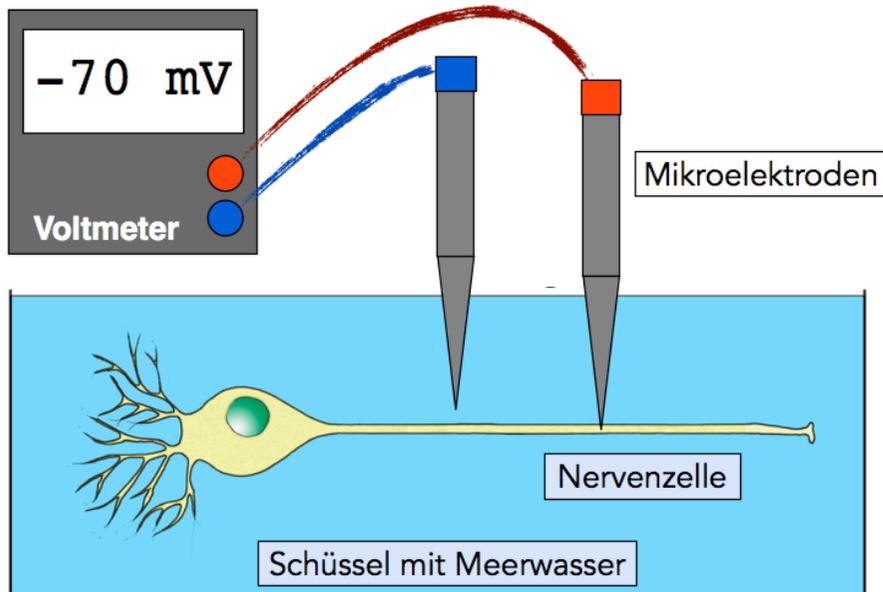
# Messung des Membranpotenzials



# Messung des Membranpotenzials



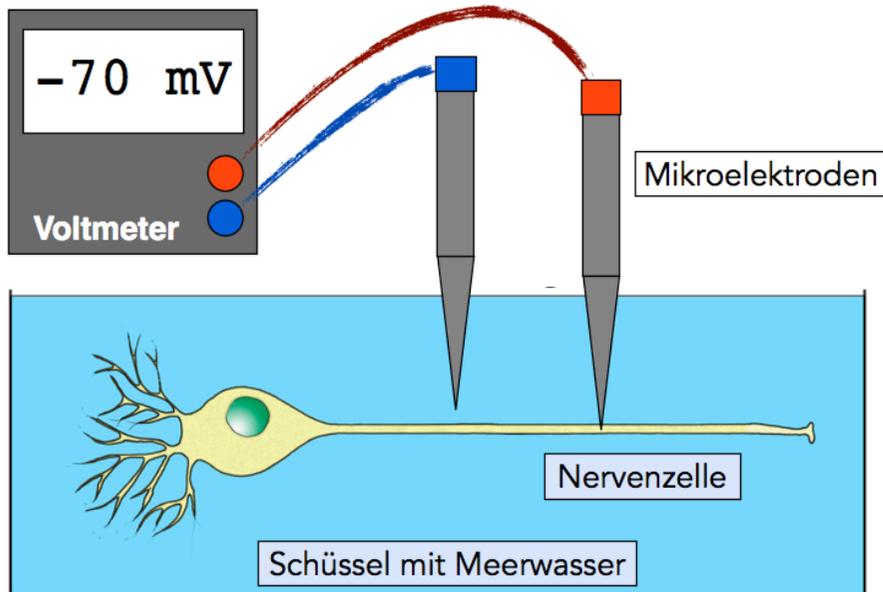
# Messung des Membranpotenzials



## Versuchsanordnung und -durchführung:

In einer Schüssel mit Meerwasser befindet sich eine große lebende Nervenzelle. Zwei spitze Mikroelektroden sind mit einem Voltmeter verbunden und befinden sich zunächst im Meerwasser. Eine der Elektroden wird dann in das Axon der Nervenzelle eingeführt.

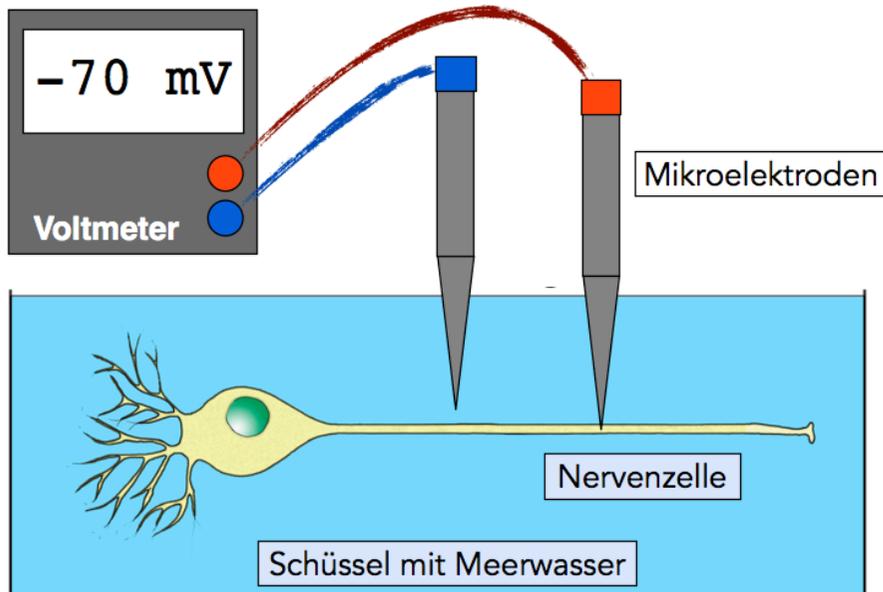
# Messung des Membranpotenzials



## Beobachtungen:

1. Solange sich beide Elektroden im Meerwasser befinden, wird keine Spannung angezeigt.
2. Sticht man jedoch eine der beiden Elektroden in das Zellplasma der Nervenzelle, zeigt das Voltmeter eine Spannung von  $-70 \text{ mV}$  an.

# Messung des Membranpotenzials

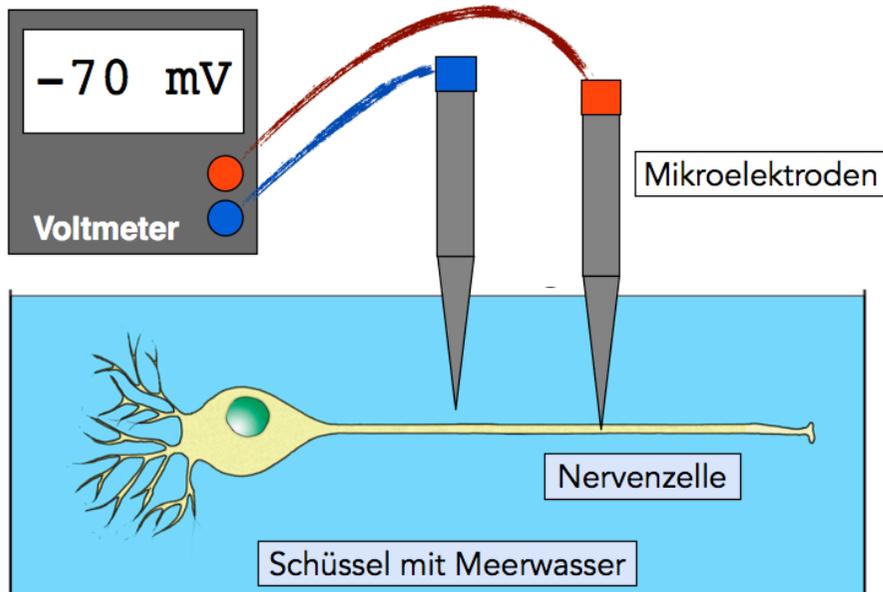


## Erklärung 1:

Solange sich beide Elektroden im Meerwasser befinden, wird keine Spannung angezeigt. Beide Elektroden sind den gleichen Ionenkonzentrationen ausgesetzt, die Ladung an jeder Elektrode ist gleich.

Daher kann keine Spannung (= Ladungsunterschied) gemessen werden.

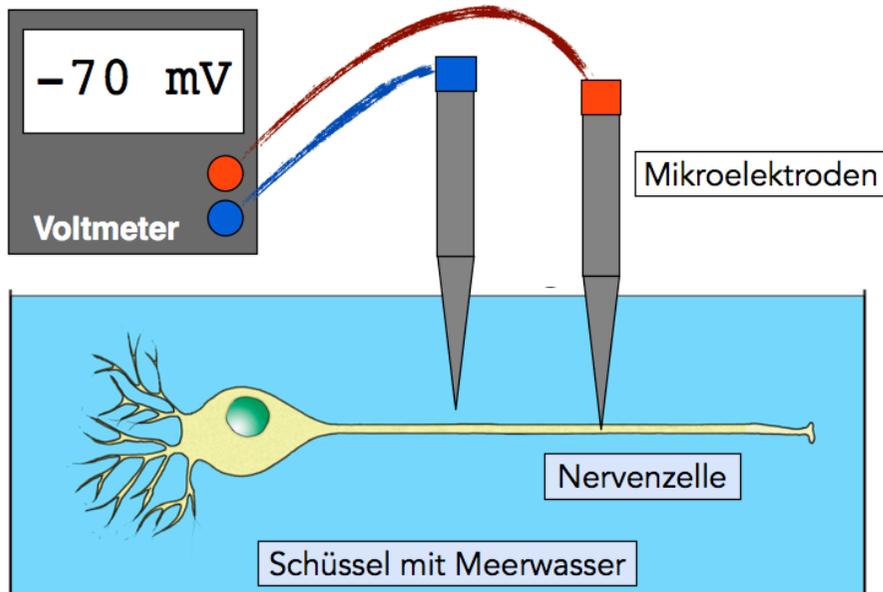
# Messung des Membranpotenzials



## Erklärung 2:

Das Auftreten einer Spannung heißt, dass zwischen den beiden Elektroden eine Ladungsdifferenz herrscht. In der Zelle herrscht eine andere Ionenkonzentration als im Meerwasser. **Das Zellplasma ist gegenüber dem Meerwasser negativ geladen** (negativer Messwert der Spannung).

# Messung des Membranpotenzials

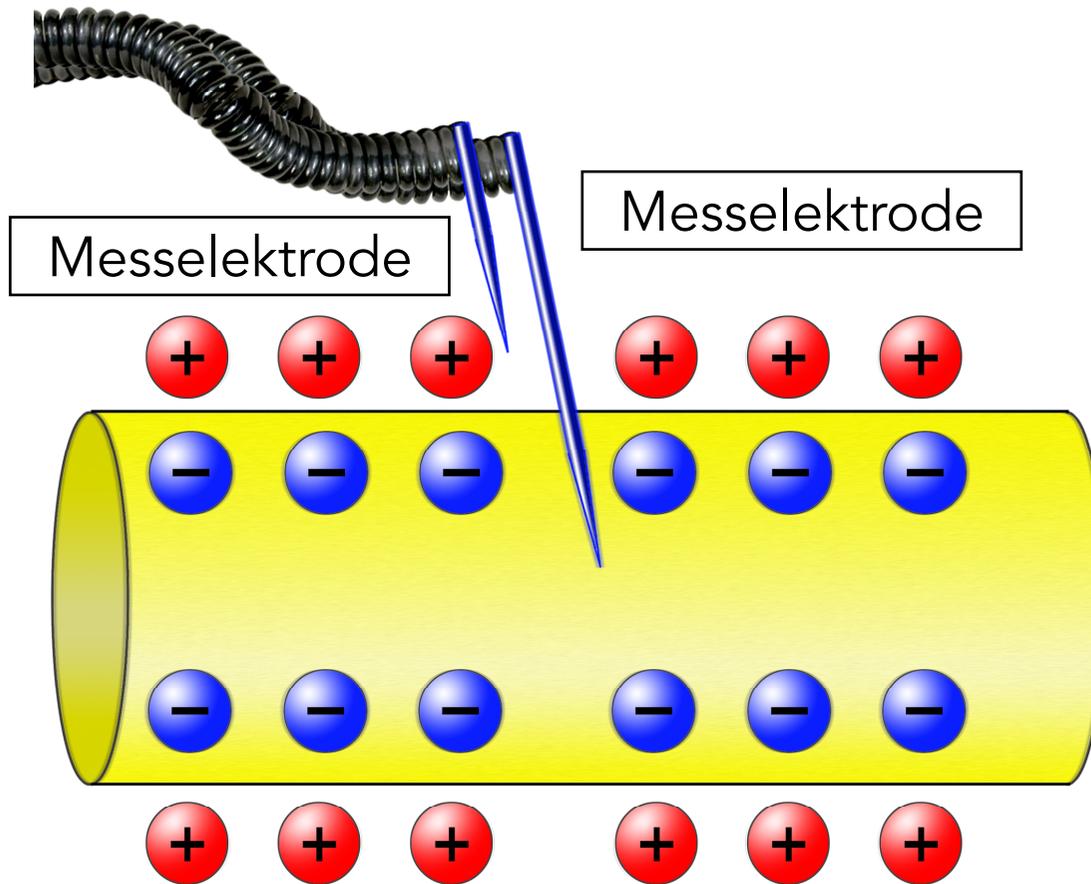


## Definition

Die Spannung, die man bei diesem Versuch messen kann, wird als **Membranspannung** oder besser als **Membranpotenzial** bezeichnet.

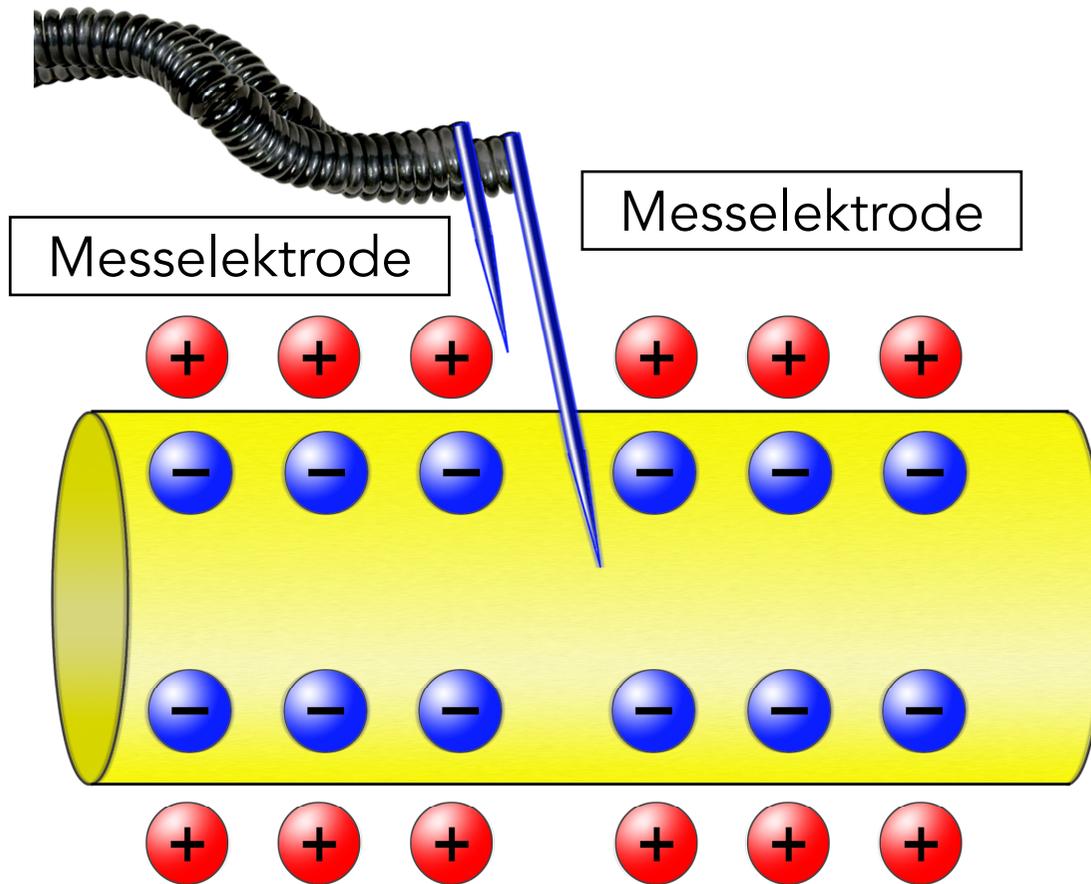
Bei Wirbeltieren liegt dieses Membranpotenzial zwischen  $-50$  und  $-100 \text{ mV}$ .

# Modellvorstellung zum Membranpotenzial



Im Zellinnern einer Nervenzelle befindet sich ein Überschuss an negativen Ionen, während im Außenmedium die positiven Ionen überwiegen.

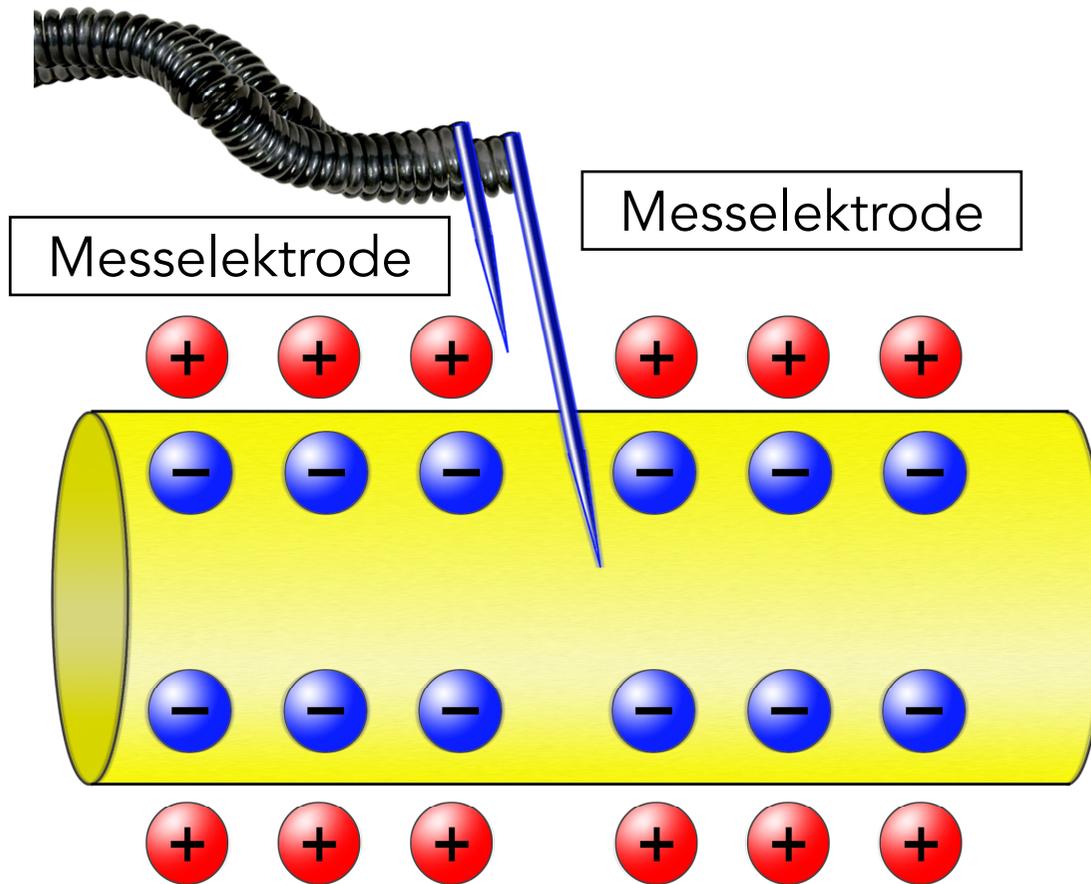
# Modellvorstellung zum Membranpotenzial



## Definition

Unter dem **Ruhepotenzial** versteht man das Membranpotenzial einer Nervenzelle im nicht-erregten Zustand.

# Das Ruhepotenzial



## Definition

Unter dem **Ruhepotenzial**

versteht man

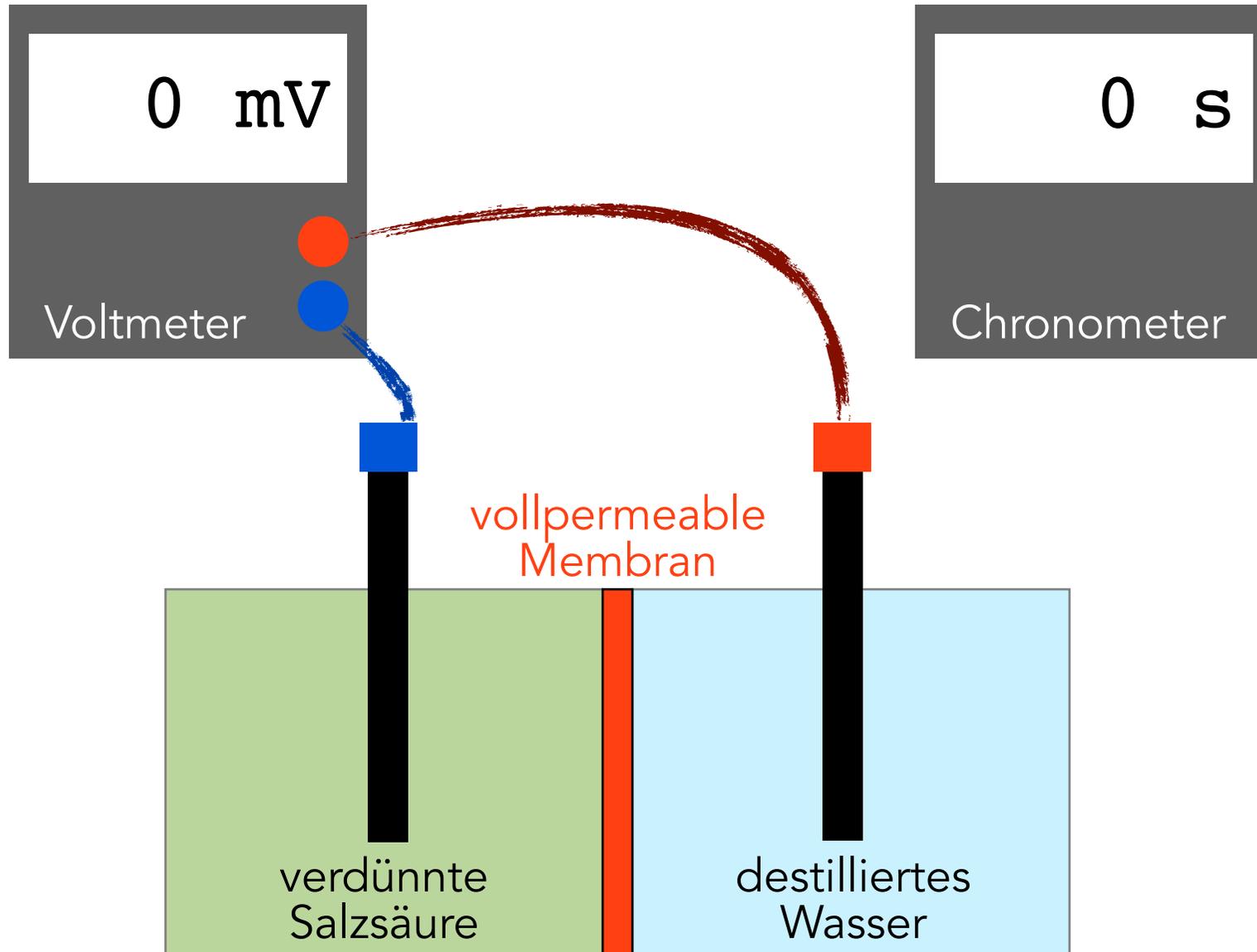
potenzial einer

nicht-erregten

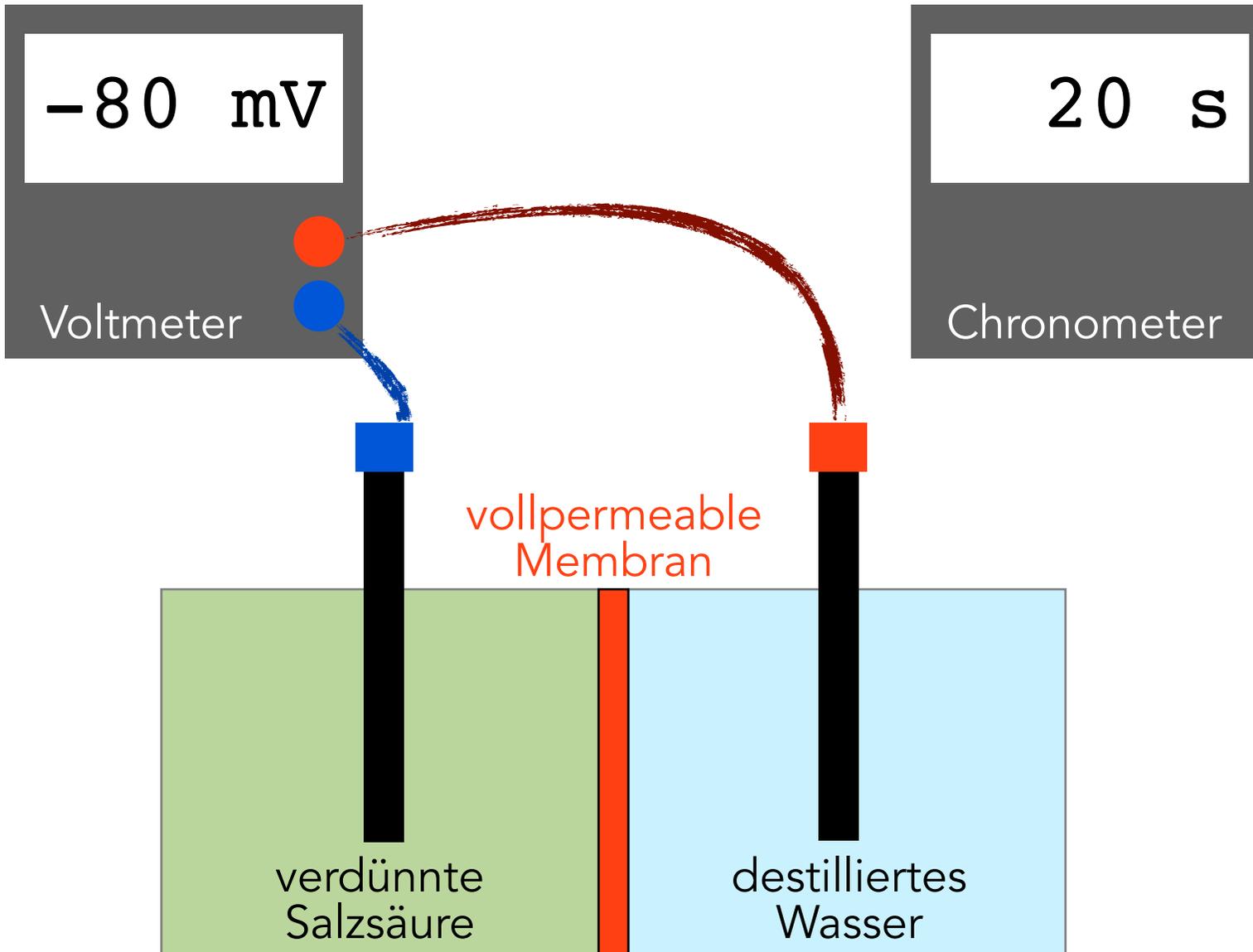
Tierart	RP
Heuschrecke	-60 mV
Katze	-70
Echter Kalmar	-73
Hausschabe	-77
Hund	-82
Grasfrosch	-85
Kalb	-98

Zahlenangaben aus:  
Lexikon der Neurobiologie,  
Spektrum-Verlag

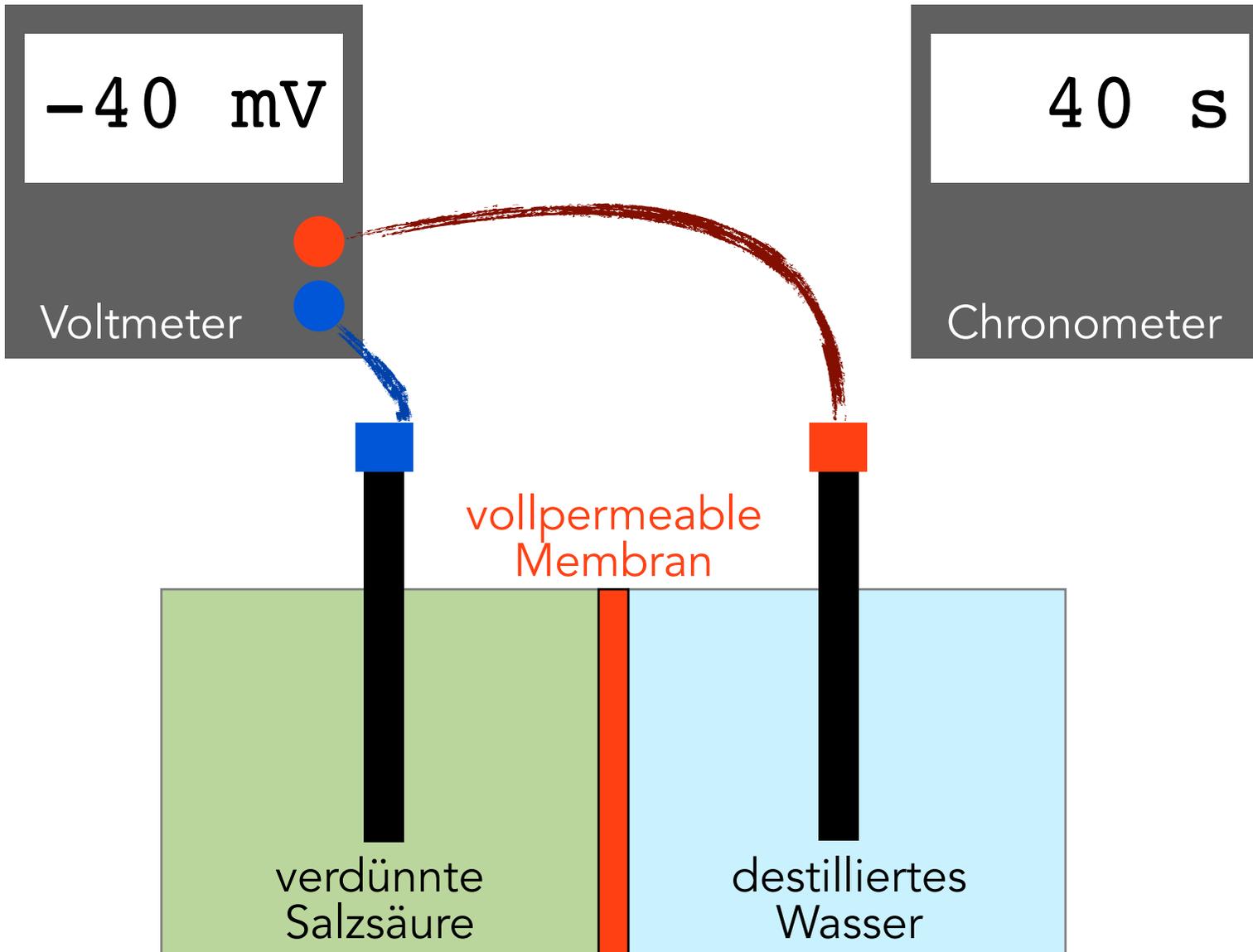
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



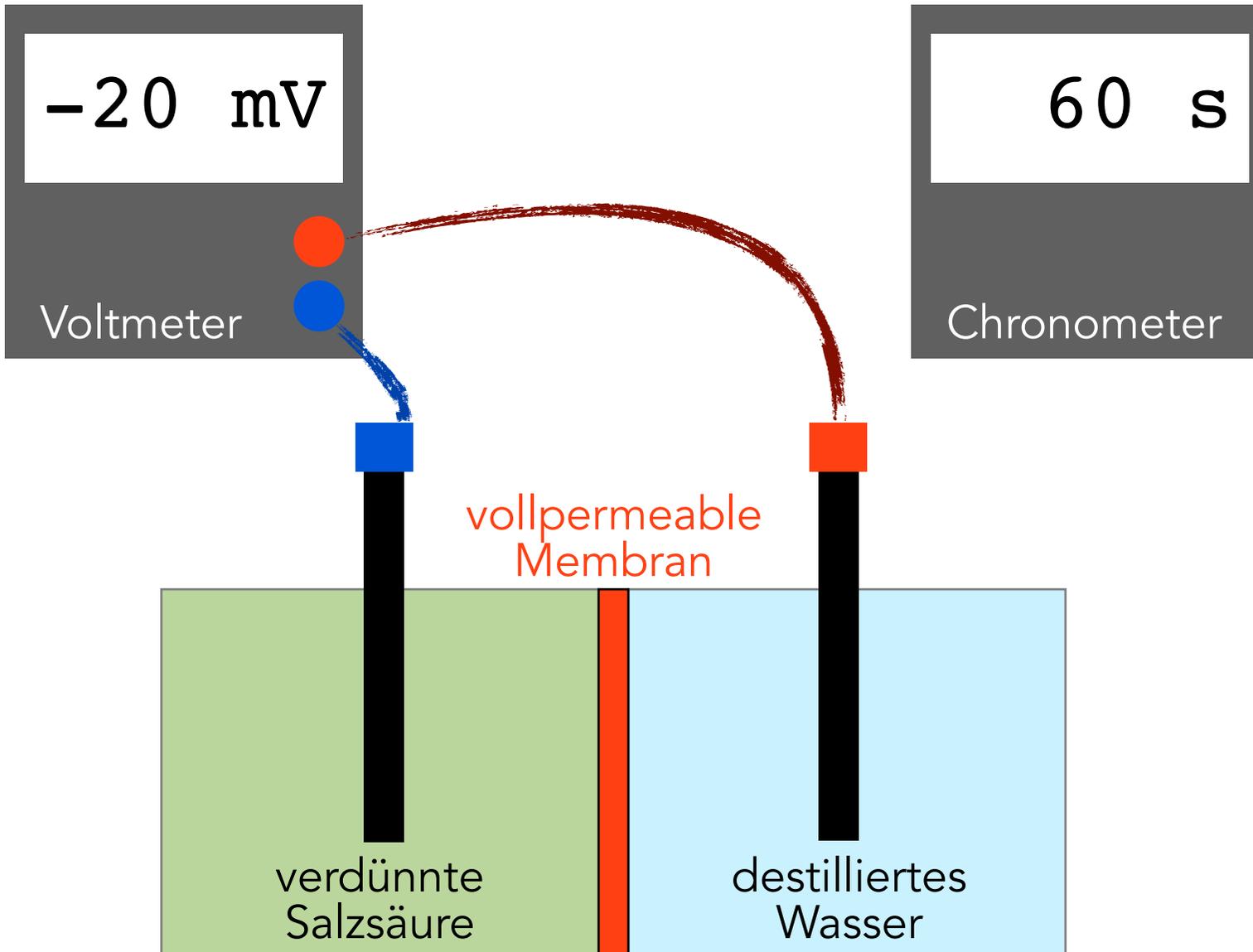
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



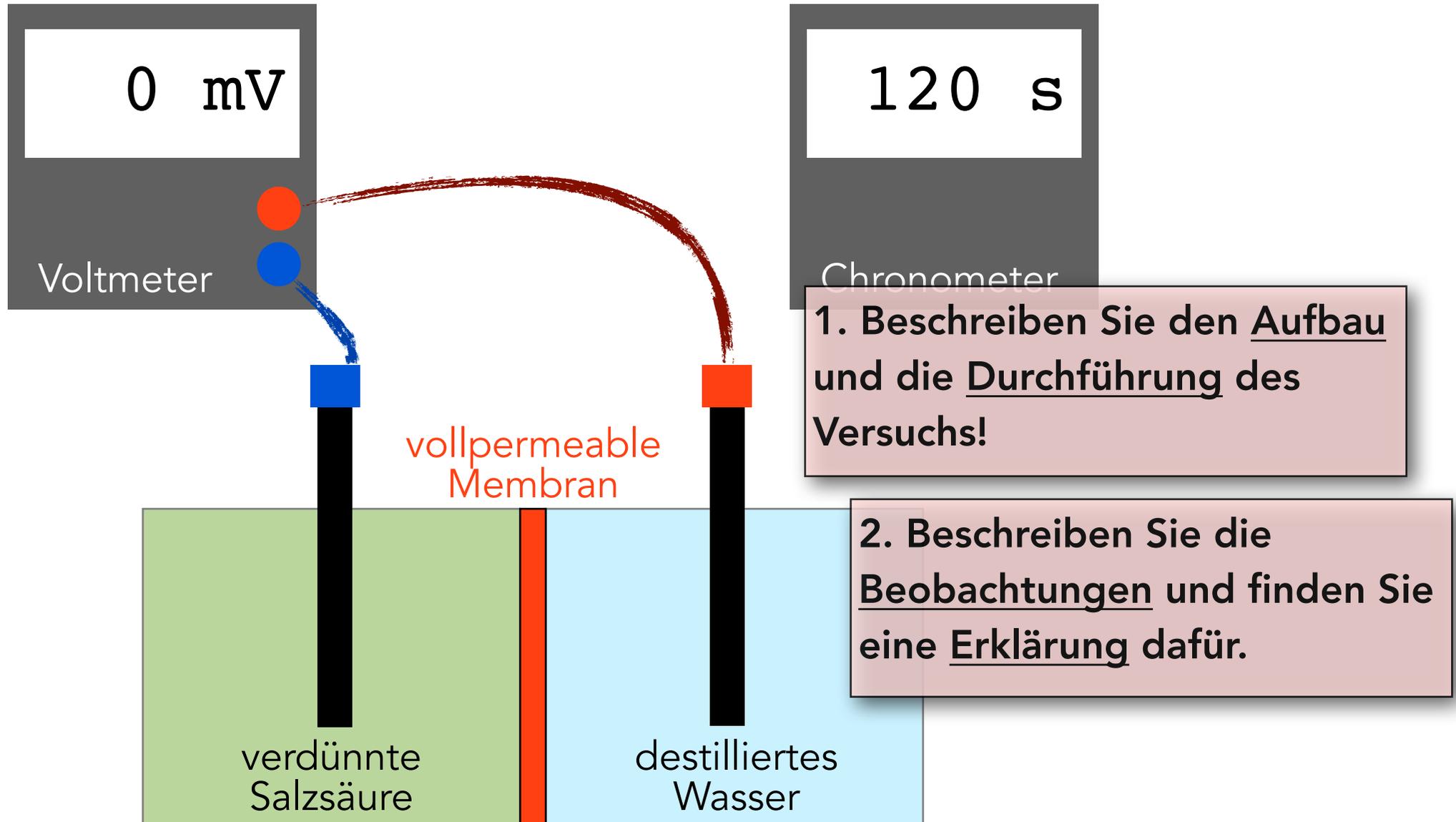
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



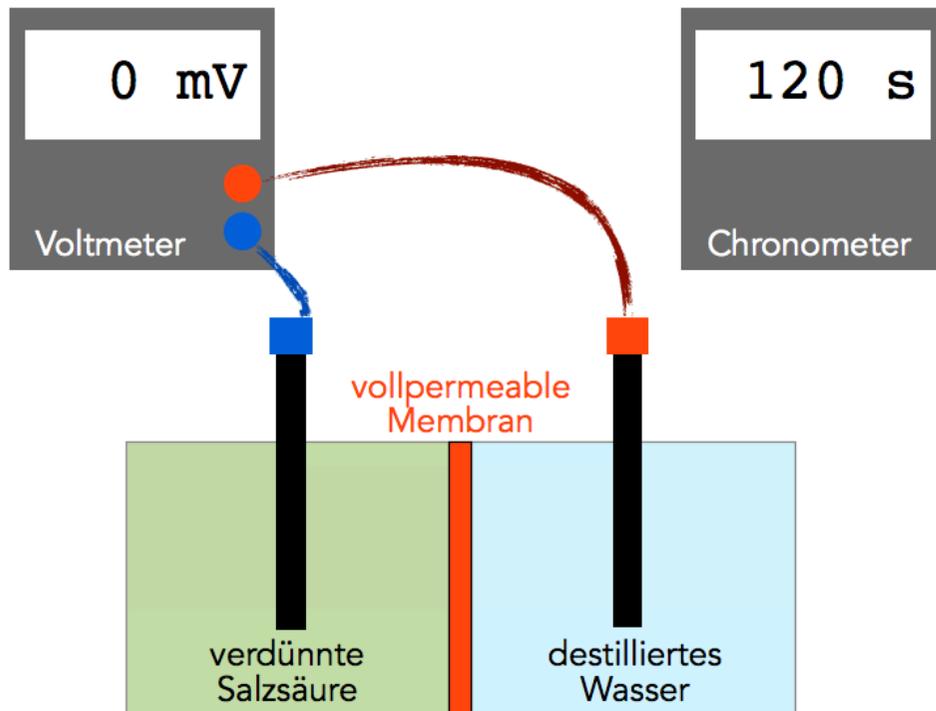
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



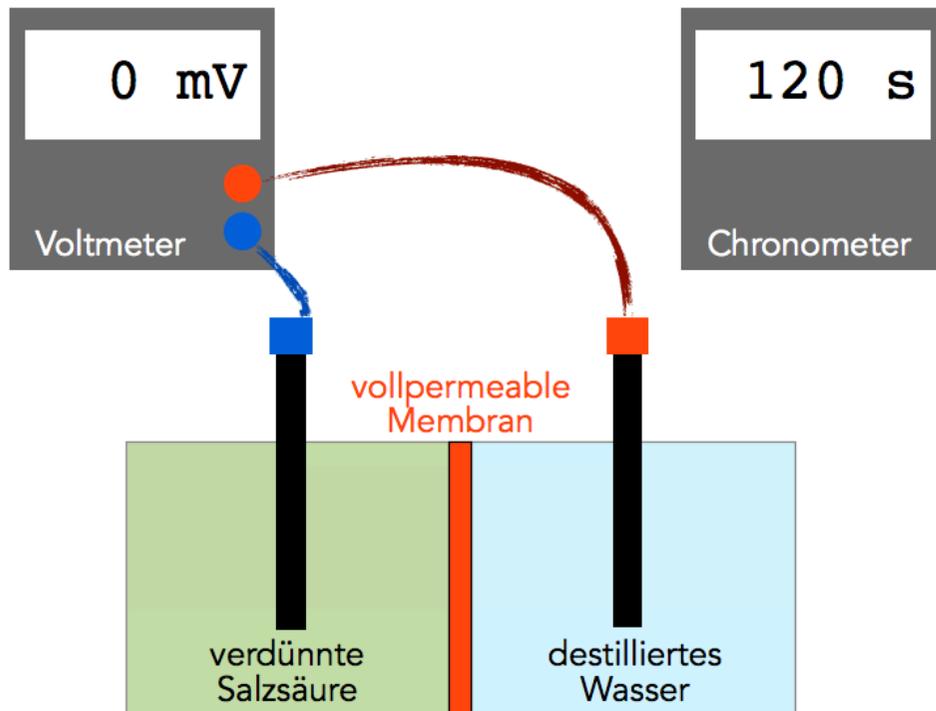
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



## Aufbau:

In einem Gefäß befindet sich verdünnte Salzsäure HCl, in einem anderen Gefäß dest. Wasser. Beide Gefäße sind durch eine für alle Teilchen durchlässige Membran getrennt bzw. verbunden. In jeder Flüssigkeit wird eine Elektrode platziert, die Elektroden sind mit einem Voltmeter verbunden, so dass man feststellen kann, ob an der Membran eine Spannung herrscht.

# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1

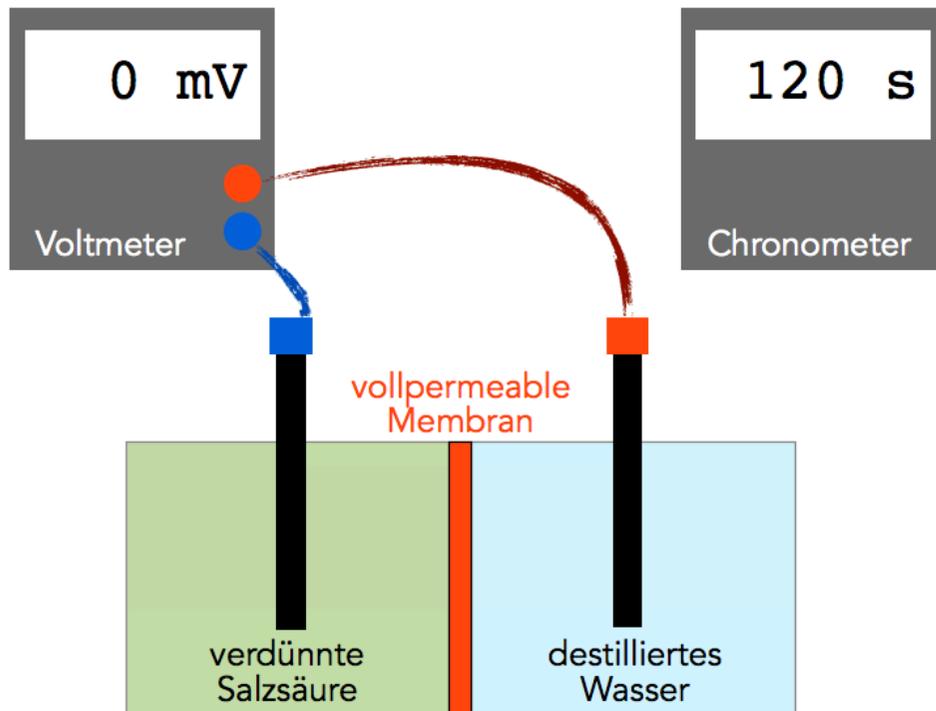


## Durchführung:

Das Voltmeter und das Chronometer (Uhr) werden eingeschaltet, dann wird die angezeigte Spannung alle 20 Sekunden gemessen und notiert.

Der Versuch wird abgebrochen, wenn die gemessene Spannung wieder auf 0 gesunken ist.

# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1

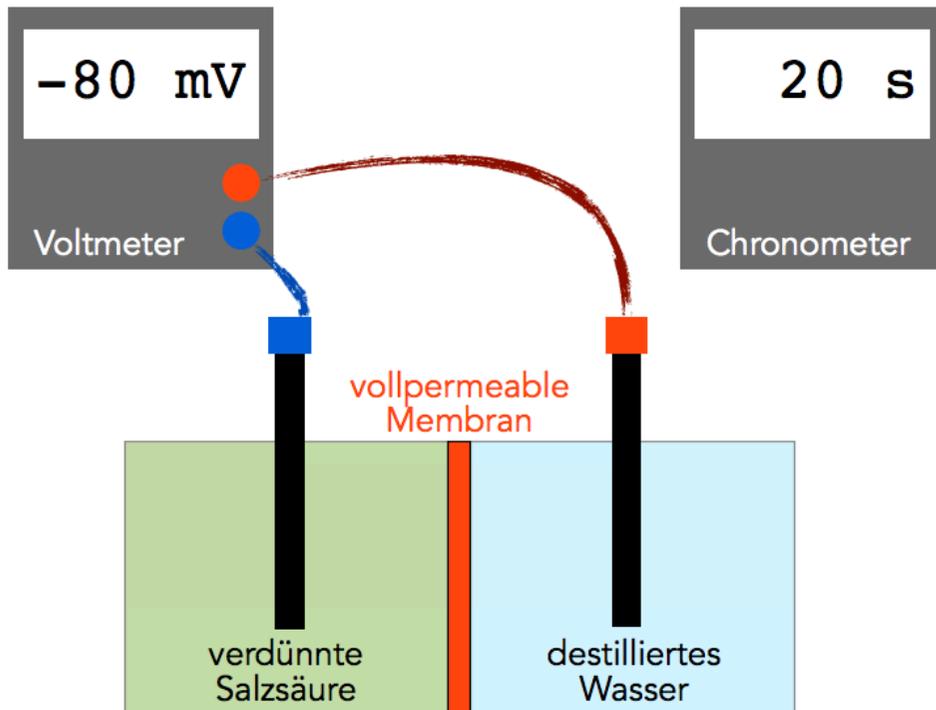


## Beobachtungen:

In den ersten 20 Sekunden steigt die Spannung schnell auf -80 mV an, in den nächsten 100 Sekunden fällt die Spannung wieder langsam auf 0 V ab.

t	U
0	0
20	-80
40	-40
60	-20
120	0

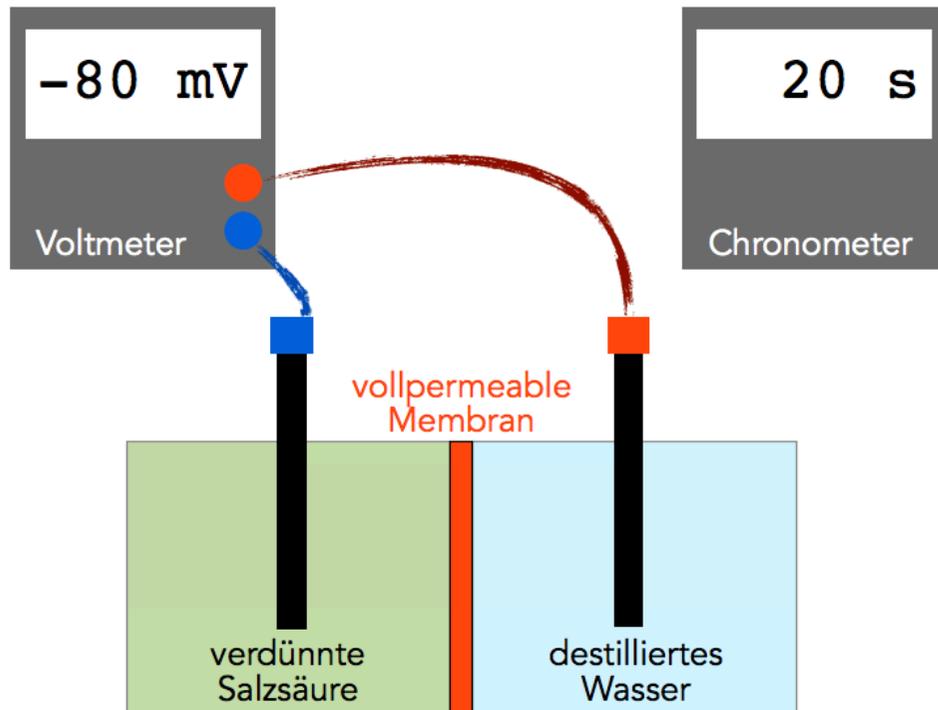
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



## Erklärungen:

- In den ersten 20 Sekunden diffundieren hauptsächlich die sehr kleinen Protonen  $H^+$  der Salzsäure  $HCl$  in das Wasser.

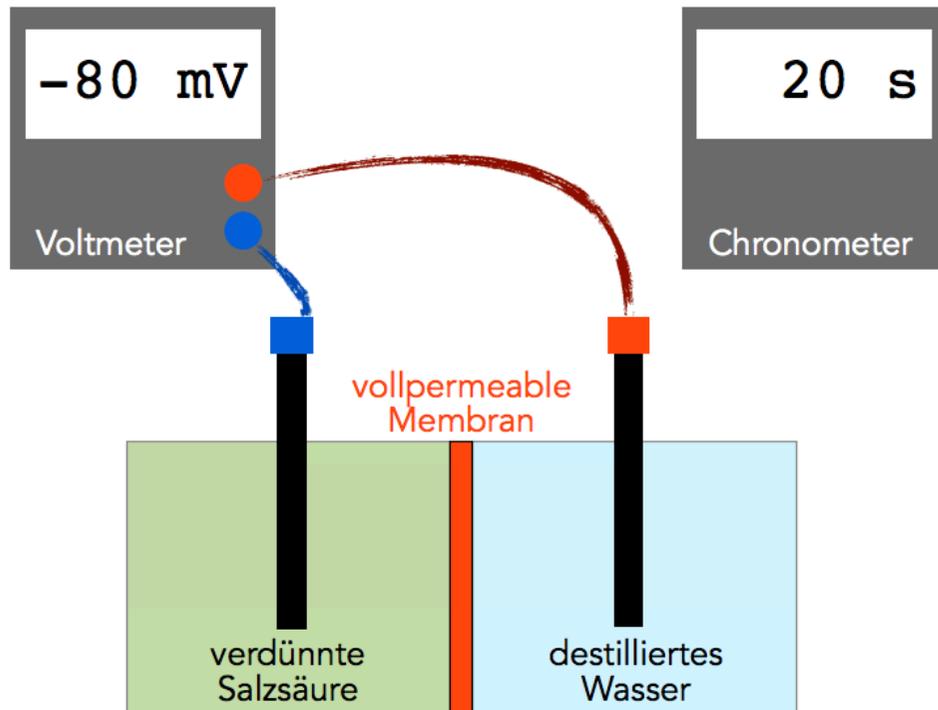
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



## Erklärungen:

- In den ersten 20 Sekunden diffundieren hauptsächlich die sehr kleinen Protonen  $\text{H}^+$  der Salzsäure  $\text{HCl}$  in das Wasser.
- Die negativen Chlorid-Ionen sind größer und daher nicht so beweglich wie die Protonen.

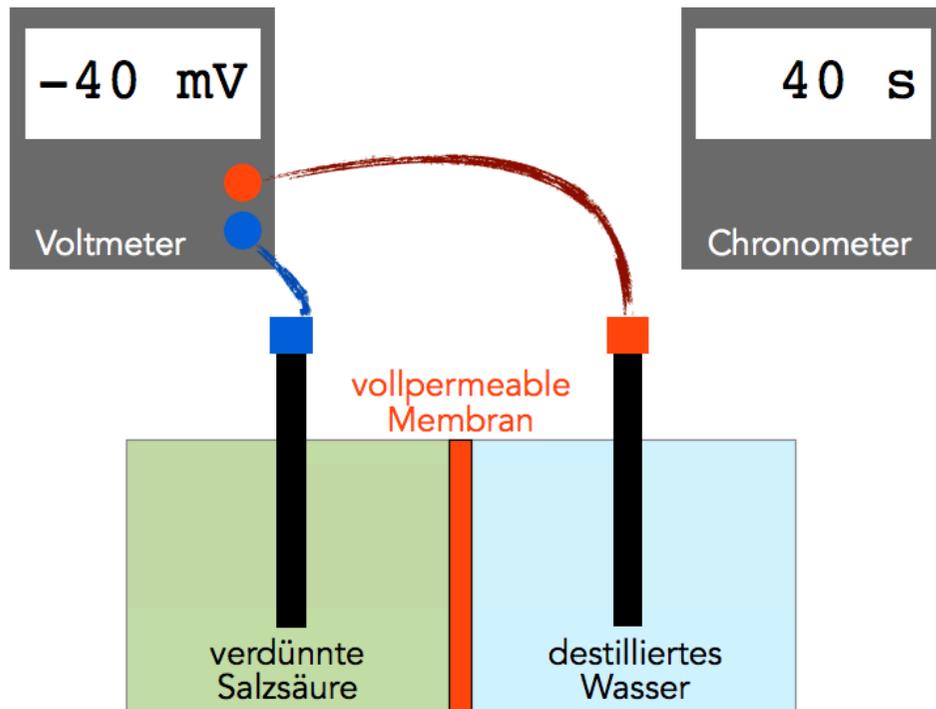
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



## Erklärungen:

- In den ersten 20 Sekunden diffundieren hauptsächlich die sehr kleinen Protonen  $\text{H}^+$  der Salzsäure  $\text{HCl}$  in das Wasser.
- Die negativen Chlorid-Ionen sind größer und daher nicht so beweglich wie die Protonen.
- Auf der Wasserseite der Membran herrscht ein Überschuss an positiven Ladungen, auf der  $\text{HCl}$ -Seite ein Mangel an positiven Ladungen.

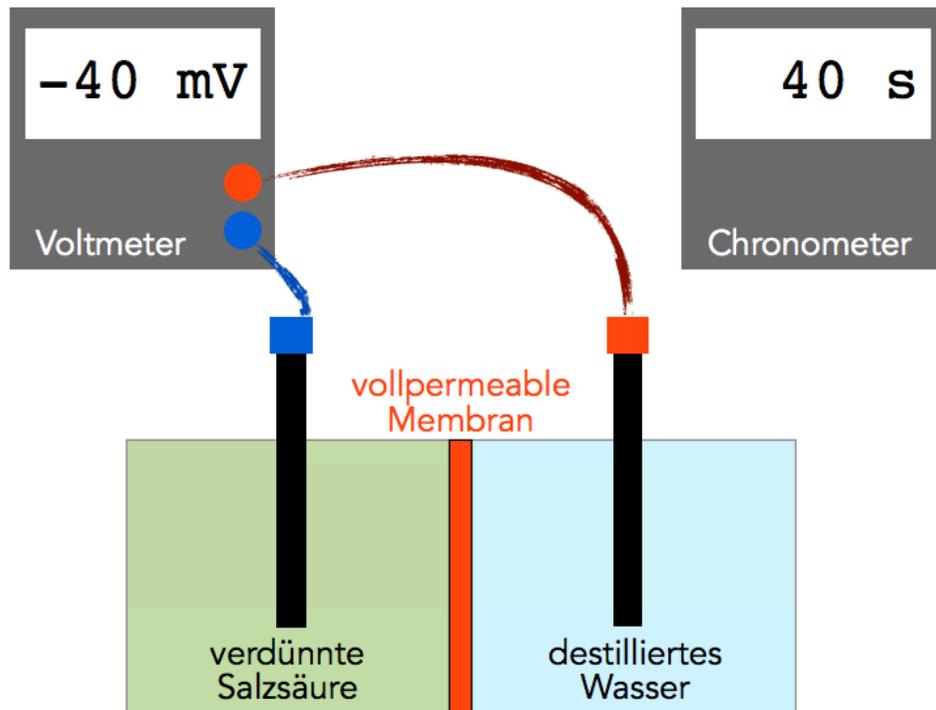
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



## Erklärungen:

- Nach und nach diffundieren auch die negativen Chlorid-Ionen nach rechts und gleichen den positiven Ladungsüberschuss wieder aus.

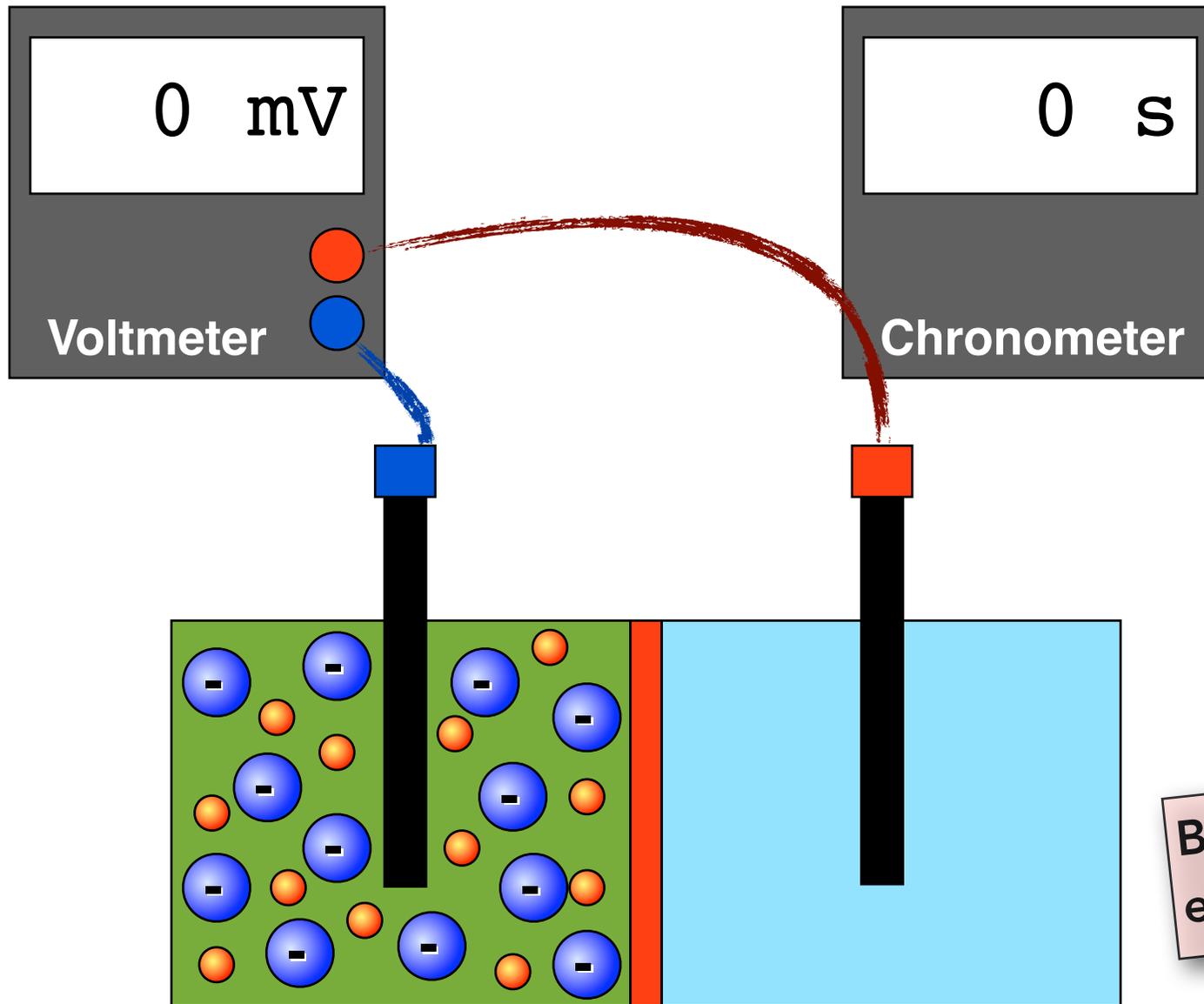
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 1



## Erklärungen:

- Nach und nach diffundieren auch die negativen Chlorid-Ionen nach rechts und gleichen den positiven Ladungsüberschuss wieder aus.
- Die Membranspannung sinkt langsam wieder auf den Wert 0.

# Veranschaulichung des Modellversuchs Nr. 1

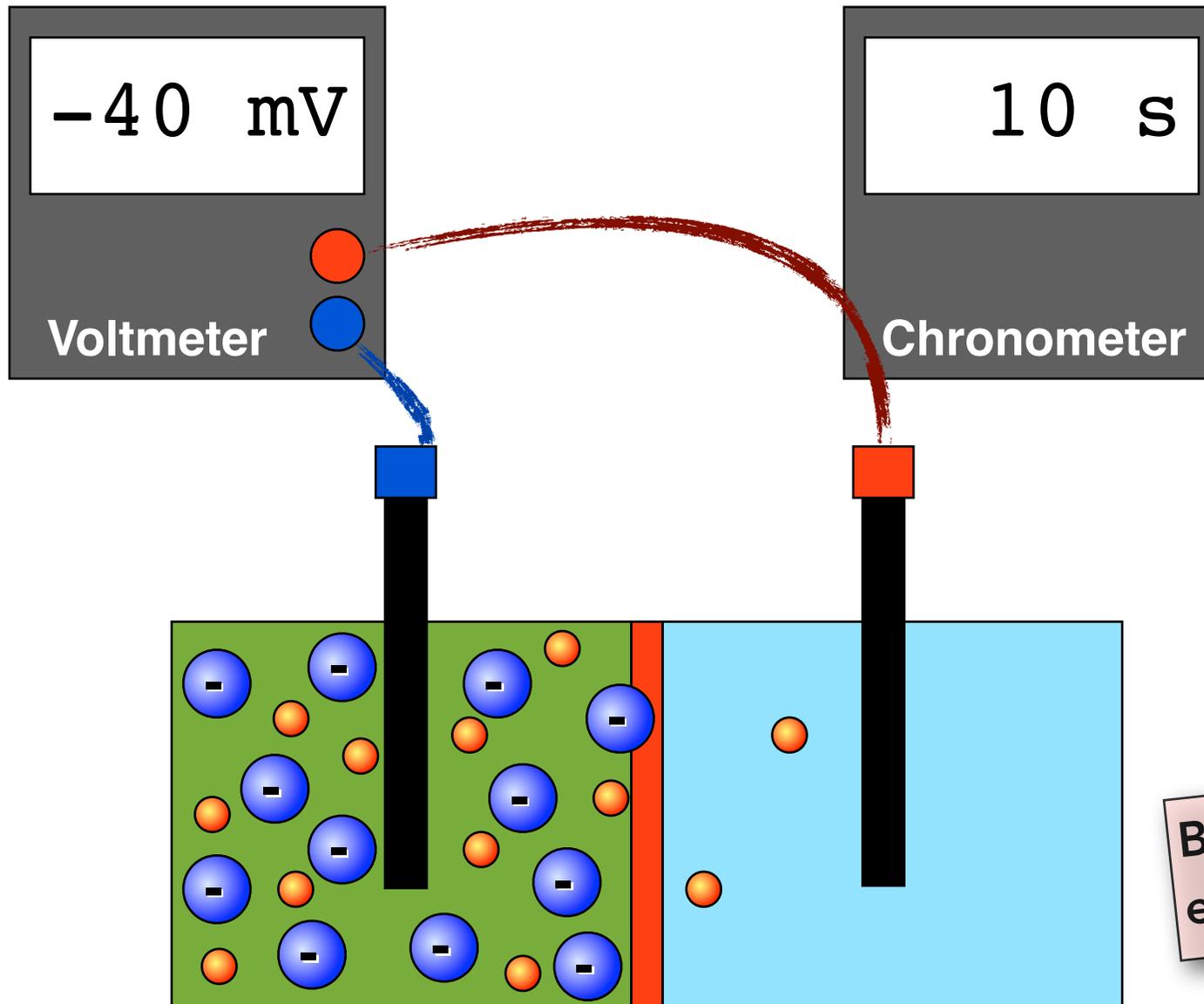


12 negative  
12 positive Ionen

0 negative  
0 positive Ionen

Beschreiben und  
erläutern Sie!

# Veranschaulichung des Modellversuchs Nr. 1

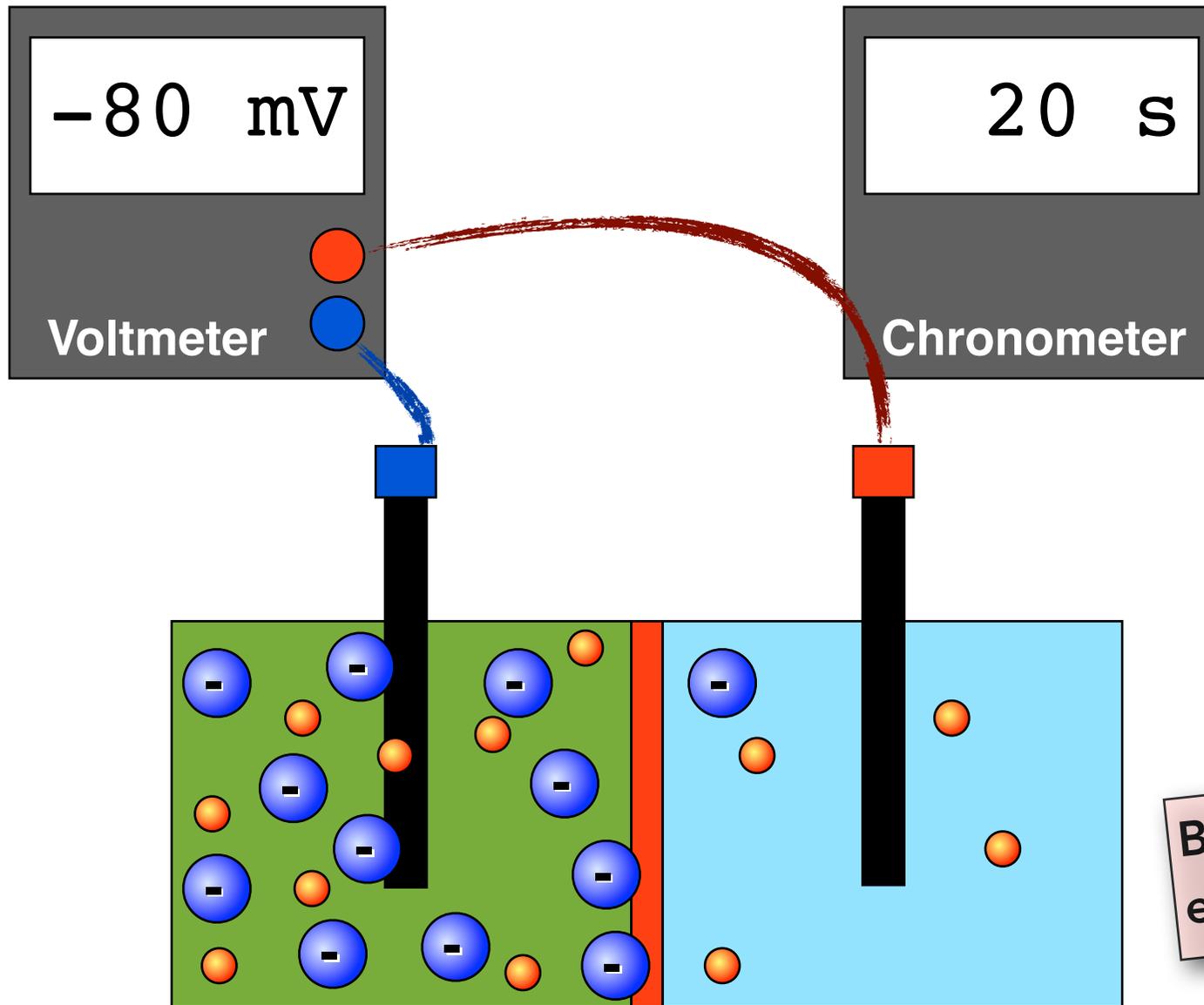


12 negative  
10 positive Ionen

0 negative  
2 positive Ionen

Beschreiben und  
erläutern Sie!

# Veranschaulichung des Modellversuchs Nr. 1

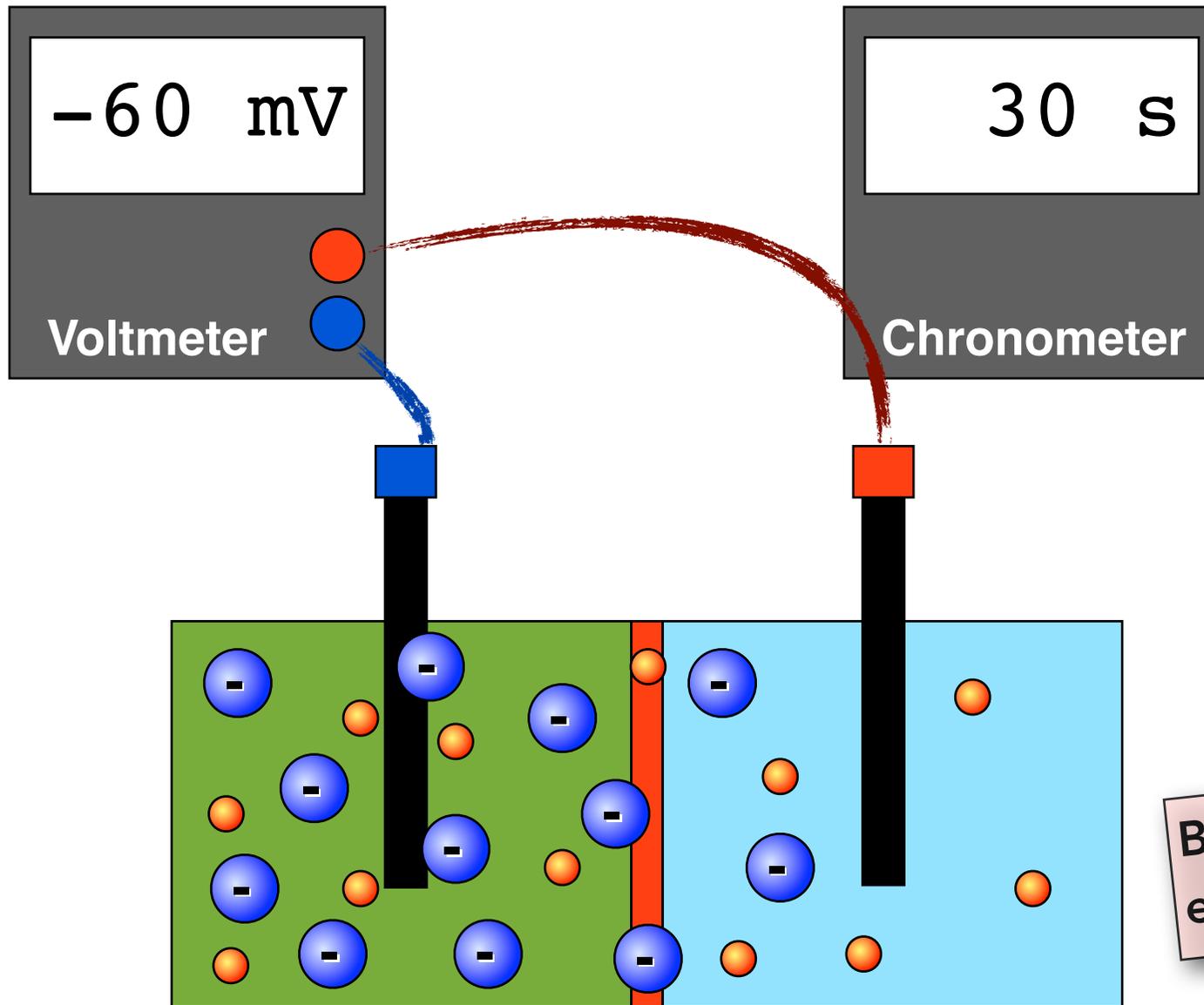


11 negative  
8 positive Ionen

1 negative  
4 positive Ionen

Beschreiben und  
erläutern Sie!

# Veranschaulichung des Modellversuchs Nr. 1

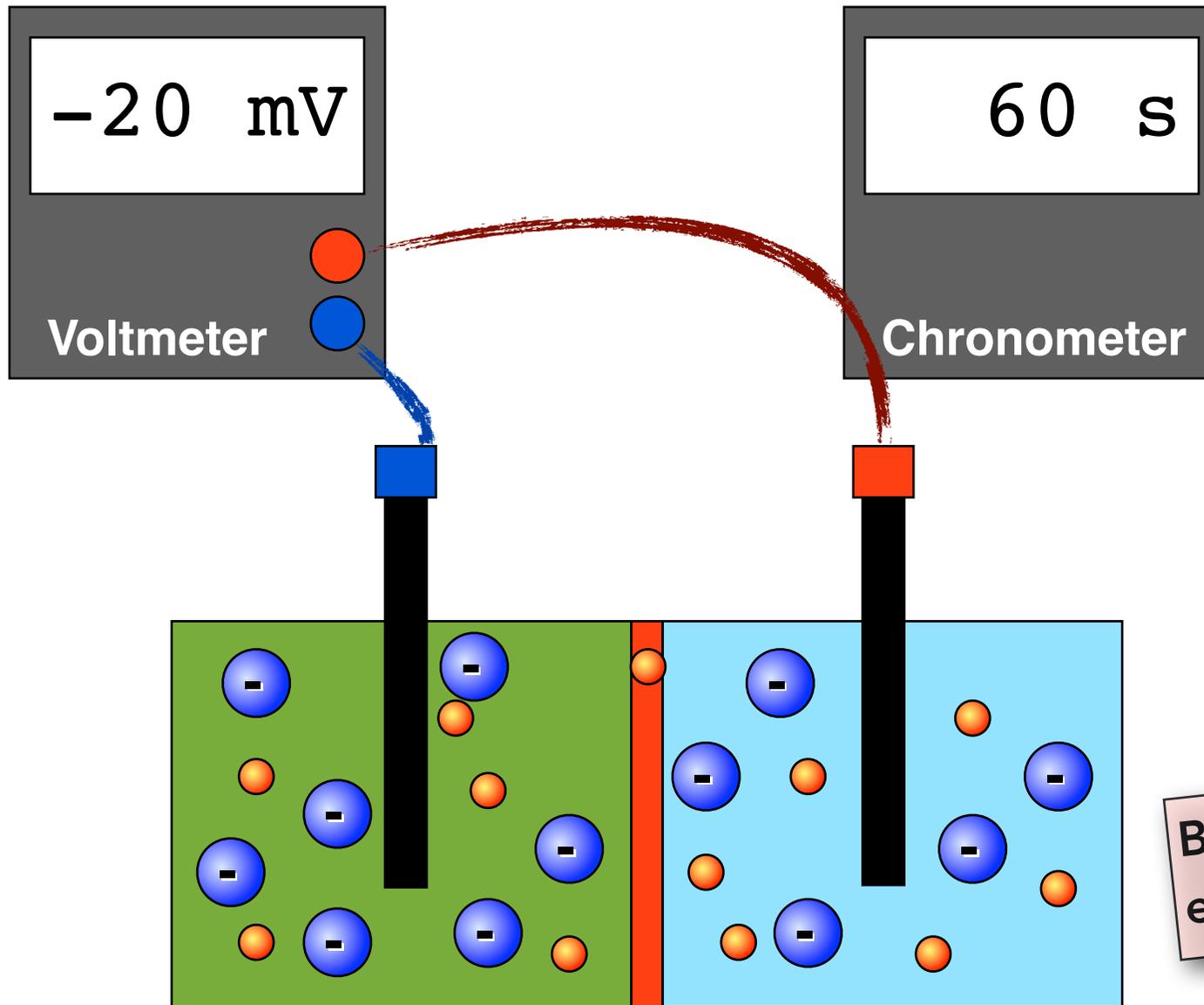


10 negative  
7 positive Ionen

2 negative  
5 positive Ionen

Beschreiben und  
erläutern Sie!

# Veranschaulichung des Modellversuchs Nr. 1

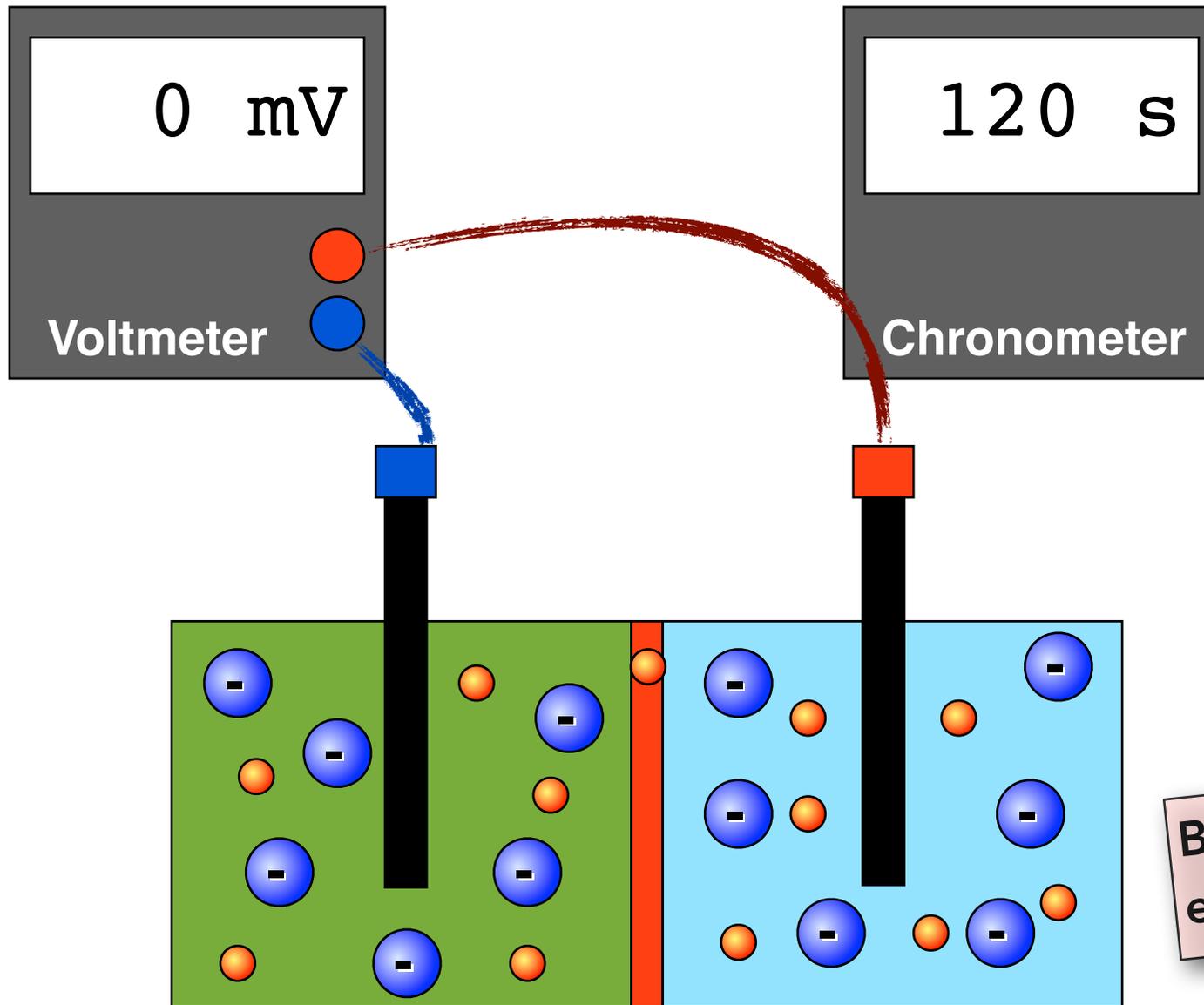


7 negative  
6 positive Ionen

5 negative  
6 positive Ionen

Beschreiben und  
erläutern Sie!

# Veranschaulichung des Modellversuchs Nr. 1

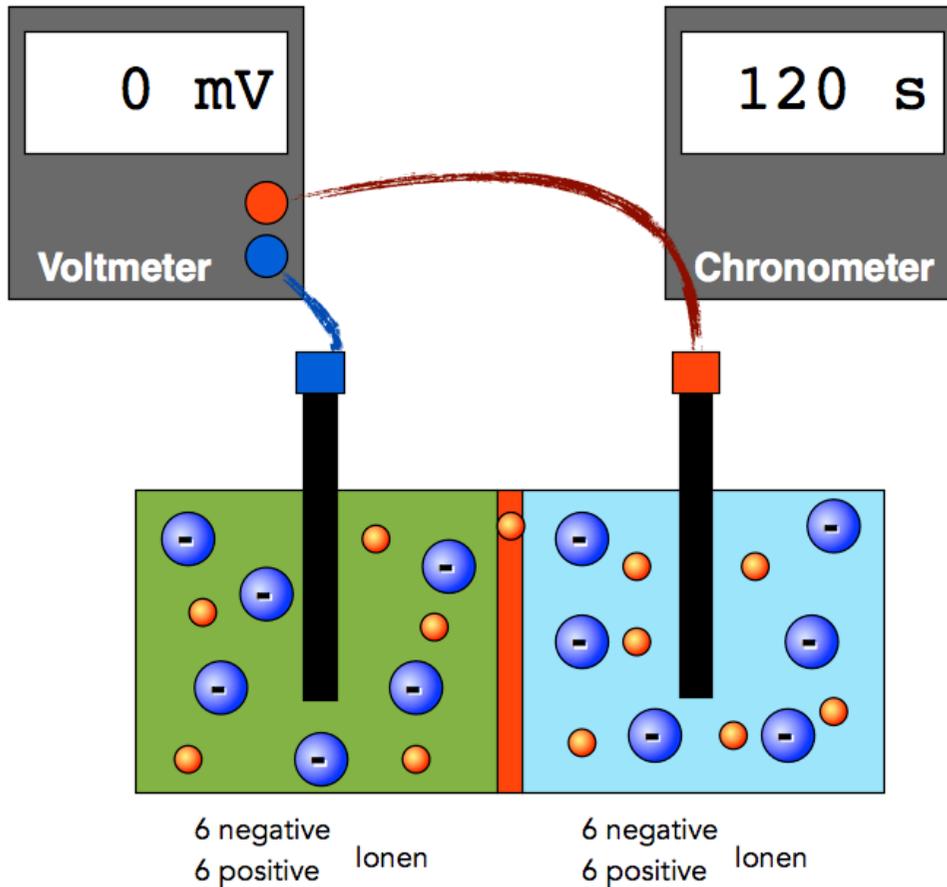


6 negative  
6 positive Ionen

6 negative  
6 positive Ionen

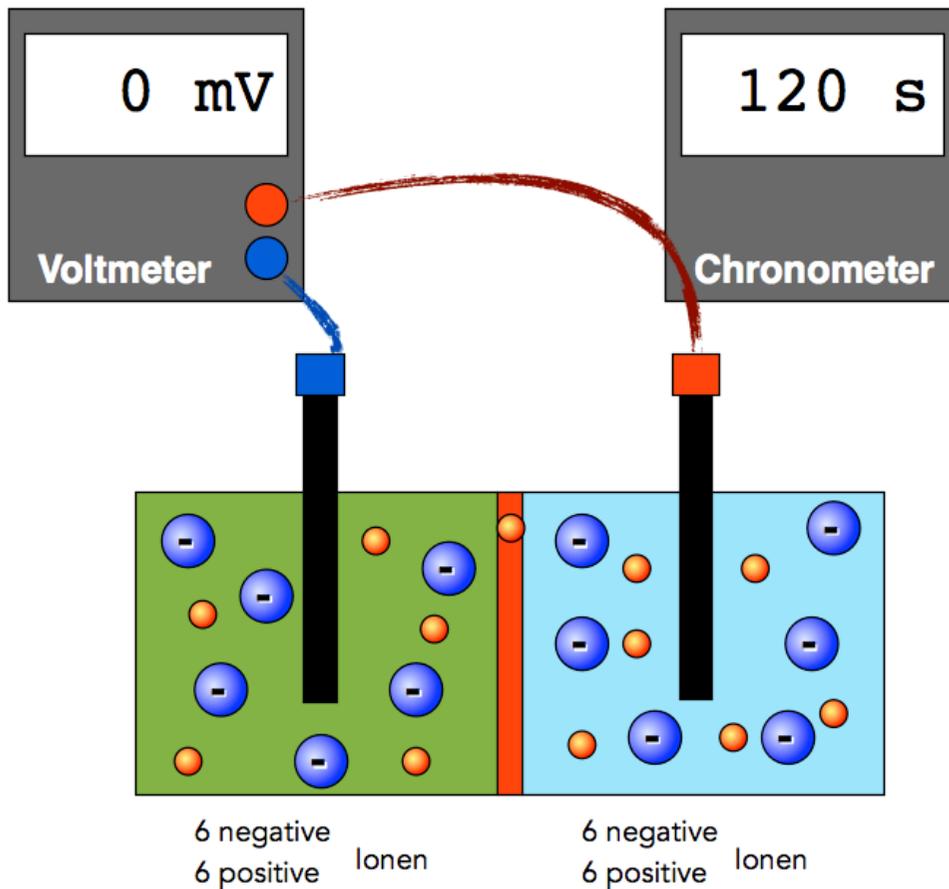
Beschreiben und  
erläutern Sie!

# Veranschaulichung des Modellversuchs Nr. 1



Erläutern Sie, welche Erkenntnisse wir aus dem Modellversuch 1 gewinnen können!

# Veranschaulichung des Modellversuchs Nr. 1

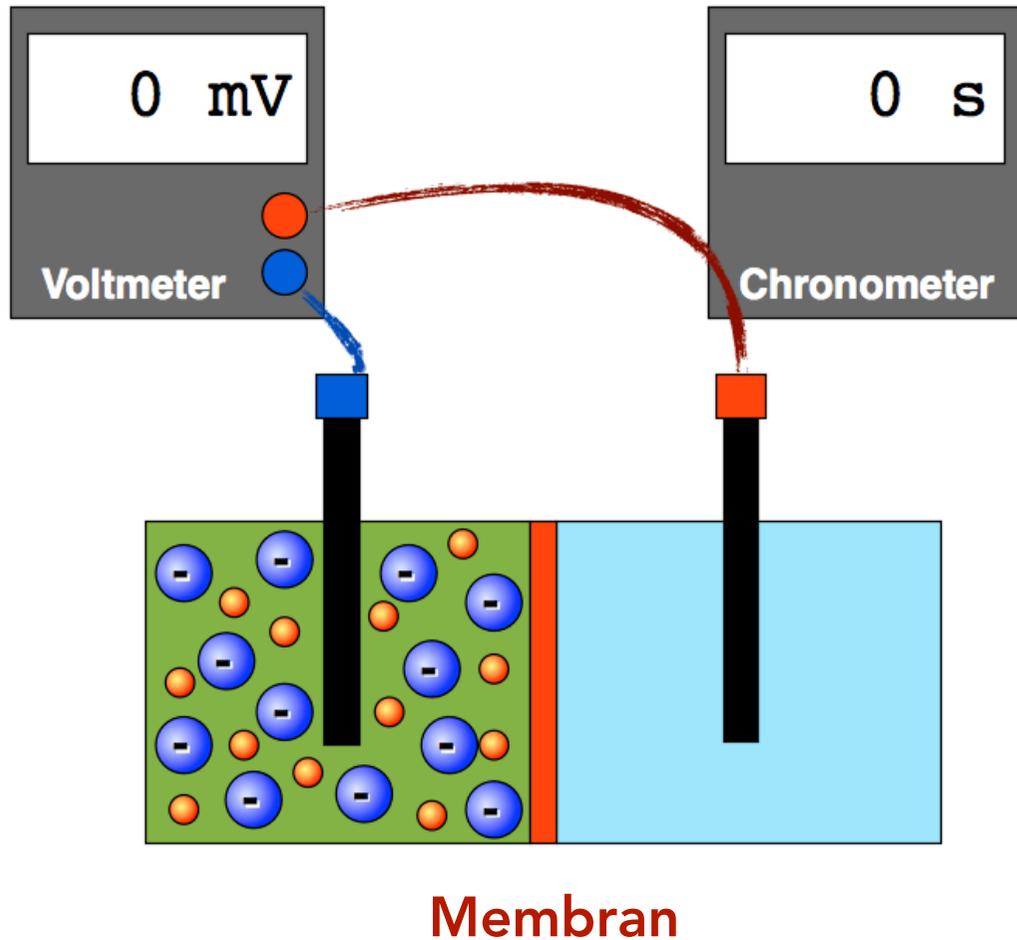


## Was zeigt uns der Modellversuch Nr. 1?

Ionen sind Ladungsträger, die mit unterschiedlicher Geschwindigkeit durch eine permeable Membran diffundieren können.

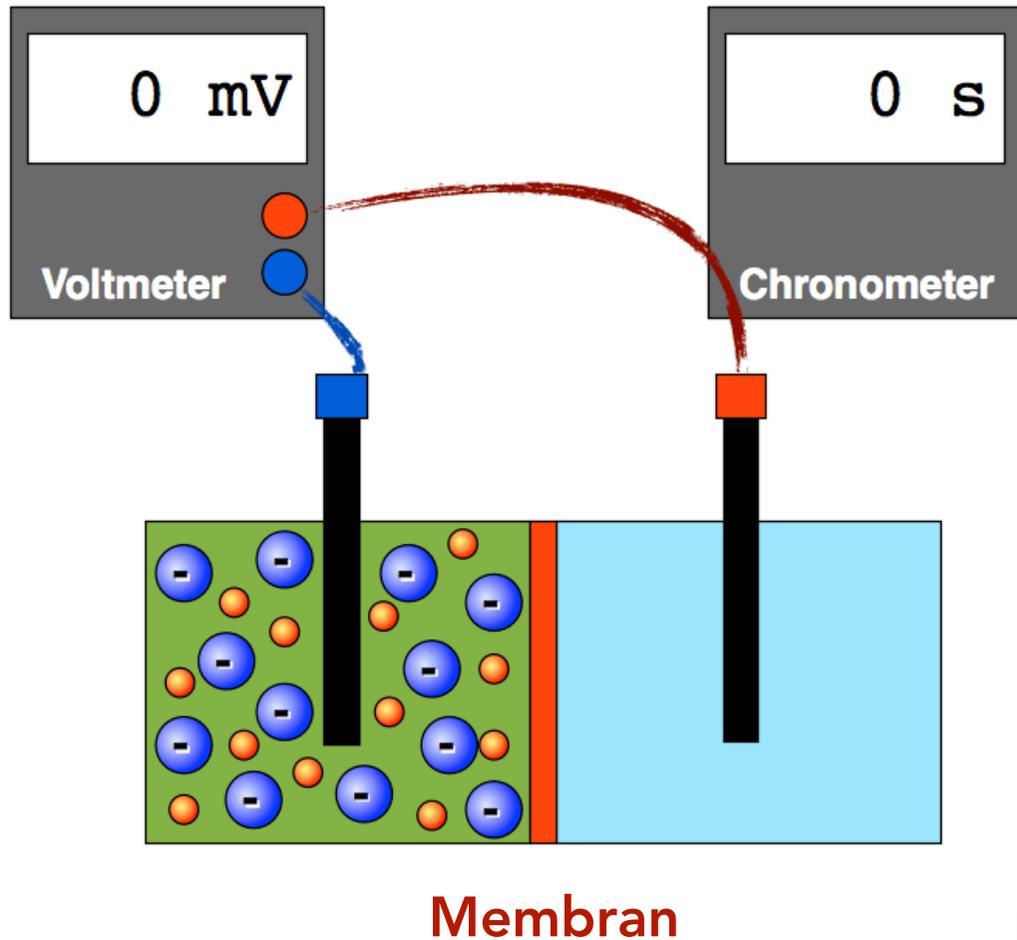
Bei ungleichen Ladungsverteilungen links und rechts der Membran kann man ein **Membranpotenzial** messen.

## Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



Erläutern Sie mit Hilfe des eben gezeigten Modells, welchen Verlauf der Versuch nehmen würde, wenn die **Membran** für die negativen Ionen völlig undurchlässig wäre!

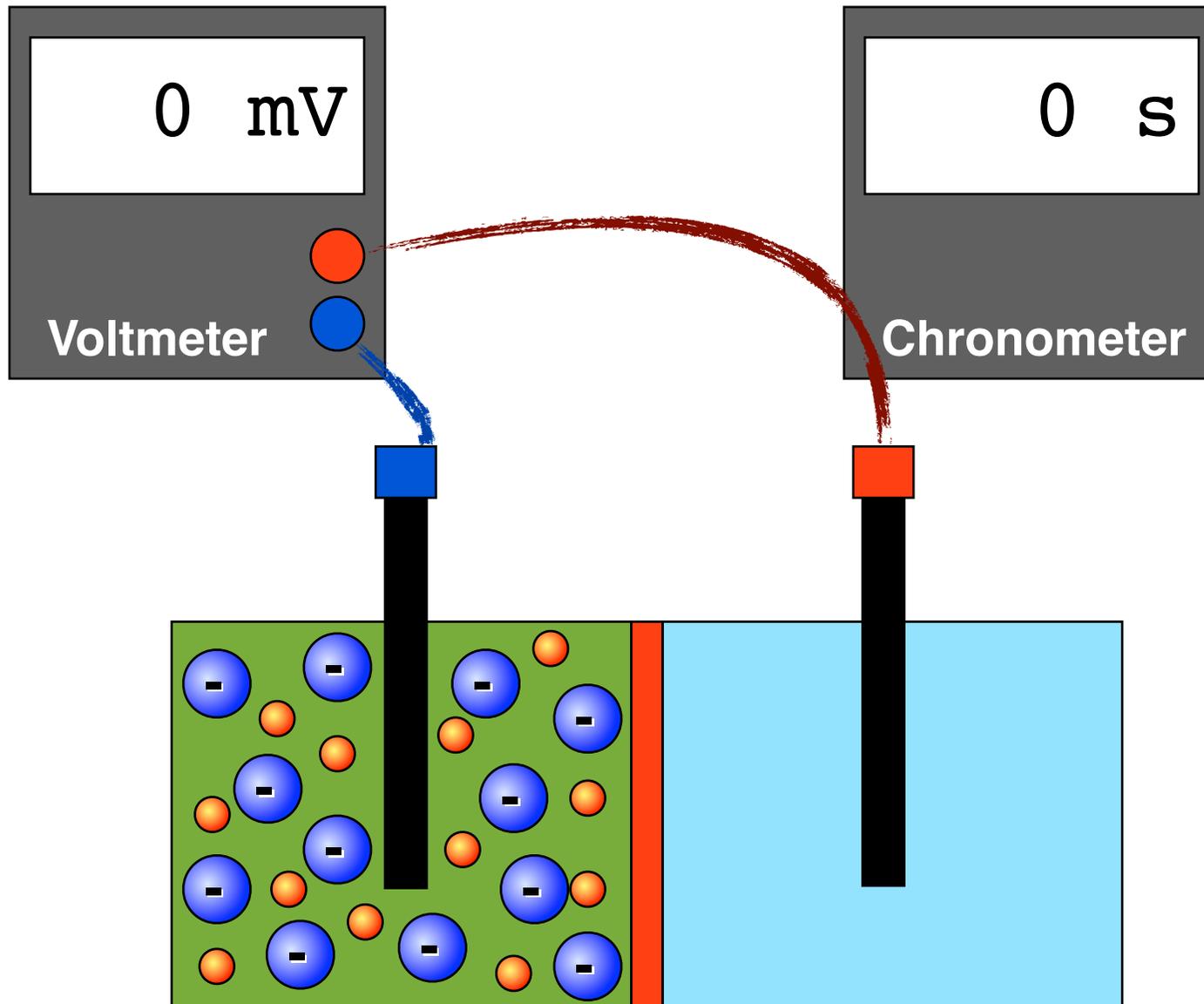
## Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



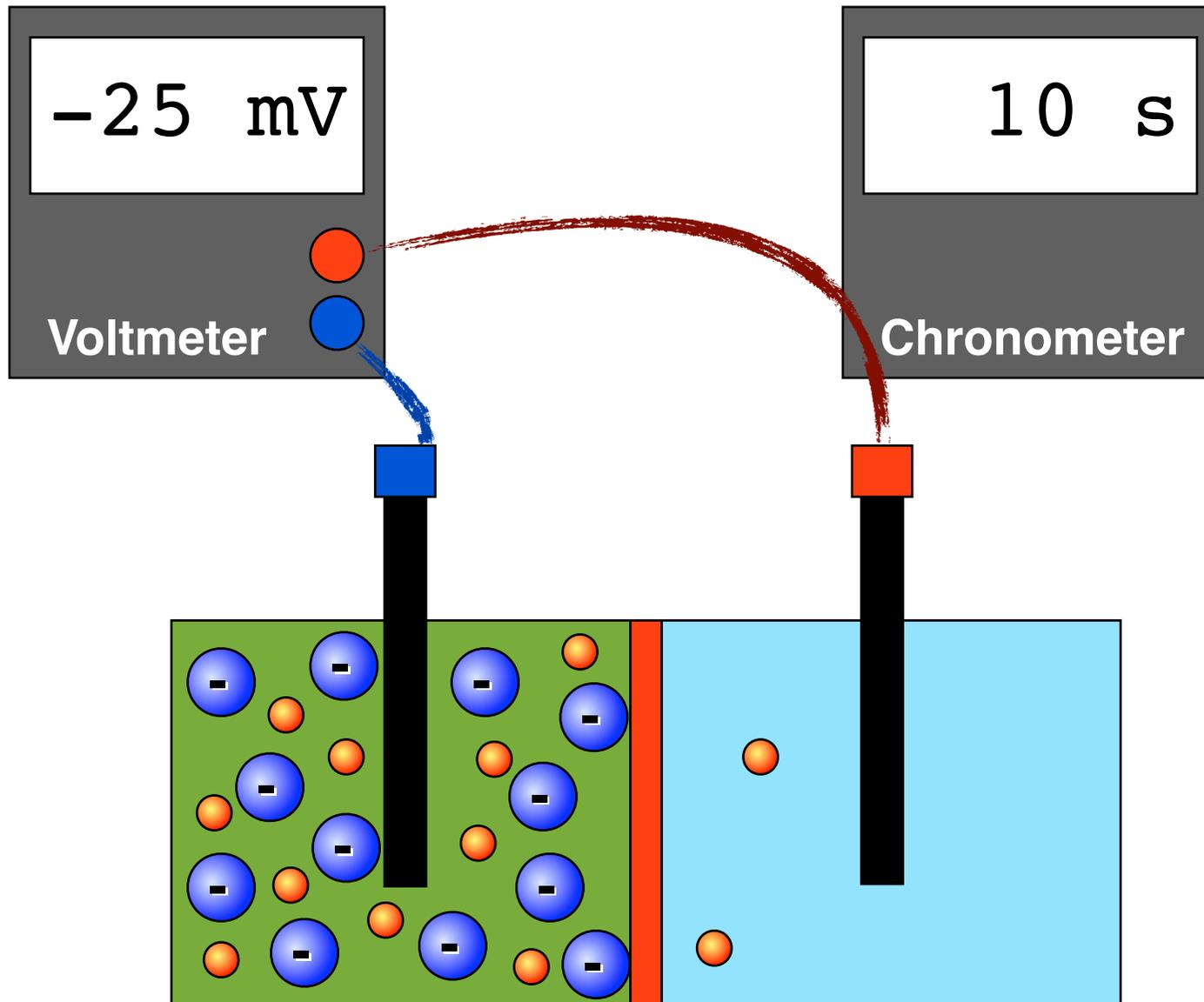
Erläutern Sie mit Hilfe des eben gezeigten Modells, welchen Verlauf der Versuch nehmen würde, wenn die **Membran** für die negativen Ionen völlig undurchlässig wäre!

Bei Modellversuch Nr. 1 war die Membran für beide Ionen vollständig durchlässig, allerdings waren die Chlorid-Ionen langsamer als die Protonen.

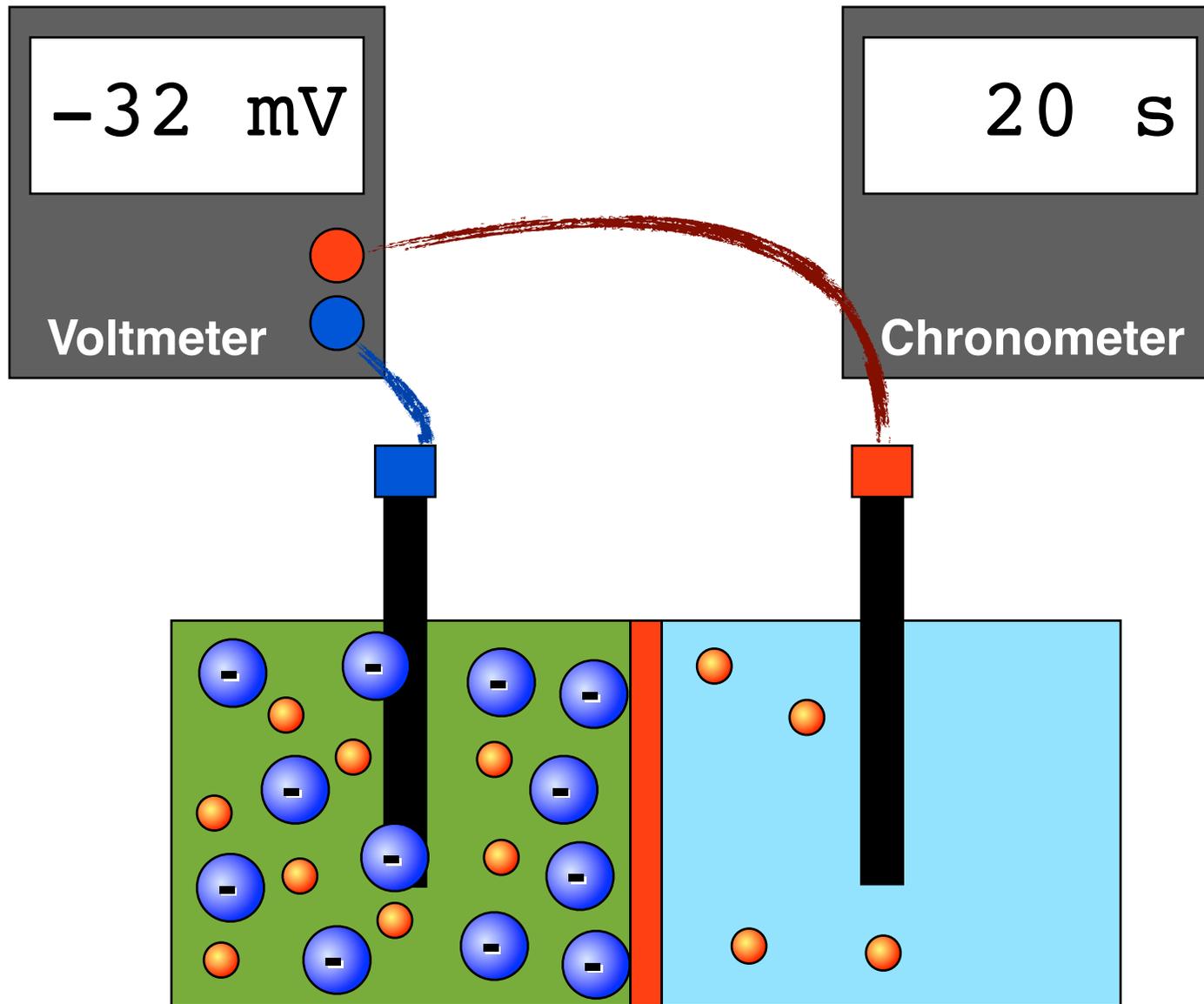
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



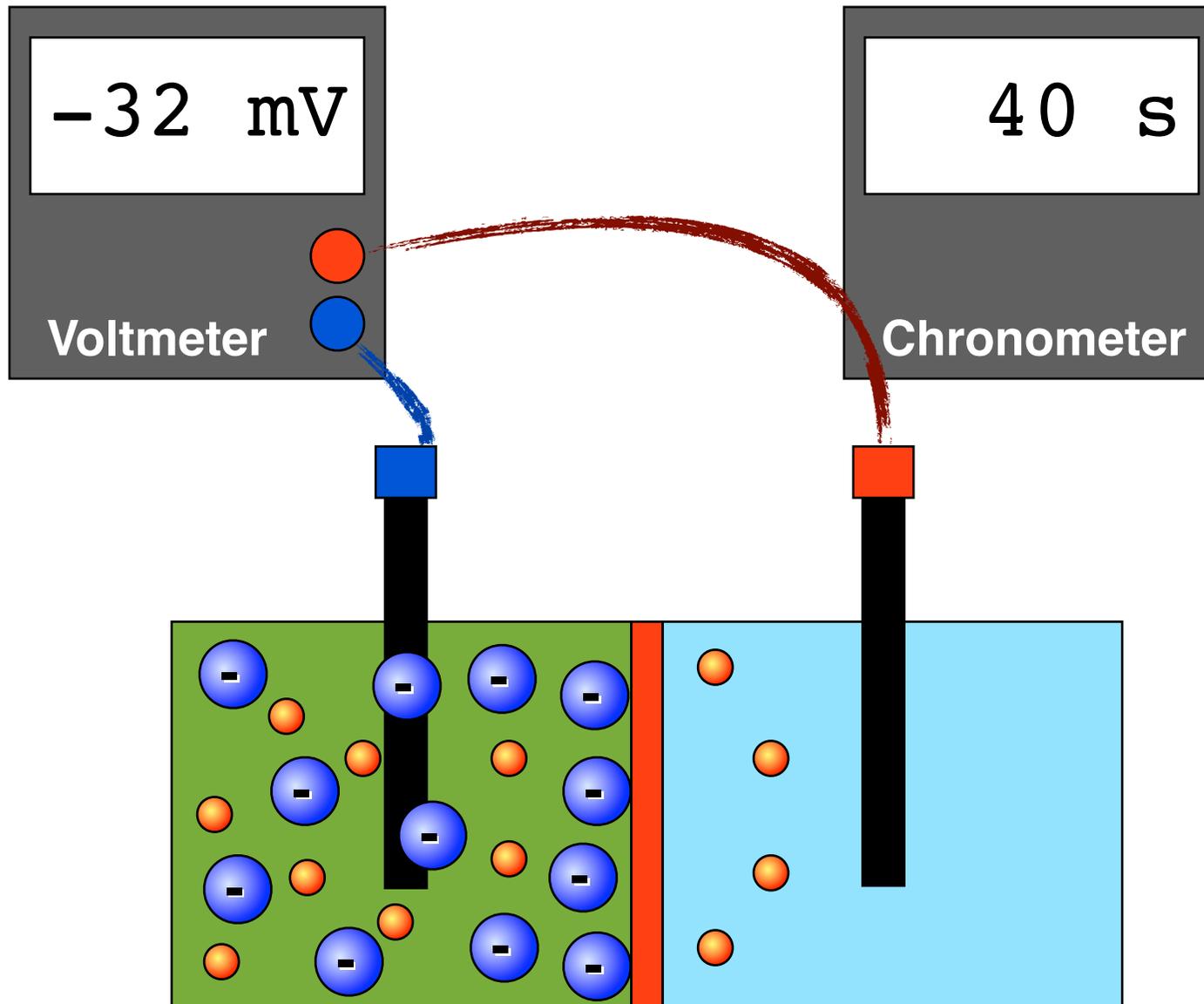
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



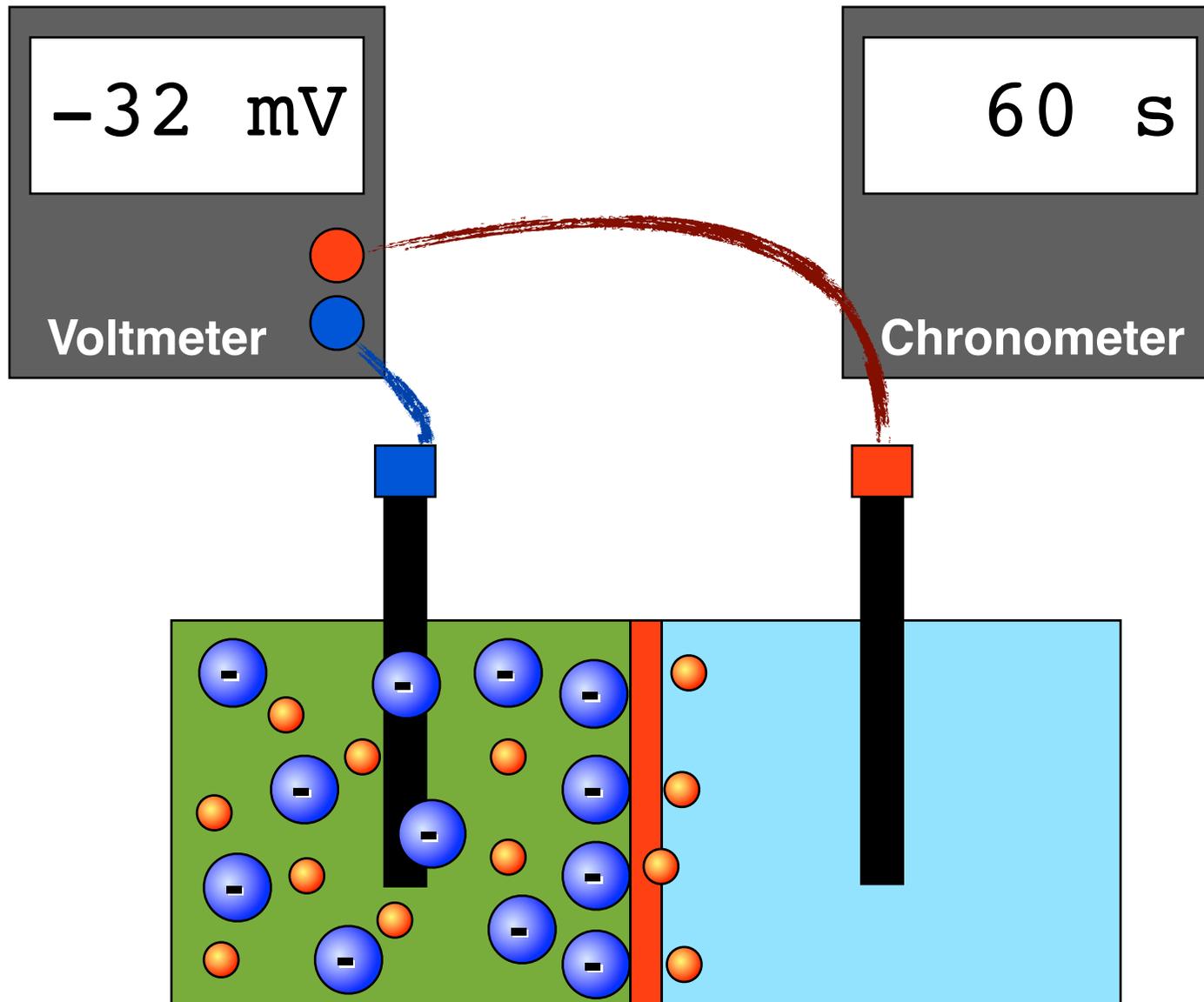
# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2

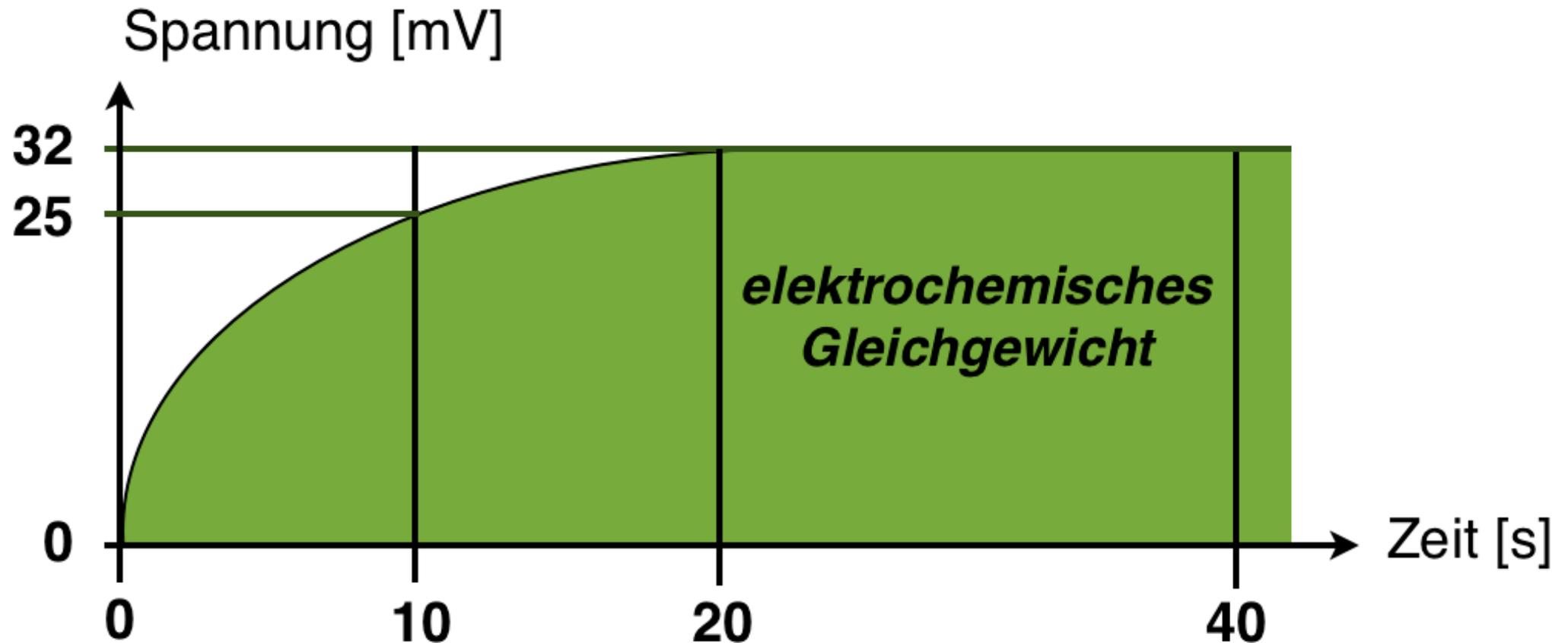


# Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2

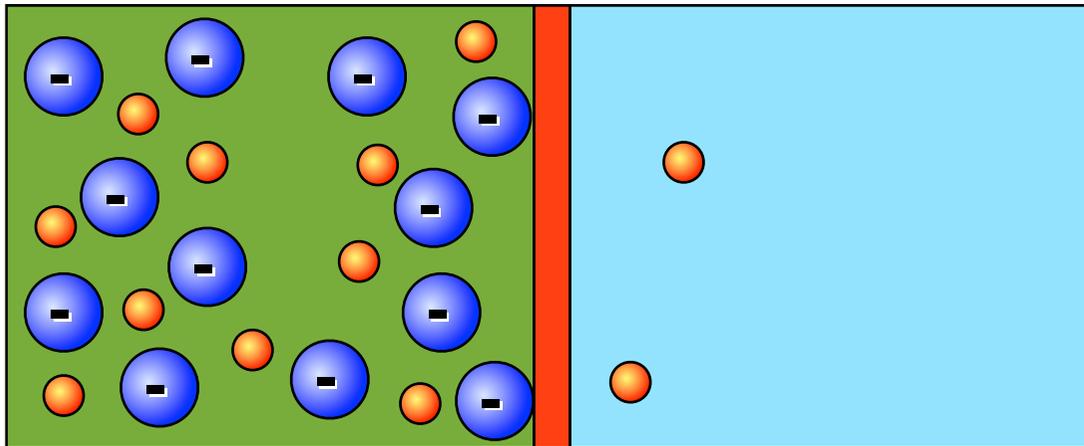
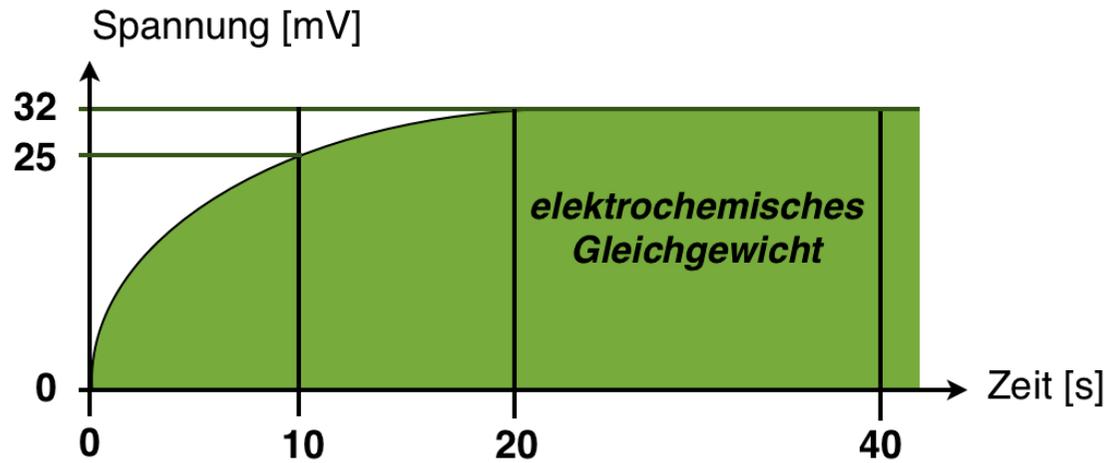


## Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2

Erläutern Sie das Zustandekommen der Versuchsergebnisse!



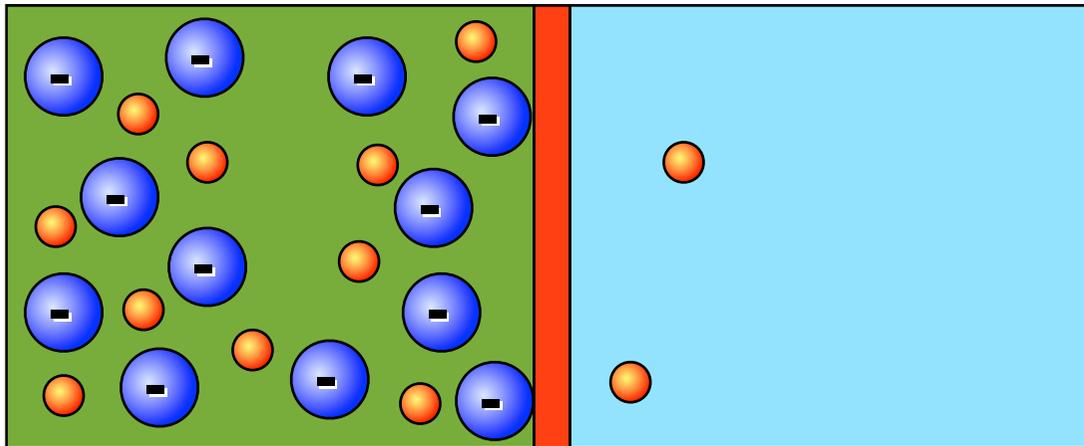
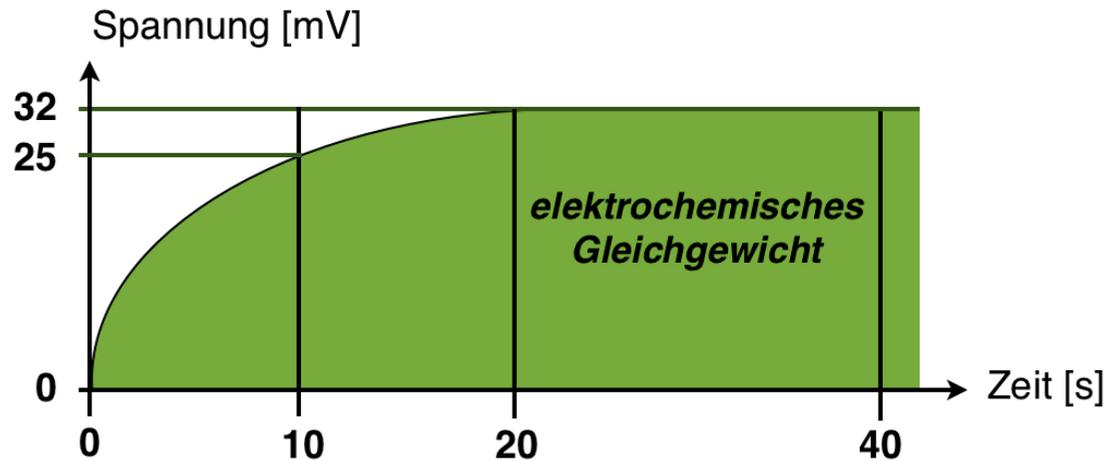
## Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



### Erläuterung der Ergebnisse

- Die kleinen Protonen diffundieren in Richtung des **Konzentrationsgefälles** nach rechts.

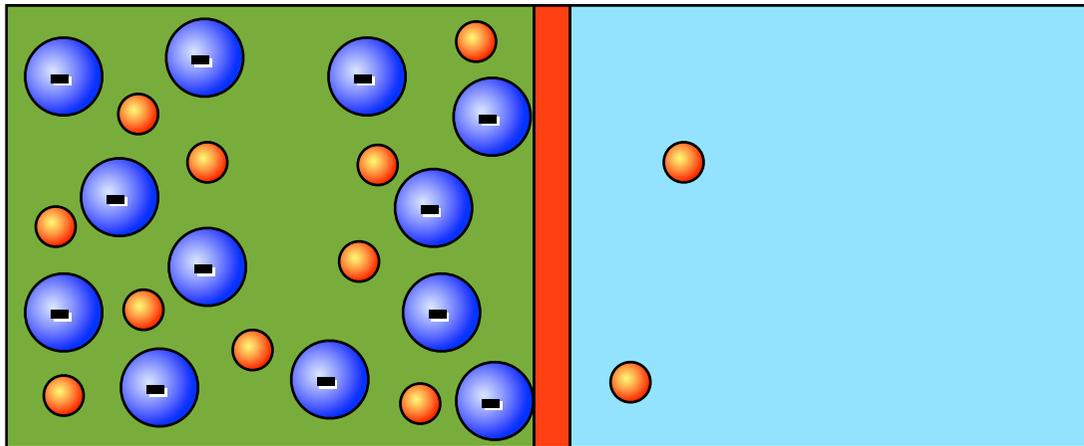
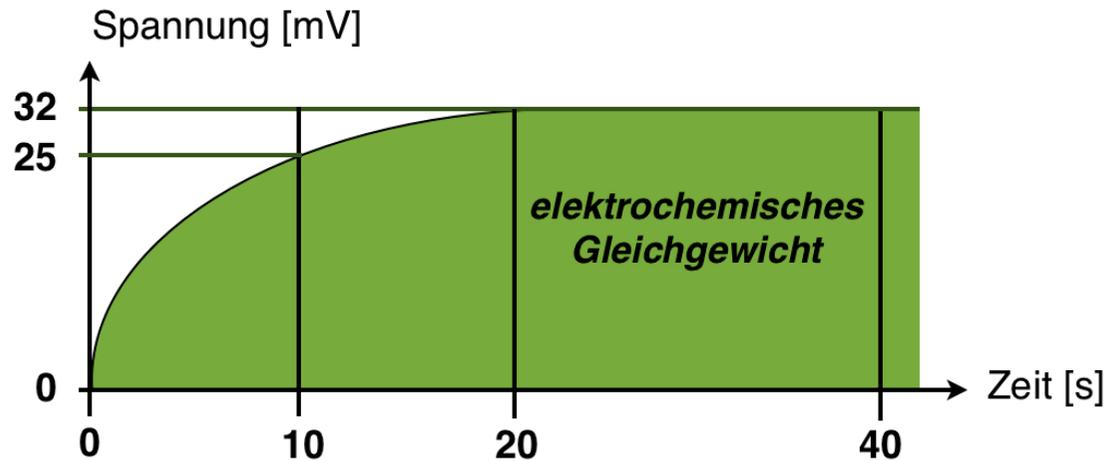
## Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



### Erläuterung der Ergebnisse

- Die kleinen Protonen diffundieren in Richtung des **Konzentrationsgefälles** nach rechts.
- Die großen Chlorid-Ionen können nicht nach rechts diffundieren, weil die Membran undurchlässig für diese Ionen ist.

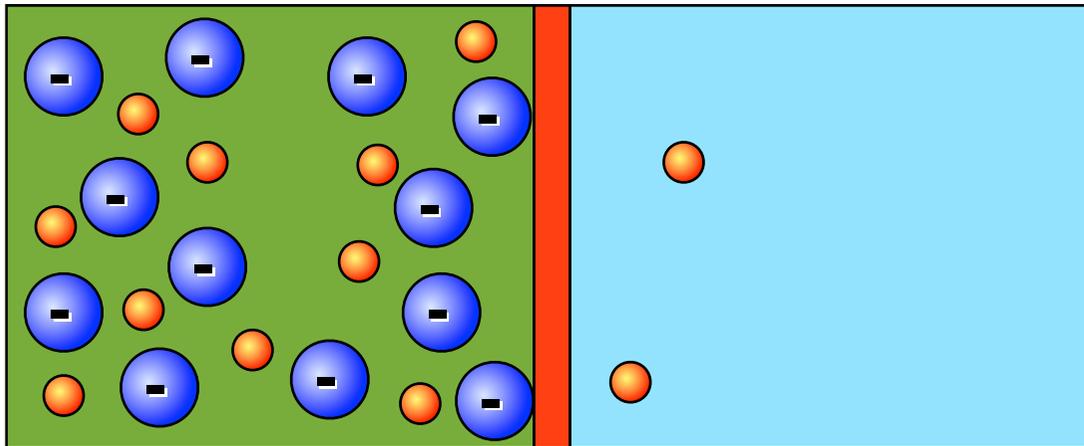
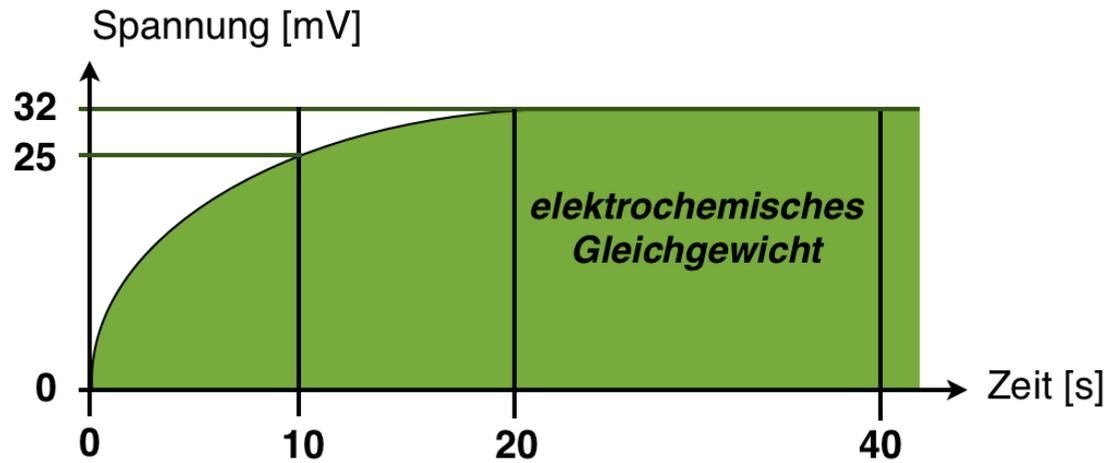
## Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



### Erläuterung der Ergebnisse

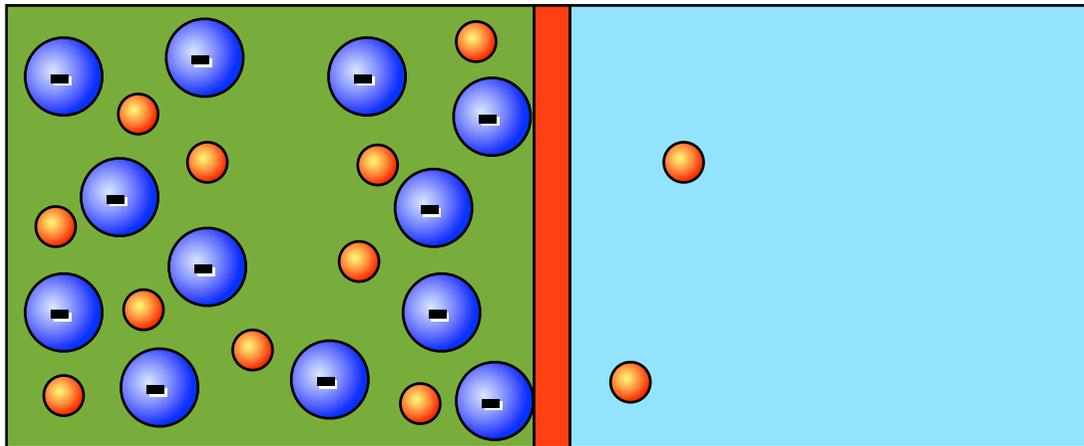
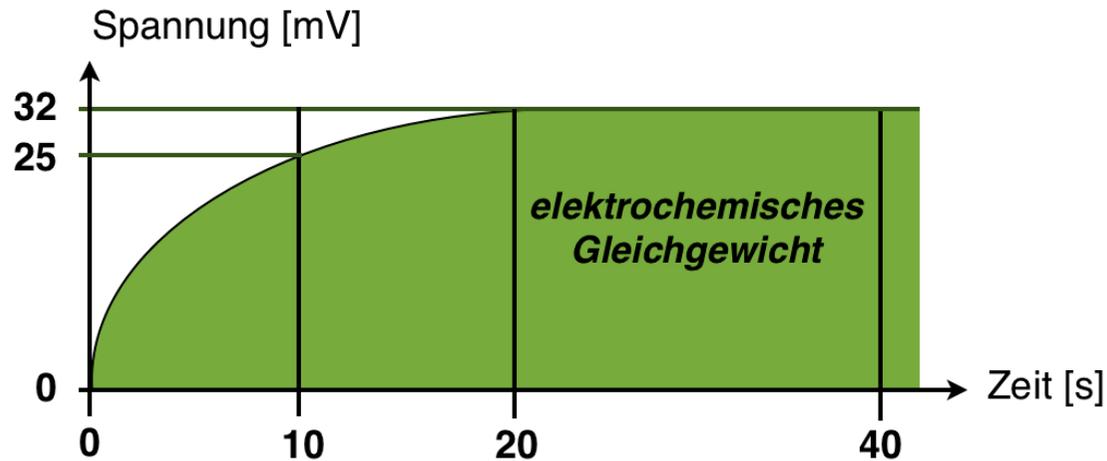
- Die kleinen Protonen diffundieren in Richtung des **Konzentrationsgefälles** nach rechts.
- Die großen Chlorid-Ionen können nicht nach rechts diffundieren, weil die Membran undurchlässig für diese Ionen ist.
- Durch die Diffusion der Protonen wird die linke Seite negativer, die rechte positiver.

## Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



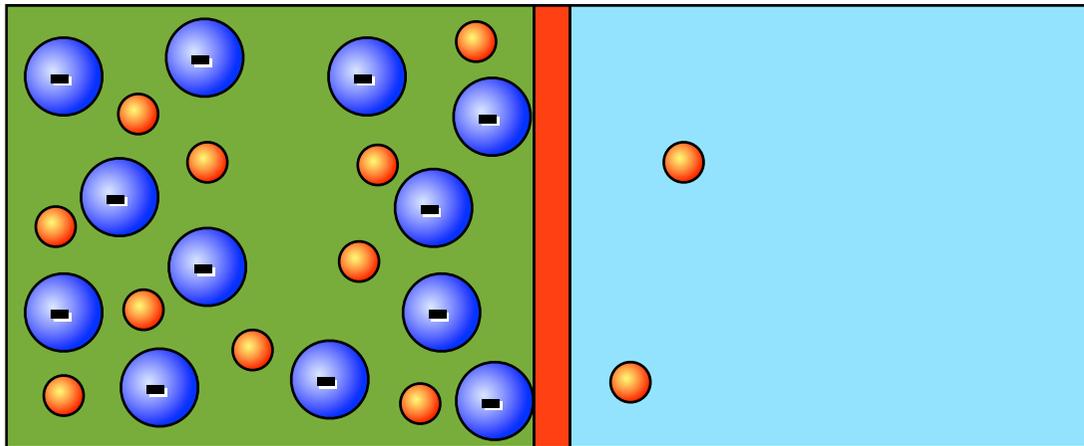
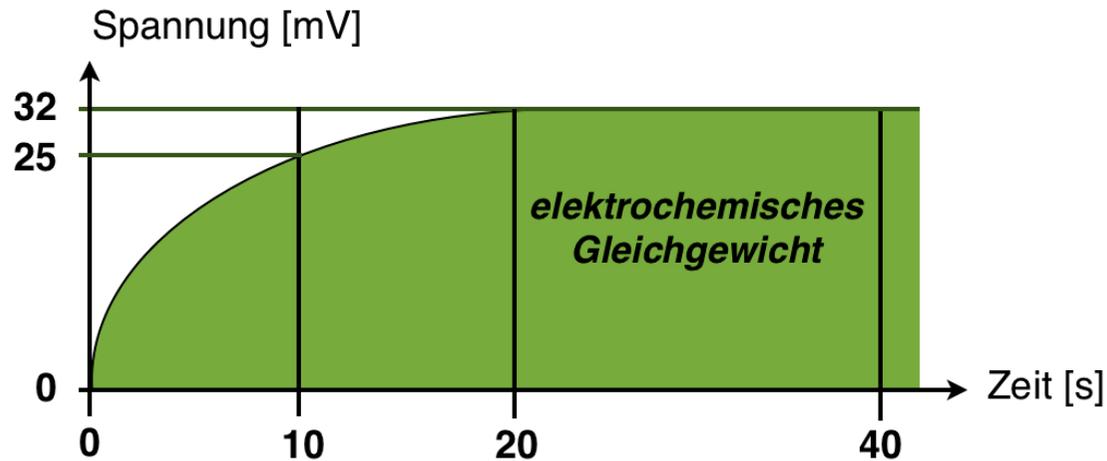
- Je negativer die linke Seite wird, desto stärker werden die Protonen von der linken Seite angezogen.

## Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



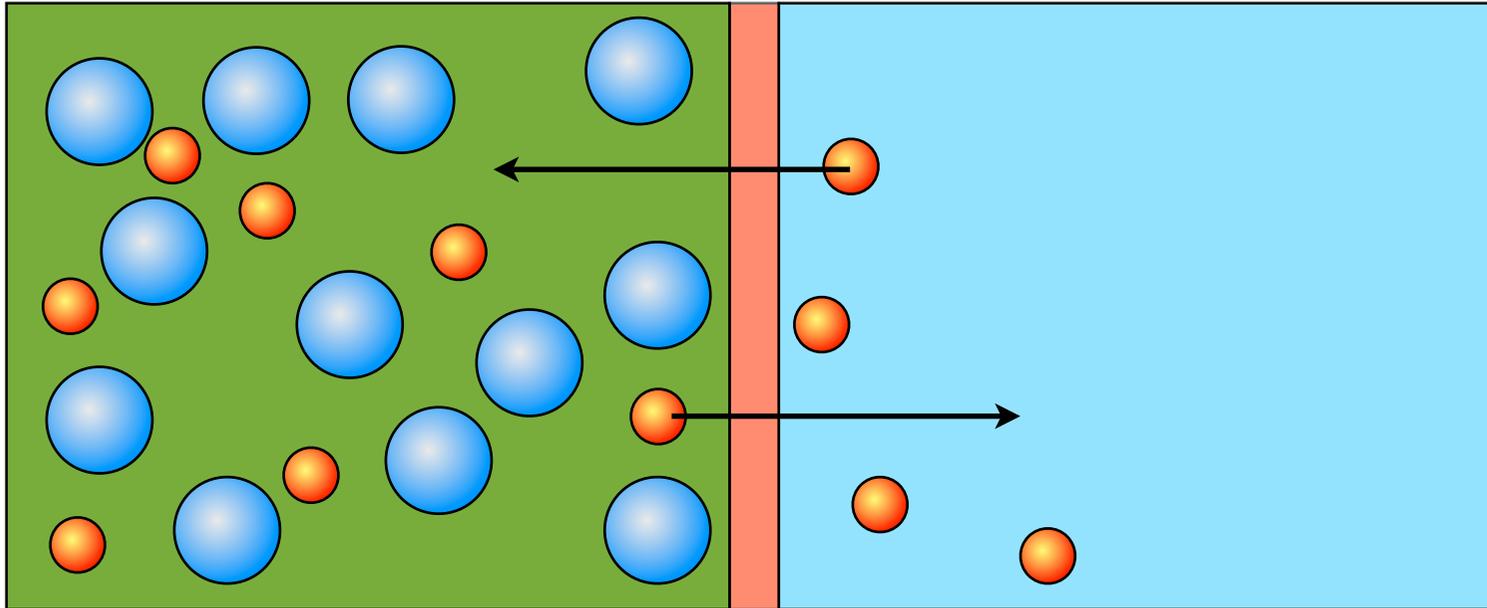
- Je negativer die linke Seite wird, desto stärker werden die Protonen von der linken Seite angezogen.
- Die **Membranspannung** erreicht schließlich einen konstanten Wert, der nicht mehr größer wird. Ein **elektrochemisches Gleichgewicht** ist erreicht.

## Modellversuch zum Ruhepotenzial Nr. 2



- Je negativer die linke Seite wird, desto stärker werden die Protonen von der linken Seite angezogen.
- Die **Membranspannung** erreicht schließlich einen konstanten Wert, der nicht mehr größer wird. Ein **elektrochemisches Gleichgewicht** ist erreicht.
- Die Membranspannung, die man in diesem Gleichgewichtszustand messen kann, kann man mit dem **Ruhepotenzial** vergleichen.

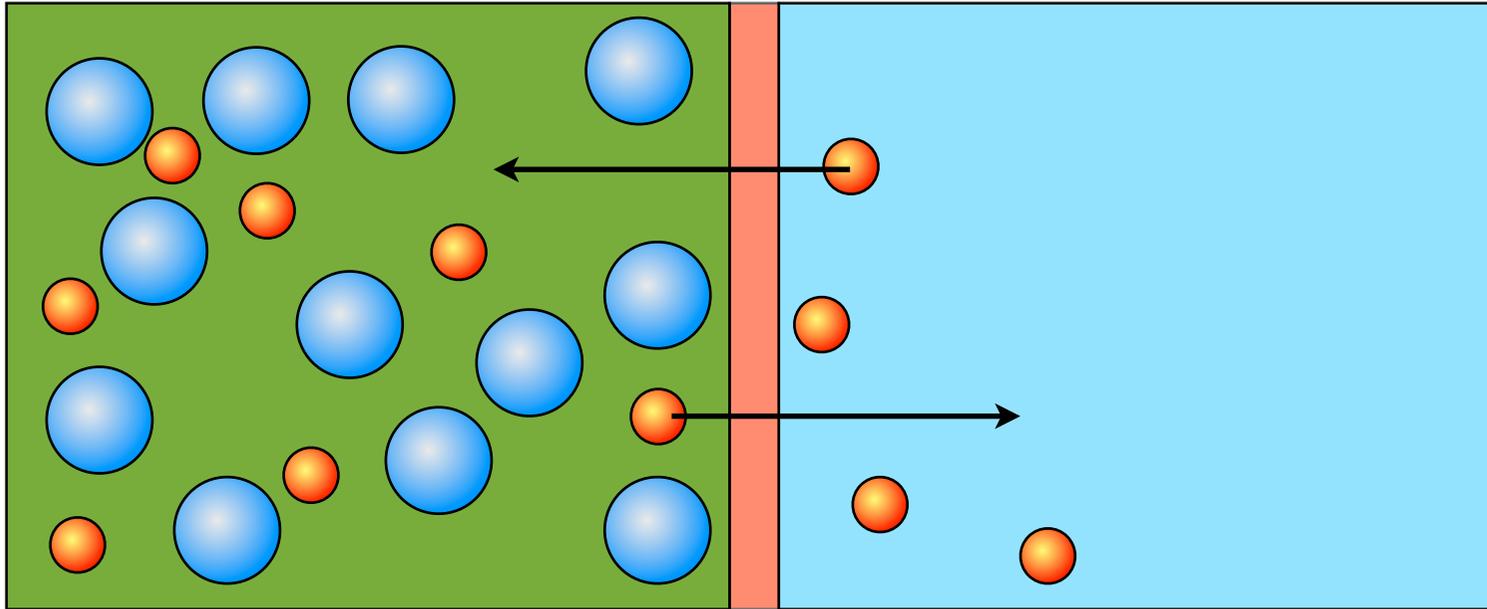
# Das elektrochemische Gleichgewicht



Pro Zeiteinheit diffundieren genau so viele Protonen von links nach rechts wie von rechts nach links. Es gilt:  $v_{\text{Hindiffusion}} = v_{\text{Rückdiffusion}}$ .



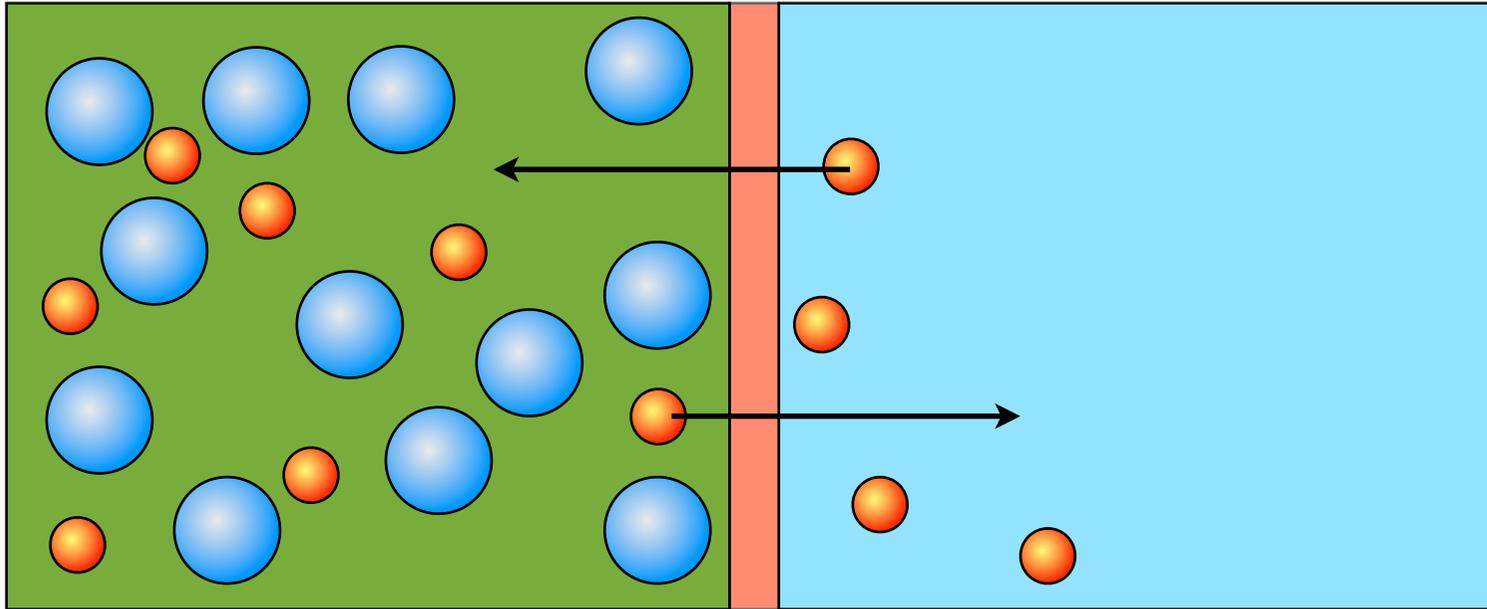
# Das elektrochemische Gleichgewicht



Pro Zeiteinheit diffundieren genau so viele Protonen von links nach rechts wie von rechts nach links. Es gilt:  $v_{\text{Hindiffusion}} = v_{\text{Rückdiffusion}}$ .

Das elektrochemische Gleichgewicht ist ein **dynamisches Gleichgewicht**.

# Das elektrochemische Gleichgewicht

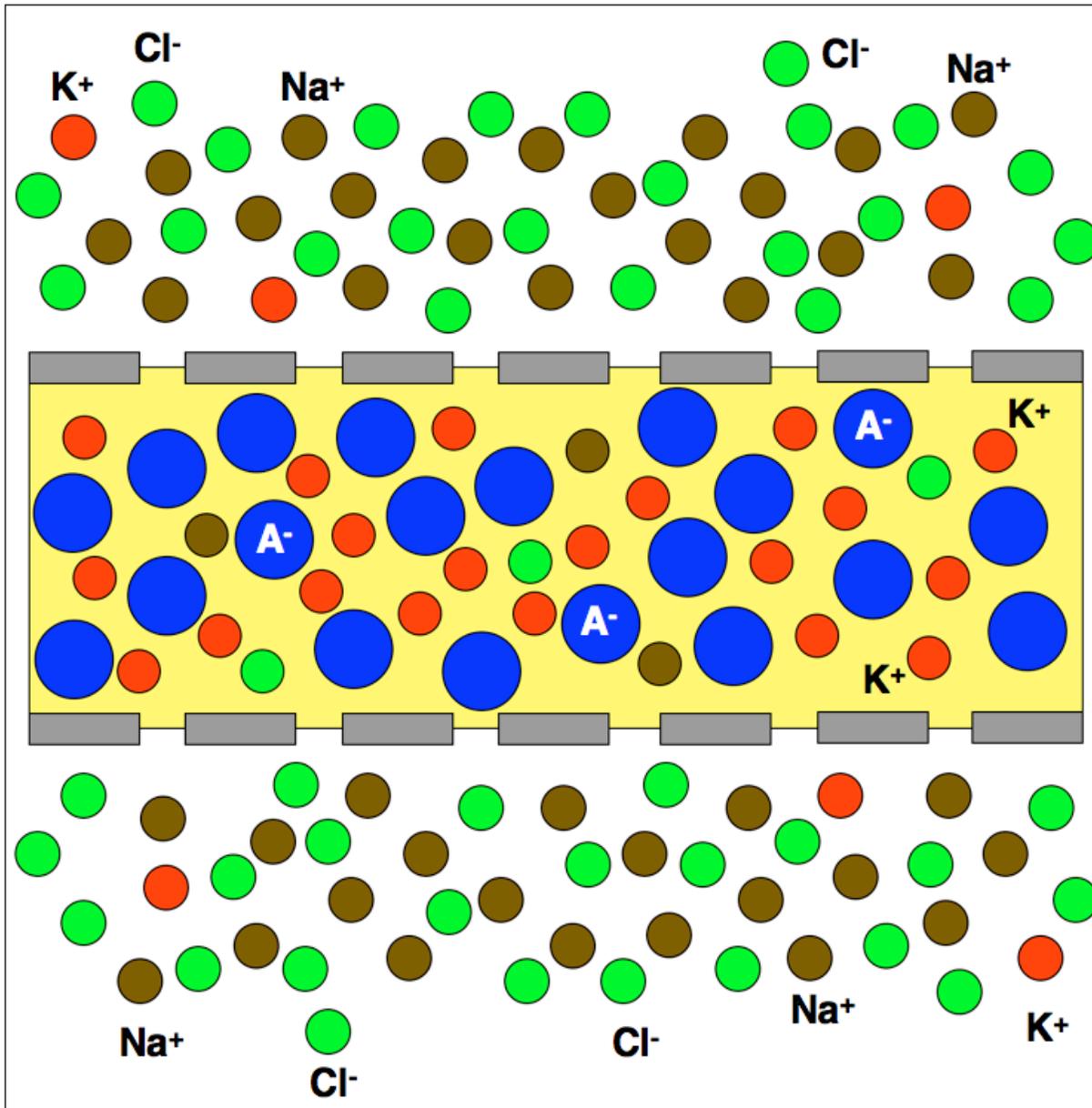


Pro Zeiteinheit diffundieren genau so viele Protonen von links nach rechts wie von rechts nach links. Es gilt:  $v_{\text{Hindiffusion}} = v_{\text{Rückdiffusion}}$ .

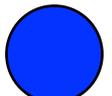
Das elektrochemische Gleichgewicht ist ein **dynamisches Gleichgewicht**.

Für den außenstehenden Betrachter sieht es so aus, als ob keine Protonen mehr von links nach rechts diffundieren. Das **Membranpotenzial** verändert sich daher nicht mehr.

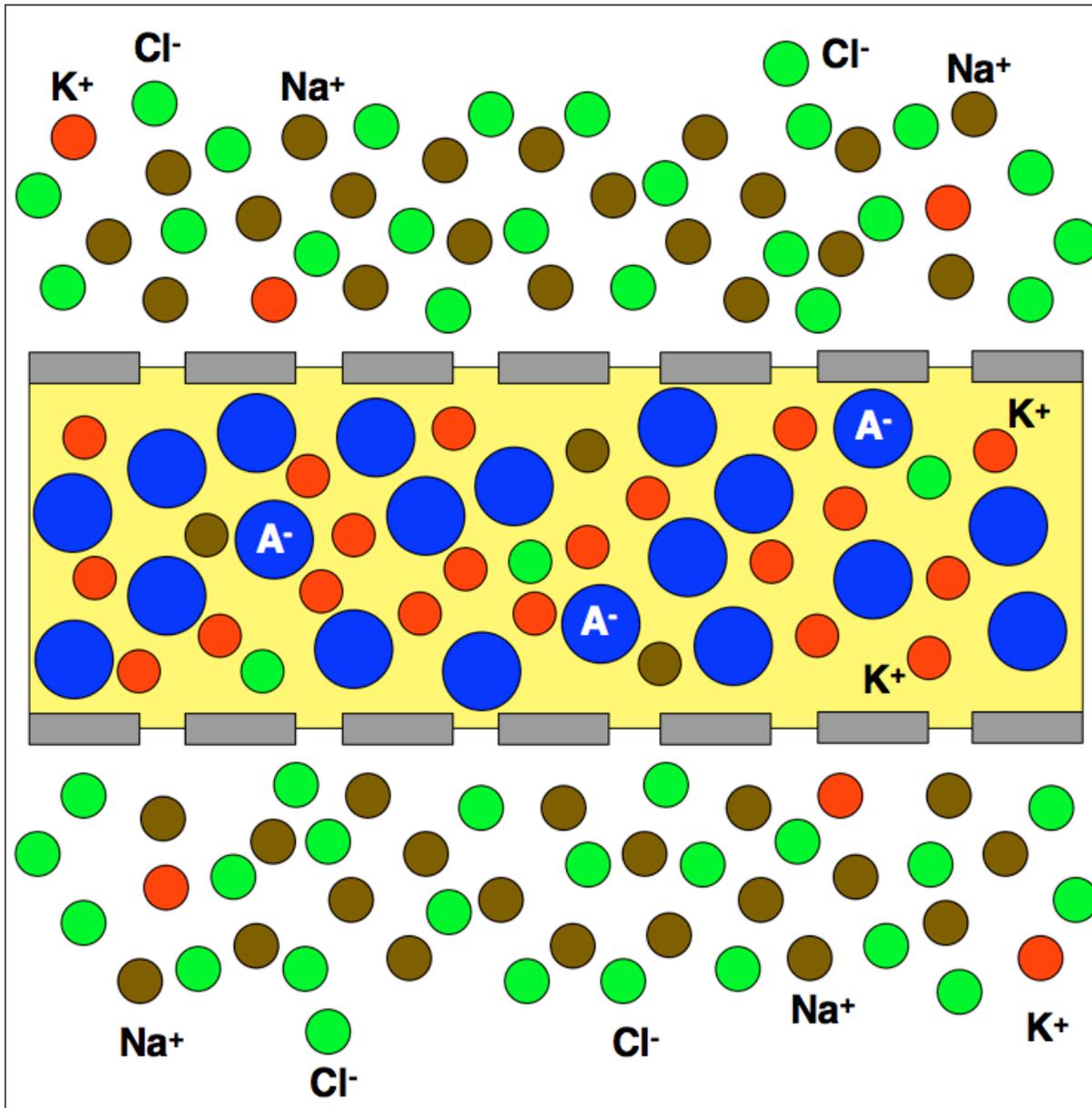
# Ionenverteilung bei einer Nervenzelle



Die Abbildung zeigt die Verteilung von vier Ionensorten im Innern einer Nervenzelle (gelb) und im Außenmedium (weiß).  
**Beschreiben Sie diese Ionenverteilung!**

-  Na<sup>+</sup> = Natrium-Ionen
-  K<sup>+</sup> = Kalium-Ionen
-  Cl<sup>-</sup> = Chlorid-Ionen
-  A<sup>-</sup> = organische Anionen

# Ionenverteilung bei einer Nervenzelle

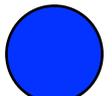


## Außenmedium:

Hohe Konzentration an  $\text{Na}^+$ - und  $\text{Cl}^-$ -Ionen (Kochsalz).

## Innenmedium:

Hohe Konzentration an  $\text{K}^+$ - und  $\text{A}^-$ -Ionen.

-   $\text{Na}^+$  = Natrium-Ionen
-   $\text{K}^+$  = Kalium-Ionen
-   $\text{Cl}^-$  = Chlorid-Ionen
-   $\text{A}^-$  = organische Anionen

# Ionenverteilung bei einer Nervenzelle

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Konz. innen	50	400	108	460
Konz. außen	440	20	560	0

## Riesenaxon von *Loligo*

Quelle: Biologie heute S II, Schroedel-Verlag 2004

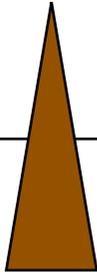
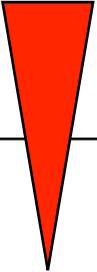
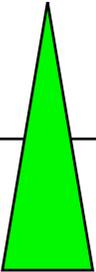
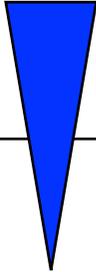
Konzentrationsangaben in mmol/L.

***Loligo*** ist eine Tintenfischart mit besonders großen Neuronen.



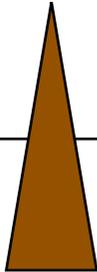
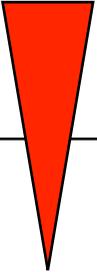
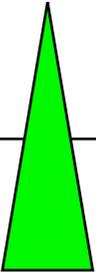
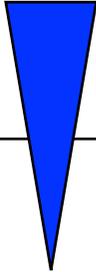
Quelle: [Wikipedia](https://de.wikipedia.org/wiki/Loligo), Autor: Hans Hillewaert

# Ionenverteilung bei einer Nervenzelle

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Konz. innen	18 	135 	7 	155 
Konz. außen	145	3	120	0
<b>Säugetierneuron</b>				
Quelle: Schmidt, Grundriß der Neurophysiologie				

Konzentrationsangaben in mmol/L.

# Ionenverteilung bei einer Nervenzelle

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Konz. innen	18 	135 	7 	155 
Konz. außen	145	3	120	0

**Säugetierneuron**

Quelle: Schmidt, Grundriß der Neurophysiologie

Konzentrationsangaben in mmol/L.

Die Abbildung zeigt die Verteilung von vier Ionensorten bei einem Säugetierneuron.

**Angenommen, die Zellmembran wäre für alle vier Ionensorten gleichermaßen permeabel (durchlässig).**

**Erläutern Sie, was im Laufe der Zeit passieren müsste.**

# Ionenverteilung bei einer Nervenzelle

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Konz. innen	82	69	63	77
Konz. außen	82	69	63	77

***Säugetierneuron nach Konzentrationsausgleich***

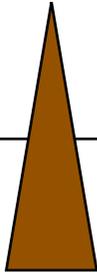
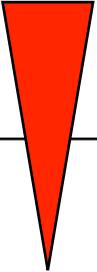
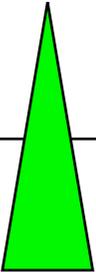
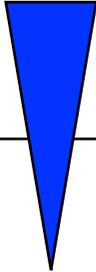
Konzentrationsangaben in mmol/L.

**Angenommen, die Zellmembran wäre für alle vier Ionensorten gleichermaßen permeabel (durchlässig).**

**Erläutern Sie, was im Laufe der Zeit passieren müsste.**

Die Konzentrationen müssten sich im Laufe der Zeit ausgleichen; innerhalb und außerhalb der Zelle müssten die gleichen Ionenkonzentrationen herrschen.

# Ionenverteilung bei einer Nervenzelle

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Konz. innen	18 	135 	7 	155 
Konz. außen	145	3	120	0

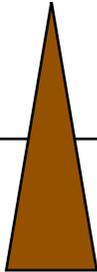
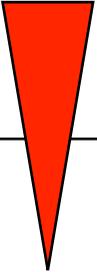
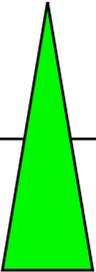
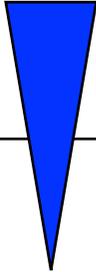
**Säugetierneuron**

Quelle: Schmidt, Grundriß der Neurophysiologie

Die Konzentrationen müssten sich im Laufe der Zeit ausgleichen; innerhalb und außerhalb der Zelle müssten die gleichen Ionenkonzentrationen herrschen.

Einen solchen Konzentrationsausgleich kann man jedoch nicht beobachten. **Finden Sie einen Grund dafür, wie es dazu kommen kann, dass sich die Konzentrationen im Laufe der Zeit nicht verändern.**

# Ionenverteilung bei einer Nervenzelle

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Konz. innen	18 	135 	7 	155 
Konz. außen	145	3	120	0

**Säugetierneuron**

Quelle: Schmidt, Grundriß der Neurophysiologie

Einen solchen Konzentrationsausgleich kann man jedoch nicht beobachten. Finden Sie einen Grund dafür, wie es dazu kommen kann, dass sich die Konzentrationen im Laufe der Zeit nicht verändern.

Ähnlich wie im Modellversuch 2 zum Ruhepotenzial muss ein **elektrochemisches Gleichgewicht** vorliegen.

## Permeabilitäten der neuronalen Membran

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Permeabilität	0,04	1	0,43	0

### ***Riesenaxon von Loligo, relative Permeabilitäten***

Quelle: Biologie heute S II, Schroedel-Verlag 2004

Die Tabelle zeigt die relativen Permeabilitäten der Membran einer Nervenzelle. "Relativ" bedeutet, dass die Permeabilität für Kalium-Ionen auf den Wert 1 gesetzt wurde. Die Permeabilität für Chlorid-Ionen hat im Vergleich dazu den Wert 0,43 = 43%.

**Beschreiben Sie diesen Befund!**

## Permeabilitäten der neuronalen Membran

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Permeabilität	0,04	1	0,43	0

### *Riesenaxon von Loligo, relative Permeabilitäten*

Quelle: Biologie heute S II, Schroedel-Verlag 2004

Die Tabelle zeigt die relativen Permeabilitäten der Membran einer Nervenzelle.

**Beschreiben Sie diesen Befund!**

Die Durchlässigkeit der Membran ist für **Kalium-Ionen** besonders groß. Die **Chlorid-Ionen** können die Membran ebenfalls passieren, aber nicht mal halb so gut. Für **Natrium-Ionen** ist die Membran sehr undurchlässig, und die **organischen Anionen** werden überhaupt nicht durchgelassen.

## Permeabilitäten der neuronalen Membran

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Permeabilität	0,04	1	0,43	0

### ***Riesenaxon von Loligo, relative Permeabilitäten***

Quelle: Biologie heute S II, Schroedel-Verlag 2004

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Radius	12	7	8	> 15

### ***Größe hydratisierter Ionen in 10<sup>-10</sup> m***

Quelle: Tabellenwerk Chemie

Erläutern Sie eine mögliche Ursache für die unterschiedlichen Permeabilitäten der Ionensorten!

## Permeabilitäten der neuronalen Membran

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Permeabilität	0,04	1	0,43	0

### ***Riesenaxon von Loligo, relative Permeabilitäten***

Quelle: Biologie heute S II, Schroedel-Verlag 2004

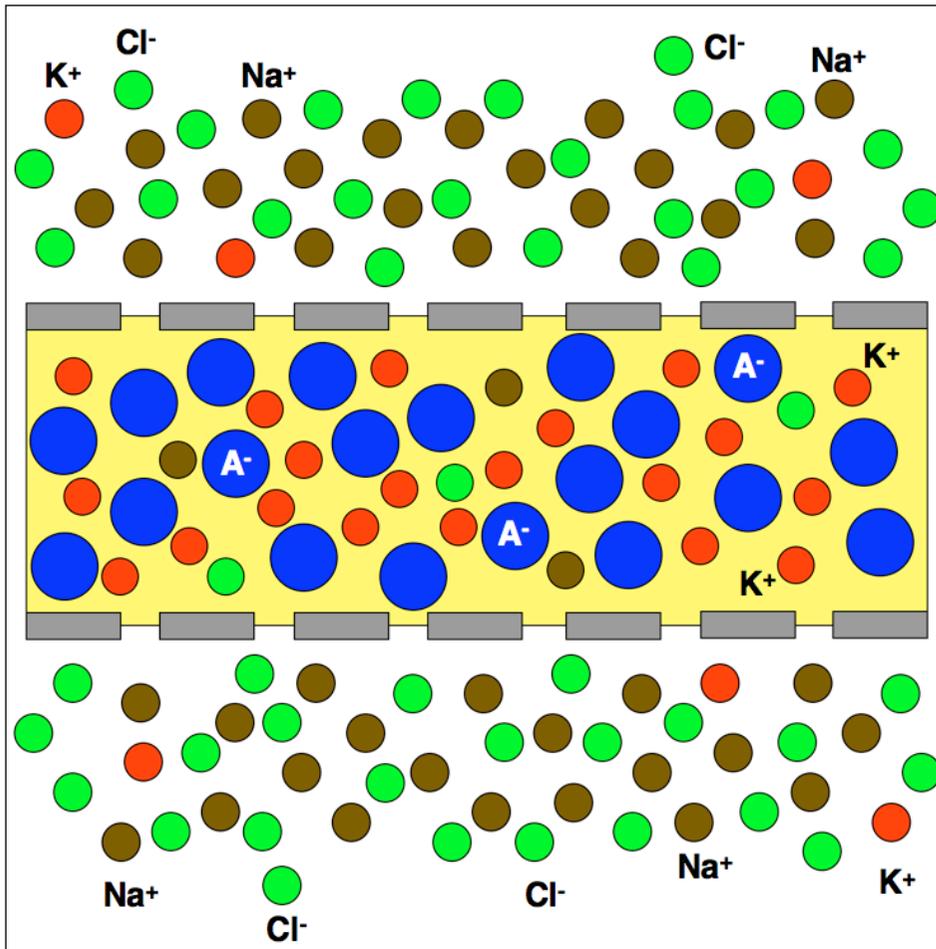
Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Radius	12	7	8	> 15

### ***Größe hydratisierter Ionen in 10<sup>-10</sup> m***

Quelle: Tabellenwerk Chemie

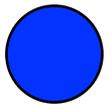
Eine mögliche und wahrscheinliche Ursache für die unterschiedliche Membrandurchlässigkeit ist die **Größe** der hydratisierten Ionen. Kalium-Ionen sind am kleinsten, daher werden sie am besten durchgelassen. Die organischen Anionen sind am größten, die können die Membran nicht mehr passieren.

# Bildung des Ruhepotenzials

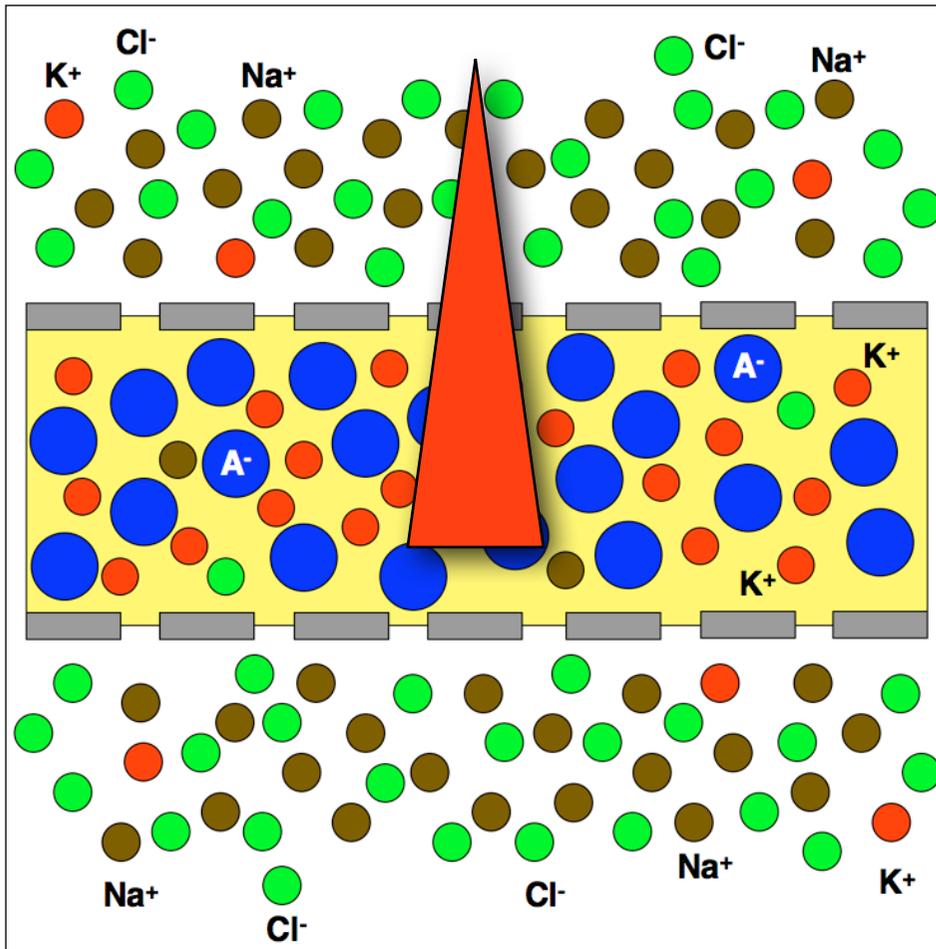


Angenommen, die Membran eines Neurons ist nur durchlässig für Kalium-Ionen.

**Entwickeln Sie eine Hypothese, die das Ruhepotenzial von -70 mV erklärt.**

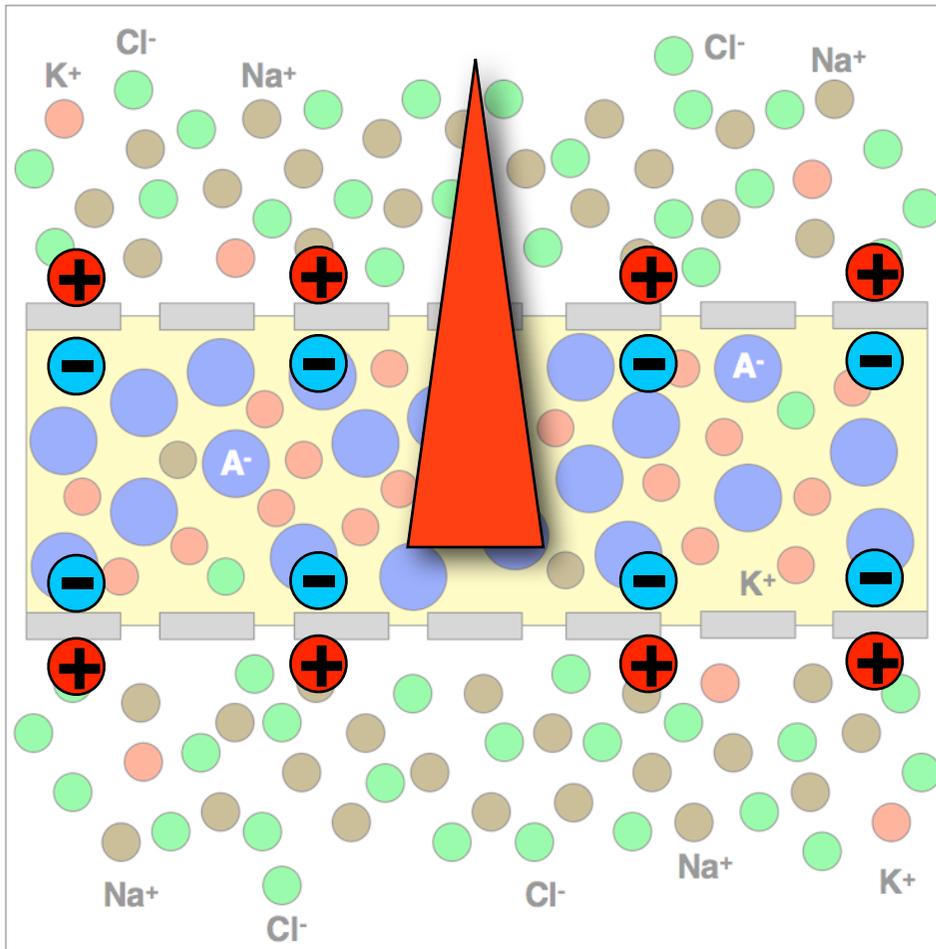
-   $\text{Na}^+$  = Natrium-Ionen
-   $\text{K}^+$  = Kalium-Ionen
-   $\text{Cl}^-$  = Chlorid-Ionen
-   $\text{A}^-$  = organische Anionen

# Bildung des Ruhepotenzials



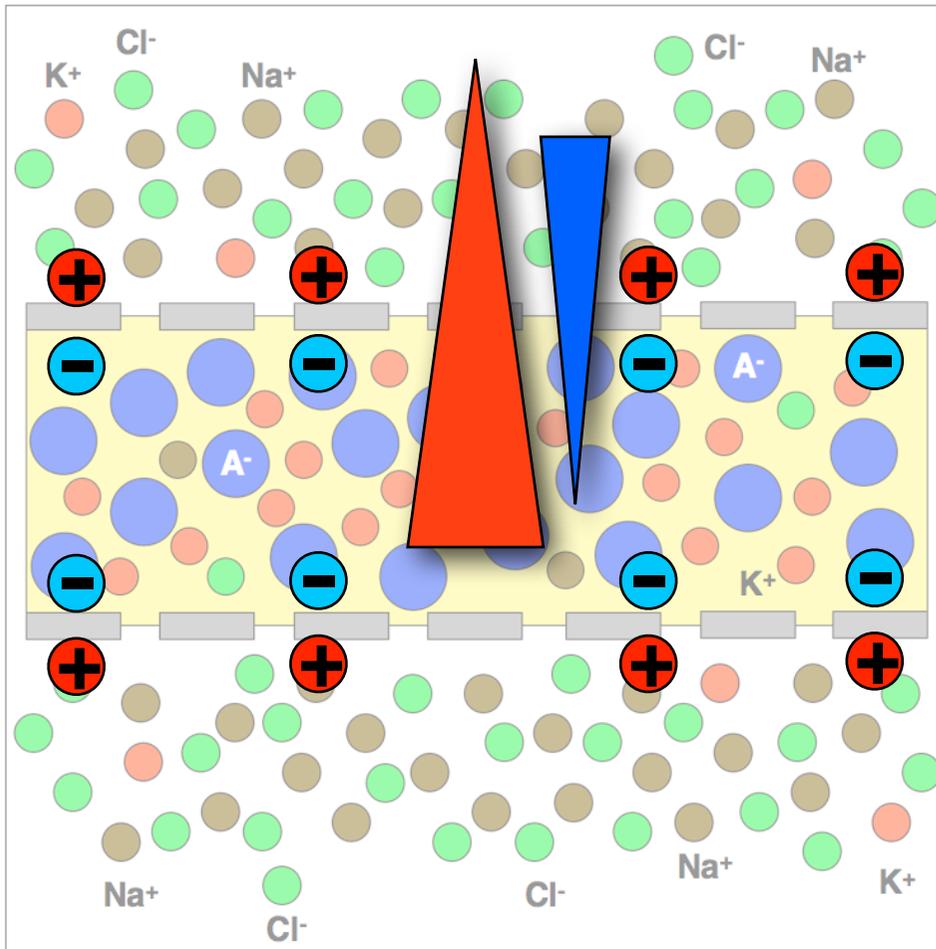
- Es besteht ein starker  $K^+$ -Gradient von innen nach außen. Dieses **chemische Potenzial  $\mu(K^+)$**  treibt die  $K^+$ -Ionen nach außen (Diffusion).
- Dadurch wird ...

# Bildung des Ruhepotenzials



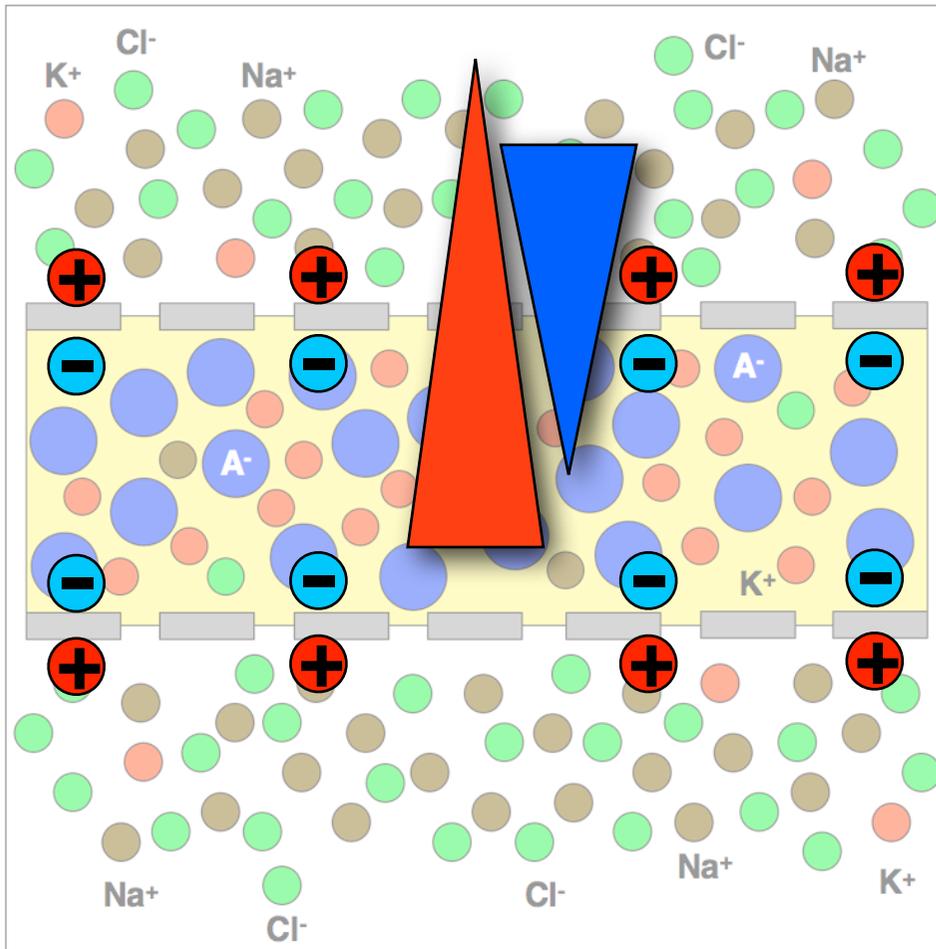
- Es besteht ein starker  $K^+$ -Gradient von innen nach außen. Dieses **chemische Potenzial  $\mu(K^+)$**  treibt die  $K^+$ -Ionen nach außen (Diffusion).
- Dadurch wird die Innenseite der Membran negativ geladen, die Außenseite positiv.
- Es entsteht ...

# Bildung des Ruhepotenzials



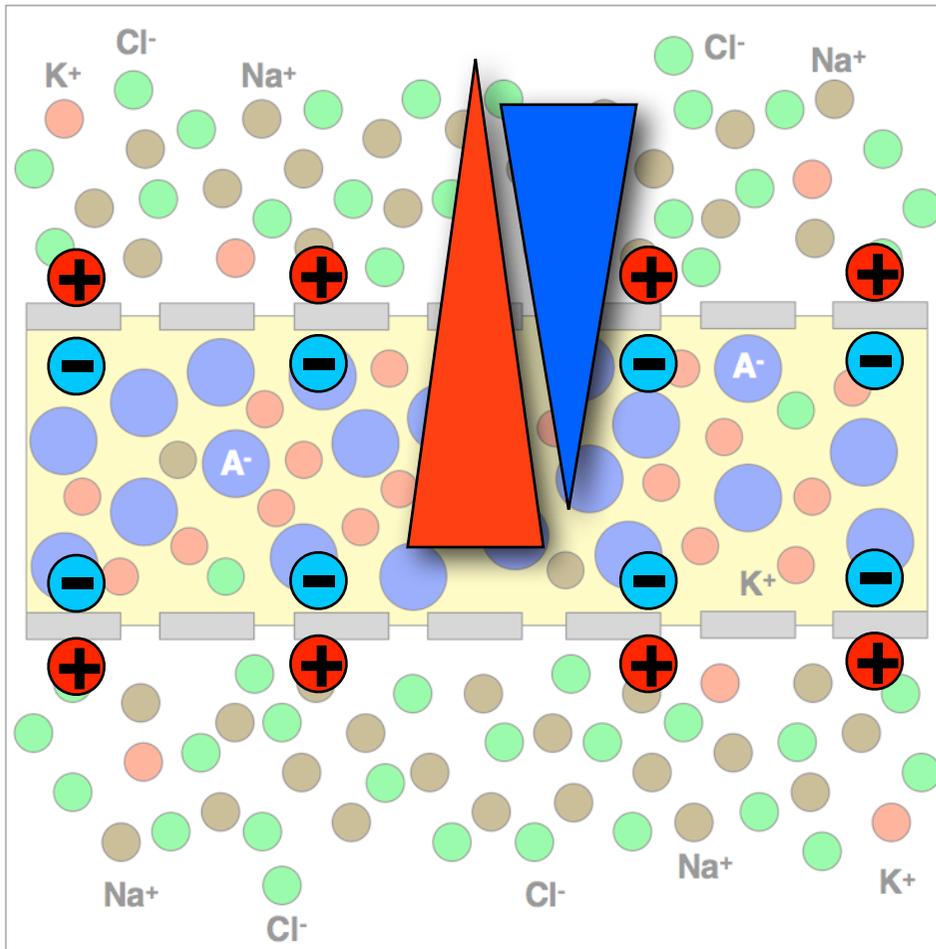
- Es besteht ein starker  $K^+$ -Gradient von innen nach außen. Dieses **chemische Potenzial  $\mu(K^+)$**  treibt die  $K^+$ -Ionen nach außen (Diffusion).
- Dadurch wird die Innenseite der Membran negativ geladen, die Außenseite positiv.
- Es entsteht eine elektrische Spannung oder ein elektrisches Potenzial  $\varphi$ .
- Zunächst ist  **$\mu(K^+)$**  als  $\varphi$ .

# Bildung des Ruhepotenzials



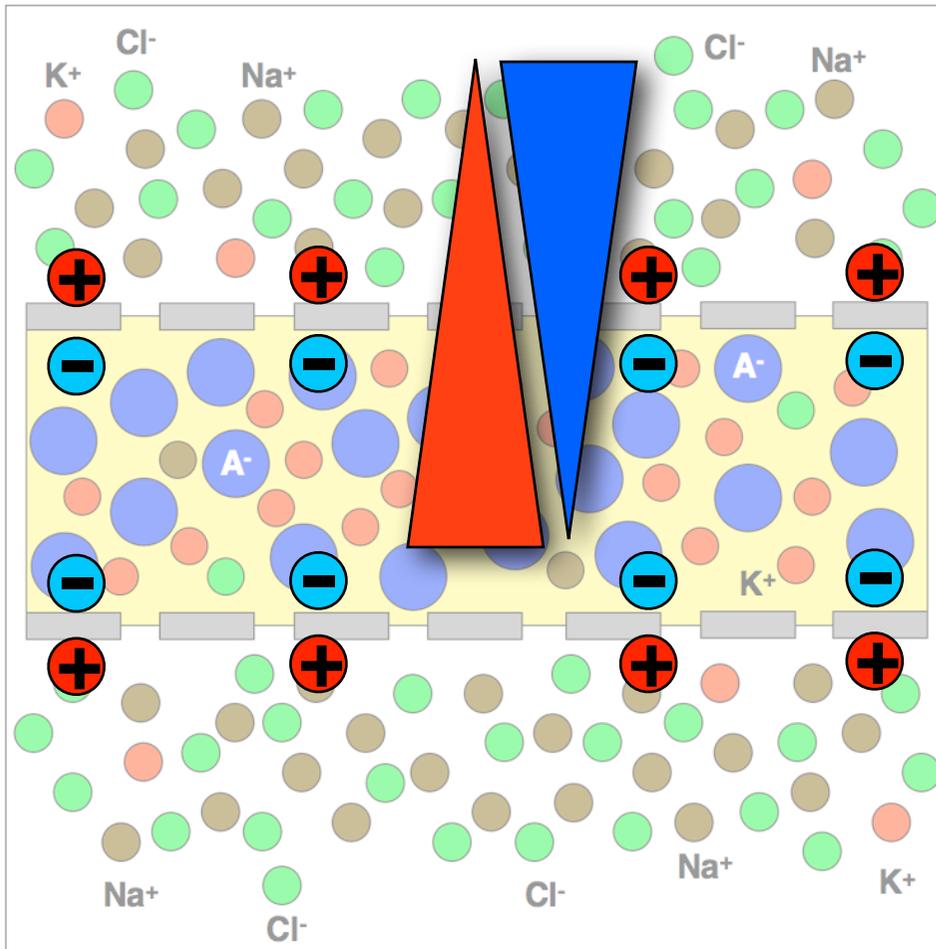
- Es besteht ein starker  $K^+$ -Gradient von innen nach außen. Dieses **chemische Potenzial  $\mu(K^+)$**  treibt die  $K^+$ -Ionen nach außen (Diffusion).
- Dadurch wird die Innenseite der Membran negativ geladen, die Außenseite positiv.
- Es entsteht eine elektrische Spannung oder ein elektrisches Potenzial  $\varphi$ .
- Zunächst ist  $\mu(K^+)$  größer als  $\varphi$ .
- Mit jedem  $K^+$ , das nach außen diffundiert ...

# Bildung des Ruhepotenzials



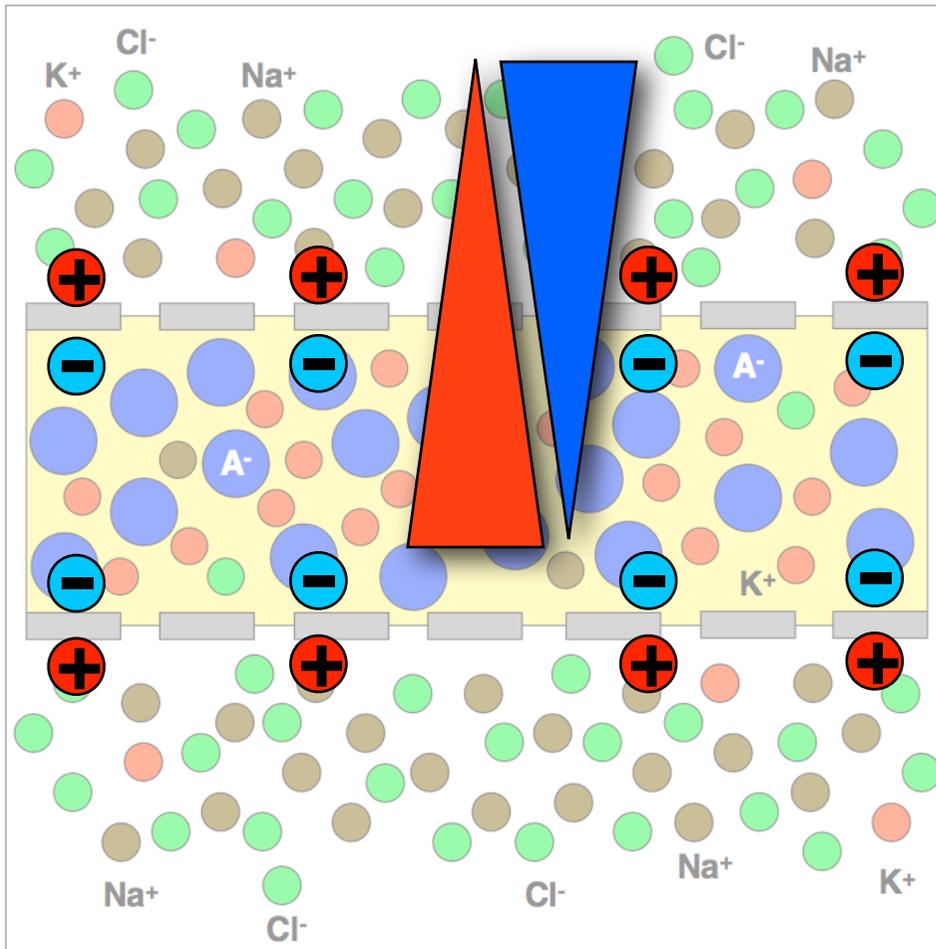
- Es besteht ein starker  $K^+$ -Gradient von innen nach außen. Dieses **chemische Potenzial  $\mu(K^+)$**  treibt die  $K^+$ -Ionen nach außen (Diffusion).
- Dadurch wird die Innenseite der Membran negativ geladen, die Außenseite positiv.
- Es entsteht eine elektrische Spannung oder ein elektrisches Potenzial  $\varphi$ .
- Zunächst ist  $\mu(K^+)$  größer als  $\varphi$ .
- Mit jedem  $K^+$ , das nach außen diffundiert, wird aber  $\mu(K^+)$  kleiner und  $\varphi$  größer.

# Bildung des Ruhepotenzials



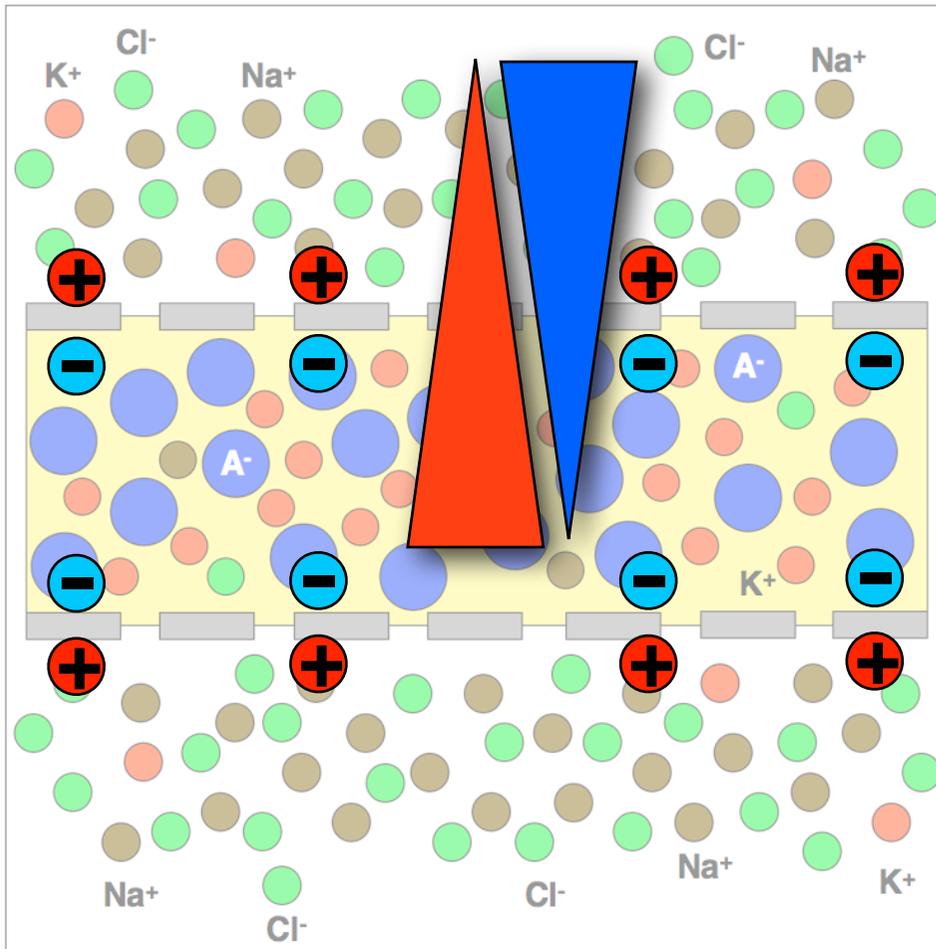
- Schließlich gilt  $\mu(K^+) = \varphi$ . Beide Potentiale sind gleich groß, aber entgegengesetzt, heben sich also auf.
- Es herrscht ein ...

# Bildung des Ruhepotenzials



- Schließlich gilt  $\mu(K^+) = \varphi$ . Beide Potenziale sind gleich groß, aber entgegengesetzt, heben sich also auf.
- Es herrscht ein **elektrochemisches Gleichgewicht**.
- Die Membranspannung, die man jetzt messen kann, wird als bezeichnet.

# Bildung des Ruhepotenzials



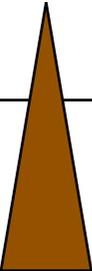
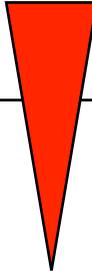
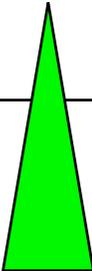
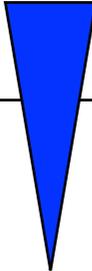
- Schließlich gilt  $\mu(K^+) = \varphi$ . Beide Potenziale sind gleich groß, aber entgegengesetzt, heben sich also auf.
- Es herrscht ein **elektrochemisches Gleichgewicht**.
- Die Membranspannung, die man jetzt messen kann, wird als **Ruhepotenzial** bezeichnet.

# Bildung des Ruhepotenzials

## Merktext

- Ursache des Ruhepotenzials ist die **Ungleichverteilung** von  $K^+$ -Ionen an der Membran der Nervenzelle: innen hohe, außen geringe  $K^+$ -Konzentration.
- $K^+$ -Ionen diffundieren nach außen und erzeugen dadurch ein **elektrisches Potenzial  $\varphi$** , das dem  **$K^+$ -Potenzial  $\mu(K^+)$**  entgegengerichtet ist.
- Mit jedem  $K^+$ , das nach außen diffundiert, wird  $\varphi$  größer, bis schließlich ein **elektrochemisches Gleichgewicht** herrscht:  $\varphi = \mu(K^+)$
- Die jetzt herrschende Spannung wird als **Ruhepotenzial** bezeichnet.

# Ursache für die Ungleichverteilung der Ionen

Ion	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	A <sup>-</sup>
Konz. innen	50 	400 	108 	460 
Konz. außen	440	20	560	0

***Riesenaxon von Loligo***

Quelle: Biologie heute S II, Schroedel-Verlag 2004

Ursache für das Ruhepotenzial ist eine Ungleichverteilung wichtiger Ionen.

**Aber wie kommt diese Ungleichverteilung zustande; wer oder was verursacht sie?**

