

# Diffusion und Osmose

von Ulrich Helmich

## 1. EIN KLEINER VERSUCH

Wir fertigen ein Zwiebelpräparat an. Bevor wir das Zwiebelhäutchen in den Wassertropfen auf dem Objektträger legen, führen wir noch eine Färbung mit Neutralrot durch. Anschließend mikroskopieren wir das Zwiebelhäutchen und sehen die bekannte Anordnung der Zwiebelzellen.

Jetzt geben wir mit der Pipette einen Tropfen 3%iger Kochsalzlösung rechts oder links an den Rand des Deckglases und saugen von der anderen Seite mit einem Papiertaschentuch die Flüssigkeit weg. Die Salz-

lösung strömt nach und beeinflusst die Zwiebelzellen erheblich, wie die Abb. 1 zeigt.

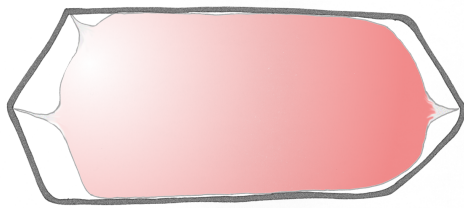


Abb. 1  
Eine Zwiebelzelle, nachdem sie kurzer Zeit der Kochsalzlösung ausgesetzt war.

In der Abb. 2 kann man sehen, was ein längeres Einwirken der Kochsalzlösung bewirkt.

Die Protoplasten der Zwiebelzellen schrumpfen

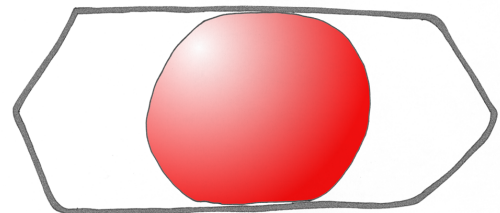


Abb. 2  
Die Zwiebelzelle, nachdem sie längerer Zeit der Kochsalzlösung ausgesetzt war.

erheblich. Das Plasma löst sich von der Zellwand, und es entstehen quasi "leere" Räume in den Zwiebelzellen. Weil sich der Protoplast von der Zellwand löst, spricht man hier von einer **Plasmolyse**.

Eine erste und vorläufige Erklärung für diese Plasmolyse ist die folgende: die Kochsalzlösung saugt das Wasser aus den Protoplasten heraus (genauer: aus den Zentralvakuolen der Protoplasten).

Eine solche Plasmolyse lässt sich auch umkehren - man spricht dann von einer **Deplasmolyse**. Dazu wird jetzt ein Tropfen destilliertes Wasser neben das Deckglas gesetzt und dann mit einem Papiertaschentuch durch das Objekt gesaugt. Nach einer gewissen Zeit ist der Effekt komplett rückgängig gemacht worden, und die Zellen sehen wieder "ganz normal" aus. Gibt man jetzt weiteres destilliertes Wasser zu den Zellen, so müssten die Protoplasten eigentlich weiter anschwellen. Die Zellwand verhindert dies aber. Tierzellen dagegen, die ja durch keine Zellwand geschützt sind, kann man leicht zum Platzen bringen, wenn man sie destilliertem Wasser aussetzt. Besonders leicht lässt sich das mit menschlichen Roten Blutkörperchen (Erythrocyten) zeigen.

## 2. DIFFUSION

Wir wollen nun die Plasmolyse etwas genauer erklären. Wir hatten gesagt, dass die Kochsalzlösung das Wasser aus den Protoplasten herausaugt. So ganz korrekt ist diese Formulierung aber nicht. Um den Vor-

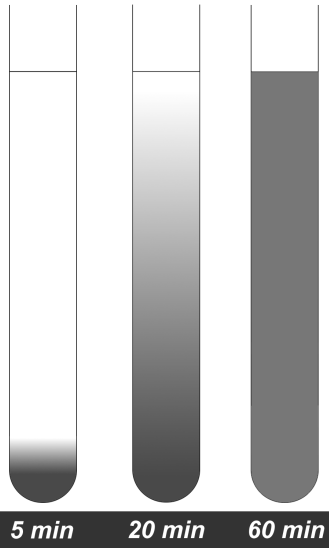


Abb. 3  
Ein einfacher Versuch zur Diffusion.

gang der Osmose zu verstehen, die für das "Herausaugen" des Wassers verantwortlich ist, müssen wir uns zunächst mit etwas einfacherem beschäftigen, der Diffusion nämlich.

In Abbildung 3 ist ein einfacher Versuch gezeigt. Man füllt ein Reagenzglas mit Wasser und gibt anschließend ein oder zwei Kristalle Kaliumpermanganat in das Reagenzglas. Da die Kristalle ziemlich schwer sind, sinken sie auf den Reagenzglasboden.

Wartet man einige Zeit, so hat sich der Farbstoff gleichmäßig im Wasser verteilt. Zu Beginn der Versuchs herrschte ein **Konzentrationsunterschied** im Reagenzglas: unten war die Farbstoffkonzentration wesentlich höher als weiter oben. Am Ende des Versuchs aber haben wir einen **Konzentrationsausgleich**.

Im gesamten Reagenzglas herrscht die gleiche Kaliumpermanganat-Konzentration..

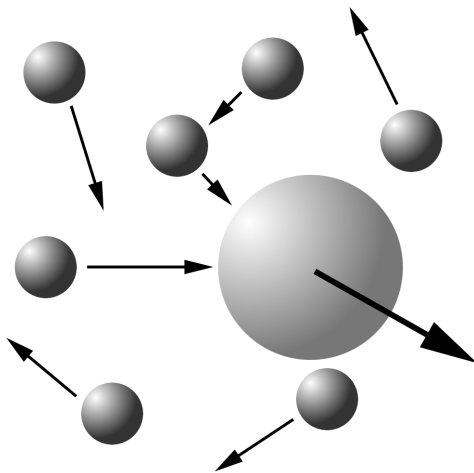


Abb. 4  
Modellvorstellung zur BROWNSchen Molekularbewegung.

Wie kommt es zu diesem Konzentrationsausgleich im Verlauf des Versuchs?

Wenn man einen Tropfen Milch mikroskopiert, sieht man lauter kleine Tröpfchen, die sich wie von Geisterhand bewegen. Manche schneller, manche langsamer. Nie tritt der Eindruck auf, dass diese Bewegung zielgerichtet wäre. In der Tat handelt es sich um rein zufällige Bewegungen der Öltröpfchen.

Warum bewegen sich die Tröpfchen aber? Die Ursache liegt in der ständigen Eigenbewegung der Wassermoleküle in der Milch. Die Wassermoleküle (kleine Kugeln in Abb. 4) stoßen mit den Öltröpfchen (große Kugel) zusammen und übertragen dabei ihre Bewegungsenergie auf diese. Man kann das mit einem Ameisenhaufen vergleichen. Die einzelnen Ameisen

kann man von weitem nicht sehen, wohl aber die Blätter, Schmetterlinge und anderes Futter, das sie transportieren. Im Unterschied zu den Ameisen bewegen sich die Wassermoleküle allerdings nicht zielgerichtet.

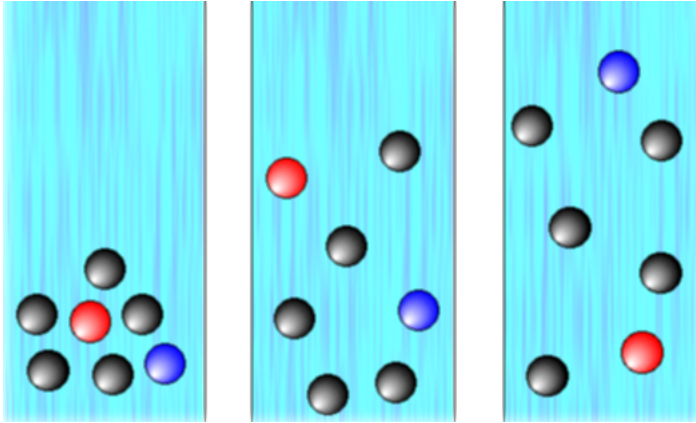


Abb. 5  
Drei Stadien des Versuchs aus Abb. 3

Die folgende Abbildung (Abb. 5) zeigt einige Kaliumpermanganat-Teilchen, die im Wasser gelöst sind. Zu Beginn des Versuchs befinden sich alle Teilchen im unteren Teil des Reagenzglases. Die Teilchen bewegen sich rein zufällig nach oben und unten, nach links und rechts, und nach vorn und hinten. Man nennt diesen Vorgang auch *Diffusion*.

Nach einiger Zeit (mittleres Bild) haben sich die Teilchen aufgrund ihrer Bewegung schon stärker in der Lösung verteilt. Am Ende des

Versuchs liegt eine ungefähre Gleichverteilung vor: überall herrscht die gleiche Konzentration. Das rot-markierte Teilchen befindet sich übrigens wieder im unteren Teil des Reagenzglases. Auch das kann natürlich passieren. Wenn dann der Zustand des Konzentrationsausgleiches herrscht, bewegen sich die einzelnen Teilchen unvermindert weiter. Nur der außenstehende Beobachter merkt nichts davon. Es sei denn, es gelingt ihm, einzelne dieser Teilchen zu markieren (z.B. mit fluoreszierenden Farbstoffen oder durch Einbau radioaktiver Atome).

Machen wir nun einen quantitativen Modellversuch zur *Diffusion*. Stellen wir uns ein Gefäß vor, das man durch eine dünne Membran in zwei Hälften unterteilt hat. Auf der linken Seite befindet sich eine Zuckermolekül-Lösung, auf der rechten Seite reines Wasser. Die Membran ist durchlässig für Wassermoleküle und für Zuckermoleküle, sie soll lediglich ein sofortiges Durchmischen der beiden Flüssigkeiten verhindern.

Nehmen wir einmal an, am Anfang des Versuchs befinden sich genau 1000 Zuckerteilchen auf der linken Seite der Membran. Nun bewegen sich alle Zuckerteilchen mit einer sehr großen Geschwindigkeit (die von der Temperatur abhängt). Mit der Zeit werden einige Zuckerteilchen per Zufall auf die rechte Seite der Membran gelangen. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist um so größer, je mehr Zuckerteilchen sich auf der linken Seite befinden. Wenn links zehnmal mehr Teilchen vorhanden sind, ist auch die Wahrscheinlichkeit zehnmal größer, dass eines dieser Teilchen nach rechts gelangt.

Angenommen, in einer Sekunde gelangen genau 10% aller Zuckerteilchen auf die rechte Seite. Nach einer Sekunde haben wir also auf der linken Seite nur noch 900 Zuckermoleküle, auf der rechten aber 100. Die Gesamtzahl ist natürlich immer konstant 1000.

Gelangen in der nächsten Sekunde wieder 100 Zuckerteilchen nach rechts? Diese Frage muss mit einem klaren "NEIN" beantwortet werden. Auf der linken Seite befinden sich weniger Zuckerteilchen als vorher, also ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass eins dieser Teilchen nach rechts gelangt, kleiner geworden. In der nächsten Sekunde gelangen von den 900 verbliebenen Zuckerteilchen 10% nach rechts, also 90. Umgekehrt befinden sich nach der ersten Sekunde bereits 100 Teilchen auf der rechten Seite. Und von diesen

Teilchen wandern ebenfalls 10% auf die andere Seite, also nach links.

Fassen wir das noch mal übersichtlich zusammen:

**Sekunde 1:**

Von 1000 Zuckerteilchen links gelangen 10% oder 100 auf die rechte Seite.

Ende von Sekunde 1:

900 Zuckerteilchen befinden sich links, 100 rechts.

**Sekunde 2:**

Von 900 Zuckerteilchen links gelangen 10% oder 90 auf die rechte Seite.

Von 100 Zuckerteilchen rechts gelangen 10% oder 10 auf die linke Seite zurück.

Ende von Sekunde 2:

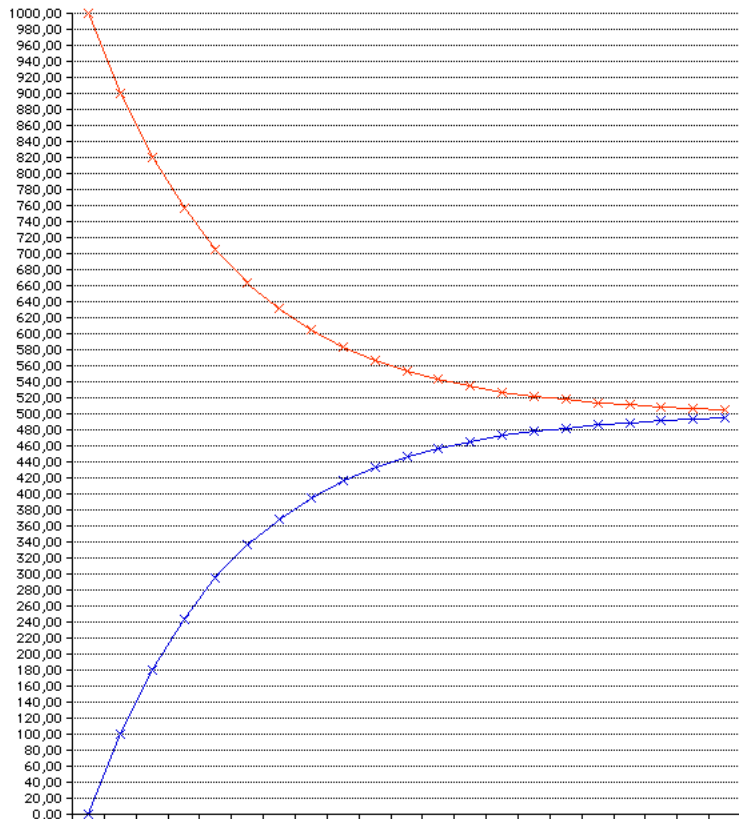
820 Zuckerteilchen (900 - 90 + 10) befinden sich links, 180 (100 + 90 - 10) dagegen rechts.

Das Ganze kann man noch besser mit einer Tabelle und einer entsprechenden Graphik darstellen.

In der Tabelle sehen wir die Teilchenzahlen für die linke und die rechte Seite, dann die Teilchendifferenz  $dc$  und schließlich die **Diffusionsgeschwindigkeit**  $VD$ . Die Diffusionsgeschwindigkeit errechnet sich aus der Teilchendifferenz und einer Konstanten, hier wurde der Wert 0,1 für diese **Diffusionskonstante** ge-

Links	Rechts	dc	VD
1000,00	0,00	1000,00	100,00
900,00	100,00	800,00	80,00
820,00	180,00	640,00	64,00
756,00	244,00	512,00	51,20
704,80	295,20	409,60	40,96
663,84	336,16	327,68	32,77
631,07	368,93	262,14	26,21
604,86	395,14	209,72	20,97
583,89	416,11	167,77	16,78
567,11	432,89	134,22	13,42
553,69	446,31	107,37	10,74
542,95	457,05	85,90	8,59
534,36	465,64	68,72	6,87
527,49	472,51	54,98	5,50
521,99	478,01	43,98	4,40
517,59	482,41	35,18	3,52
514,07	485,93	28,15	2,81
511,26	488,74	22,52	2,25
509,01	490,99	18,01	1,80
507,21	492,79	14,41	1,44
505,76	494,24	11,53	1,15

Abb. 6  
Tabelle und Graphik zum Versuch



wählt.

Die Graphik zeigt die Diffusion der Teilchen noch deutlicher. Man kann ganz klar erkennen, wie die Konzentration (bzw. die Teilchenzahl) auf der linken Seite immer kleiner, auf der rechten aber immer größer wird. Am Ende haben wir auf beiden Seiten die gleiche Teilchenzahl. Es herrscht dann ein Gleichge-

wichtszustand.

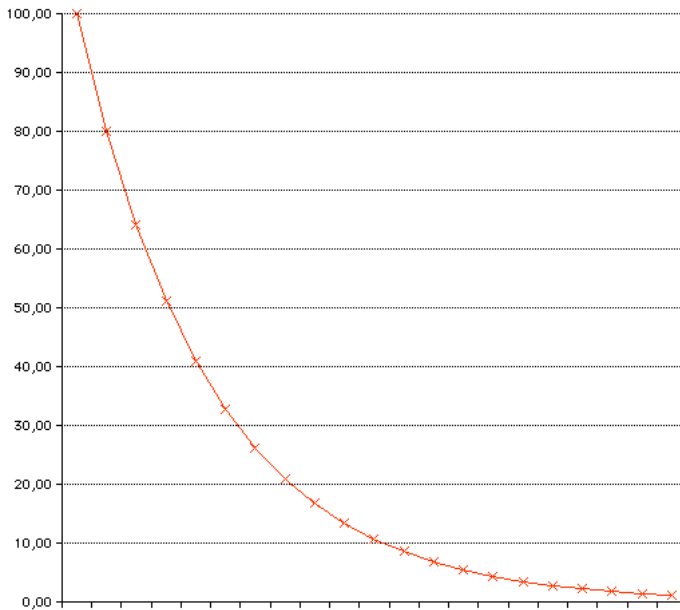


Abb. 7  
Die Diffusionsgeschwindigkeit nimmt immer mehr ab.

Betrachten wir nun noch kurz die Abb. 7. Hier ist die Diffusionsgeschwindigkeit  $V_D$  gegen die Zeit aufgetragen. Man sieht, dass  $V_D$  immer kleiner wird.

Wenn auf beiden Seiten eine gleich hohe Konzentration herrscht, gilt  $V_D = 0$ .

Heißt das, dass jetzt gar keine Teilchen mehr diffundieren?

Nein. Würde man einzelne Teilchen markieren, so könnte man schon feststellen, dass sie weiterhin mal auf der linken, mal auf der rechten Seite sind. Die einzelnen Teilchen flitzen immer noch wie wild durch das gesamte Gefäß.

Die Diffusionsgeschwindigkeit ist deswegen Null, weil innerhalb einer bestimmten Zeitspanne, z.B. in-

nerhalb von 1 Sekunde, genauso viele Teilchen von links nach rechts diffundieren wie von rechts nach links: Hingeschwindigkeit = Rückgeschwindigkeit. Das ist ja auch logisch. Wir hatten doch vorhin erwähnt, dass die Zahl der diffundierenden Teilchen von der Konzentration auf der jeweiligen Seite abhängt. Nun herrschen links und rechts aber gleiche Teilchenkonzentrationen, also müssen auch gleich viele Teilchen von links nach rechts wie in umgekehrter Richtung diffundieren.

$$V_D = k * dc$$

Hier sehen wir die berühmte FICKSche Diffusionsgleichung (die heißt wirklich so!). Sie besagt, dass die Diffusionsgeschwindigkeit der Konzentrationsdifferenz proportional ist. Die Proportionalitätskonstante wird auch als Diffusionskonstante bezeichnet.

Wir merken uns einfach:

Je größer der Konzentrationsunterschied, desto höher die Diffusionsgeschwindigkeit!

# 3. OSMOSE

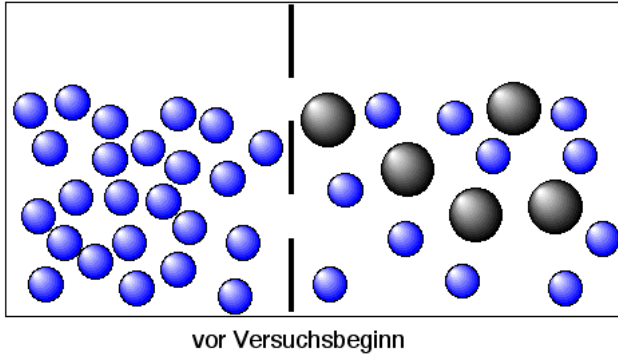


Abb. 8  
Ein Modellversuch zur Osmose, Teil 1

Betrachten wir nun die Abbildung 8. Sie zeigt einen Modellversuch zur Osmose, und zwar den Versuchsbeginn.

Wieder haben wir ein Gefäß in zwei Hälften unterteilt. Links befindet sich reines, destilliertes Wasser, rechts eine Zuckerlösung.

Allerdings haben wir eine andere Membran genommen, um das Gefäß zu unterteilen. Nämlich eine Membran, die zwar für Wassermoleküle durchlässig ist, nicht aber für Zuckermoleküle. Eine solche Membran

nennt man auch *semipermeabel*, was so viel wie "halbdurchlässig" heißt.

Was wird nun im Laufe der nächsten Sekunden oder Minuten passieren?

Die Zuckerteilchen auf der rechten Seite vollführen ihre wilden Molekularbewegungen, können aber nicht auf die linke Seite gelangen, weil die Membran dies verhindert.

Auch die Wassermoleküle bewegen sich zufallsgemäß und mit recht großer Geschwindigkeit. Ein einzelnes Wasserteilchen ist mal auf der rechten, mal auf der linken Seite.

Wenn wir uns die Zeichnung genauer ansehen, stellen wir fest, dass auf der linken Seite mehr Wassermoleküle sind als auf der rechten. Also müssten eigentlich in einer bestimmten Zeitspanne mehr Wasserteilchen von links nach rechts diffundieren als von rechts nach links! Es besteht ein Wassergefälle von links nach rechts.

In der Tat: es diffundieren mehr Wassermoleküle von links nach rechts als in umgekehrter Richtung. Die Wasserkonzentration auf der linken Seite nimmt ab, auf der rechten Seite nimmt sie aber zu. Die Abbildung 9 zeigt, wie wir uns das modellartig vorstellen können.

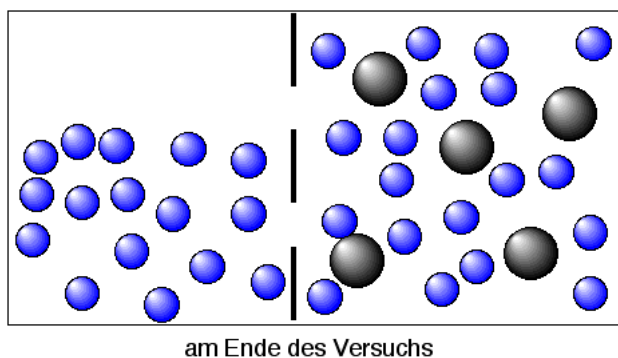


Abb. 9  
Der Modellversuch zur Osmose, Teil 2

Am Ende des Versuchs befinden sich alle Zuckerteilchen sowie einige zusätzliche Wasserteilchen auf der rechten Seite, während links einige Wasserteilchen fehlen. Die Folge ist, dass links der Wasserstand sinkt, und dass er rechts steigt. Je höher der Wasserspiegel auf der rechten Seite steigt, desto größer wird der hydrostatische Druck, den die Wassersäule auf die Membran ausübt. Das steigende Wasser drückt sozusagen die nachströmenden Wasserteilchen auf die linke Seite zurück. Also kommt irgendwann der Prozess zum (scheinbaren) Stillstand.

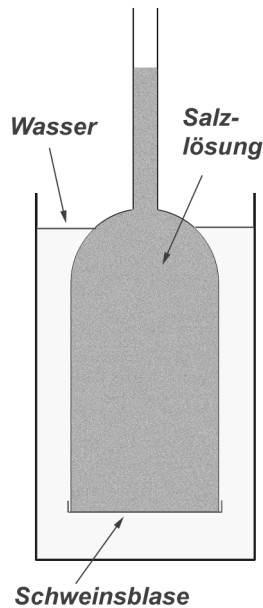


Abb. 10  
Ein Versuch zur Osmose.

Dazu kann man auch einen "richtigen" Versuch machen. Man braucht nur eine Glasglocke mit Steigrohr, die unten offen ist, eine Schweinsblase und ein großes Becherglas. Und natürlich Wasser und Zucker- oder Salzlösung. Der Versuchsaufbau ist in der Abb. 10 gezeigt.

Am Anfang des Versuchs befindet sich nur eine recht kurze Wassersäule im Steigrohr. Nun diffundiert im Verlauf des Versuchs aber Wasser in die Glasglocke (weil die Wasserkonzentration außen höher ist als im Innern der Glocke). Da Wasser so gut wie nicht zusammengepresst werden kann, weicht es in das Steigrohr aus.

Je höher die Wassersäule wird, desto größer wird auch der hydrostatische Druck auf die semipermeable Membran der Schweinsblase. Je stärker dieser Druck, desto weniger Wasser kann in die Glasglocke eindringen. Zu einem bestimmten Zeitpunkt ist der hydrostatische Druck so groß, dass gar kein Wasser mehr eindringen kann. Der Vorgang kommt zum Stillstand, es herrscht ein Gleichgewichtszustand.

Bei der *Osmose* handelt es sich um eine Diffusion mit Hindernissen. Und zwar wird die Diffusion durch eine Membran behindert, die nicht alle beteiligten Moleküle oder Ionen gleichermaßen gut durchlässt.

In unserem Modellbeispiel konnten die großen Teilchen überhaupt nicht durch die Membran diffundieren. In der Natur ist es meistens nicht ganz so extrem.

Meistens ist es aber auch komplizierter. Betrachten wir dazu die Konzentrationsverhältnisse, wie sie an einer normalen Nervenzelle herrschen. Im Innern der Nervenzelle finden wir eine hohe Konzentration von Kaliumionen vor, außerdem eine hohe Konzentration großer organischer Anionen. Außerhalb der Nervenzelle haben wir dagegen viele Natriumionen und viele Chloridionen. Die Membran der Nervenzelle ist sehr gut durchlässig für die Kaliumionen, mittelgut durchlässig für die Chloridionen, schwach durchlässig für die Natriumionen und gar nicht durchlässig für die großen organischen Anionen.

Aber zum Glück beschäftigen wir uns mit derart komplizierten Diffusionsvorgängen erst in der Jahrgangsstufe 12/1, wenn wir über die Funktion der Nervenzelle sprechen.

## 4. PLASMOLYSE

Jetzt können wir endlich die Ergebnisse des Plasmolyseversuchs (Abb. 1 und 2 auf Seite 1) erklären. Und wir können uns sogar recht kurz fassen: Wenn wir eine Pflanzenzelle in eine Salzlösung legen, so herrscht außerhalb der Zelle eine höhere Salzkonzentration als im Innern der Vakuole. Umgekehrt ist die Wasserkonzentration im Zellsaft größer als im umgebenden Wasser. Es müssten jetzt also Salzionen in die Zelle einströmen, während Wassermoleküle aus dem Zellsaft nach außen diffundieren. Leider ist die Membran der Zelle semipermeabel; Wassermoleküle werden durchgelassen, Salzionen dagegen nicht. Es kommt zu einer Osmose: nur die Wasserteilchen diffundieren nach außen. Der Vakuole wird dadurch tatsächlich Wasser entzogen, so wie wir es bereits auf Seite 1 vermutet hatten. Nur konnten wir es auf Seite 1 noch nicht richtig begründen!

# 5. DER IONENFALLENVERSUCH

(neu im September 2002)

## Durchführung:

Es wird ein Zwiebelepidermis-Präparat angefertigt (wie beim Plasmolyse-Versuch).

Dann wird mit der Filterpapiertechnik eine dunkelorange Lösung des Farbstoffs Neutralrot durch die Zellen hindurchgesaugt.

## Beobachtungen:

Wie man auf der Abbildung 11 gut erkennen kann, färbt sich das Zellinnere kirschrot. Dabei nimmt die Farbintensität immer stärker zu, während sich die Farbe im Außenmedium kaum verändert. Nach einiger Zeit ist das Zellinnere deutlich intensiver gefärbt als das Außenmedium.

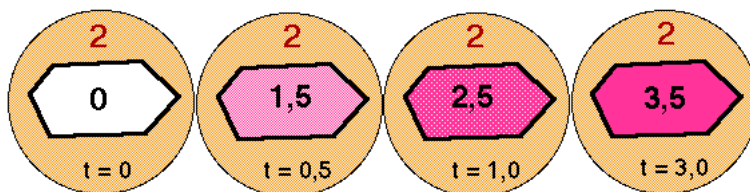


Abb. 11  
Der Ionenfallenversuch, schematische Darstellung

## Deutung, Ansatz 1:

Zur Deutung dieses Versuches bedarf es einiger Zusatzinformationen. Zunächst einmal muss man Näheres über den verwendeten Farbstoff wissen. Neutralrot besteht aus kompliziert aufgebauten Molekülen. Besonders wichtig ist die Aminogruppe links oben (NH<sub>2</sub>-Gruppe).

Hier kann sich nämlich ein Proton (H<sup>+</sup>-Ion) anlagern. Dann wird aus dem neutralen Molekül ein positiv geladenes Ion, welches auch eine andere Farbe hat als das Molekül, nämlich kirschrot. Dieser Prozess ist übrigens reversibel (kann also rückgängig gemacht werden).

Bereits jetzt können wir eine erste Vermutung zur Deutung der Beobachtungen äußern: Im Außenmedium liegt der Farbstoff in Form neutraler Moleküle vor, wenn er in das Zellinnere eindringt, nehmen die Moleküle Protonen auf und wandeln sich in kirschrote Ionen um.

Es bleibt allerdings die Frage, warum es zu keinem Konzentrationsausgleich kommt. Theoretisch müssten die Ionen aus der Zelle herausdiffundieren und sich mit dem Außenmedium mischen.

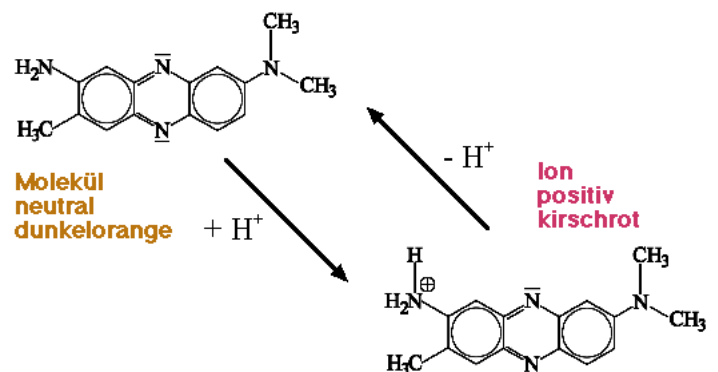


Abb. 12  
Das NR-Molekül kann leicht in ein NR-Ion umgewandelt werden

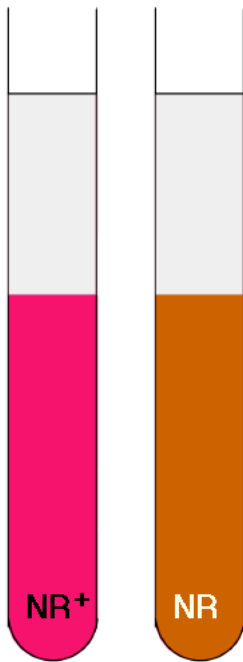


Abb. 13  
Zum Toluol-Versuch

Um diese wichtige Frage zu klären, führen wir einen weiteren Versuch durch.

Zwischenversuch:

Wir nehmen zwei Reagenzgläser und geben in das eine ca. 5-7 ml dunkelorange Neutralrotlösung, in das andere ca. 5-7 ml angesäuerte, kirschrote Neutralrotlösung.

Dann überschichten wir mit einer Pipette die beiden Lösungen mit ca. 3 - 4 ml Toluol. Toluol ist ein organisches Lösungsmittel, dessen Moleküle ähnliche Eigenschaften haben wie die Lipide der Zellmembran.

Nun werden beide Reagenzgläser mit einem Stopfen verschlossen und kräftig geschüttelt. Man sieht jetzt in beiden Fällen eine trübe rote Brühe. Diese Brühe lässt man nun für einige Minuten ruhig stehen. Nach einiger Zeit setzt ein Entmischungsvorgang ein. Das leichtere Toluol sammelt sich oben im Reagenzglas und - doch sehen wir selbst (Abbildung rechts).

Die Neutralrot-Moleküle sind ohne Schwierigkeiten in das Toluol eingedrungen und haben es intensiv gelb gefärbt. Die vormals dunkelorange Lösung wurde beinahe entfärbt. Bei den Neutralrot-Ionen ist so gut wie gar keine Reaktion zu beobachten, nur wenige Teilchen sind in das Toluol diffundiert. Daraus lässt sich leicht folgern, dass NR-Moleküle leicht in eine Toluol-Schicht eindringen können, NR-Ionen (wahrscheinlich wegen der Ladung) dagegen nicht.

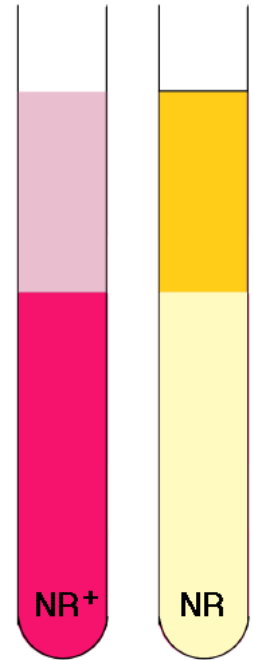


Abb. 14  
Zum Toluol-Versuch

Deutung, Ansatz 2:

Wenn die Moleküle der Zellmembran eine gewisse Ähnlichkeit mit den Toluol-Molekülen haben, dann folgt daraus: NR-Moleküle können leicht in die Zelle eindringen, NR-Ionen dagegen nicht. Und NR-Ionen, die sich im Zellinnern aus NR-Molekülen gebildet haben, können die Zelle nicht verlassen, weil sie die Zellmembran nicht passieren können. Sie sind in der Zelle gefangen. Daher nennt man diesen Versuch mit den Zwiebelzellen auch "Ionenfallenversuch".

Warum wird die Kirschrotfärbung im Zellinnern nun immer intensiver?

Weil immer mehr NR-Moleküle in die Zelle eindringen und dort sofort in NR-Ionen umgewandelt werden. Das heißt, die Konzentration an NR-Molekülen in der Zelle bleibt immer gering, denn jedes Molekül wird ja sofort in ein Ion umgewandelt. Es kommt also nie zu einem Konzentrationsausgleich, und der Konzentrationsgradient von außen nach innen bleibt bestehen. Es werden also immer mehr NR-Moleküle in die Zelle eindringen. Irgendwann kommt dieser Prozess natürlich zum Stillstand, das hat dann aber andere Gründe (zunehmender Druck und so...).

*Dieses Skript wurde erstellt von Ulrich Helmich. Alle Abbildungen und Zeichnungen wurden von mir selbst angefertigt und unterliegen daher meinem Copyright. Verwendung ausschließlich für unterrichtliche Zwecke erlaubt, andernfalls vorher bei mir Genehmigung einholen.*