

Osmose und Diffusion 1

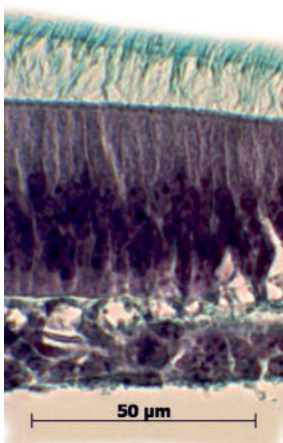
Die Bedeutung der Osmose für die Biologie

Die Osmose ist ein passiver Vorgang und benötigt somit keine Energie. Eine Zelle kann durch Osmose Wasser aufnehmen oder abgeben. Jede Zelle benötigt für ihre Gestalt einen entsprechenden inneren Wasserdruck (hydrostatischer Druck). Zylindrische Zellen erhalten ihre schlanke und hohe Gestalt, indem sie Wasser gegen die Membran pressen. Die rote Blutzelle presst gleichfalls das Wasser gegen die Membran und hat somit eine glatte Oberfläche. In der Physiologie werden Zellen mit entsprechenden hydrostatischen Druck als Zellen mit guten Turgor (turgere, lat. geschwollen sein) bezeichnet.

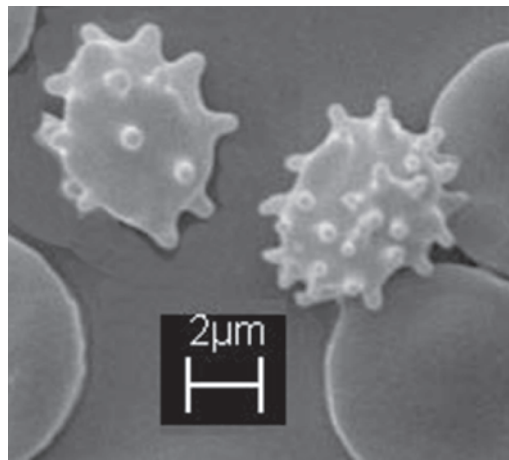
Ist der Turgor nicht ausreichend, dann sind die Zellen eingefallen, faltig oder zeigen wie die rote Blutzelle die spezifische Gestalt des Stechapfels.

Wasser ist das biologische Lösungsmittel und chemischer Reaktionspartner. So wird für das Verknüpfen von Glukosemolekülen zum Glykogen je eine Molekül Wasser benötigt. Bei 60 000 Glukosemolekülen werden 60 000 Wassermoleküle benötigt. Diese werden beim Abbau des Glykogens zu Glukose wieder frei. Die Reaktion des Wassers mit dem bei der Zellatmung gebildeten Kohlenstoffdioxid zur Kohlensäure ist eine weitere wichtige chemische Reaktion unter der Beteiligung von Wasser.

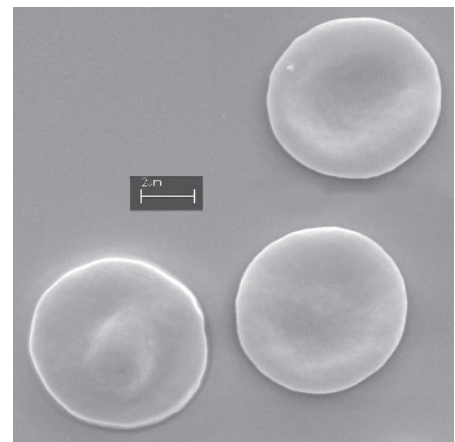
Das Wasser in den Zellen und im Bindegewebe ist von entscheidender Bedeutung bei der Wärmeregulation. Die bei der Erzeugung von chemischer Energie (ATP) entstehende Reaktionswärme wird vom Wasser aufgenommen und verteilt.



Zylinderförmige Zellen des Innenohrs



Stechapfelgestalt der roten Blutzelle



Rote Blutzellen mit einem guten Turgor



Visualisierung des Turgors bei der Pflanzenzelle

Visualisierung der Osmose 2

Die Wanderung der Wassermoleküle zum Ort der höheren Teilchenkonzentration



Beginn



3 Minuten



12 Minuten



15 Minuten



Der Zucker auf der halbierten Kiwi entzieht der Frucht Wasser. Die in den Linsen gespeicherte Stärke nimmt das Wasser auf. Die Zeitspanne zwischen den beiden Fotos beträgt eine Stunde.

Diffusion 3

Die Diffusion kann innerhalb eines Systems erfolgen und bedarf dabei keiner Membran. Die Diffusion kann jedoch von einem System in ein anderes erfolgen, wenn eine durchlässige Membran vorhanden ist.

Worin besteht der Unterschied zwischen Osmose und Diffusion, wenn die Membran vernachlässigt wird?

Bei der Osmose wandert das Lösungsmittel Wasser vom Ort der geringeren Teilchenkonzentration zum Ort der höheren Teilchenkonzentration.

Bei der Diffusion wandern gelöste Teilchen vom Ort der höheren Teilchenkonzentration zum Ort der geringeren Teilchenkonzentration.

Was haben Osmose und Diffusion gemeinsam?

Beide verlaufen ohne Zufuhr von Energie und sind nicht umkehrbar. Beide benötigen ein Konzentrationsgefälle. Bei beiden stellt sich ein Gleichgewicht ein. Der Zustand des Gleichgewichts wird mit Konzentrationsausgleich bezeichnet. Beide Vorgänge verlaufen mit der Zunahme von Wärme schneller ab und sind somit thermodynamische Prozesse. Beide Vorgänge werden durch den zweiten Hauptsatz der Wärme erklärt.

Was besagt der zweite Hauptsatz?

Vorgänge in der Natur verlaufen mit der Umwandlung von Ordnung in Unordnung. Die Unordnung nimmt dabei stetig zu. Die Erklärung dafür ist die Entropie. Sie liefert auch die Erklärung dafür, dass Wärmeenergie nicht vollständig in eine andere Energieform umwandelbar ist. Die Entropie erklärt auch, weshalb Osmose und Diffusion nicht umkehrbar sind. Jede Zunahme der Ordnung führt zur Zunahme der Unordnung an einer anderen Stelle. Bei der Erzeugung des Meersalzes geht das verdunstete Wasser in die Luft über (Zunahme der Unordnung) und das Salz kristallisiert (Zunahme der Ordnung). Diese Art der Salzerzeugung ist jedoch nur möglich, weil in der Summe die Entropie (Unordnung zunimmt). Die Entropie bestimmt die Richtung eines irreversiblen Vorganges. Sie ist es, die bei der Diffusion die Teilchen entlang des Konzentrationsgefälles wandern lässt und bei der Osmose die Wassermoleküle.

Hinweis:

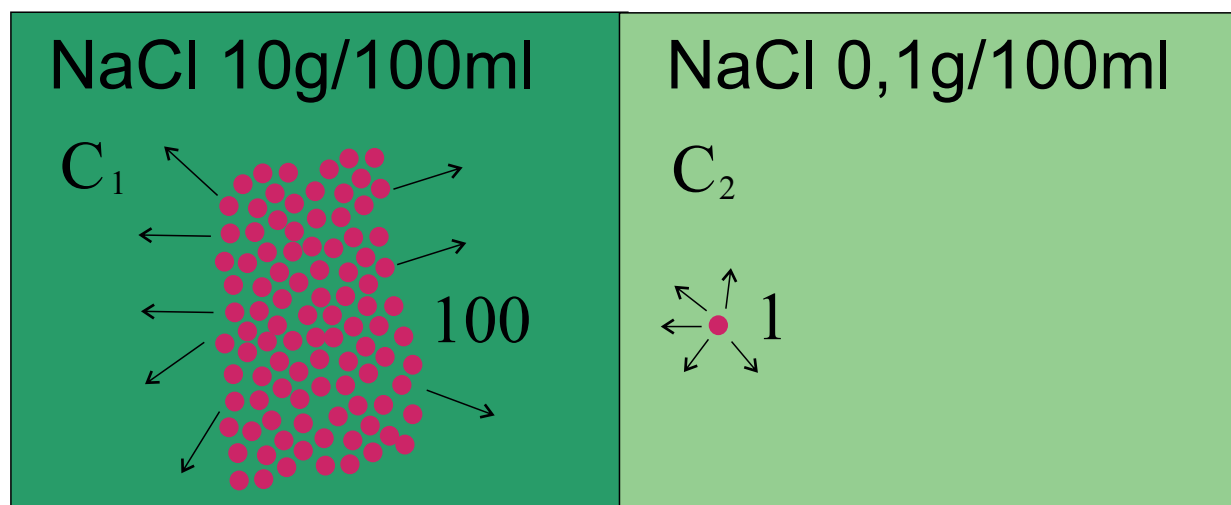
Die Entropie nur mit der Zunahme der Unordnung zu erklären ist nicht exakt, weil sie beispielsweise auch die Erklärung für das Entstehen von Reibungswärme liefert.

Diffusion in Flüssigkeiten 4

In einer Kochsalzlösung bewegen sich die Ionen ständig (Brownsche Bewegung). Die Ionenbewegung hat jedoch nur eine Auswirkung auf den Unterschied zwischen der Konzentration und der Aktivität der Ionen. Je höher die Konzentration der Kochsalzlösung ist, desto geringer ist die Aktivität der Ionen, weil diese sich durch zufällige Zusammenstöße (Interaktionen) behindern.

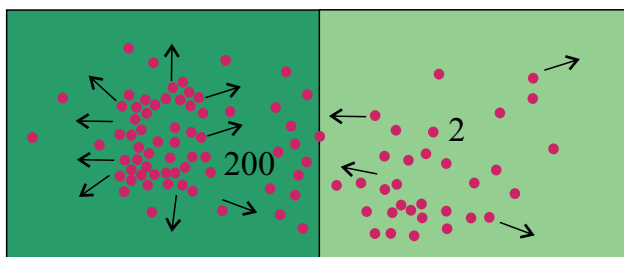
Befinden sich zwei Kochsalzlösungen verschiedener Konzentration in einem Raum (System), so werden sich die beiden Lösungen durch die Teilchenbewegung (Diffusion) vermischen.

Die Eigenbewegung eines Teilchens ist rein zufällig. Sind Druck und Temperatur konstant, dann bewirkt der Konzentrationsunterschied den größten Effekt. Trotz der Zufallsbewegung ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass sich ein Teilchen der höheren Konzentration in die Lösung mit der geringeren Konzentration bewegt. Dabei kann die Bewegung durch eine Membran erfolgen oder nicht.

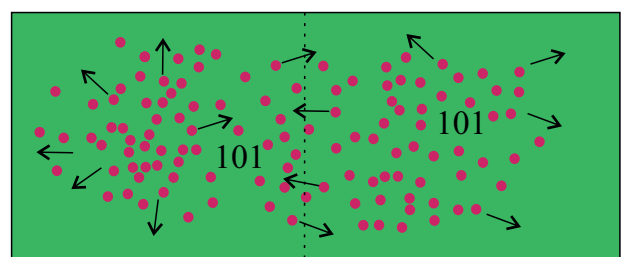


$$\Delta C = \frac{C_1}{C_2} \quad \Delta C = \frac{10}{0,1} \quad \Delta C = 100$$

Die Betrachtung des genannten Beispiels erfolgt rein statistisch. In der Summe werden sich mehr Teilchen von links nach rechts bewegen. Zur besseren Darstellung soll das Verhältnis der beiden Kochsalzlösungen mit 2 erweitert werden (200 zu 2). 200 Teilchen der einen Lösung stehen 2 der anderen gegenüber. Lagern auf beiden Seiten 101 Teilchen, dann ist das Gleichgewicht erreicht. Ab jetzt wandern gleich viele Teilchen hin und her. Deshalb wird die Diffusion als unendlicher Vorgang betrachte, denn die Brownsche Bewegung kommt nicht zum Stillstand.



Visualisierung des Verlaufs



Diffusionsgleichgewicht
Die Teilchenbewegung von links nach rechts,
ist gleich der, von rechts nach links.

Gegenüberstellung von Diffusion und Osmose 5

	Diffusion	Osmose
Wer wandert?	gelöste Teilchen	Lösungsmittel
In welche Richtung erfolgt die Wanderung?	Zum Ort der niederen Konzentration!	Zum Ort der höheren Konzentration!
Erfolgt die Wanderung durch eine Membran!	Sie kann durch eine erfolgen, ist aber auch ohne diese möglich.	Die Membran ist zwingend erforderlich.
Worin besteht das Ziel der Wanderung?	Konzentrationsausgleich (Gleichgewicht)	Konzentrationsausgleich (Gleichgewicht)
Verläuft die Wanderung freiwillig?	Ja, wegen Zunahme der Unordnung.	Ja, wegen Zunahme der Unordnung.
Benötigen die wandernden Teilchen Energie, die von außen zugeführt wird?	Nein	Nein
Ist der Vorgang ohne Energie umkehrbar (reversibel)?	Nein	Nein
Erfolgt ein Konzentrationsausgleich innerhalb eines Systems?	Ja	Ja
Woraus besteht das System bei Flüssigkeiten?	Aus zwei verschiedenen konzentrierten Bereichen: dem Ort der hohen und dem Ort der niedrigen Konzentration an gelösten Teilchen.	Aus zwei verschiedenen konzentrierten Bereichen: dem Ort der niedrigen und dem Ort der hohen Konzentration an Teilchen.

Experimente zur Diffusion 6

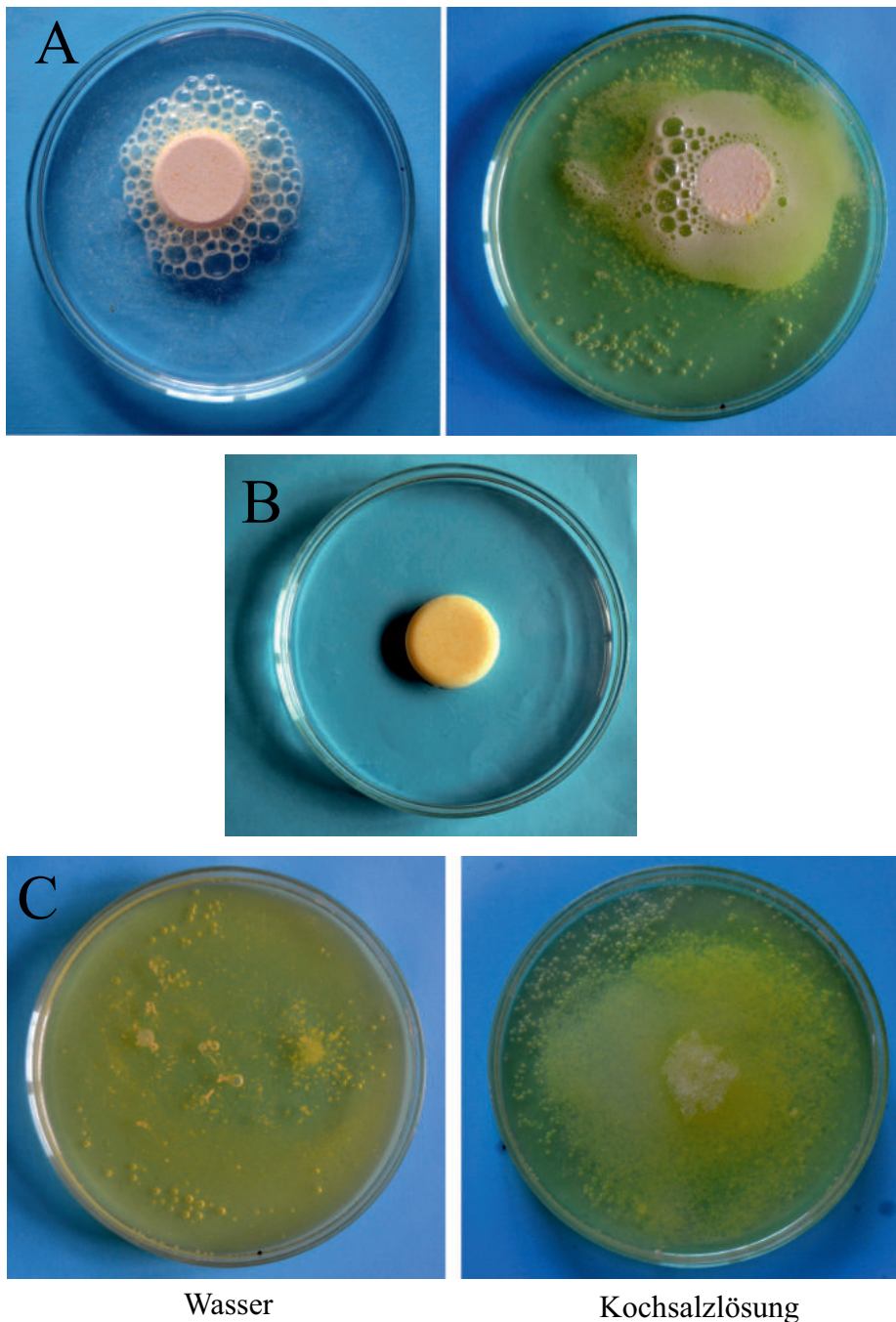
Die hier dargestellten Versuche beruhen nicht vollständig auf der Diffusion. Beim Lösen der Vitamintabletten findet eine chemische Reaktion von Säuren mit Hydrogenkarbonat und Karbonat statt, die eine beschleunigende Wirkung haben.

Es können jedoch interessante Erkenntnisse abgeleitet werden.

Abbildung (A) zeigt das Lösen der Tablette in Wasser zu zwei verschiedenen Zeitpunkten.

In Abbildung (B) liegt die Tablette in 96% Ethanol. Eine Stunde später zeigt sich ein unveränderter Zustand.

Abbildung (C) zeigt zwei Tabeletten nach der selben Einwirkzeit. Der Unterschied besteht darin, dass im linken Foto Wasser verwendet wurde und im rechten eine gesättigte Kochsalzlösung. Die Ionen des Kochsalzes beanspruchen einen Teil des Lösungsmittels und die Tablette kann sich nicht mehr vollständig lösen. Die Inhaltsstoffe der Tablette und die Ionen des Kochsalzes konkurrieren um die Wassermoleküle.



Diffusion 7



Anhand der Abbildung soll das Gesetz der Diffusion erklärt werden. Zu sehen ist ein frisch angeschnittenes Stück einer Schafslunge, die für 24 Stunden bei Zimmertemperatur in 8% Formalin (Methanal) lagerte. An den Farbunterschieden ist die Eindringtiefe des Methanals ablesbar. Sie beträgt fast genau 1cm. Über die Bronchien und Blutgefäße ist das Methanal auch in das Innere des Organs eingedrungen und hat um diese Gebilde gleichfalls das Lungengewebe farblich verändert. Das Eindringen des Methanals wird im Diffusionsgesetz mit der Flussdichte (J) der Teilchenzahl in mol pro Zeiteinheit und der durchquerten Fläche beschrieben.

$$\frac{\text{Stoffmenge (n)}}{\text{Zeit} \cdot \text{Fläche}} = J \qquad \frac{dn}{dt A} = J$$

Der Quotient aus dem Konzentrationsunterschied des Methanals innerhalb und außerhalb des Lungengewebes und dem Unterschied in des zurückgelegten Wegs (x) wird mit Konzentrationsgradient bezeichnet.

$$\left(\frac{\Delta c}{\Delta x} \right)$$

Zwischen der Flussdichte (J) und dem Konzentrationsgradienten besteht eine Proportionalität.

$$J \sim \left(\frac{\Delta c}{\Delta x} \right)$$

Die Einführung der Proportionalitätskonstanten (D) entsteht die Gleichung:

$$J = -D \left(\frac{\Delta c}{\Delta x} \right)$$

(D) ist der Diffusionskoeffizient und steht für die Beweglichkeit der Teilchen. Das negative Vorzeichen resultiert aus der Teilchenbewegung von der höheren zur niederen Konzentration mit seinem negativen Verlauf der Funktionsgeraden.

Diffusion 8

$$\frac{dn}{dt A} = J = -D \left(\frac{\Delta c}{\Delta x} \right)$$

dn : Diffundierte Stoffmenge (mol)

dt : betrachteter Zeitraum (s)

A : Diffusionsfläche (m²)

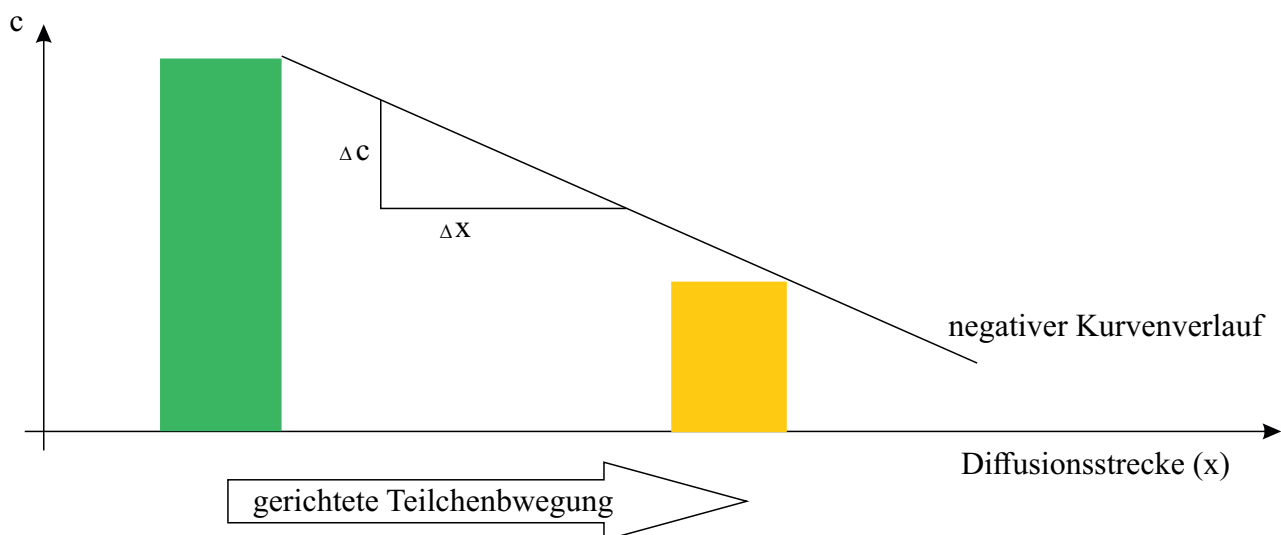
D : Diffusionskoeffizient m²·s⁻¹)

dc : Konzentrationsunterschied (mol·m⁻³)

dx : Strecke, über die Δc anliegt (m)

$$\frac{dn}{dt A} = -D \left(\frac{\Delta c}{\Delta x} \right)$$

Bedingungen für die Gültigkeit des ersten Fickschen Gesetzes sind, dass die äußeren Einflüsse unverändert bleiben und das Konzentrationsgefälle gleich bleibt. Deshalb wird diese Form der Diffusion auch als stationäre Diffusion bezeichnet. Unter den genannten Bedingungen trifft das Gesetz eine quantitative Aussage über die gerichtete Bewegung von Teilchen in einem Konzentrationsgradienten (Δc : Δx) und sagt aus, wie viele Teilchen einer Stoffmenge (n) pro Zeiteinheit (t) sich durch eine Fläche (A) zur Diffusionsrichtung bewegen. Der Diffusionskoeffizient ist dabei das Maß für die Beweglichkeit der Teilchen.



Die Gleichung für den Diffusionskoeffizienten $D = k \frac{T}{r \eta}$

Um den Diffusionskoeffizienten besser zu verstehen werden die der Gleichung zugrundeliegenden Proportionalitäten dargelegt.

$D \sim T$ mit steigender Temperatur steigt die Beweglichkeit der Teilchen

$D \sim k$ die Stoffkonstante (chemische Eigenschaft)

$D \sim \frac{1}{r \eta}$ r- Radius des Teilchens
η- Viskosität, die innere Reibung der Flüssigkeit

Radius und Viskosität sind indirekt proportional, wenn sie größer werden, dann wird (D) kleiner.

Diffusion 9

Betrachtung der Diffusion in Makro- und Mikrosystemen

Der Diffusionskoeffizient für Stoffe im Wasser ist sehr gering. Für Ethanol beträgt er $1,24 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

Mit der Wurzel-t-Gleichung kann die Diffusionsstrecke (x) berechnet werden:

$$x = \sqrt{Dt}$$

In dem Beispiel beträgt der Teilchenfluss des Methanal 1cm in 24 Stunden bzw. 86 400 Sekunden.

Die Maßeinheit für (D) in m^2/s ist in cm^2/s umzurechnen
 $1\text{m}^2 = 10\,000\text{cm}^2$

$$x = \sqrt{D \cdot 10^4 \text{ cm}^2 \cdot 86\,400\text{s}}$$

D für Ethanol in Wasser $1,24 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

D für Na^+ in Wasser $1,33 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$



Der Diffusionskoeffizient (D) ist das Maß für die Beweglichkeit des Teilchens. Die sehr geringen Werte im Wasser ergeben deutliche Unterschiede, wenn Makrosysteme und Mikrosysteme zu vergleichen sind.

In Makrosystemen sind die Wanderungstrecken lang und die Diffusion benötigt sehr viel Zeit. In Mikrosystemen, wie einer Zelle betragen die Wanderungstrecken nur wenige Mikrometer und die Diffusion verläuft in Bruchteilen einer Sekunde.

In der Literatur sind nicht für jeden Stoff die Diffusionskoeffizienten zu finden. Deshalb erfolgt die Berechnung der Diffusion des Methanals in das Lungengewebe mit dem (D) für Ethanol.

$$1 \text{ cm} = \sqrt{1,24 \cdot 10^{-9} \cdot 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \cdot 86\,400\text{s}}$$

$$1 \text{ cm} = \sqrt{1,24 \cdot 10^{-9} \cdot 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \cdot 8,64 \cdot 10^4\text{s}}$$

$$1 \text{ cm} = \sqrt{1,24 \cdot 10^{-1} \text{ cm} \cdot 8,64}$$

$$1 \text{ cm} = \sqrt{1,07} = 1,035$$

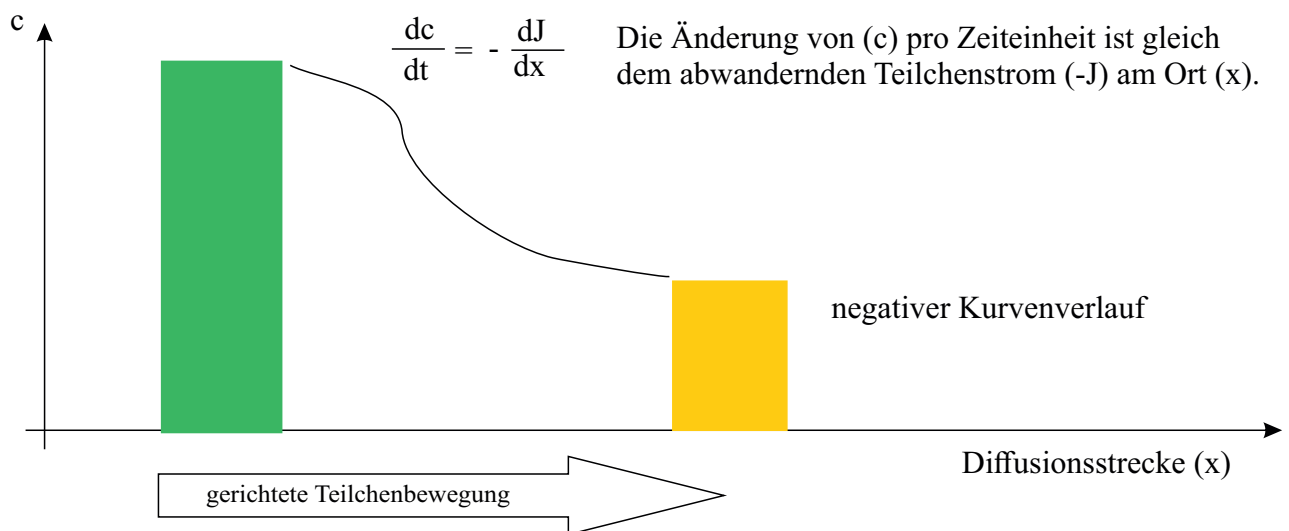
Die auftretende Abweichung des mathematischen Werts von dem realen ist sehr gering. Dies wird noch deutlicher, wenn in Millimeter umgerechnet wird. 10mm real stehen 10,35mm ideal gegenüber.

Diffusion 10

Das zweite Ficksche Gesetz berücksichtigt die Tatsache, dass das Konzentrationsgefälle nicht gleich bleibt und der Kurvenverlauf nicht linear ist. Der Teilchenstrom ist zu Beginn der Diffusion größer als es zum Ende der Fall ist, dies führt zur Krümmung des Kurvenverlaufs. Deshalb ist die lokale Änderung am Ort (dx) der Konzentration pro Zeiteinheit zu berücksichtigen. Das zweite Ficksche Gesetz stellt eine Differentialgleichung dar, die aus dem ersten Gesetz unter Anwendung der Kontinuitätsgleichung abgeleitet wird.

$$J = - \frac{d}{dx} \cdot \left(-D \frac{dc}{dx} \right)$$

$$J = D \frac{d^2c}{dx^2}$$

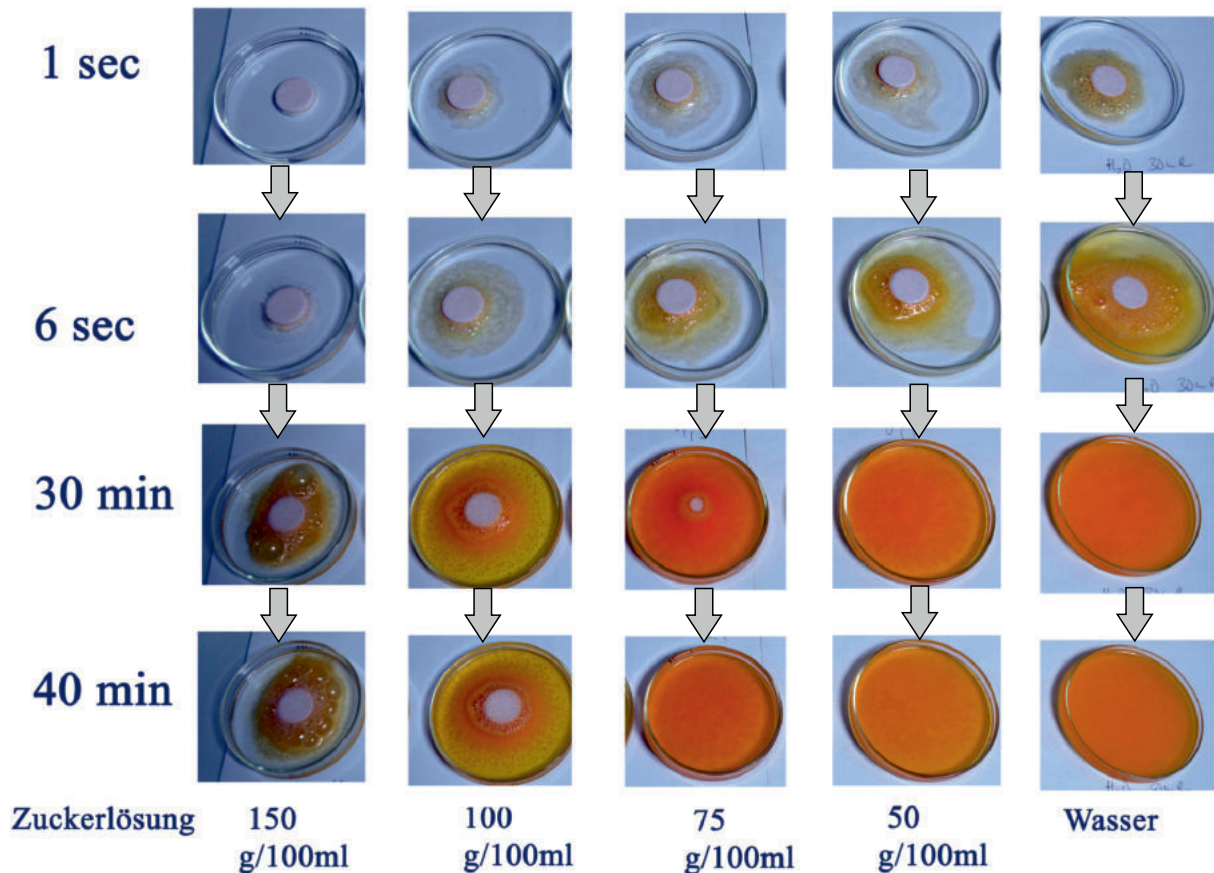


Diffusion 11

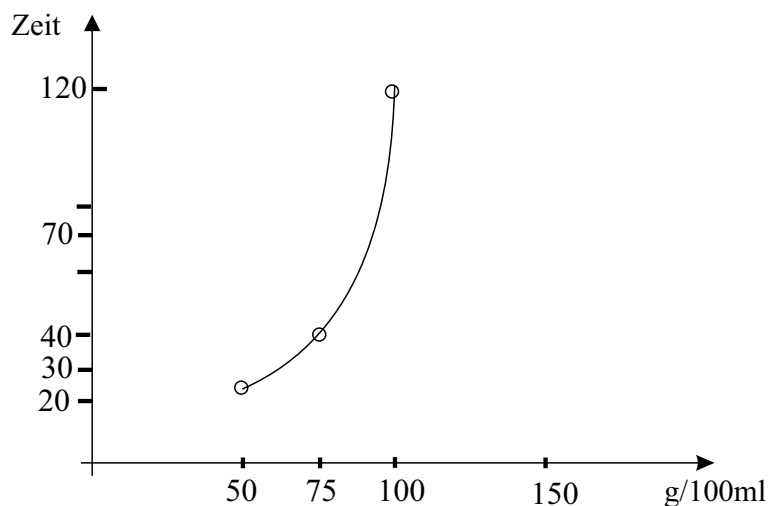
Untersuchung zum Diffusionsgleichgewichts

Ein Diffusionsgleichgewicht besteht, wenn der Konzentrationen eingetreten ist. Dann bewegen sich gleich viele Teile von A nach B und von B nach A. Wird die Bewegung der Teilchen durch Konkurrenz behindert, dann verläuft die Diffusion langsamer. Dies kann provoziert werden, wenn nicht reines Wasser sondern eine Lösung verwendet wird. Zum Zweck der besseren Visualisierung wurde eine Brausetablette in Zuckerlösungen von unterschiedlicher Konzentration gelegt.

Es ist zu sehen, dass sich die Brausetablette dort besser löst, wo die Konzentration der Zuckerlösung geringer ist.



Darstellung des Kurvenverlaufs für das vollständige Lösen der Brausetablette

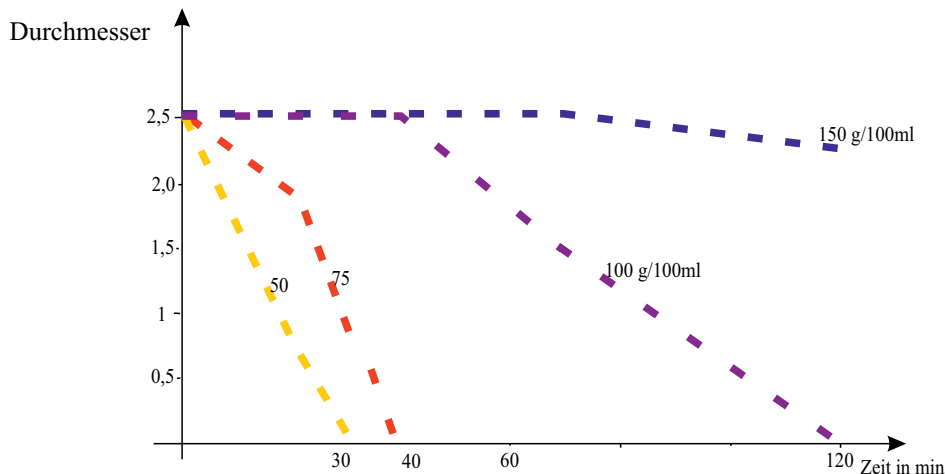


Diffusion 12

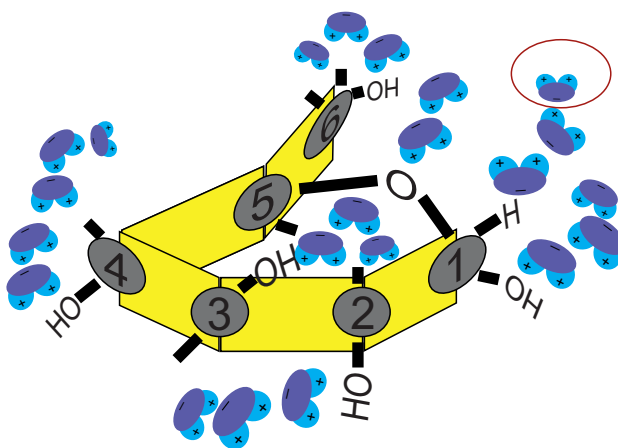
Tabelle mit den Konzentrationen der Zuckerlösungen in mg/100ml und die Zeit für das Lösen der Brausetablette. Angegeben sind die Durchmesser der Brausetabletten in Millimeter. Grün markiert ist der Zeitpunkt für das vollständige Lösen der Tablette.

Zeit Konz.	20	30	40	70	120	200
150	2,5	2,5	2,5	2,5	2,3	2,2
100	2,5	2,5	2,5	1,5	0	
75	1,9	0,7	0			
50	0,7	0				

Grafische Darstellung der Messergebnisse aus der oben stehenden Tabelle



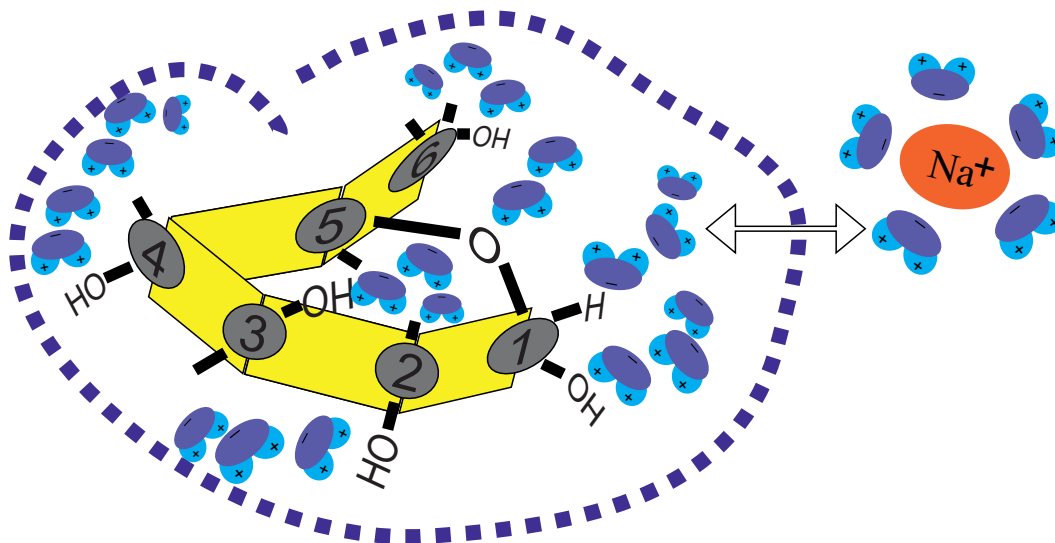
Die Zuckermoleküle der Zuckerlösungen konkurrieren mit den Inhaltsstoffen der Brausetablette um das Lösungsmittel Wasser. Die Zuckermoleküle benötigen Wasser für ihre Hydrathülle und binden das Wasser an sich. Die Teilchen der Brausetablette benötigen Wasser, um selbst eine Hydrathülle zu erzeugen.



Das Zuckermolekül besitzt fünf OH-Gruppen und eine Aldehyd-Gruppe. Der Sauerstoff und die Wasserstoffatome haben eine elektrische Partialladung, die mit den elektrischen Partialladungen der Wassermoleküle interagieren. Die Anlagerung der Wassermoleküle führt zur Hydrathülle. Das rot umrandete Wassermolekül befindet sich in der äußersten Schicht der Hydrathülle und kann von einem fremden Teilchen mit starker Ladung „gestohlen“ werden.

Diffusion 13

Visualisierung der Konkurrenz eines Glukosemoleküls und des Natriumions um das Wasser



Das Lösen der Brausetabletten in den Zuckerlösungen läuft langsamer, weil die Natriumionen aus der Brausetablette mit den Zuckermolekülen um die Wassermoleküle konkurrieren. Der Doppelpfeil symbolisiert das eintretende Gleichgewicht. Die Wassermoleküle wechseln ständig zwischen der Hülle des Zuckers und der des Natriums hin und her, ohne dass sich aber dabei aus statistischer Sicht etwas ändert.



Das Wassermolekül und die vereinfachte Darstellung als Dipolmolekül

Wasser hat einen Dipolcharakter. Das Sauerstoffatom beansprucht die Elektronenpaare, die es mit den beiden Wasserstoffatomen eingeht stärker und es bilden sich die elektrische Partialladungen. Die elektrischen Ladungen sind nicht nur der Grund für das Entstehen von Hydrathüllen. Sie sind auch dafür verantwortlich, dass das Wasser die Autoprotolyse ausführt, elektrischen Strom leiten kann und Wasser nicht so schnell gasförmig wird, wie beispielsweise das mehr als drei Mal so schwere Ethanolmolekül. Die Wassermoleküle haben einen stärkeren Zusammenhalt als die Moleküle des Ethanols, weil sie Wasserstoffbrücken haben. Wasserstoffbrückenbindungen sind der Grund für die besonderen Eigenschaften des Wassers. Während bei allen anderen Stoffen in der Natur die Dichte mit Abnahme der Temperatur zu nimmt, so hat das Wasser bei vier Grad die höchste Dichte und das Eis lagert oberhalb.

Alle biologischen Strukturen (Polypeptide, Proteine, Ribonukleinsäure oder Fette) benötigen den Dipolcharakter des Wassers für ihre Existenz.