Expertenaufgaben: Stofftransport durch Biomembranen

Zusatzaufgaben für Schnelle – Transfer, Bewertung und Forschen rund um Transport, Gradienten und Homöostase

Du bist mit dem Basis-Arbeitsblatt fertig? Dann sind diese Zusatzaufgaben für dich. Sie sind deutlich anspruchsvoller: Du wendest dein Wissen über Diffusion, Osmose, aktiven Transport und Vesikeltransport auf neue Situationen an, wertest Daten aus, bewertest Aussagen und entwickelst eigene Hypothesen. Es gibt oft mehrere gute Lösungswege – begründe sauber und verwende Fachsprache. Du musst nicht alles schaffen; wähle die Aufgaben, die dich reizen.

1 Eine Zelle nimmt Glucose über einen Na^+-Glucose-Symporter auf (sekundär aktiver Transport). Die intrazelluläre Glucosekonzentration ist höher als die extrazelluläre. Welche Aussage erklärt korrekt, woher die Energie für diesen Transport stammt?

- ☐ Der Symporter hydrolysiert selbst ATP und pumpt Glucose direkt bergauf.
- ☐ Der passive Na^+-Einstrom entlang des von der Na^+-K^+-Pumpe aufgebauten Gradienten liefert die Energie; ATP wird nur indirekt zur Aufrechterhaltung des Na^+-Gradienten verbraucht.
- ☐ Glucose diffundiert entlang ihres Gradienten, der Na^+-Transport ist nur ein Begleiteffekt.
- ☐ Die Energie stammt aus der Osmose von Wasser, das dem Glucosemolekül folgt.

2 Das Herzmedikament Digoxin hemmt die Na^+-K^+-Pumpe teilweise. Dadurch steigt die intrazelluläre Na^+-Konzentration in Herzmuskelzellen leicht an. Ein Na^+-Ca^{2+}-Austauscher (Antiporter) nutzt normalerweise den Na^+-Einstrom, um Ca^{2+} aus der Zelle zu befördern. Entwickle eine begründete Hypothese, wie sich Digoxin auf die intrazelluläre Ca^{2+}-Konzentration und die Kontraktionskraft des Herzmuskels auswirkt, und erkläre, warum eine Überdosierung gefährlich ist.

3 Berechne die Energie, die nötig ist, um 1 mol Glucose gegen einen Konzentrationsgradienten zu transportieren. Verwende $\Delta G = R \cdot T \cdot \ln(c_{innen} / c_{außen})$ mit $R = 8{,}314$ J/(mol·K), $T = 310$ K, $c_{außen} = 1$ mmol/l und $c_{innen} = 100$ mmol/l (Vernachlässige elektrische Anteile). Gib das Ergebnis in kJ/mol an und vergleiche es mit der Energie, die bei der Hydrolyse von 1 mol ATP unter Zellbedingungen frei wird (ca. 50 kJ/mol). Was folgt daraus für die Stöchiometrie?

4 Bewerte die folgende Schülerbehauptung: „Osmose ist ein Sonderfall der aktiven Transportvorgänge, denn die Zelle muss Energie aufwenden, damit Wasser in sie hineinströmt.“ Nimm Stellung, korrigiere falsche Teile und erkläre, auf welchem indirekten Weg die Zelle dennoch Einfluss auf ihren Wasserhaushalt nimmt. Nenne außerdem ein Beispiel, wie Zellen ohne Zellwand osmotisches Gleichgewicht erhalten bzw. wie Pflanzenzellen oder Süßwasser-Einzeller (z. B. Pantoffeltierchen) mit hypotonischer Umgebung umgehen.

5 Forscheraufgabe: Du sollst experimentell untersuchen, ob die Aufnahme eines Stoffes X in rote Blutkörperchen durch einfache Diffusion, erleichterte Diffusion (Carrier) oder aktiven Transport erfolgt. Plane ein Experiment: Nenne mindestens drei Messansätze bzw. Variablen (z. B. Temperatur, Hemmstoffe, Substratkonzentration), beschreibe die erwarteten Ergebnisse für jeden der drei Transporttypen und begründe, wie du daraus eindeutig auf den Transportmechanismus schließen kannst.

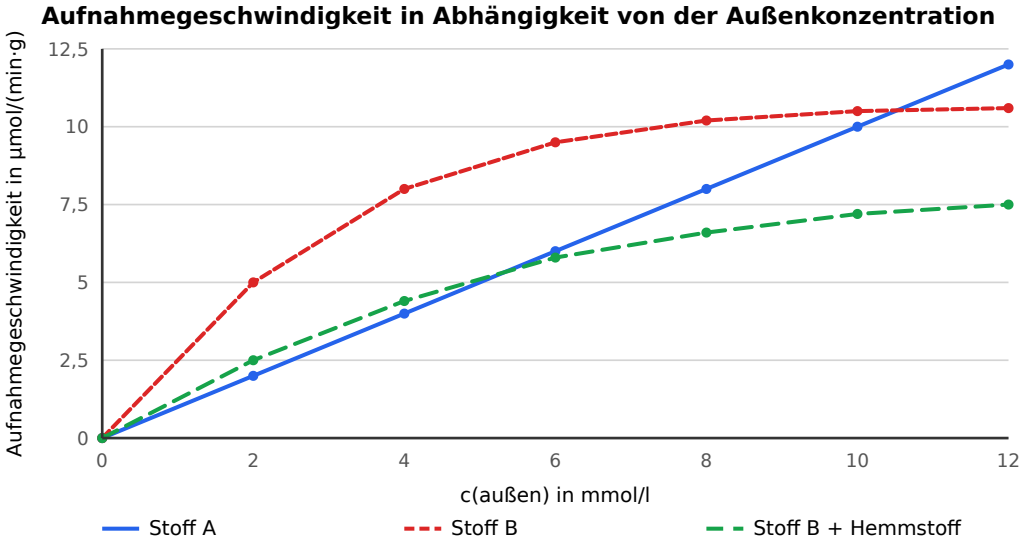


Abbildung 3: Aufnahmegeschwindigkeit eines Stoffes in Zellen in Abhängigkeit von der Außenkonzentration, jeweils mit und ohne Hemmstoff für Carrierproteine (Werte schematisch)

6 Werte Abbildung 3 aus: Welcher Transportmechanismus liegt bei Stoff A, welcher bei Stoff B am wahrscheinlichsten vor? Begründe anhand des Kurvenverlaufs. Erkläre außerdem, ob der Hemmstoff bei Stoff B eher kompetitiv oder nicht-kompetitiv wirkt (Hinweis: Betrachte die maximale Geschwindigkeit bei hoher Konzentration), und was sich aus der Abbildung nicht ableiten lässt (z. B. ob Stoff B aktiv oder passiv transportiert wird).

7 Entscheide, ob die Aussagen richtig oder falsch sind.

	richtig	falsch
Bei der Exocytose wird Membranmaterial der Zellmembran hinzugefügt; ohne anschließende Endocytose würde sich die Zelloberfläche vergrößern.	☐	☐
Aquaporine transportieren Wasser aktiv gegen das Wasserpotenzialgefälle.	☐	☐
Ein Antiporter transportiert zwei Stoffe in entgegengesetzter Richtung, ein Symporter zwei Stoffe in dieselbe Richtung.	☐	☐
Erleichterte Diffusion kann Stoffe entgegen ihres Konzentrationsgradienten transportieren, wenn genug Carrier vorhanden sind.	☐	☐
Wird ATP in einer Zelle vollständig verbraucht, so bleibt der Na^+-Gradient über der Membran dennoch dauerhaft erhalten.	☐	☐

8 Denkaufgabe: Erythrocyten besitzen keinen Zellkern und keine Mitochondrien, halten aber dennoch durch die Na^+-K^+-Pumpe ihr Volumen konstant. Erkläre, woher sie die ATP-Energie beziehen, und leite daraus eine begründete Vorhersage ab, was passiert, wenn man Erythrocyten in einer glucosefreien, sauerstoffreichen Nährlösung lagert. Warum hilft der Sauerstoff nicht?

Lösungen

Expertenaufgaben: Stofftransport durch Biomembranen · Biologie · Klasse 12

Für dich als Lehrkraft: leichtere Fassung in einer Minute

QR scannen oder lehreule.de/anpassen/stofftransport-durch-biomembranen-klasse-12 öffnen: kostenloses Konto, dann schreibt Lehreule die leichtere Fassung mit Hilfen — oder Zusatzaufgaben für Schnelle, eine Word-Datei, einen QR-Code für die Klasse.

Aufgabe 1: Der passive Na^+-Einstrom entlang des von der Na^+-K^+-Pumpe aufgebauten Gradienten liefert die Energie; ATP wird nur indirekt zur Aufrechterhaltung des Na^+-Gradienten verbraucht.

Aufgabe 2: Der Na^+-Ca^{2+}-Austauscher ist sekundär aktiv: Er nutzt den Na^+-Gradienten (Na^+ strömt in die Zelle) als Antrieb, um Ca^{2+} aus der Zelle zu transportieren. Hemmt Digoxin die Na^+-K^+-Pumpe, steigt $c(Na^+)$ intrazellulär, der Na^+-Gradient über der Membran wird flacher. Dadurch sinkt die Triebkraft des Austauschers, es wird weniger Ca^{2+} ausgeschleust, und die intrazelluläre Ca^{2+}-Konzentration steigt (zusätzlich wird Ca^{2+} vermehrt im sarkoplasmatischen Reticulum gespeichert). Mehr verfügbares Ca^{2+} führt zu einer stärkeren Kontraktion der Herzmuskelzelle – das ist der gewünschte therapeutische Effekt bei Herzschwäche. Bei Überdosierung wird die Pumpe zu stark gehemmt: Der Na^+- und Ca^{2+}-Gradient bricht weitgehend zusammen, das Membranpotenzial verschiebt sich (Depolarisation, K^+-Gradient ebenfalls gestört), die Zellen werden übererregbar bzw. Ca^{2+}-überladen. Folge sind Herzrhythmusstörungen bis hin zum Herzstillstand. Die geringe therapeutische Breite ergibt sich also daraus, dass derselbe Mechanismus in nützlicher und schädlicher Dosis wirkt.

Aufgabe 3: $\Delta G = R \cdot T \cdot \ln(c_{innen} / c_{außen}) = 8{,}314\ J/(mol \cdot K) \cdot 310\ K \cdot \ln(100) = 2577\ J/mol \cdot 4{,}605 \approx 11\,870\ J/mol \approx 11{,}9\ kJ/mol$. Der Transport von 1 mol Glucose in 100-fach höhere Konzentration erfordert also etwa 11,9 kJ. Die ATP-Hydrolyse liefert unter Zellbedingungen etwa 50 kJ/mol, also deutlich mehr als nötig. Rechnerisch würde daher ein ATP (bzw. ein Bruchteil davon) für den Transport von mehreren Glucosemolekülen ausreichen ($50 / 11{,}9 \approx 4$). Im Idealfall ist die Kopplung damit energetisch möglich; der Rest der Energie geht als Wärme verloren. Real liegt der Wirkungsgrad niedriger, weil die Kopplung nie verlustfrei ist.

Aufgabe 4: Die Behauptung ist falsch. Osmose ist die Diffusion von Wasser durch eine selektiv permeable Membran und damit ein passiver Vorgang: Wasser bewegt sich von Orten höheren Wasserpotenzials (geringere Teilchenkonzentration) zu Orten niedrigeren Wasserpotenzials (höhere Teilchenkonzentration), ohne dass die Zelle dafür ATP einsetzt. Teilweise richtig ist: Die Zelle kann die Wasserbewegung indirekt steuern, indem sie die Teilchenkonzentration im Cytoplasma durch aktiven Transport (z. B. Na^+-K^+-Pumpe) und Ionenkanäle beeinflusst – die Osmose folgt dann passiv dem erzeugten osmotischen Gradienten. Wasser kann zusätzlich schneller über Aquaporine passieren, auch das ist aber passiv. Beispiele: Tierische Zellen halten ihr Volumen durch die Na^+-K^+-Pumpe stabil (Hemmung führt zum Anschwellen). Pantoffeltierchen (Süßwasser, hypotonisch) besitzen kontraktile Vakuolen, die eindringendes Wasser unter ATP-Verbrauch wieder ausscheiden. Pflanzenzellen werden durch die Zellwand geschützt: Der Wanddruck (Turgor) gleicht den osmotischen Einstrom aus, sodass die Zelle nicht platzt.

Aufgabe 5: Messansatz 1 – Abhängigkeit von der Außenkonzentration: Man misst die Aufnahmegeschwindigkeit bei steigender c(X) außen. Einfache Diffusion: lineare Zunahme, keine Sättigung. Erleichterte Diffusion und aktiver Transport: Sättigungskurve, da die Zahl der Carrier begrenzt ist (Michaelis-Menten-ähnlich). Messansatz 2 – Energieabhängigkeit: Zugabe eines Stoffwechselgifts bzw. ATP-Entzug (z. B. Hemmung der Glykolyse, da Erythrocyten kein Mitochondrium besitzen) oder Hemmung der entsprechenden Pumpe. Einfache und erleichterte Diffusion bleiben unverändert; aktiver Transport nimmt stark ab. Messansatz 3 – Gradient: Man prüft, ob X auch gegen ein Konzentrationsgefälle angereichert wird (c innen > c außen im Gleichgewicht). Nur aktiver Transport erzeugt eine Anreicherung über das Gleichgewicht hinaus; Diffusionsprozesse führen höchstens zum Konzentrationsausgleich. Messansatz 4 – Spezifität/Kompetition: Zugabe eines strukturähnlichen Stoffes Y oder eines Carrier-Hemmstoffs. Bei Carrier-vermittelten Transporten (erleichterte Diffusion, aktiver Transport) wird die Aufnahme von X gehemmt; bei einfacher Diffusion nicht. Messansatz 5 – Temperatur: Einfache Diffusion nimmt nur schwach mit der Temperatur zu, Carrier-Prozesse zeigen stärkere, enzymähnliche Temperaturabhängigkeit mit Optimum. Eindeutiger Schluss: Linear, ATP-unabhängig, keine Anreicherung → einfache Diffusion; Sättigung, ATP-unabhängig, keine Anreicherung, kompetitiv hemmbar → erleichterte Diffusion; Sättigung, ATP-abhängig, Anreicherung gegen den Gradienten → aktiver Transport. Kontrollen (Ansatz ohne Hemmstoff, gleiche Zellzahl, Wiederholungen) sichern die Aussage.

Aufgabe 6: Stoff A: Die Aufnahmegeschwindigkeit steigt linear mit der Außenkonzentration und zeigt keine Sättigung – typisch für einfache Diffusion (proportional zum Konzentrationsgefälle, keine begrenzte Zahl von Transportproteinen). Stoff B: Die Kurve steigt zunächst steil und flacht dann ab, bis sie sich einem Maximalwert (ca. 10,6) annähert – Sättigungskinetik. Das spricht für einen carriervermittelten Transport (erleichterte Diffusion oder aktiver Transport), weil die Zahl der Carrierproteine begrenzt ist und bei hohen Konzentrationen alle besetzt sind. Hemmstoff: Mit Hemmstoff erreicht die Kurve bei Stoff B deutlich niedrigere Werte und nähert sich einem geringeren Maximum (ca. 7,5 bis 8 und weiter ansteigend) als ohne Hemmstoff. Da die Geschwindigkeit bei hoher Konzentration weniger stark gesteigert werden kann, spricht der Verlauf eher für eine nicht-kompetitive Hemmung (Vmax sinkt). Bei rein kompetitiver Hemmung würde bei hoher Substratkonzentration dasselbe Maximum erreicht, nur bei höheren Konzentrationen. Allerdings reicht der Konzentrationsbereich nur bis 12 mmol/l, sodass eine kompetitive Hemmung nicht sicher ausgeschlossen ist – die Kurve mit Hemmstoff steigt noch leicht an. Nicht ableitbar: Ob Stoff B aktiv oder passiv transportiert wird, da die Abbildung weder ATP-Abhängigkeit noch einen Transport gegen den Gradienten zeigt. Dafür wären zusätzliche Experimente (z. B. ATP-Entzug) nötig.

Aufgabe 7: Bei der Exocytose wird Membranmaterial der Zellmembran hinzugefügt; ohne anschließende Endocytose würde sich die Zelloberfläche vergrößern. → **richtig**
Aquaporine transportieren Wasser aktiv gegen das Wasserpotenzialgefälle. → **falsch**
Ein Antiporter transportiert zwei Stoffe in entgegengesetzter Richtung, ein Symporter zwei Stoffe in dieselbe Richtung. → **richtig**
Erleichterte Diffusion kann Stoffe entgegen ihres Konzentrationsgradienten transportieren, wenn genug Carrier vorhanden sind. → **falsch**
Wird ATP in einer Zelle vollständig verbraucht, so bleibt der Na^+-Gradient über der Membran dennoch dauerhaft erhalten. → **falsch**

Aufgabe 8: Erythrocyten besitzen keine Mitochondrien und können daher keine oxidative Phosphorylierung (Atmungskette) betreiben. Ihr ATP gewinnen sie ausschließlich durch Glykolyse, d. h. durch den anaeroben Abbau von Glucose zu Lactat (Milchsäuregärung); netto entstehen 2 ATP pro Glucose. Ohne Glucose in der Nährlösung kommt die ATP-Produktion zum Erliegen. Sauerstoff hilft nicht, weil Erythrocyten ihn zwar transportieren, aber nicht zur Energiegewinnung verwerten können – ihnen fehlt die dafür nötige Zellorganelle. Vorhersage: Ohne ATP fällt die Na^+-K^+-Pumpe aus; Na^+ strömt passiv ein und reichert sich an, der K^+-Gradient bricht zusammen. Durch den Anstieg der osmotisch wirksamen Teilchen im Zellinneren strömt Wasser per Osmose ein, die Zellen schwellen an und platzen schließlich (Hämolyse). Die Lagerung von Blutkonserven erfordert daher glucosehaltige Lösungen und Kühlung, um den ATP-Verbrauch zu senken.