

Projekt Ernährung und Verdauung



Grundgedanke

Die **Lerninteressen** und **Lernvoraussetzungen** von Lernenden sind unterschiedlich. Einige haben kein Vorwissen, andere wissen schon sehr viel. Die einen arbeiten sehr schnell und selbständig, die anderen haben Mühe, sich zu konzentrieren und kommen eher langsam voran. Aus diesem Grund habt ihr in diesem Projekt viele **Wahlmöglichkeiten**: Wann ihr welche Aufträge, wieviel davon, wie und wo erarbeitet, all das dürft ihr selbst entscheiden. Ihr wählt auch, welche Hilfe von der Lehrperson ihr wie oft in Anspruch nehmen wollt und wann ihr die erste der beiden Lernkontrollen (siehe unten) machen wollt. Die Lehrperson ist immer für euch da; ihr selbst seid aber für das Erreichen der Lernziele und für euren Lernerfolg verantwortlich. Mein Ziel ist es, euch mit diesem Projekt herauszufordern und euch die faszinierende Welt der Biologie und von uns Menschen näherzubringen. Viel Spass dabei!

Lernziele und Lernkontrollen

Jeder Auftrag hat ein oder mehrere konkrete **Lernziele**. Jedes Lernziel führt zu einem konkreten Produkt, anhand dessen die Lehrperson und ihr selbst überprüfen könnt, wie gut ihr das Lernziel erreicht habt. Es gibt zwei bewertete **Lernkontrollen** mit den unten stehenden Beurteilungskriterien. Für beide Lernkontrollen dürft ihr alle Unterlagen aus dem Unterricht und alle eure erstellten Produkte benutzen. Die erste Lernkontrolle findet mündlich, während 15 min und an einem Termin eurer Wahl (aber spätestens vor der zweiten Lernkontrolle) statt. Die zweite Lernkontrolle findet schriftlich, während 90 min, am Ende des Projekts statt.

- Mündliche Lernkontrolle: Die erlernten Fähigkeiten (4 Punkte) und das erworbene Fachwissen (8 Punkte) aus **sechs wählbaren Aufträgen** (siehe jeweilige Lernziele) korrekt und vollständig demonstrieren.
- Schriftliche Lernkontrolle: Einen **unbekannten Fachartikel** korrekt und vollständig in einem Modell (Skizze) darstellen (8 Punkte), dessen Inhalt korrekt erklären (4 Punkte) und davon ausgehend die wichtigsten Strukturen und Vorgänge bei der Verdauung und bei der weiteren Verarbeitung der Nährstoffe präzise beschreiben (10 Punkte). Siehe insbesondere auch Aufträge 10 und 11 und die Begriffsliste.

Lernplan und Lernstand

Als erstes werdet ihr euren persönlichen **Lernplan** erstellen. Dort notiert ihr, welche Arbeitsschritte (z.B. welche Aufträge) ihr in welcher Woche machen wollt. Dafür informiert ihr euch am besten kurz über die Lernziele und die ungefähre Zeitdauer (und evtl. über die Produkte) der jeweiligen Aufträge. Euer Lernplan wird von der Lehrperson angeschaut und mit euch zusammen diskutiert. Selbstverständlich darf (bzw. muss) der Lernplan im Verlaufe des Projekts angepasst werden, je nachdem, wie zufrieden ihr mit eurem Lernfortschritt seid. Damit die Lehrperson weiss, wie es um euren aktuellen **Lernstand** steht, tragt ihr auf bit.ly/lernstandbio laufend ein, welche Aufträge ihr wie intensiv erarbeitet habt. Auf derselben Website müsst ihr auch eintragen, wann ihr eure erste Lernkontrolle absolvieren wollt. Der Eintrag für die erste Lernkontrolle muss mindestens zwei Wochen vor dem Prüfungstermin gemacht werden. Die Lehrperson kann maximal zwei Schülerinnen bzw. Schüler pro Doppellektion prüfen, d.h. ihr müsst euch frühzeitig für einen Termin entscheiden und ihn eintragen!

Persönlicher Lernplan

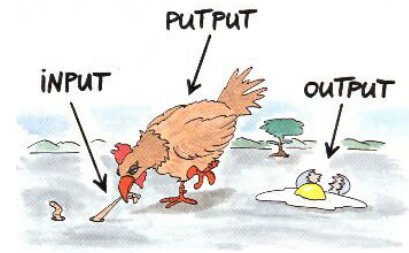
Woche	Meine geplanten Arbeitsschritte	Meine gemachten Arbeitsschritte
34		
35		
36		
37		
38	Bio1: Gemeinsame Kaninchen-Sektion (Auftrag 5)	
39	Bio2: Gemeinsame Kaninchen-Sektion (Auftrag 5)	
Ferien		
43		
44		
45		
46		
47	Schriftliche Prüfung	

Auftrag 1 [90 min]

Aufbau eines Input-Output-Modells des Menschen

Lernaufgaben

1. Zeichne einen GROSSEN Umriss eines Menschen auf ein A3-Blatt. Notiere alles, was du während einem Tag aufnimmst und abgibst an eine passende Stelle ausserhalb des Umrisses. Versuche möglichst alles (nicht nur die Nahrung) zu berücksichtigen. Färbe danach deine Begriffe so ein, dass erkennbar wird, welche Inputs zu welchen Outputs gehören.
2. Zeichne GROSS innerhalb des Umrisses alle Organe ein, die du brauchst, um aus dem Input einen Output zu machen – so genau, wie du es weisst oder vermutest. Schau nicht im Internet nach! Nummeriere und beschrifte alle Organe und fotografiere danach deine Skizze.
3. Erstelle auf prezi.com ein eigenes kostenloses Konto (Basic). Erstelle danach eine neue Präsentation und füge als erstes deine Skizze ein. Dies ist ab jetzt dein persönliches 3D-Modell „Mensch“. Im Verlaufe des Projekts wirst du diesen „Menschen“ mit vielen Details zu seinem Aufbau und seinen Funktionen ergänzen, indem du alle Produkte aus den einzelnen Aufträgen an passende Stellen seines Körpers setzt. So behältst du stets den Überblick, auf welcher Betrachtungsebene wir uns jeweils befinden und wie die verschiedenen Strukturen miteinander zusammenhängen.
4. Lade auf bit.ly/inputoutputmodell deine persönliche Kopie der Tabelle „Input-Output-Messung Mensch“ auf deinen Computer herunter und studiere sie ausführlich. Markiere alle Begriffe, die du nicht verstehst, und frage sie bei der Lehrperson nach.
5. Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede findest du zwischen dieser Tabelle und deiner Skizze? Notiere alle Fragen, welche du noch zur Tabelle hast.
6. Was passiert in den verschiedenen Organen in deinem „Menschen“? Notiere deine Vermutungen für jedes einzelne Organ. Schau nicht im Internet oder in einem Lehrbuch nach. Es muss noch nicht 100% richtig sein.



Lernziele

- Persönlicher Lernstand bestimmen
- Zweck des 3D-Modells in eigenen Worten erklären

Produkte

- Eigenes Modell zur Ernährung und Verdauung (Skizze)
- Eigenes 3D-Modell „Mensch“ (Prezi)

Material

- Tabelle „Input-Output-Messung Mensch“

Gut zu wissen

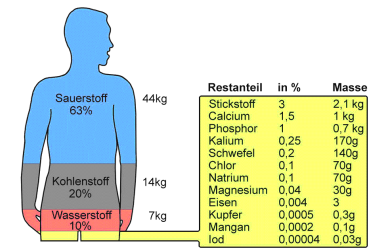
Wir können komplexe Dinge (z.B. den Menschen, ein Ökosystem, den Computer, ein wirtschaftliches Unternehmen) zuerst als Input-Output-Modell erfassen und erst danach fragen, was im Inneren genau passiert. Was hinein und hinaus geht, können Dinge aller Art sein: Nahrung, Wärme, Schall, Informationen. Grundsatz: Dem Brainstorming am Anfang sollen keine Grenzen gesetzt werden.

Auftrag 2 [2.5 Stunden]

Aufbau eines Input-Output-Modells des Menschen

Lernaufgaben

1. Nimm eine kleine zubereitete Mahlzeit mit verschiedenen Beilagen (inkl. Dessert und Salat) und zwei verpackte Produkte (z.B. Joghurt, Snickers) in die Schule mit. Wäge alle Bestandteile der mitgebrachten Mahlzeit und bestimme deren Zusammensetzung mithilfe der Nährwerttabelle. Für dich wichtig ist der Anteil an Kohlenhydraten, Proteinen, Fetten, Wasser und Zellulose und die gesamte Energiemenge. Mache danach dasselbe für die verpackten Produkte. Hast du alle Angaben gefunden? Verstehst du alles? Frage unbedingt deine Lehrperson, wenn du noch irgendwo Schwierigkeiten hast.
2. Wähle einen beliebigen Tag aus und bestimme, was du während 24 Stunden einnimmst. Miss dazu die Menge deiner Mahlzeiten und Getränke und bestimme deren Zusammensetzung (mithilfe der Nährwerttabelle oder den Angaben auf der Verpackung).
3. Trage in deine persönliche Tabelle „Input-Output-Messung Mensch“ das Total der gemessenen Menge an Wasser, Kohlenhydrate, Proteine, Fette und Zellulose ein (Input 1-5). Die Datei berechnet automatisch den Anteil von Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O) und Stickstoff (N), sowie die entsprechenden Energiewerte.
4. Trage auf bit.ly/inputoutputmodell in die Tabelle „Input-Output-Messung Klasse“ alle verlangten Werte ein (Spalten A-H).
5. Was fällt dir auf, wenn du deine eigenen Werte betrachtest? Was fällt dir auf, wenn du deine Werte mit denjenigen deiner MitschülerInnen vergleichst? Findest du Gründe dafür?



Lernziel

- Die Zusammensetzung der eigenen Nahrung genau bestimmen

Produkt

- Persönliche Zusammensetzung der täglichen Nährstoffaufnahme

Material

- Küchenwaage, Taschenrechner
- Eigene Nahrung
- Nährwerttabelle (gedruckt oder auf naehrwertdaten.ch)

Gut zu wissen

Wir bestimmen den Input über die (feste und flüssige) Nahrung. Vereinfacht betrachtet besteht er aus Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten. Über Wägen und mithilfe von Tabellen kann der Energiewert und die Zusammensetzung der Nahrung ermittelt werden. Interessanterweise wird der Grossteil der Nahrung zu CO_2 umgebaut und über die Atmung ausgeschieden, ein kleiner Teil (v.a. der Stickstoff aus den Proteinen) wird zusätzlich über den Urin ausgeschieden (siehe Auftrag 3). Wir werden mit möglichst genauen Messungen den Input (Nahrung und O_2) mit dem Output (CO_2 und Harnstoff) vergleichen. Eine Differenz würde darauf hindeuten, dass es noch andere Ausscheidungswege gibt.

Auftrag 3 [45 min]

Aufbau eines Input-Output-Modells des Menschen

Lernaufgaben

1. Informiere dich im Internet über die tägliche Urin- und Kotmenge eines erwachsenen Menschen und schätze danach deine durchschnittliche Abgabe während eines Tages. Urin: _____ g, Kot: _____ g.
2. Die durchschnittliche Harnstoff-Konzentration von einem Liter Urin ist 20 g. Berechne die Harnstoffmenge in deiner geschätzten Urinmenge während eines Tages: _____ g.
3. Mit einem Atemzug nimmst du ungefähr 0.5 Liter Luft auf. Gleich viel Luft gibst du beim Ausatmen wieder ab. Der O_2 -Anteil in deiner Lunge und der CO_2 -Anteil in deiner Ausatemluft beträgt 4%. Berechne die Menge deiner ein- und ausgeatmeten Luft während eines Tages mithilfe der Anzahl deiner Atemzüge. Eingeatmete Luft: _____ l, ausgeatmete Luft: _____ l.
4. Trage alle geschätzten bzw. berechneten Werte in deine persönliche Kopie der Tabelle „Input-Output-Messung Mensch“ ein (Spalten 5 und 6). Die Datei berechnet wieder automatisch den Anteil von Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O) und Stickstoff (N).
5. Welches Fazit kannst du aus deinen Resultaten ziehen? Machen deine Resultate Sinn? Vergleiche dein Ergebnis mit demjenigen eines/r Mitschüler/in. Gibt es Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten? Welche Gründe gibt es wohl dafür? Stelle der Lehrperson nun noch alle Fragen, die du zur Tabelle hast.
6. Überarbeite – falls nötig – deine Skizze „Mensch“ aus Auftrag 1, so dass alle Inputs und Outputs dargestellt und einander korrekt zugeordnet sind.



Lernziele

- Eigener Output berechnen
- Zusammenhänge von Input und Output beschreiben

Produkte

- Persönliches Input-Output-Modell (Tabelle)
- Überarbeitetes Modell zur Ernährung und Verdauung (Skizze)

Material

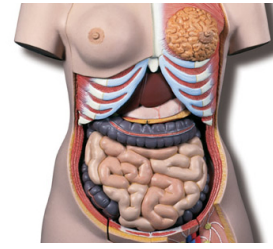
- Tabelle „Input-Output-Messung Mensch“
- Skizze „Mensch“

Gut zu wissen

Die Stoffe, die wir mit der Nahrung aufnehmen, werden entweder in körpereigene Stoffe umgewandelt, die wir für das Wachstum und die ständige Erneuerung des Körpers brauchen (Baustoffwechsel) oder abgebaut, um Energie für Bewegungen etc. zu gewinnen (Betriebsstoffwechsel). Bei der Energiegewinnung entstehen die Abfallstoffe Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O), die über die Lunge mit der Atmung bzw. über die Nieren mit dem Urin ausgeschieden werden. Bei der Umwandlung von Proteinen in andere Stoffe entsteht das Abfallprodukt Harnstoff (CH_4N_2O), das ebenfalls über die Nieren mit dem Urin ausgeschieden wird (s. auch Auftrag 8).

Auftrag 4 [90 min]

Makroskopische Darstellung der Verdauungsorgane



Lernaufgaben

1. Suche alle nachfolgenden Organe im Torso bzw. im Modell des Verdauungssystems, lege die entsprechende Nummer dazu und fotografiere sie.
 - 1 a) Ohrspeichel-, b) Unterzungenspeichel-, c) Unterkieferspeicheldrüse und d) deren Einflussöffnungen in den Mund
 - 2 Verschluss der Luftröhre beim Schlucken
 - 3 a) Speiseröhre und b) Verschluss (= Cardia) zwischen Speiseröhre und Magen, damit nichts zurückfließt
 - 4 a) Magen (produziert Pepsin und Salzsäure) und b) Verschluss (= Pförtner) zwischen Magen und Zwölffingerdarm
 - 5 a) Leber, b) Pfortader (bringt nährstoffreiches Blut von den Verdauungsorganen), c) Leberarterie (bringt O₂-reiches Blut vom Herzen) und d) Lebervene (führt die verarbeiteten Nährstoffe wieder in den Blutkreislauf)
 - 6 a) Gallenblase (speichert die in der Leber produzierte Galle), b) Gallengänge von der Leber und c) Einflussöffnung der Gallengänge in den Zwölffingerdarm
 - 7 a) Bauchspeicheldrüse (produziert Saft mit Enzymen, welche grosse Kohlenhydrate zu Glucose, Proteine zu Aminosäuren und Fetttropfchen in Fettsäuren und Glycerin spalten) und b) dessen Einflussöffnung in den Zwölffingerdarm
 - 8 a) Zwölffingerdarm (produziert Verdauungsenzyme), b) Dünndarm (nimmt Glucose, Aminosäuren und Fettsäuren auf), c) Verschluss (= Ileozäkalklappe) zwischen Dünndarm und Dickdarm, damit bei Darmbewegungen alles nach vorne fließt
 - 9 a) Blinddarm mit b) Wurmfortsatz
 - 10 a) Dickdarm (nimmt Wasser und Salze auf), b) Mastdarm (speichert den Kot) und c) dessen Verschluss (= After)
 - 11 a) Lunge, b) Lungenarterie (bringt CO₂-reiches Blut vom Herzen) und c) Lungenvene (führt O₂-reiches Blut zum Herzen)
 - 12 a) Niere, b) Nierenarterie (bringt N-reichen Harnstoff aus dem Proteinabbau vom Körper) und c) Harnleiter (führt den Urin zur Harnblase)
2. Überarbeite deine Skizze „Mensch“ aus Auftrag 1 mithilfe deiner Fotos, so dass alle Organe – 1a) bis 12c) – in korrekter Lage und Form dargestellt sind. Falls nötig, zeichne die Skizze neu.
3. Wie exakt war deine erste Skizze? Hattest du alle Organe eingezeichnet? Hast du die Funktionen von allen Organen gewusst? Frage bei der Lehrperson nach, falls nun noch etwas unklar ist.
4. Ersetze in deinem 3D-Modell „Mensch“ die alte Skizze mit der neuen und füge alle Fotos an die korrekten Stellen in dein Modell ein.

Lernziel

- Lage, Form und Funktion aller wichtigen Verdauungsorgane beschreiben

Produkte

- Fotos von allen Organen
- Überarbeitetes Modell zur Ernährung und Verdauung (Skizze)
- Ergänztes 3D-Modell „Mensch“ (Prezi)

Material

- Torso, Modell des Verdauungssystems
- Blaue Nummern
- Skizze „Mensch“

Gut zu wissen

Wie alle Vielzeller bestehen auch wir Menschen aus Organen, Geweben und Zellen. Organe sind mehr oder weniger deutlich abgegrenzte Strukturen mit bestimmten Aufgaben. Oft arbeiten mehrere Organe in einem Organsystem besonders eng zusammen. So dienen Mund, Speiseröhre, Magen, Darm, Leber und Bauchspeicheldrüse der Verdauung: Sie bilden das Verdauungssystem (aus: *Humanbiologie 1, 2013, S. 8, Compendio, Zürich*).

Auftrag 5 [2 Stunden]

Makroskopische Darstellung der Verdauungsorgane

Lernaufgaben

1. Bildet 4er-Teams und verteilt folgende Aufgaben: fotografieren, notieren, messen und tasten.
2. Schneidet das Kaninchen gemäss mündlicher Anleitung auf und fotografiert die offene Bauchhöhle.
3. Versucht, die am Modell fotografierten Organe (siehe Auftrag 4) zu finden, ohne sie zu bewegen. Legt die passenden Nummern dazu, fotografiert sie und überträgt die Namen ins Fotologbuch. Versucht danach, weitere Organe zu finden, indem ihr sie zur Seite schiebt. Nummeriert, fotografiert und überträgt die Namen ins Fotologbuch.
4. Schneidet den Verdauungsapparat heraus: a) Hebt den ganzen Verdauungsapparat hoch, b) durchtrennt die Speiseröhre und den untersten Bereich des Enddarms, c) durchtrennt die Mesenterien (= Aufhängung und Blutversorgung der Darmabschnitte), und d) legt den Verdauungsapparat auf das grosse Tablett. Zerreisst die Mesenterien vorsichtig von Hand, so dass der ganze Verdauungsapparat ausgebreitet auf dem Tablett liegt.
5. Legt die passenden Nummern zu den ausgebreiteten Organen und fotografiert sie je zweimal (ohne Blitz!): Einmal das Ganze in der Übersicht, einmal ein Ausschnitt in der Nahaufnahme. Misst die Länge der verschiedenen Organe und beschreibt deren Aufbau durch genaues Betrachten und Ertasten. Überträgt die Resultate ins Fotologbuch.
6. Schneidet in die verschiedenen Organe und beschreibt die Beschaffenheit des Inhalts im Fotologbuch.
7. Entsorgt den Verdauungsapparat, alle organischen Reste und die Nummern in die bereitliegenden Abfallsäcke und reinigt das Tablett und die Sezierbestecke gründlich mit Seife und Wasser.
8. Erstelle anhand der Fotos – unter Anleitung der BG-Lehrperson – eine Zeichnung zu einem ausgewählten Organ des Kaninchens, welche dessen Beschaffenheit und den Zusammenhang mit den anderen Organen möglichst klar und detailliert darstellt.
9. Welche Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede gibt es zwischen den Verdauungsorganen des Menschen und des Kaninchens? Weiterführende Informationen dazu findest du z.B. im Internet auf kaninchen-info.de/ernaehrung/verdauungssystem.html.
10. Füge die Zeichnung deines Organs und die Fotos aller Organe an die korrekten Stellen in dein 3D-Modell „Mensch“ ein.



Lernziele

- Die Beschaffenheit von Organen genau untersuchen und beschreiben
- Unterschiede zwischen den Verdauungsorganen von Mensch und Kaninchen erklären

Produkte

- Fotos von allen Organen
- Detaillierte Zeichnung zu einem Organ
- Ergänztes 3D-Modell „Mensch“ (Prezi)

Material

- Kaninchen
- Sezierbesteck
- Blaue Nummern
- Fotos aus Auftrag 4
- Fotologbuch

Gut zu wissen

Der Verdauungsapparat des Kaninchens hat einen ähnlichen Aufbau wie der von uns. Weil sich das Kaninchen aber nur vegetarisch ernährt, braucht die Nahrung dort mehr Platz und Zeit, damit Bakterien die Zellulose (welche für uns kaum nutzbar ist) in aufnehmbare Kohlenhydrate zerkleinern können. Dieser Unterschied in der Ernährung ist auch direkt im Bau des Verdauungsapparats erkennbar.

Fotologbuch

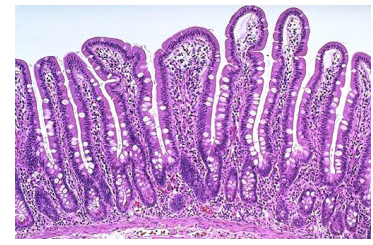
Nr.	Organ	Länge	Aufbau	Inhalt
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Auftrag 6 [90 min]

Mikroskopische Darstellung der Verdauungsorgane

Lernaufgaben

1. Lass dir von der Lehrperson eine kurze Einführung in die Handhabung des Mikroskops geben. Wenn du magst, kannst du dich vorher oder nachher über die Bauteile und ihre Funktionen informieren (siehe Text „Das Lichtmikroskop“).
2. Wähle eines der beiden verfügbaren Präparate – Magen oder Dünndarm – aus und betrachte es ausführlich unter dem Mikroskop. Beginne mit der kleinsten Vergrößerung, um einen Überblick zu erhalten. Arbeite dich danach durch die verschiedenen Vergrößerungen und versuche, so viele Details wie möglich zu erkennen.
3. Trage die von dir erkannten Details in einer möglichst präzisen Zeichnung zusammen. Zeichne dabei nicht einfach das Präparat ab, sondern übernehme nur die von dir klar erkannten Strukturen. Bei Unsicherheiten kannst du jederzeit bei der Lehrperson nachfragen. Nimm dir dafür etwa eine Lektion Zeit.
4. Studiere die Abbildung zu deinem Präparat und versuche, möglichst viele der nummerierten Strukturen deiner Zeichnung zuzuordnen. Stelle dein Ergebnis der Lehrperson vor.
5. Wähle sechs Strukturen aus der Abbildung aus und informiere dich im Internet über ihre jeweilige Funktion in deinem gezeichneten Organ. Ergänze danach die Abbildung, indem du zu jeder der sechs Strukturen ihre entsprechende Funktion notierst.
6. Versuche dich an die wichtigsten Funktionen deines gezeichneten Organs zu erinnern (siehe auch Auftrag 4 und 7). Findest du alle diese Funktionen in deiner ergänzten Abbildung? Falls nein, versuche die Struktur zu finden, welche für die noch fehlende Funktion verantwortlich ist und ergänze deine Abbildung. Stelle dein Ergebnis der Lehrperson vor.
7. Füge die ergänzte Abbildung und deine Skizze an die korrekten Stellen in dein 3D-Modell „Mensch“ ein.



Lernziele

- Ein mikroskopisches Präparat genau betrachten u. zeichnen
- Zusammenhänge von Aufbau und Funktion beschreiben

Produkte

- Mikroskopische Zeichnung zum Magen oder Dünndarm
- Ergänztes 3D-Modell „Mensch“ (Prezi)

Material

- Mikroskop
- Präparat vom Magen oder Dünndarm
- Abbildung zum Präparat

Gut zu wissen

Jedes Organ ist aus verschiedenen Geweben aufgebaut. So besitzt z.B. der Magen eine mehrschichtige Wand aus Schleimhaut, Bindegewebe und Muskelgewebe. Blutgefäße und Nerven verbinden ihn mit den Versorgungssystemen (Kreislauf- und Nervensystem). Die Gewebe werden nach ihrem Bau und ihrer Funktion in verschiedene Gewebetypen eingeteilt. Jeder Typ umfasst Gewebearten, die in gewissen Merkmalen übereinstimmen. Z.B. können sich alle Arten von Muskelgeweben verkürzen. Eine Gewebeart erfüllt in verschiedenen Organen die gleiche Aufgabe und besteht aus vielen, meist gleichartigen Zellen (aus: *Humanbiologie 1, 2013, S. 9, Compendio, Zürich*).

Das Lichtmikroskop

Das Wort *Mikroskop* stammt aus dem Griechischen und setzt sich aus zwei Wörtern zusammen: *mikros* bedeutet “klein” und *skopein* bedeutet “betrachten”. Das Mikroskop ist also ein Instrument, das es ermöglicht, sehr kleine Objekte vergrößert anzusehen. Viele Objekte, besonders im Bereich der Chemie und Biologie, könnten ohne Mikroskope nicht erforscht werden. Erst durch das Mikroskop konnte der Mensch z.B. Massnahmen gegen Krankheiten wie Pest, Pocken, Tuberkulose und Milzbrand entwickeln. Grundsätzlich unterscheidet man drei verschiedene Typen: das *Lichtmikroskop* (LM), das *Transmissionselektronenmikroskop* (TEM) und das *Rasterelektronenmikroskop* (REM). Mit dem Lichtmikroskop kann man Objekte durch optische Abbildung mit Linsen vergrößern: Das vom Objekt kommende Licht wird durch eine Kombination von mindestens zwei Linsensystemen optisch abgebildet, wobei das reale Zwischenbild analog zur Lupe vergrößert betrachtet wird. Die Vergrößerung kann dabei der jeweiligen Aufgabenstellung angepasst werden.

Der niederländische Brillenmacher *Hans Janssen* und sein Sohn *Zacharias* werden häufig als die Erfinder des ersten zusammengesetzten Mikroskopes im Jahr 1590 genannt. *Antoni van Leeuwenhoek* (1632 – 1723) gelang es, Linsen mit etwa 270facher Vergrößerung zu konstruieren und damit erfolgreich wissenschaftlich zu arbeiten. Der Physiker *Ernst Abbe* (1840 – 1905) erarbeitete wesentliche wissenschaftliche Grundlagen zum Bau von Mikroskopen und produzierte zusammen mit *Carl Zeiss* Mikroskope in dessen optischen Werkstätten. Der prinzipielle Aufbau ist bei allen aufrechten Durchlichtmikroskopen identisch: Der **Objektträger (4)**, auf welchem sich das zu untersuchende Präparat befindet, wird auf den **Objekttisch (5)** gebracht und dort bei einfacheren Mikroskopen durch Objektklemmen fixiert. Besser ausgestattete Mikroskope verfügen über einen so genannten Kreuztisch bzw. einen Objektführer mit mittig angeordneten Trieben. Ein derartiger Kreuztisch bietet zwei Vorteile. Einerseits ermöglicht er eine komfortable, feinfühlig und exakte Führung des Objektträgers, zum anderen verfügt er über ein Messgerät, wodurch sich bestimmte Stellen im Präparat immer wieder auffinden lassen. Von der im **Mikroskopfuss (8)** befindlichen **Lichtquelle (7)** ausgehend passiert das Licht zunächst eine ebenfalls im Fuss befindliche Sammellinse (Kollektor). Über dem Kollektor befindet sich die Leuchtfeldblende, welche für die Einstellung der Köhlerschen Beleuchtung notwendig ist. Der weitere Weg des Lichts führt über den **Kondensator (6)** und den Objektträger in das **Objektiv (3)**, welches das mikroskopische Zwischenbild entwirft. Der Mikroskopbenutzer beobachtet das Zwischenbild durch das **Okular (1)**, welches in den Stutzen des **Tubus (2)** eingeführt ist. Um zwischen verschiedenen Vergrößerungen wechseln zu können, besitzt das Mikroskop einen Objektivrevolver, der meist 4 bis 6 Bohrungen für die Aufnahme von Objektiven besitzt. Durch Drehen am Revolver wird zwischen den einzelnen Objektiven gewechselt. Die Fokussierung des Präparates erfolgt durch zwei mittig angeordnete Triebe, dem **Grobtrieb (11)** und dem **Feintrieb (10)**.

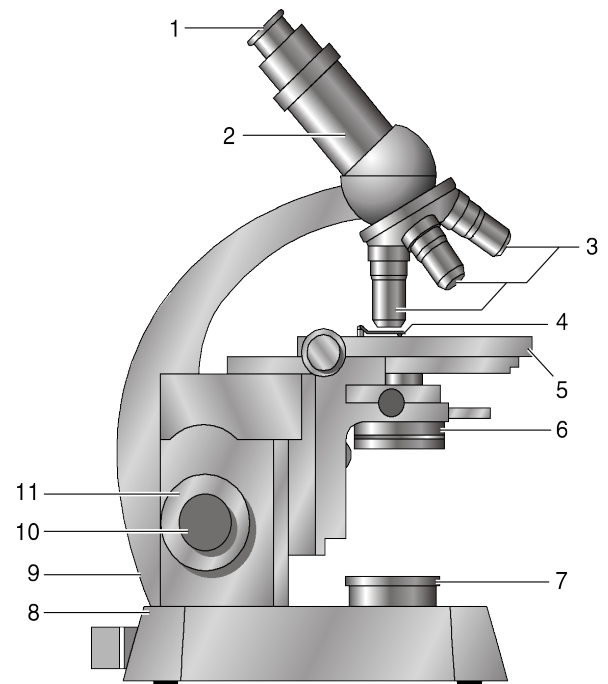
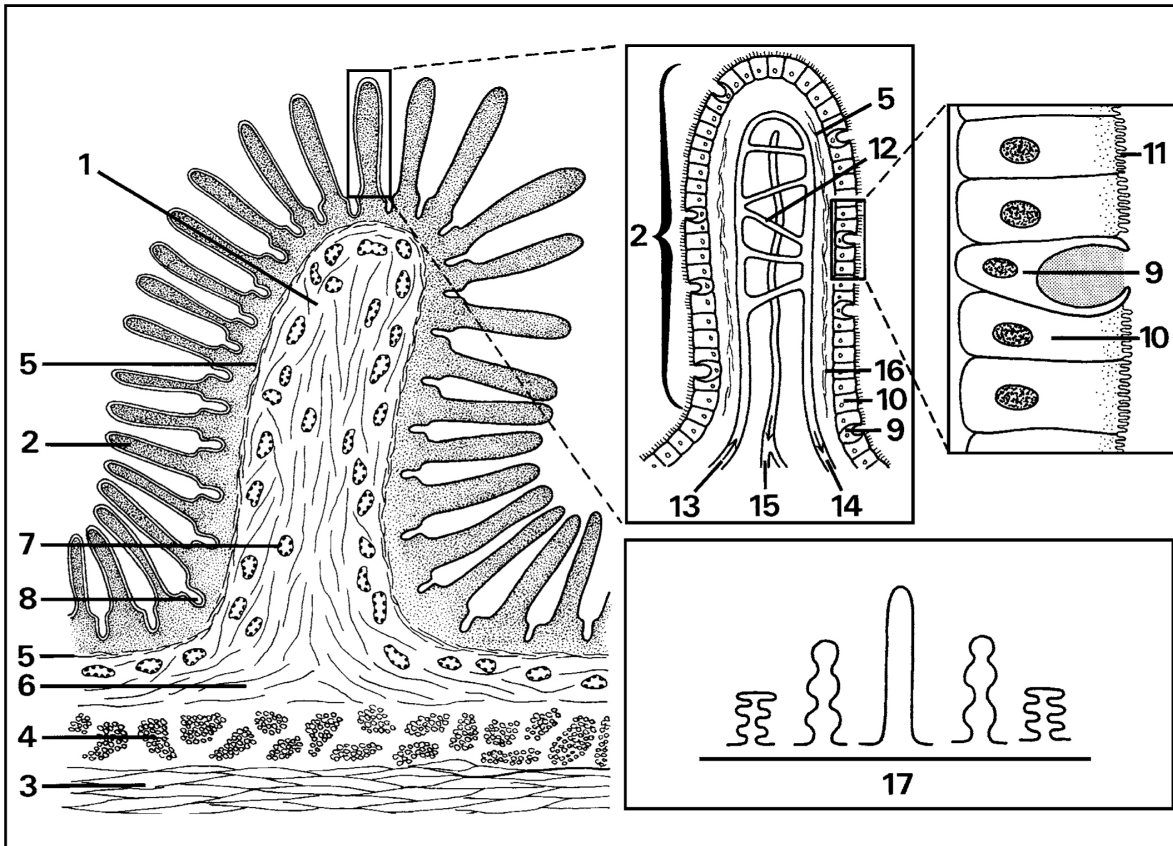
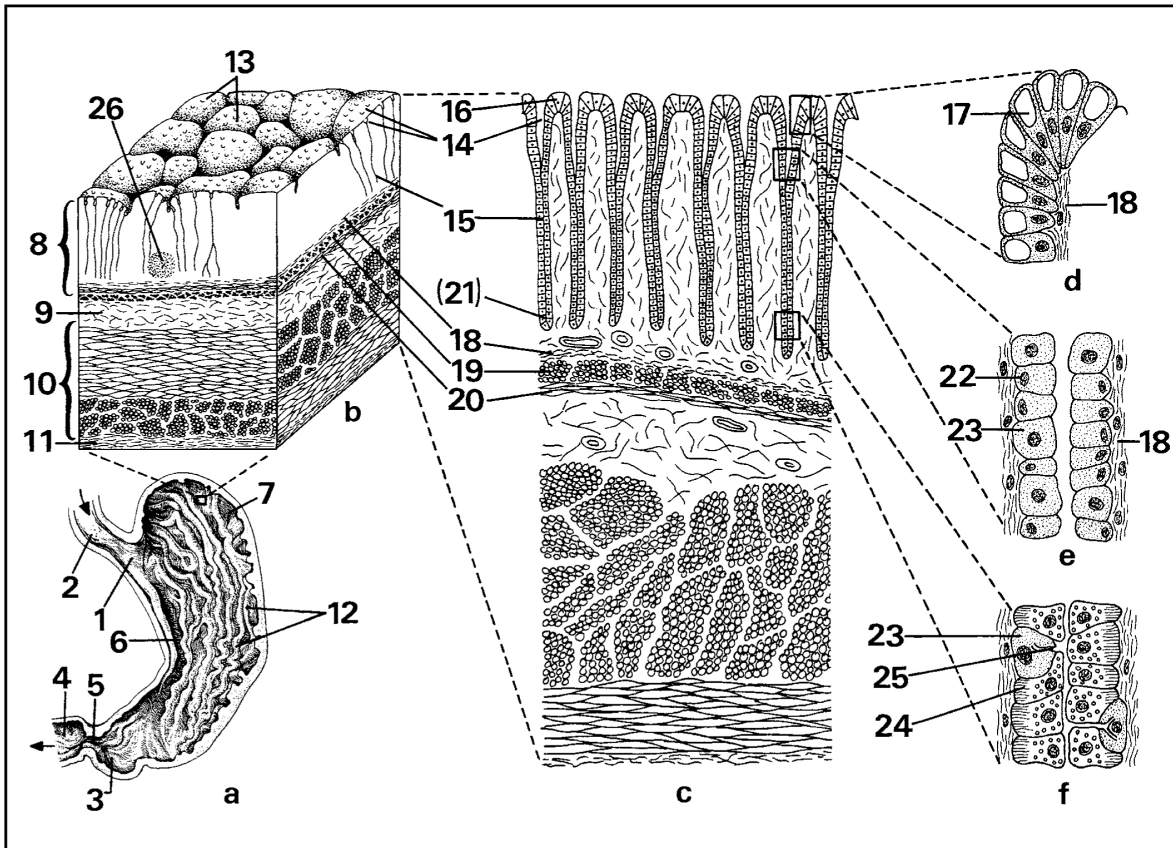


Abbildung zum Dünndarm



- | | | |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1 Falten | 7 Dünndarmdrüsen | 13 Arterien |
| 2 Zotten | 8 Krypten | 14 Venen |
| 3 Längsmuskulatur | 9 Becherzellen | 15 Lymphgefäß |
| 4 Ringmuskulatur | 10 resorbierende Zellen | 16 Längsmuskelzellen |
| 5 Schleimhautmuskulatur | 11 Mikrovilli | |
| 6 Verschiebeschicht | 12 Kapillargeflecht | |

Abbildung zum Magen



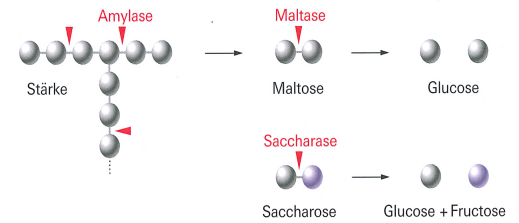
- | | | | | | |
|---|-----------------|----|---------------------|----|----------------------|
| 1 | Cardia | 10 | Muscularis externa | 19 | Ringmuskeln |
| 2 | Speiseröhre | 11 | Serosa | 20 | Längsmuskeln |
| 3 | Pfortner | 12 | Falten | 21 | Fundus |
| 4 | Zwölffingerdarm | 13 | warzenf. Oberfläche | 22 | Nebenzellen |
| 5 | Pfortnermuskel | 14 | Magengrübchen | 23 | Belegzellen |
| 6 | Magenstrasse | 15 | Magendrüsen | 24 | Hauptzellen |
| 7 | Fundus | 16 | Säulenepithel | 25 | Interzell. Kanälchen |
| 8 | Mucosa | 17 | Schleim | 26 | Lymphknötchen |
| 9 | Submucosa | 18 | Bindegewebsschicht | | |

Auftrag 7 [2 Stunden]

Chemische Zerlegung der Nahrung in Nährstoffe

Lernaufgaben

1. Lies den Text unter „Gut zu wissen“ konzentriert durch. Hast du alles verstanden? Falls nicht, frage bei der Lehrperson nach.
2. Studiere die Abbildung 10-22 (S. 149) in deinem Buch. Kannst du mithilfe des oben erwähnten Textes erklären, was dargestellt ist? Falls nicht, informiere dich im Buch über die Verdauungsprozesse im Mund (S. 134, Kapitel 10.2.4), im Magen (10.3.2 B), im Dünndarm (10.4 D) und im Dickdarm (10.5 C). Wende dich bei Unklarheiten an die Lehrperson.
3. Erstelle mithilfe der oben erwähnten Abbildung drei Videos, in welchen du die Zerlegung der drei dargestellten Inputs (Kohlenhydrate, Proteine und Fette) in die einzelnen Nährstoffe detailliert beschreibst. In jedem Video muss klar ersichtlich sein: (a) an welchen Orten (b) mit welchen Substanzen (c) was passiert und (d) wie diese Orte miteinander verbunden sind. Benutze dazu den Modellbaukasten und kommentiere alles live.
4. Wieso ist deine Lieblingsfrucht süßer als dein Lieblingsmüesli (ohne Zucker)? Wieso schmeckt Brot süßlich, wenn man es eine Weile im Mund kaut? Wenn du die beiden Fragen beantworten kannst, hast du das Prinzip der Verdauung verstanden.
5. Erkennst du Zusammenhänge zwischen der Abbildung 10-22 und der Tabelle „Input-Output-Messung Mensch“ (siehe Auftrag 1-3)? Worin liegen die Unterschiede? Wieso gibt es diese Unterschiede? Präsentiere deine Antworten der Lehrperson.
6. Füge die Videos an die korrekten Stellen in dein 3D-Modell „Mensch“ ein.



Lernziel

- Chemische Verdauungsprozesse in einem Modell darstellen und erklären

Produkte

- Eigenes Modell zur Verdauung (drei Videos)
- Ergänztes 3D-Modell „Mensch“ (Prezi)

Material

- Buch „Humanbiologie 1“
- Modellbaukasten

Gut zu wissen

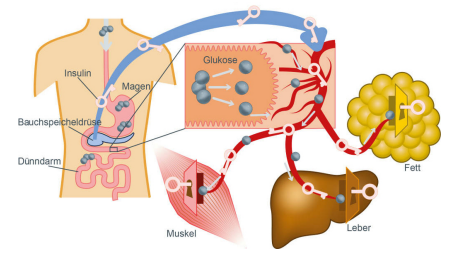
Die Verdauung zerlegt die Nahrung in Nährstoffe (z.B. Glucose, Aminosäuren, Fettsäuren), die anschließend ins Blut aufgenommen und zu den Zellen transportiert werden. Die Zerlegung beginnt mit der mechanischen Zerkleinerung der Nahrung und endet mit der chemischen Spaltung der Makromoleküle in kleine Moleküle. Die Spaltung eines Makromoleküls in seine Bausteine geschieht in mehreren Schritten an verschiedenen Orten des Verdauungstrakts. Jeder Arbeitsschritt wird von einem bestimmten Enzym katalysiert, das nur unter bestimmten Bedingungen arbeiten kann. Die Namen der Verdauungsenzyme enden mit *-ase*. Sie werden abgeleitet aus dem Namen des Substrats, dessen Spaltung sie katalysieren: z.B. Saccharase spaltet Saccharose (*aus: Humanbiologie 1*).

Auftrag 8 [2 Stunden]

Verarbeitung der Nährstoffe im Körper

Lernaufgaben

1. Lies den Text unter „Gut zu wissen“ konzentriert durch. Hast du alles verstanden? Falls nicht, frage bei der Lehrperson nach.
2. Erstelle auf einem separaten Blatt eine GROSSE Skizze, welche alle in diesem Text erwähnten Orte und Vorgänge übersichtlich darstellt. Präsentiere dein Ergebnis der Lehrperson.
3. Informiere dich im Buch über die Regulation des Glykogenauf- und abbaus (S. 145). Erstelle danach mithilfe der Abb. 10-19 ein Video, in welchem du diese Regulation detailliert beschreibst. Es muss klar ersichtlich sein: (a) an welchen Orten (b) mit welchen Substanzen (c) was passiert und (d) wie diese Orte miteinander verbunden sind. Benutze dazu den Modellbaukasten und kommentiere alles live. Frage bei der Lehrperson sofort nach, falls du etwas nicht verstanden hast.
4. Mache dasselbe zum Aminosäurenstoffwechsel (S. 145) und zum Betriebsstoffwechsel (S. 122). Wenn du die Abb. 10-20 (S. 146) und Abb. 9-8 (S. 122) der Lehrperson erklären kannst, hast du das Prinzip des Stoffwechsels verstanden.
5. Vergleiche deine Skizze aus Aufgabe 2 mit der Abb. 9-1 (S. 111) im Buch. Erkennst du Gemeinsamkeiten? Übertrage in die Skizze diejenigen Begriffe und Strukturen aus der Abbildung, die du nun aus dem Textstudium kennst. Kannst du deine Skizze mit weiteren Details aus den gelesenen Texten ergänzen?
6. Erkennst du Zusammenhänge zwischen deiner Skizze und der Tabelle „Input-Output-Messung Mensch“ (siehe Auftrag 1-3)?
7. Füge die Skizze und die Videos an die korrekten Stellen in dein 3D-Modell „Mensch“ ein.



Lernziel

- Verschiedene Stoffwechselprozesse in Modellen darstellen und erklären

Produkte

- Eigenes Modell zum Stoffwechsel (Skizze)
- Drei eigene Modelle zur Verarbeitung der Nährstoffe (Videos)
- Ergänzt 3D-Modell „Mensch“ (Prezi)

Material

- Buch „Humanbiologie 1“
- Modellbaukasten

Gut zu wissen

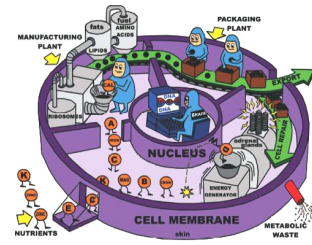
Die bei der Verdauung zerlegte Nahrung wird über die Pfortader der Leber zugeführt. Ein grosser Teil der Nährstoffe (v.a. Glucose) wird über die Lebervene weiter zu den Zellen transportiert und dort im Betriebsstoffwechsel (v.a. in den Mitochondrien) zur Energiegewinnung abgebaut. Der andere Teil wird in der Leber umgewandelt (u.a. für den Baustoffwechsel) und dort gespeichert oder wieder zu den Zellen transportiert. Die Leber ist also nicht nur Produzentin der Galle (siehe Auftrag 4 und 7), sondern auch ein wichtiges Zentrum des Stoffwechsels (siehe auch Auftrag 3).

Auftrag 9 [2 Stunden]

Mikroskopische Darstellung von Zellen

Lernaufgaben

1. Lies im Text „Zellstrukturen und ihre Funktionen“ die Beschreibung zur Zellmembran konzentriert durch. Frage die Lehrperson, falls du etwas nicht verstanden hast. Stelle danach diese Struktur mithilfe des Modellbaukastens so dar, dass ihr Aufbau und ihre Funktion(en) klar ersichtlich werden.
2. Mache dasselbe mit allen folgenden Textabschnitten, so dass du am Schluss EINE GROSSE dreidimensionale Zelle mit der ganzen „Ausstattung“ vor dir liegen hast. Beschrifte alle Strukturen und mache ein Foto von deinem Zellmodell.
3. Teste dein Modell: Was geschieht mit den drei Nährstoffen Glucose, Aminosäuren und Fettsäuren in einer Leberzelle? Zeichne den Weg der drei Substanzen möglichst exakt mit drei verschiedenen Farben direkt in dein Foto und beschreibe die dabei ablaufenden Vorgänge mit Stichworten. Es muss klar ersichtlich sein: (a) an welchen Orten (b) mit welchen Substanzen (c) was passiert und (d) wie diese Orte miteinander verbunden sind. Falls du die Frage nicht beantworten kannst, studiere nochmals die Aufträge 7 und 8. Falls dies nicht weiterhilft, lies nochmals den Text zu den Zellstrukturen oder frage die Lehrperson.
4. Hole die Lösung bei der Lehrperson, vergleiche sie mit deiner und überarbeite – falls nötig – dein Foto.
5. Wie zufrieden bist du mit deinem Zellmodell? Ist es ein gutes Modell? Wieso (nicht)? Was macht ein gutes Modell aus?
6. Füge das bearbeitete Foto an die korrekte Stelle in dein 3D-Modell „Mensch“ ein.



Lernziel

- Aufbau und Funktionen von Zellstrukturen in einem Modell darstellen und erklären

Produkte

- Eigenes Zellmodell (Foto)
- Ergänztes 3D-Modell „Mensch“ (Prezi)

Material

- Buch „Humanbiologie 1“
- Text „Zellstrukturen und ihre Funktionen“
- Modellbaukasten

Gut zu wissen

Dünndarmzellen, Leberzellen, Muskelzellen – die verschiedenen Zellen eines Lebewesens unterscheiden sich zwar in Grösse und Form, stimmen aber im grundsätzlichen Aufbau weitgehend überein. Auch verschiedenartige Lebewesen unterscheiden sich meist nicht im Aufbau ihrer Zellen, sondern in deren Anzahl und Anordnung. Eine Zelle enthält viele Strukturen und Organellen, die ähnlich wie die Organe im Körper bestimmte Aufgaben erfüllen. Mit einem Lichtmikroskop kann man Organellen erkennen, welche grösser als $\frac{1}{10'000}$ mm ($0.1 \mu\text{m}$) sind. Dazu gehören z.B. der Zellkern und die Mitochondrien (aus: *Humanbiologie 1*, 2013, S. 22, Compendio).

Zellstrukturen und ihre Funktionen

Jede Zelle ist von einer Membran umgeben und enthält Zellbestandteile, die man Organellen nennt. Jedes Organell hat eine bestimmte Funktion. Einige Organellen sind daran beteiligt, Energie aus den Nährstoffen der Nahrung, die du zu dir nimmst, zu gewinnen und so umzuwandeln, dass deine Körperzellen sie nutzen können. Andere Organellen dienen dazu, die genetische Information zu speichern, die deinen Bauplan enthalten, der dich von anderen Tieren wie Gorillas oder Kolibris unterscheidet. Und wieder andere Proteine sind für die Bildung von Proteinen verantwortlich, welche es der Zelle ermöglichen, ihre zahlreichen Aufgaben zu erledigen.

Die Zellmembran

Jede Zelle hat eine dünne Aussenschicht – die Zellmembran. Sie umgibt das Innere der Zelle und trennt sie von anderen Zellen und der Umgebung ab. Die Zellmembran bestimmt, welche Stoffe in eine Zelle hinein- und welche herausgelassen werden. So lässt die Zellmembran beispielsweise Nährstoffe und Sauerstoff aus der Umgebung in die Zelle herein, während sie Kohlendioxid und andere Abfälle aus dem Inneren der Zelle hinausbefördert.

Die Zellmembran besteht aus verschiedenen Molekülen, den Proteinen und Fetten, die nach einem bestimmten Muster angeordnet sind. Du kannst dir die Zellmembran als zwei Schichten oder Lagen von Fettmolekülen vorstellen, in denen verschiedenartige Proteine stecken. Jedes Fettmolekül hat ein Kopf- und ein Schwanzteil. Der Kopfteil des Fettmoleküls ist wasseranziehend, während der Schwanzteil wasserabweisend ist. In der wässrigen Umgebung der Zelle neigen die Schwanzteile also dazu, sich - vom Wasser abgestossen - zusammenzuschließen. Die Kopfteile dagegen positionieren sich so, dass sie der wässrigen Umgebung zugewandt sind. In der doppelschichtigen Zellmembran zeigen die Schwanzteile also nach innen und die Kopfteile nach aussen.

Diese Anordnung der Fett-Doppelschicht bewirkt, dass Wasser und Moleküle, die im Wasser gelöst sind, zwar bis zur Zellmembran kommen können, aber nicht ohne Weiteres durchgelassen werden. Wegen der Doppelschicht können Wassermoleküle nur durch Proteinkanäle, die in der Membran verankert sind, auf die andere Seite der Membran. Andere Moleküle, die im Wasser gelöst sind, können ebenfalls nur durch diese Proteinkanäle in die Zelle hinein oder aus der Zelle heraus. Die Doppelmembran der Zelle hilft also, das Milieu innerhalb der Zelle zu kontrollieren. Die Proteine der Zellmembran entscheiden dabei, welche Stoffe in die Zelle hinein oder aus der Zelle heraus dürfen.

Zytoplasma

Das Zytoplasma und die Organellen liegen innerhalb der Zelle. Das Zytoplasma ist eine wässrige Flüssigkeit, welche Wasser und andere chemische Substanzen enthält. Einige dieser chemischen Substanzen findet man innerhalb des Zytoplasmas, während sich andere Substanzen in der Nähe der Membran, am Rande des Zytoplasmas, befinden. Da Zytoplasma flüssig ist, kann die Zelle ihre Form ändern, vergleichbar mit einem wassergefüllten Luftballon.

Zellkern

Der Zellkern ist das wichtigste Organell einer Zelle. Er ist das Informationszentrum der Zelle und kümmert sich um die Zellaktivitäten. Der Zellkern ist durch eine Doppelmembran vom Zytoplasma abgegrenzt und enthält das Erbgut der Zelle in Form von DNA (Desoxyribonukleinsäure). Auf der DNA befinden sich die Gene, welche bestimmen, wie Zellen aussehen, was sie tun und wie sie funktionieren. Benötigt die Zelle eine dieser Informationen, wird der entsprechende Abschnitt kopiert. Die Kopie, genannt mRNA, verlässt dann den Zellkern und geht zu den Ribosomen ins Zytoplasma.

Mitochondrien

Mitochondrien sind ebenfalls von einer Doppelmembran umschlossen und funktionieren als „Kraftwerke“ der Zelle. Sie haben die Aufgabe, aus Sauerstoff und den Nahrungsmitteln, die du zu dir nimmst (v.a. Glucose), Energie bereitzustellen, so dass sie für die Zelle brauchbar wird. Dafür brechen sie die chemischen Verbindungen von Nährstoffen auf und produzieren das Molekül ATP (Adenosintriphosphat). Die energiereiche Verbindung ATP kann in begrenztem Umfang gespeichert werden und wird immer dann verwendet, wenn die Zelle etwas herstellen oder sonstige Aufgaben erfüllen muss. Bei Bedarf wird ATP sehr schnell nachproduziert.

Ribosomen

Ribosomen sind die „Proteinfabriken“ der Zelle, d.h. sie stellen Proteine (z.B. Enzyme) aus Aminosäuren her. Dazu benötigen sie die Anleitung auf der mRNA. Werden die Proteine für das Zytoplasma oder die Mitochondrien gebraucht, läuft die Proteinsynthese an freien Ribosomen im Zytoplasma ab. Sind die Proteine für den Export oder die Zellmembran bestimmt, docken die freien Ribosomen auf ein Signal hin an das Endoplasmatische Retikulum (ER) an und sind damit nicht mehr frei. Ribosomen bestehen selbst auch aus Proteinen und setzen sich aus einer grösseren und einer kleineren Untereinheit zusammen. Allerdings lagern sich die beiden Untereinheiten erst dann zusammen, wenn die Synthese startet, d.h. wenn sich eine mRNA anlagert, deren Information in ein Protein übersetzt werden soll.

Endoplasmatisches Retikulum (ER)

Das Endoplasmatische Retikulum besteht aus einer Reihe gefalteter Membranen und hat die Aufgabe, Stoffe innerhalb der Zelle zu transportieren. Das ER ist auch dafür zuständig, verschiedenartige Membranen zu produzieren, wie z.B. die äussere Zellmembran, die mitochondriale Membran und die Zellkernmembran. Es werden zwei Hauptarten von ER unterschieden: raues ER und glattes ER. Auf der Oberfläche des rauhen ER sitzen Ribosomen, welche Proteine für den Export produzieren. Glattes ER hat keine solchen Ribosomen, aber es verändert Proteine, die von dem rauhen ER zusammengesetzt wurden, bevor sie an den Golgi-Apparat weitergegeben werden.

Golgi-Apparat

Der Golgi-Apparat ist die „Poststation“ der Zelle. Er lagert, bündelt und verteilt die Proteine, die aus dem ER kommen entsprechend ihren Adressaufklebern. Sie werden dann in Bläschen (Vesikel) verpackt und entweder in die Zellmembran integriert oder für den Export ausgeschleust (z.B. Hormone). Der Golgi-Apparat besteht aus einer Reihe flacher Säckchen. Wenn du einen Golgi-Apparat mit Hilfe eines sehr stark vergrößernden Mikroskops anschaust, scheinen diese Säckchen aufeinandergestapelt zu sein. Der Boden des Stapels liegt in der Nähe des Zellkerns oder eines Teils des ER. Die Oberseite des Stapels liegt näher an der äusseren Zellmembran.

Lysosomen

Die Lysosomen sind dazu da, alles Mögliche abzubauen, was nicht oder nicht mehr benötigt wird. Zu diesem Zweck besitzen sie zahlreiche Enzyme und ein saures Milieu (ca. pH 5). Die entstehenden Bruchstücke werden ins Zytoplasma abgegeben und dienen als Bausteine für neue Moleküle.

nach: biologie.oncampus.de/loop/Zellteile_und_ihre_Funktion, thieme.de/viamedici/vorklinik-faecher-biochemie-1511/a/faecher-zellorganellen-17013.htm

Auftrag 10 [3 Stunden]

Die Reise eines Moleküls durch den Organismus

Lernaufgaben

1. Lies den Fachartikel „Wie Alkohol zu Kopfe steigt“ konzentriert durch und fasse den Inhalt in einem Satz zusammen. Es macht nichts, wenn du noch nicht alles verstehst!
2. Der vorliegende Artikel führt uns durch drei Betrachtungsebenen von den Molekülen Alkohol und Glucose über die Hirnzellen bis zum Kreislaufsystem. Damit du genau nachvollziehen kannst, was wo passiert, kannst du versuchen, den Text in einem Modell darzustellen. Es sollte dabei klar ersichtlich sein: (a) an welchen Orten (b) mit welchen Substanzen (c) was passiert und (d) wie diese Orte miteinander verbunden sind. Lies also den Artikel nochmals und markiere jeden Begriff, der zu einer der vier Kategorien (a) – (d) gehört, mit einer entsprechenden Farbe (z.B. gelb für alle Orte, grün für alle Substanzen etc.).
3. Erstelle mithilfe aller markierten Begriffe eine GROSSE Skizze, indem du zuerst alle Orte einzeichnest und diese miteinander verbindest, danach eine Legende mit allen Substanzen erstellst und am Schluss den Weg jeder Substanz einzeichnest und die dabei ablaufenden Vorgänge mit Stichworten beschreibst. Du hast soeben zu einem anspruchsvollen Fachartikel ein übersichtliches Modell erstellt.
4. Kannst du mithilfe deines Modells den Textinhalt nun detailliert der Lehrperson erklären? Falls nein, gehe zurück zu Punkt 2.
5. Das Tolle an Modellen ist, dass man damit nicht nur einen Textinhalt, sondern auch sein Wissen ordnen kann: Ergänze deine Skizze mit weiteren Orten, Verbindungen, Substanzen und Vorgängen, die du in den letzten Wochen kennengelernt hast.
6. Teste dein Modell: Welchen exakten Weg beschreitet der Alkohol durch den Menschen und was genau passiert an den verschiedenen Orten (siehe auch Auftrag 4)? Zeichne die Antwort direkt in deine Skizze. Kannst du die Frage vollständig und ausführlich beantworten? Falls nein, findest du im Buch weitere Informationen über die Resorption der Nährstoffe (S. 130), über den Transport im Blut (S. 131) oder über die Entgiftung (S. 146).
7. Hole die Lösung bei der Lehrperson, vergleiche sie mit deiner und überarbeite – falls nötig – deine Skizze.
8. Wie zufrieden bist du mit deinem Modell zum Weg des Alkohols durch den Menschen? Wie gut konntest du damit den Fachartikel erklären bzw. die Frage zum exakten Weg beantworten? Wieso? Hast du Verbesserungsvorschläge?



Lernziele

- Einen Fachartikel analysieren
- Einen Fachartikel mithilfe eigenem Modell erklären

Produkt

- Eigenes Modell zum Weg des Alkohols durch den Menschen (Skizze)

Material

- Fachartikel „Wie Alkohol zu Kopfe steigt“
- Buch „Humanbiologie 1“

Gut zu wissen

Alkohol (C_2H_6O) ist in hoher Konzentration ein relativ starkes Gift. Er wird durch die Magen- und Dünndarmwand aufgenommen und grösstenteils in der Leber zu CO_2 und H_2O abgebaut oder in andere für den Körper nutzbare Stoffe umgewandelt. Bestimmte dabei gebildete Abbauprodukte führen zur Steigerung der Fettsäurebildung, was bei übermässigem Alkoholkonsum zu einer Fettleber führen kann. Ein Teil des Alkohols und gewisse Abbauprodukte (z.B. Acetaldehyd, Acetat) verlassen die Leber und wandern in die Gehirnzellen. Symptome akuter Alkoholvergiftung sind zunächst Erregung und Reflexsteigerung, später Muskeler Erschlaffung, verminderte Sprach- und Bewegungsfähigkeit und Tod durch Lähmung des Atemzentrums.

Wie Alkohol zu Kopfe steigt



Was nach dem Trinken von Alkohol im Gehirn passiert, haben Heidelberger und Würzburger Mediziner erstmals im Detail verfolgt. Kaum sechs Minuten, nachdem ihre Versuchsteilnehmer eine kräftige Dosis Ethanol getrunken hatten, kam dieser im Hirn an und rief bemerkenswerte Veränderungen hervor.

Foto: Universitätsklinikum Heidelberg

“Unsere Studie liefert erste Hinweise darauf, dass das Gehirn umschaltet und statt Glukose

ein Abbauprodukt des Alkohols zur Energiegewinnung nutzt”, erklärt Armin Biller von der Universitätsklinik Heidelberg. Das zugehörige Indiz ist ein Anstieg der Konzentration von Glukose (Traubenzucker) im Hirngewebe. Mit der Umstellung im Energiestoffwechsel könnte auch die Belastung der Hirnzellen durch aggressive Sauerstoffverbindungen steigen.

Biller und Kollegen führten ihre Studie mit 15 jüngeren Erwachsenen durch. Alle tranken, während sie in der Röhre eines Kernspintomografen lagen, eine Alkoholmenge, die ihren Blutalkoholgehalt rasch auf 0,5 bis 0,6 Promille klettern ließ. In den folgenden anderthalb Stunden nahmen die Forscher mehrmals Magnetresonanzspektren des Hirngewebes auf, um die Konzentrationen einzelner chemischer Verbindungen zu bestimmen. Wie sie im “Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism” berichten, reagierten weibliche und männliche Gehirne sehr ähnlich.

Mit dem Anfluten des Ethanols sank unter anderem die Konzentration der Aminosäure Aspartat – ein Anzeichen für eine verstärkte Tätigkeit der Mitochondrien, der Zellkraftwerke. Auch beim Cholin, einem Baustein der Zellmembran, war ein Rückgang zu erkennen. Möglicherweise spiegelt dies eine Veränderung der Zellmembranen unter Alkoholeinfluss wider, so die Forscher. Auf Veränderungen im Wassergehalt des Gewebes könnten die Effekte jedenfalls nicht zurückgeführt werden.

Einen Tag später hatte sich der Hirnstoffwechsel der Teilnehmer wieder vollständig normalisiert, so Biller weiter. “Wir vermuten jedoch, dass die Fähigkeit des Gehirns, sich von den Alkoholwirkungen zu erholen, mit zunehmendem Alkoholgenuss abnimmt bzw. erlischt.” Und vielleicht legten die beobachteten akuten Effekte die Grundlage für dauerhafte Schäden, wie sie sich bei alkoholabhängigen Menschen einstellten.

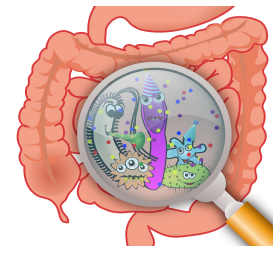
Forschung: Armin Biller, Andreas J. Bartsch, György Homola, László Solymosi und Martin Bendszus, Abteilung Neuroradiologie, Neurologische Universitätsklinik, Heidelberg, und Abteilung Neuroradiologie, Universitätsklinikum Würzburg

Auftrag 11 [3 Stunden]

Der Mensch als Ökosystem

Lernaufgaben

1. Inwiefern kann ein einzelnes Lebewesen (z.B. der Mensch) ein ganzes Ökosystem sein? Kennst du konkrete Beispiele? Stelle deine Antwort der Lehrperson vor.
2. Wähle aus den angebotenen Fachartikeln denjenigen aus, der dich am meisten interessiert. Lies ihn konzentriert durch und markiere dabei mit vier verschiedenen Farben (a) alle Orte, (b) alle Substanzen, (c) alle Vorgänge und (d) alle Verbindungen zwischen den Orten (siehe auch Auftrag 10).
3. Erstelle mithilfe aller markierten Begriffe eine GROSSE Skizze, indem du zuerst alle Orte einzeichnest und diese miteinander verbindest, danach eine Legende mit allen Substanzen erstellst und am Schluss den Weg jeder Substanz einzeichnest und die dabei ablaufenden Vorgänge mit Stichworten beschreibst. Du hast soeben zu einem anspruchsvollen Fachartikel ein übersichtliches Modell erstellt.
4. Kannst du mithilfe deines Modells den Textinhalt nun detailliert der Lehrperson erklären? Falls nein, gehe zurück zu Punkt 2.
5. Erarbeite auf dieselbe Weise einen zweiten Artikel deiner Wahl.
6. Das Tolle an Modellen ist, dass man damit nicht nur einen Textinhalt, sondern auch sein Wissen ordnen kann: Ergänze eine deiner beiden Skizzen mit weiteren Orten, Verbindungen, Substanzen und Vorgängen, die du in den letzten Wochen kennengelernt hast.
7. Teste deine Modelle: Setze dich mit einem(r) Mitschüler(in) zusammen und stellt euch gegenseitig Fragen zum gesamten Stoffgebiet dieses Projekts. Falls du magst, kannst du deine Modelle mit euren Antworten ergänzen.
8. Zurück zum Anfang: Kannst du erklären, was der Begriff „Ökologie“ mit unserer Tabelle „Input-Output-Messung Mensch“ (siehe Auftrag 1-3) zu tun hat? Stelle deine Antwort der Lehrperson vor.



Lernziele

- Zwei Fachartikel analysieren
- Zwei Fachartikel mithilfe eigener Modelle erklären

Produkte

- Zwei eigene Modelle zur Darmflora des Menschen (zwei Skizzen)

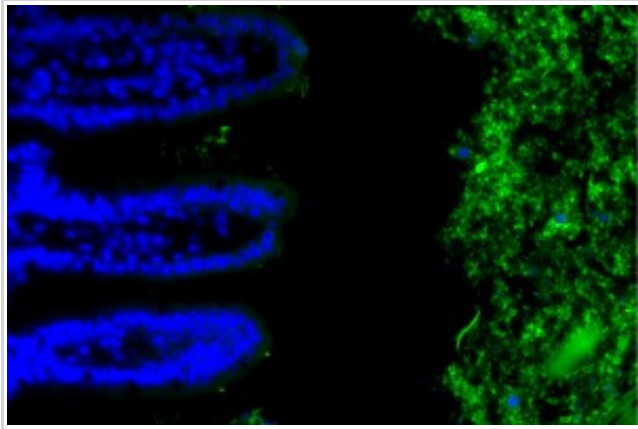
Material

- Mehrere Fachartikel zum Thema „Darmbakterien“

Gut zu wissen

Die Ökologie befasst sich mit den Beziehungen zwischen den Organismen und ihrer belebten und unbelebten Umwelt sowie mit dem Stoff- und Energiehaushalt der Erde und ihrer Ökosysteme. Ein Ökosystem ist ein mehr oder weniger deutlich abgegrenzter Bereich, in dem bestimmte Bedingungen herrschen und der viele verschiedenartige Lebewesen beherbergt. Lebensgemeinschaften sind dabei mehr als Ansammlungen von Organismen, denn auch hier gilt wie innerhalb der Lebewesen: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile (aus: *Ökologie, 2008, S. 12-14, Compendio, Zürich*).

Ein Minenfeld im Darm



Auf jede Körperzelle eines Menschen kommen zehn Bakterienzellen in seinem Darm. Wie sich das sensible Immunsystem mit dieser Mikroflora arrangiert, enthüllen Untersuchungen amerikanischer Forscherinnen. Im Dünndarm sorgt mit Abwehrmolekülen gespickter Schleim dafür, dass die Bakterien gar nicht erst an die Darmwand herankommen.

Im Dünndarm besteht eine rund 50 Mikrometer breite "verbotene Zone" zwischen Darmwand (blau angefärbte Zellkerne) und Darmbakterien (grün). Bild: Courtesy of Shipra

Derzeit werde allgemein angenommen, dass Darmbakterien fortwährend Kontakt mit der Darmwand hätten und das Immunsystem provozierten, schreiben die Forscherinnen um Lora Hooper von der University of Texas im Magazin "Science". Die neuen Resultate stützten dagegen die Hypothese, dass die räumliche Trennung von Mikroben und Darmwand einer überschießenden Abwehrreaktion vorbeuge und so ein für beide Seiten vorteilhaftes Zusammenleben ermögliche.

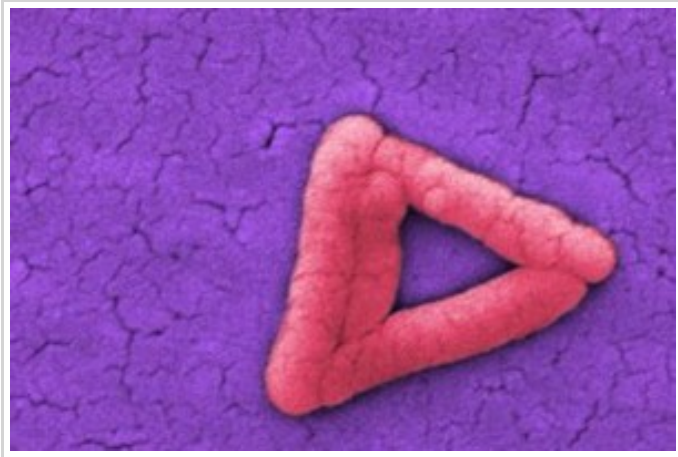
Hooper und ihre Gruppe studierten Dünndarmgewebe von Mäusen. Dieses hatten sie so vorbereitet, dass die Lage von Darmwand und Darmflora beim Anfertigen hauchdünner Gewebeschnitte erhalten blieb. Die mikroskopische Betrachtung dieser Schnitte enthüllte eine Art verbotener Zone an der Darmoberfläche: Nur wenige Bakterien kamen näher als 50 Mikrometer (Tausendstel Millimeter) an die Spitzen der Darmzotten heran oder schafften es gar in den Raum zwischen den Zotten, beobachteten die Forscherinnen.

Vor einiger Zeit war entdeckt worden, dass im Dickdarm eine zähflüssige Schleimschicht die Darmflora auf Abstand hält. Im Dünndarm, wo zäher Schleim die Nährstoffaufnahme behindern würde, wendet der Körper eine andere Strategie an, fanden Hooper und Kolleginnen. Hier geben die Zellen der Darmwand laufend ein Protein mit der Kurzbezeichnung Reg3gamma in den Schleim ab. Das Molekül aus der Gruppe der Lektine lagert sich an Bakterien an und tötet sie ab. Auf diese Weise wirkt der Schleim wie ein Minenfeld, das die Annäherung von Bakterien an die Wand des Dünndarms unterbindet.

Gesteuert wird die Bildung des Proteins wiederum über Rezeptoren des angeborenen Immunsystems, ermittelten die Forscherinnen. Blockierten sie diesen Signalweg, konnten die Bakterien den Raum zwischen den Dünndarmzotten besiedeln und Kontakt mit der Darmwand aufnehmen. Als Konsequenz vervielfachte sich die Zahl von Abwehrzellen in der Darmwand, die wiederum in großen Mengen Antikörper und Signalstoffe des Immunsystems ausschütteten.

Die stete Abgabe von Reg3gamma in den Dünndarmschleim könnte also von großer Bedeutung für ein problemloses Miteinander von Mensch und Darmbakterien sein, folgern Hooper und ihre Kolleginnen. Umgekehrt könnte eine Störung dieses Systems vielleicht zur Entstehung entzündlicher Darmerkrankungen beitragen, bei denen ein überaktives Immunsystem letzten Endes den Darm selbst schädigt.

Immunangriff hilft Salmonellen



Krankheitserregern ist normalerweise nicht daran gelegen, die Aufmerksamkeit von Abwehrzellen zu erregen. Nicht so Salmonellen, haben amerikanische und thailändische Mikrobiologen nachweisen können. Die Bakterien profitieren sogar vom Angriff des Immunsystems, weil dabei eine Schwefelverbindung entsteht, die sie exklusiv zur Energiegewinnung nutzen können.

EM-Aufnahme: Janice Haney Carr, Centers for Disease Control and Prevention

Die meisten anderen Darmbakterien vermögen diese Verbindung nicht zu veratmen, erläutern die Forscher um Andreas Bäumlner von der University of California, Davis, im Magazin "Nature". Als Resultat können sich die Salmonellen besonders rasch vermehren und die Darmflora förmlich überwuchern. Umso besser stehen ihre Chancen, über den Stuhl eines Infizierten weitere Wirte zu befallen.

Bäumlner und Kollegen führten ihre Versuche mit Mäusen durch, die sie mit Salmonella Typhimurium infizierten. Die Salmonellen attackieren die Darmwand und provozieren so eine entzündliche Gegenreaktion des Immunsystems. Unter anderem wandern Abwehrzellen aus der Gruppe der neutrophilen Granulozyten in den Darm ein und bekämpfen die Bakterien mit aggressivem Superoxid.

Die Forscher konnten zeigen, dass diese chemische Attacke einen für die Salmonellen günstigen Nebeneffekt hat. Die Sauerstoffverbindung und ihre Abkömmlinge greifen nicht nur Proteine und Nukleinsäuren an, sondern oxidieren auch im Darm vorhandenes Thiosulfat zum Tetrathionat ($S_4O_6^{2-}$). Diese Verbindung können die Salmonellen anstelle von Sauerstoff veratmen und so reichlich Energie gewinnen, während die übrigen Darmbakterien sich mit der wenig ergiebigen Gärung begnügen müssen.

Dass Salmonellen Tetrathionat verwerten können, ist schon seit rund 90 Jahren bekannt – und wird unter anderem bei der Lebensmittelkontrolle zur gezielten Fahndung nach den Keimen genutzt. Bislang war allerdings rätselhaft, welchen Vorteil Salmonellen aus ihrer besonderen Stoffwechselfähigkeit ziehen. Die neuen Resultate beantworten diese Frage und helfen darüber hinaus, die berühmt-berüchtigte Aggressivität von Salmonella Typhimurium zu verstehen: Erst die Attacke auf die Darmwand provoziert einen massiven Gegenangriff des Immunsystems und sorgt so dafür, dass die Bakterien im sauerstoffarmen Milieu des Darms gedeihen.

Schokolade wird erst durch Mikroben gesund



Dunkle Schokolade ist gesund - aber nur, wenn wir die richtige Darmflora haben.

© SXC

Schokolade ist nicht nur eine leckere Süßigkeit, sie hat – in Maßen genossen – auch eine positive Wirkung auf die Gesundheit. So verbessert sie die Flexibilität und Gesundheit der Gefäße, beugt Herz-Kreislauf –Erkrankungen vor und soll sogar das Gedächtnis fördern. Ursache für diese Effekte sind im Kakao enthaltene chemische Substanzen, darunter Polyphenole wie Katechin und Epikatechin. Diese komplexen Verbindungen wirken unter anderem als Antioxidantien und schützen Zellen so vor Schäden durch aggressive Moleküle.

Darmpassage im Labor nachgestellt

Wie diese Inhaltsstoffe vom Darm an ihren Wirkort gelangen und welche Rolle die Darmflora dafür spielt, war bisher allerdings nicht bekannt. John Finley und seine Kollegen von der Louisiana State University in Baton Rouge sind in einem Experiment nun dieser Frage nachgegangen. Für ihre Studie bauten die Forscher den Verdauungstrakt des Menschen samt einiger typischer Darmmikroben im Labor nach.

In Kulturgefäßen setzten sie Lösungen an, die dem Milieu im Magen sowie in verschiedenen Darmabschnitten entsprachen. Der letzte Schritt bestand dabei aus einer anaeroben Fermentation in einer Nährlösung, die mit menschlichen Fäkalbakterien versetzt war. Für den eigentlichen Test setzten die Wissenschaftler die schwer verdaulichen Bestandteile von drei verschiedenen Kakaomischungen nacheinander diesen Bedingungen aus. Nach Beginn des letzten Schritts analysierten sie alle sechs Stunden, wie sich der Gehalt an Abbauprodukten der langkettigen Polyphenole und der pH-Wert der Lösung verändert hatten.

Nur "gute" Mikroben mögen Schokolade

Dabei zeigte sich, dass die Zusammensetzung der Darmflora eine wichtige Rolle dafür spielt, wie gut die gesundheitsfördernden Bestandteile des Kakaos verdaut werden: Die Polyphenole und auch die in der Schokolade enthaltenen geringen Mengen Ballaststoffe sind schwer verdaulich. Erst die zersetzende Wirkung bestimmter Mikroben spaltet diese langkettigen Moleküle auf und setzt dabei die eigentlich wirksamen Substanzen frei, wie die Forscher erklären.



Milchsäurebakterien

© USDA

Allerdings funktioniert das nur, wenn auch die richtigen Bakterien zur Stelle sind: "Die guten Mikroben, darunter Bifido- und Milchsäurebakterien, schlagen sich geradezu den Bauch voll mit der Schokolade und zerlegen sie dabei in anti-entzündlich wirkende Verbindungen", sagt Finley. Erst diese kleineren Moleküle passieren dann die Darmwand und können ins Blut und an ihren Wirkungsort gelangen. Andere Bakterien in der Darmflora dagegen, darunter Clostridien und einige Escherichia coli-Stämme, verschmähen den kakaohaltigen Brei. Sie gelten zudem als Verursacher von Entzündungen, Blähungen und anderen Verdauungsstörungen.

Darmflora hält das Gehirn gesund



Damit das Gehirn reibungslos funktioniert, muss es vor Eindringlingen und Zellmüll geschützt werden

© thinkstock

Das Gehirn hat seine eigene Aufräumtruppe, die sogenannten Mikroglia-Zellen. Diese Fresszellen beseitigen eingedrungene Keime, entsorgen aber auch abgestorbene oder fehlgebildete Nervenzellen. Sie sind daher wichtige Helfer auch gegen die Bildung von schädlichen Proteinablagerungen beispielsweise bei Alzheimer. Wie die Reifung und Aktivierung dieser Zellen gesteuert wird, war bislang aber noch unklar.

Daniel Erny vom Universitätsklinikum Freiburg und seine Kollegen haben nun einen auf den ersten Blick unwahrscheinlichen Zusammenhang untersucht: Sie wollten wissen, welche Rolle die Darmflora für das Wohlergehen der Mikroglia im Gehirn spielt. Von diesen Bakterien ist bereits bekannt, dass sie Einfluss auf viele Aspekte unserer Gesundheit und sogar unseres Verhaltens haben.

Keine Darmflora – ungeschütztes Gehirn

Für ihre Studie untersuchten die Forscher Mäuse, die in einer komplett sterilen Umgebung aufgezogen und gehalten wurden und die dadurch keine eigene Darmflora besaßen. Wie sich zeigte, waren bei diesen Tieren auch die Mikroglia verkümmert und unreif und reagierten kaum auf Entzündungsreize im Gehirn. Ähnliches beobachteten die Wissenschaftler auch bei Mäusen, deren Darmflora durch Antibiotika abgetötet wurde: Auch sie wiesen eine gestörte Immunreaktion des Gehirns auf.

Das änderte sich schnell, wenn diese Mäuse in Kontakt mit gesunden Tieren kamen und sich ihre Darmflora normalisierte, wie die Forscher berichten. Nach kurzer Zeit hatten sich auch die Fresszellen des Gehirns erholt und funktionierten wieder. "Je größer die Vielfalt der Darmbakterien war, desto besser entwickelten sich auch die Mikroglia", fasst Studienleiter Marco Prinz vom Universitätsklinikum Freiburg zusammen.

Fettsäuren als Botenstoffe

Aber über welchen Weg beeinflussen die Darmbakterien das Wohlergehen der Mikroglia? Auch das haben die Forscher in ihren Mäuseversuchen herausgefunden. Demnach dienen kurzkettige Fettsäuren als Botenstoff zwischen Darmflora und Mikroglia. Diese werden bei der bakteriellen Verwertung von Ballaststoffen, Milchprodukten und weiteren Nahrungsmitteln produziert. Über das Blut gelangen sie wahrscheinlich ins Gehirn und helfen dort den Mikrogliazellen, Entzündungsreaktionen schnell und effizient zu bekämpfen.



Darmbakterien, hier Escherichia coli.

© thinkstock

"Die Ergebnisse passen sehr gut zu früheren klinischen Studien und zu Untersuchungen anderer Forschungsgruppen", so Prinz. So werden Autoimmunerkrankungen des Darms wie Morbus Crohn mit einem Mangel an kurzkettigen Fettsäuren in Verbindung gebracht. Dafür wird seit einiger Zeit die Behandlung durch eine so genannte Stuhltransplantation geprüft, bei der die Darmflora von einem auf einen anderen Menschen übertragen wird.

Gendefekt gibt Darmbakterien freie Hand



DNA-Analyse mittels
Elektrophorese

© PNNL

Müdigkeit, Bauchschmerzen und Durchfall - das sind oft die ersten Anzeichen von Morbus Crohn. Diese Krankheit zählt zu den chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen (CED) und tritt in der Regel im Alter zwischen 16 und 35 Jahren auf. Abschnitte des gesamten Magen-Darm-Traktes von der Mundhöhle bis zum After können entzündet sein, am häufigsten betroffen sind jedoch die Dick- und Dünndarmschleimhaut.

Morbus Crohn kann nach Ansicht von Medizinern als Immunerkrankung betrachtet werden. Studien deuten darauf hin, dass ein geschwächtes Immunsystem den chronischen Befall der Schleimhaut durch Krankheitserreger begünstigt. Eine andere Überlegung ist, dass die Abwehrzellen nicht in der Lage sind, die körpereigenen Darmbakterien in Schach zu halten. Gegen diese Invasion kann sich der Körper nur mit Mitteln wehren, die die

Darmschleimhaut schädigen - es kommt zur chronischen Entzündung. Wissenschaftler vermuten, dass Umweltfaktoren wie Bakterien und Viren, bestimmte Inhaltsstoffe in Nahrungsmitteln oder das Rauchen eine Rolle bei der Erkrankung spielen. Auch könnten erbliche Defekte in Risikogenen die Entstehung von Morbus Crohn begünstigen.

Genprodukt Teil der Darmschleimhaut

Eine Gruppe von Genen, deren Defekte mit der Entstehung von Morbus Crohn in Verbindung stehen, sind die Defensine. Sie wirken wie natürliche Antibiotika und wehren infektiöse Bakterien in den Schleimhäuten ab. Eine ähnliche Rolle fanden die Forscher um Dr. Jan Mollenhauer und Professor Annemarie Poustka im Deutschen Krebsforschungszentrum für das Gen DMBT1.

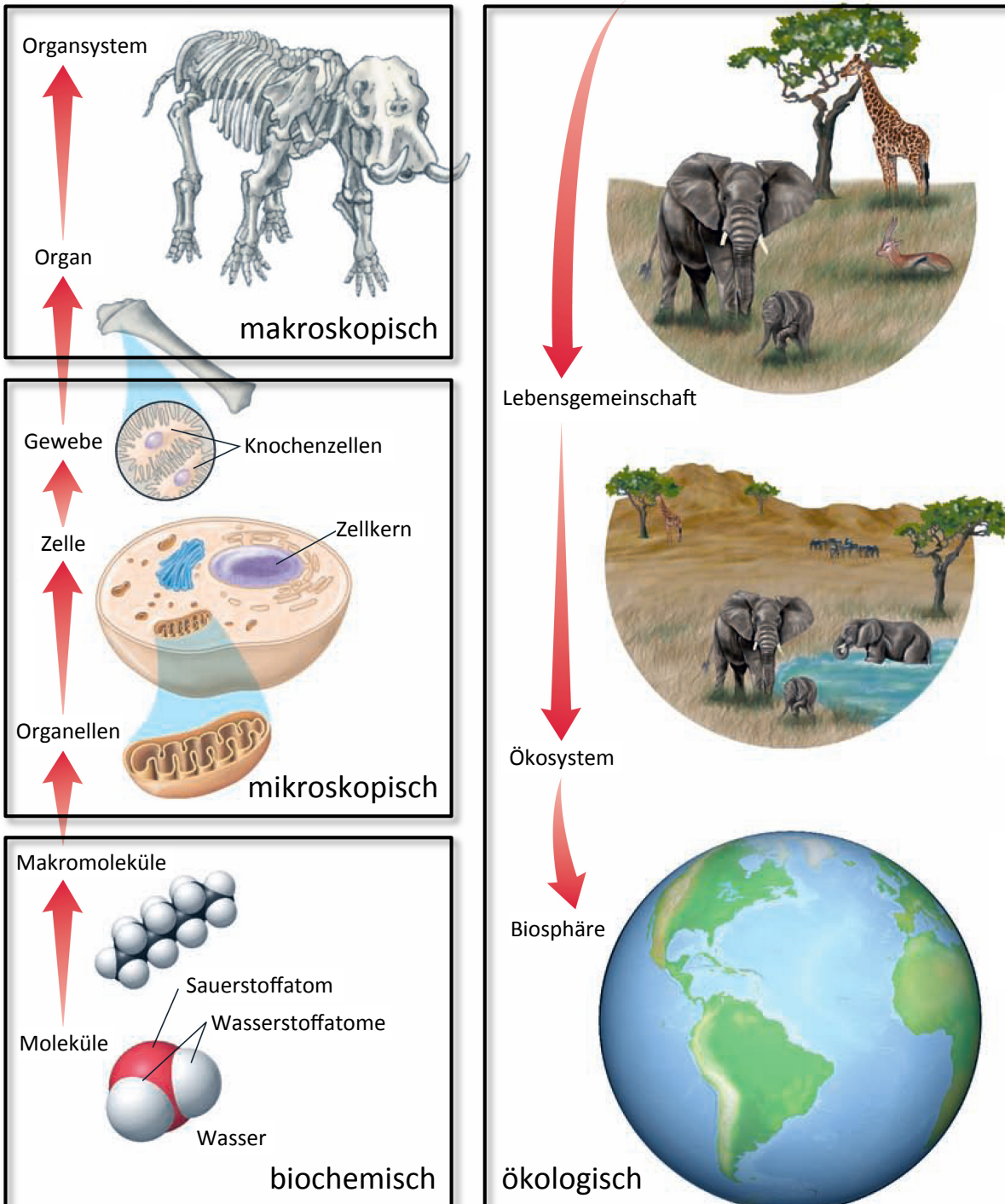
Das Genprodukt von DMBT1 kommt wie die Defensine in der Darmschleimhaut vor und spielt dort wahrscheinlich bei der Abwehr von Viren und Bakterien eine wichtige Rolle. In der aktuellen Studie über die die DKFZ-Forscher in der Fachzeitschrift Gastroenterology berichten, stellten sie in Zusammenarbeit mit Kollegen aus fünf europäischen Ländern fest, dass bei CED-Patienten die Aktivität von DMBT1 in entzündeten Gewebereichen des Darms besonders hoch ist.

Vergleich von Erbinformationen bringt Forscher weiter

Die Forscher untersuchten daraufhin, ob Defekte im Gen zu einem erhöhten Risiko für chronische Darmentzündungen führen und verglichen dazu die Erbinformation von CED-Patienten mit der von gesunden Probanden. Tatsächlich fanden sie einen Gendefekt in DMBT1, der bei Morbus-Crohn-Kranken deutlich häufiger auftritt als bei gesunden Menschen.

Um nachzuweisen, dass ein Defekt in DMBT1 sich direkt auf das Krankheitsrisiko auswirkt, inaktivierten Mollenhauer und Kollegen in Mäusen das Gen für DMBT1. Die Forscher reizten den Darm der Mäuse mit einer Chemikalie. Mäuse, deren DMBT1-Gen ausgeschaltet war, zeigten stärkere Entzündungsreaktionen als Tiere mit einer intakten Kopie des Gens. Daraus schlossen die Wissenschaftler, dass DMBT1 chronischen Entzündungen im Darm entgegenwirkt. Fehlt dieses Gen oder ist es defekt, besteht ein erhöhtes Risiko für Morbus Crohn. Weitere Krankheitsbilder, die die DKFZ-Forscher bisher mit DMBT1 in Verbindung bringen konnten, sind Krebserkrankungen von Brust, Lunge, Gehirn und Verdauungstrakt.

Die Betrachtungsebenen in der Biologie



Projekt Ernährung und Verdauung

Begriffsliste

Betrachtungsebenen

Atome, Moleküle, Organellen, Zellen, Gewebe, Organe, Organismen, Populationen, Lebensgemeinschaften, Biotope, Ökosystem, biochemisch, mikroskopisch, makroskopisch, ökologisch

Input und Output

Kohlenhydrate, Proteine, Fette, Zellulose, Ballaststoff, Kot, Urin, Wasser, Sauerstoff, Kohlendioxid, Harnstoff, Kohlenstoff, Stickstoff

Organe

Speicheldrüsen, Speiseröhre, Magen, Zwölffingerdarm, Dünndarm, Dickdarm, Blinddarm, Wurmfortsatz, Mastdarm, After, Harnblase, Leber, Gallenblase, Bauchspeicheldrüse, Lunge, Niere, Pfortader, Leberarterie, Lebervene, Lungenarterie, Lungenvene, Nierenarterie, Harnleiter

Verdauung

Glykogen, Stärke, Maltose, Glucose, Fructose, Peptide, Aminosäuren, Glycerin, Fettsäuren, Nährstoffe, Enzyme, Amylase, Maltase, Saccharase, Salzsäure, Pepsin, Galle, Lipasen

Verarbeitung

Blutzuckerspiegel, Insulin, Adrenalin, Aminosäurenstoffwechsel, essenzielle vs. nichtessenzielle Aminosäuren, Zellatmung, Oxidation, ADP, ATP, Gärung, Milchsäure, Betriebsstoffwechsel, Baustoffwechsel

Zelle

Zellmembran, wasseranziehend, wasserabstossend, Proteinkanal, Zytoplasma, Zellkern, DNA, Gene, mRNA, Mitochondrien, Ribosomen, endoplasmatisches Retikulum, Golgi-Apparat, Vesikel, Lysosom
