

Unterrichtsvorschläge zum Blutkreislauf

Vorkenntnisse

Der Druck in Gasen und Flüssigkeiten sollte eingeführt worden sein.

Als Hinführung zum Druckbegriff bei Gasen eignet sich gut der Lernzirkel zum Druck in Gasen, der als erster Teil der Unterrichtsvorschläge zu „Druck; Atmung und Blutkreislauf“ vorliegt.

Unterrichtseinheit 1: Der Einfluss des Schweredruckes beim menschlichen Blutkreislauf

1. Einleitung für die Schüler

Zur Einführung in die Unterrichtseinheit kann die Lehrkraft die folgenden Informationen mitteilen.

Während der Evolution haben sich die Lebewesen daran angepasst, dass sich der Schweredruck in einer senkrechten Blutsäule mit der Höhe ändert. Daher ist das Herz-Kreislaufsystem von Tieren, die sich aufrichten oder sich aufwärts bewegen können, anders als bei Tieren, die sich immer in horizontaler Lage befinden. Man findet z. B., dass bei einer Baumschlange das Herz näher beim Kopf liegt und der Blutdruck höher ist, um das Gehirn gut zu durchbluten. Außerdem ist der Körper dieser Schlange dünn und die Haut fest, um einen Blutstau im Schwanz möglichst zu vermeiden. Bei einer nicht-kletternden, landlebenden Schlange würde das Blut hingegen nach unten sacken, wenn sie sich aufwärts bewegen würde [Lillywhite (1989)].

Auch das Kreislaufsystem des Menschen musste in der Zeit, als er sich zum aufrecht gehenden Wesen entwickelte, Veränderungen durchmachen, um sich dieser neuen Situation anzupassen. Es musste einerseits das Blut nun auf ein höheres Niveau transportiert werden, andererseits sollte verhindert werden, dass es zu einem Blutstau in den Gefäßen, vor allem der unteren Extremitäten, kommt. Ein solcher Blutstau kommt durch den Gewichtsdruck der darüberliegenden Blutsäule zustande, vor allem dann, wenn die Gefäße dehnbar sind (Venen) und sich daher leicht ausweiten. Der Blutstau bzw. der Schweredruck in den erweiterten Gefäßen kann zu vielen Krankheiten führen, wobei die bekannteste davon die Krampfadern sind.

2. Aufbau des Blutkreislaufsystems

Anhand von Folien (Bild 1 und 2) und ggf. Modellen aus der Biologiesammlung werden der Aufbau und die Funktion des menschlichen Herzens und des Blutkreislaufsystems besprochen bzw. wiederholt. Insbesondere sollte die Funktion des Herzens, Druckdifferenzen zwischen linker Herzkammer und rechtem Vorhof und entsprechend zwischen rechter Herzkammer und linkem Vorhof zu erzeugen, betont werden. Weiterhin sollten die Strömungswiderstände in den verschiedenen Gefäßen besprochen werden und die Zunahme des Gesamtquerschnitts von der Aorta bis zu den Kapillaren.

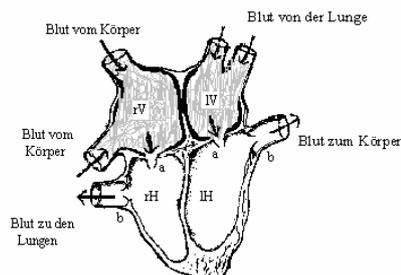
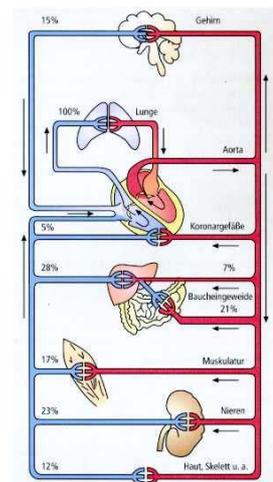


Bild 1: Schematischer Aufbau des Herzens

Bild 2: Schema des Blutkreislaufs [aus Thews (1999)]



3. Blutdruckmessung

Durch folgenden Versuch soll den Schülerinnen und Schülern erklärt werden, wie der Blutdruck mit der Manschettenmethode gemessen wird. Um dies im Lehrerexperiment zu zeigen, empfiehlt sich folgende Abwandlung der klassischen Methode.

Man benutzt als Druckmesser eine Manschette *Ma*, die mit Wasser gefüllt ist und mit einem engen Schlauch (Durchmesser ca. 1 cm) von ca. 2 m Länge verbunden ist (Bild 3). Am Ende des Schlauches befindet sich ein Wasserbehälter *B*, um den Schlauch immer mit genügend Wasser zu versorgen. Dieses System erlaubt es durch Heben und Senken des Behälters den Druck in der Manschette zu regulieren und zu messen. Man beachte, dass 1m Wasserhöhe einem Druck von ca. 10 kPa (76 mm Hg) entspricht.

Die Manschette besorgt man sich in einer Apotheke oder im Arztzubehörhandel.

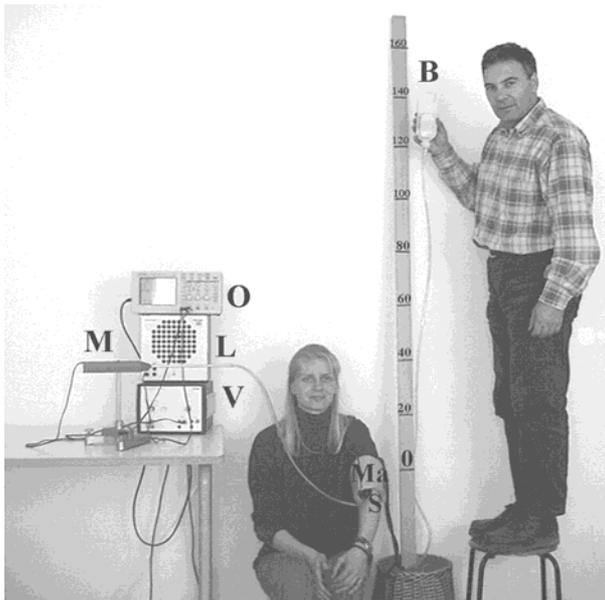


Bild 3: Blutdruckmessung durch eine Wassersäule als Druckmesser in der Manschette *Ma*. Dabei sind *M* das Mikrofon, *S* das Stethoskop zum Empfangen des Geräusches, *B* der Behälter zur Wasserversorgung, *O* das Oszilloskop, *V* und *L* der Verstärker und der Lautsprecher.

Mit Hilfe eines Mikrophons, eines Verstärkers und eines Lautsprechers kann die ganze Klasse das Einsetzen des Blutstroms hören [Kruse (1990)]. Dazu steckt man das Mikrophon in eines der Schlauchenden des Stethoskops und verschließt das zweite Schlauchende mit einem Stopfen. Zusätzlich könnte man zur optischen Unterstützung die Signale auf dem Oszilloskop beobachten. Eine einfachere Variante verzichtet auf die sichtbare Demonstration, indem man ein herkömmliches Blutdruckmessgerät verwendet und mit Hilfe eines Mikrophons und eines Lautsprechers die Geräusche des Blutes während der Blutdruckmessung für die ganze Klasse hörbar macht.

4. Statische Blutdruckverhältnisse im menschlichen Körper

Mit Hilfe eines einfachen Modells werden die Blutdruckverhältnisse im menschlichen Körper simuliert, insbesondere beim Übergang vom Liegen zum Stehen.

Diese Simulation weicht von der Realität ab, denn der Versuch betrachtet den arteriellen Druck im statischen Fall, d. h. es wird nicht berücksichtigt, dass das Blut sich bewegt. Das Gefäßsystem wird stark vereinfachend durch kommunizierende Gefäße ersetzt.

Die Schüler können in jedem Fall erkennen, dass der Blutdruck sowohl in den Arterien als auch in den Venen wegen der aufrechten Körperposition in den Beinen zunimmt und im Kopf abnimmt.

Beschreibung des Modells:

An einem Holzbrett, das Form und Größe eines Menschen hat, befestigt man verbundene Schläuche. Diese sollen die Hauptgefäße eines Menschen darstellen, die durch den ganzen

Körper verlaufen. Man kann diese Schläuche mit noch anderen, verschieden großen Schläuchen verbinden, mit Querverbindungen oder auch toten Enden versehen, um eine Art Gefäßsystem zu schaffen. Links und rechts an den beiden Schlauchöffnungen (im Kopf und in den Füßen) werden zwei weitere, senkrecht nach oben zeigende Schläuche kleineren Durchmessers mit einer Skala zur Druckmessung angebracht (Bild 4). Einer soll die Druckverhältnisse im Kopf, der andere in den Füßen darstellen. Zuletzt wird in der Position, in der sich ungefähr das Herz befinden würde, ein weiterer Schlauch angebracht, der in einen Wasserbehälter (B) mündet. Durch Heben und Senken dieses Behälters wird ein vom Herzen erzeugter Blutdruck simuliert.

Wenn man nun das Schlauchsystem mit gefärbtem Wasser füllt, so beobachtet man, dass bei waagrechter Stellung unseres Systems die Wasserstände in den Messschläuchen auf dasselbe Niveau steigen. Man kann weiter feststellen, dass die Wasserstände den Auf- und Niederbewegungen folgen, die man mit dem Behälter vollführt. Bringt man nun das „Gefäßsystem“ in schräge oder senkrechte Stellung, so sehen wir, dass die Flüssigkeitssäulen unterschiedlich hoch sind. Die Flüssigkeitssäule am Fußende ist wesentlich höher geworden, es herrscht somit ein wesentlich größerer Druck im Fußteil als im Kopfteil. Auch in diesem Fall folgen die Wasserstände in den Messschläuchen den Auf- und Niederbewegungen des Behälters.

Die Abweichungen von einem echten Körper sollen qualitativ festgestellt werden. Außerdem kann man erkennen, dass auch bei den Venen, da auf Herzhöhe der Druck bei null gehalten wird, Druckänderungen vom Liegen zum Stehen stattfinden.

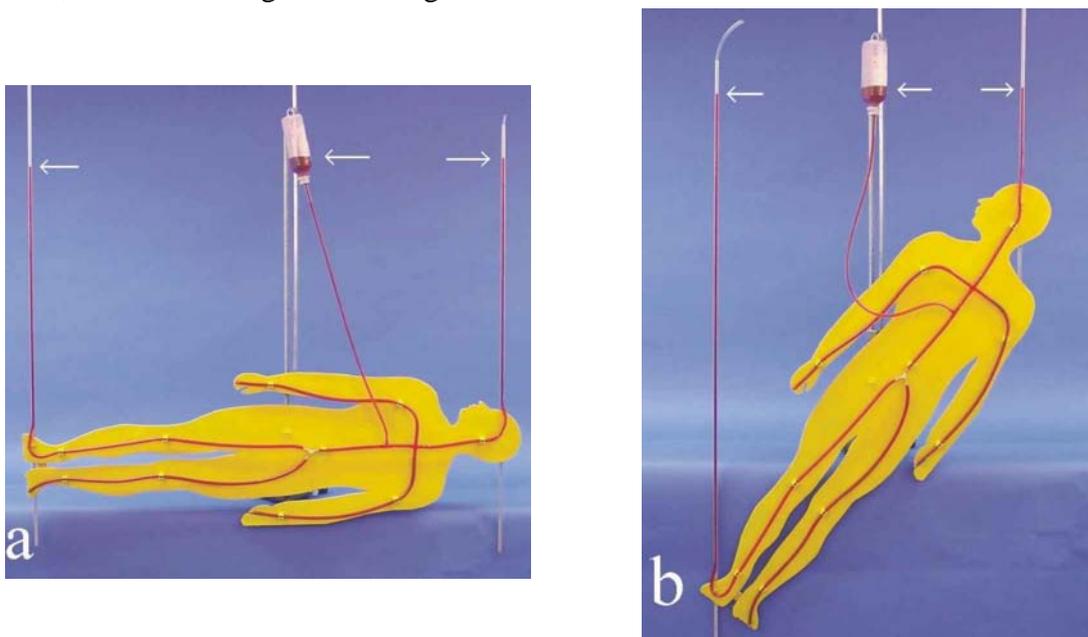


Bild 4: Blutdruckverhältnisse im menschlichen Körper beim Übergang von der liegenden (a) zur aufrechten Position (b). Links und rechts sind senkrechte Schläuche zur Druckmessung; B ist der Behälter, wobei man durch Heben und Senken den Herzdruck simulieren kann.

Anhand einer Folie nach Bild 5 werden die Blutdruckwerte an den verschiedenen Körperstellen für die liegende und die stehende Position gegenübergestellt.

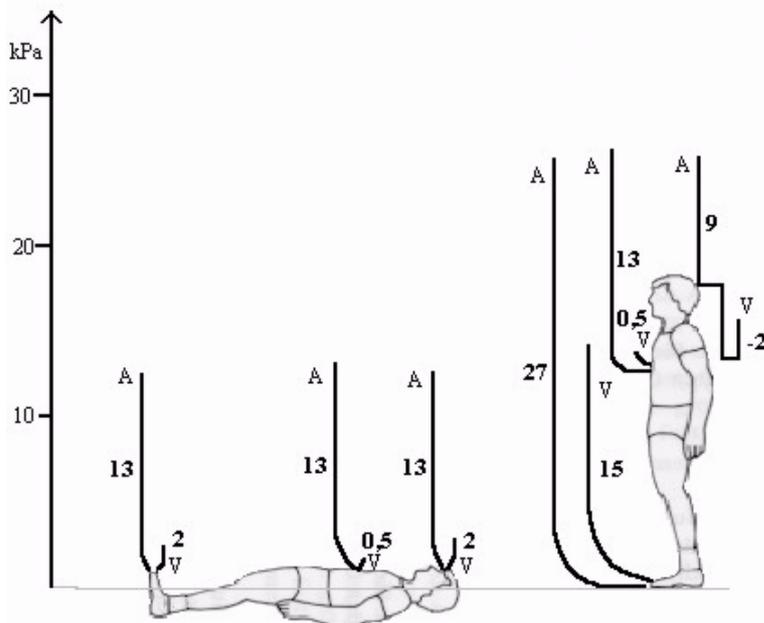


Bild 5: Blutdrücke in den Arterien (A) und in den Venen (V) bei einem Menschen in liegender und in aufrechter Position. In den Kopfvenen eines aufrecht stehenden Menschen ist der Druck negativ.

Zur Vertiefung können Fragen der Art „Woran liegt es, dass einem manchmal schwarz vor Augen wird?“ diskutiert werden.

5. Auswirkungen des Schweredrucks bei einem Blutgefäß

Der folgende Versuch veranschaulicht die Umverteilung des Flüssigkeitsvolumens auf Grund der Änderung des Schweredrucks beim Übergang einer Flüssigkeitssäule von einer horizontalen in eine vertikale Position.

Man verwendet zwei Luftballons wie sie in Bild 6 dargestellt sind. Diese füllen sich verschieden stark mit Wasser auf, abhängig von der Position des „Gefäßsystems“. Wenn man die Wasserzufuhr vom Behälter unterbricht, kann sich der obere Ballon völlig entleeren.

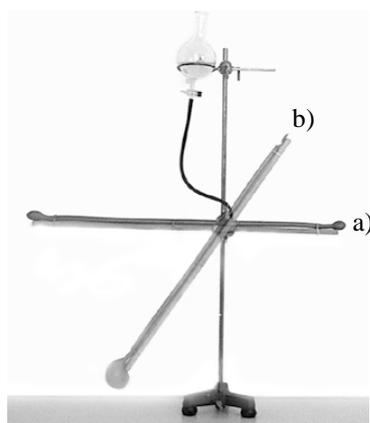


Bild 6: Die Ballons sind bei horizontaler Lage (a) gleich stark gefüllt. Wegen des unterschiedlichen Schweredrucks bläht sich in vertikaler Lage (b) der untere Ballon stärker auf und der obere wird kleiner.

Überträgt man diesen Versuch auf den menschlichen Körper, so veranschaulicht er, dass sich die Gefäße, insbesondere die weichen Venen, in den Beinen beim Stehen auf Grund des höheren Schweredrucks im Vergleich zum Liegen ausdehnen. Der Extremfall, wenn die Venenklappen nicht mehr richtig schließen, der zur Entstehung von Krampfadern führt, wird im folgenden Schritt besprochen.

6. Die Entstehung von Krampfadern

Anhand eines Folienbildes wird das Aussehen von Krampfadern gezeigt. Dann wird mit Hilfe der Folie (Bild 7) die Funktion der Taschenklappen in den Venen erläutert und die Konsequenzen bei Störungen diskutiert (siehe Lehrerinformation).

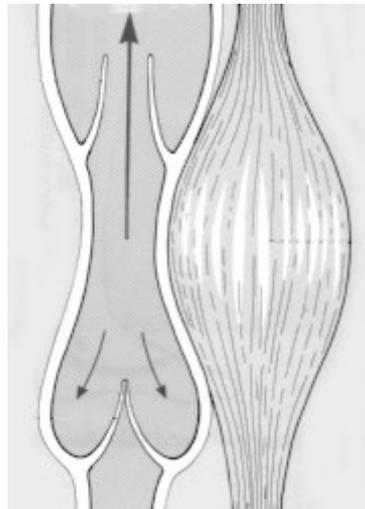


Bild 8: Die Taschenklappen verhindern den Rückstrom des Blutes

7. Der „treibende Druck“

Das in diesem Schritt behandelte Problem ist recht anspruchsvoll und deshalb nicht für jede Klasse empfehlenswert.

Für den Blutfluss im menschlichen Körper ist der Druckunterschied zwischen Ventrikel (linke Herzkammer) und rechtem Vorhof verantwortlich. Nun wird das Problem aufgeworfen, ob diese das Blut durch den Körper treibende Druckdifferenz sich wie der Schweredruck ändert, falls sich der Körper aus der liegenden Position aufrichtet. Der folgende Versuch soll dies für den Kreislauf Herz-Beine-Herz simulieren (er demonstriert auch das Prinzip des Wasserhebers).

Man nimmt einen mit Wasser gefüllten Behälter und befestigt am Ausfluss einen langen Schlauch. In der Position A (entspricht dem liegenden Körper) verläuft er horizontal, das Schlauchende liegt etwas niedriger als das Wasserniveau im Behälter (Bild 9). Man misst als Maß für die treibende Druckdifferenz die Zeit, die notwendig ist, eine bestimmte Wassermenge ausfließen zu lassen.

Dann wiederholt man den Versuch, indem man den Schlauch hängen lässt (Position B, entspricht dem stehenden Körper), aber das Schlauchende auf derselben Höhe belässt. Man wird feststellen, dass auch dieses Mal für die gleiche Ausflussmenge ungefähr dieselbe Zeit verstreicht.

Daher wird klar sein, dass nur der Höhenunterschied h zwischen Schlauchende und Oberfläche des ausfließenden Wassers bzw. der Druckunterschied $\Delta p = \rho gh$ für die Auslaufzeit verantwortlich ist, und nicht der Verlauf des Schlauches.

Man kann auch eine Verengung in den Schlauch einbauen, die Auslaufzeit wird für alle Schlauchpositionen um die gleiche Zeit länger.

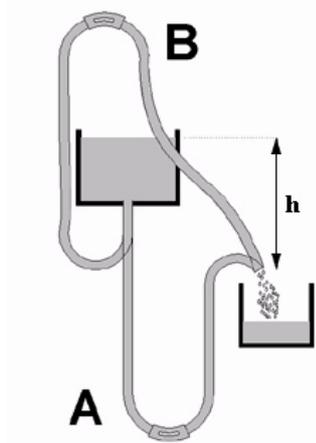


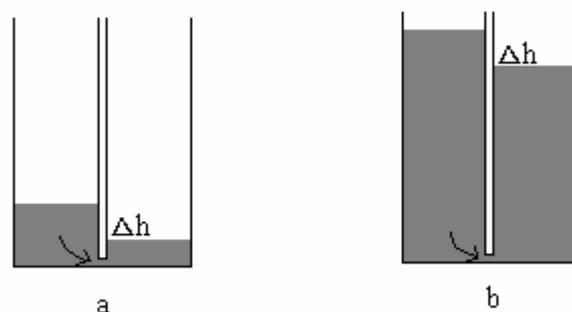
Bild 8: Unabhängigkeit der Druckdifferenz bzw. der Auslaufzeit vom Verlauf des Schlauches.

Benutzt man einen Schlauch mit einem Teilstück (Bild 9), das ein dünnwandiges und weiches Fenster besitzt, so kann man erkennen, dass sich dieses Fensters bei niedrigeren Lagen ausbeult, weil der Schweredruck größer ist als beim Schlauch in der hochgehaltenen Position. Hält man den Schlauchteil mit dem Fenster nach oben (Blutkreislauf über den Kopf im Stehen), wird der Druck im Vergleich zum atmosphärischen Druck negativ: das dünnwandige Fenster kann durch den äußeren Luftdruck zusammengedrückt werden und das Fließen verhindert werden.



Bild 9: In einen dickwandigen Schlauch ist ein Loch geschnitten, das mit einem dünnwandigen Schlauch ausgekleidet wurde. Damit kann die Auswirkung des Schweredruckes auf eine Vene simuliert werden.

Die Abbildung 5 aus der Lehrerinformation ist für das Verständnis sicherlich nützlich:



In b herrscht auf beiden Seiten ein höherer Schweredruck als in a. Die für den Fluss verantwortliche Druckdifferenz $\Delta p = \rho g \Delta h$ ist in beiden Fällen gleich groß.

Fragen

- 1) Wie groß ist der Schweredruck einer Blutsäule von 1 m Höhe?
- 2) Wie groß ist der Blutdruck in den Fußvenen eines aufrecht stehenden Menschen, wenn sich das Herz auf einer Höhe von 1,2 m befindet und die Venenklappen undicht sind? (Der Blutdruck auf Herzhöhe soll als null angenommen werden).
- 3) Leiden eher kleine oder große Menschen an Krampfadern?
- 4) Wie groß ist der Druckunterschied zwischen Innenvenen und Umgebung bei einem aufrecht stehenden Menschen, der bis zur Herzhöhe unter Wasser steht, wenn wir annehmen, dass auf Herzhöhe der Druck in den Venen null in Bezug zum atmosphärischen Druck ist?

Antworten

- 1) Der Schweredruck einer 1 m hohen Blutsäule ist $p = m \cdot g/A = \rho \cdot V \cdot g/A = \rho \cdot h \cdot A \cdot g/A = \rho \cdot g \cdot h = 10^4 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-2} = 10,4 \text{ kPa}$, wobei ρ die Dichte des Bluts, g die Erdbeschleunigung, h und A die Höhe bzw. die Grundfläche der Blutsäule sind.
- 2) Der Druck ist $10,4 \text{ kPa/m} \cdot 1,2 \text{ m} = \text{ca. } 12,5 \text{ kPa}$
- 3) Größere Menschen, weil ihre Beinvenen bzw. Beinvenenklappen einem größeren Blutdruck ausgesetzt sind.
- 4) Wenn wir annehmen, dass auf Herzhöhe der Druck in den Venen null in Bezug zum atmosphärischen Druck ist, dann bleibt der Druckunterschied unter der Herzhöhe null, weil die Innendruckerhöhung nach unten ungefähr jener der Wassertiefe entspricht. Über der Herzhöhe ist der Druck in den Venen negativ, in Abhängigkeit der Höhe und dem Fließwiderstand des Blutes.

Unterrichtseinheit 2: Dynamische Aspekte des Blutkreislaufs: Durchblutungsstörungen

1. Einleitung für die Schüler

Zur Einführung wird den Schülerinnen und Schülern mitgeteilt, dass Organe bzw. Zellen eines Organismus zur Aufrechterhaltung der biologischen Funktionen einer kontinuierlichen Versorgung von Stoffen bedürfen, die aus der Umgebung oder aus anderen Organen stammen. Der Transport dieser lebenswichtigen Stoffe erfolgt im menschlichen Körper hauptsächlich durch den Blutkreislauf.

Die Blutströmung darf einen gewissen Mindestwert nicht unterschreiten, damit Organe und Muskeln ausreichend mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgt werden. Behinderungen der Strombahn in einer Arterie wie Verengungen, Erweiterungen und andere Hindernisse führen zu einer Reduzierung oder einer Unterbrechung der Durchblutung und damit schließlich zu einer Einschränkung der Funktionsfähigkeit bis hin zum Gewebetod des betroffenen Organs.

2. Qualitative Einführung des Bernoulli'schen Gesetzes

Mit dem übliche Demonstrationsgerät (vgl. Bild 10) wird gezeigt, dass in einer in einem Rohr strömenden Flüssigkeit der Druck an einer Verengung kleiner wird (auf den Drucksprung beim Übergang von p_2 zu p_3 sollte hier nicht eingegangen werden).

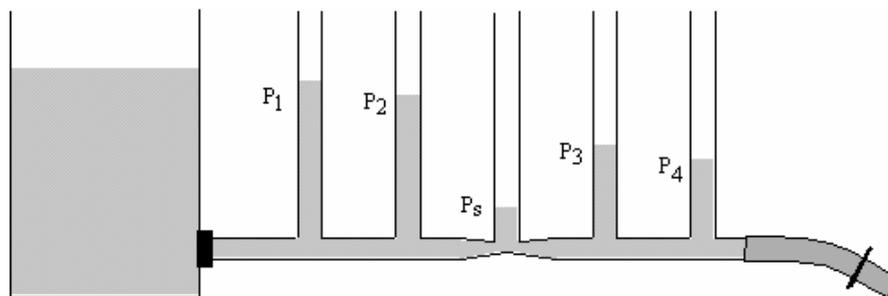


Bild 10: Demonstration des Drucksprungs über einer Verengung des Querschnitts

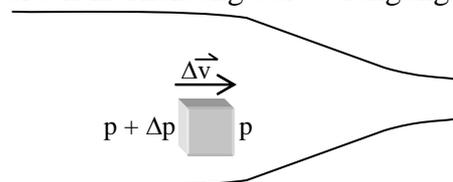
Da die meisten Schülerinnen und Schüler intuitiv das Gegenteil erwarten würden, sollte die Druckänderung plausibel gemacht werden:

Nach der Demonstration des Phänomens wird zunächst geklärt, dass durch jeden Querschnitt des Rohres pro Zeiteinheit die gleiche Flüssigkeitsmenge hindurchströmt. Damit muss die Flüssigkeit bei einem kleineren Querschnitt schneller fließen, bei einem größeren Querschnitt langsamer. An einem Übergang zu einem kleineren Querschnitt liegt also eine Geschwindigkeitszunahme vor, die Flüssigkeitselemente werden in Richtung der Verengung positiv beschleunigt. Fließt die Flüssigkeit von links nach rechts, muss der Druck auf die linke Seite des gedachten Flüssigkeitselements also größer sein, als auf die rechte Seite. Der Druck nimmt demnach bis zur engsten Stelle kontinuierlich ab, während die Geschwindigkeit zunimmt.

Damit ist die Druckabnahme zurückgeführt auf die intuitiv verständliche Geschwindigkeitszunahme.

Zur Übung kann die Umkehrung, die Zunahme des Druckes bei Querschnittszunahme, thematisiert werden.

Zur Vertiefung kann diskutiert werden, weshalb der Druck längs des Rohres auch dann abnimmt, wenn keine Verengung vorliegt. Am Anschluss an der linken Seite des Ausflussrohres (s. Bild 10) liegt die Summe aus Schweredruck und Luftdruck $p_0 = \rho gh + p_L$ vor, am rechten Ende nur der Luftdruck p_L . Der Druck sinkt längs des Rohres kontinuierlich



bis auf den Wert p_L . Real haben wir Reibung, so dass stets pro Längeneinheit eine gewisse Druckdifferenz vorhanden sein muss, um die Flüssigkeit durch das Rohr zu treiben (analog muss auch an einem elektrischen Kabel eine Potentialdifferenz anliegen, damit ein elektrischer Strom fließt).

3. Stenose

Verengungen der Arterien können durch Ablagerungen von Fettsubstanzen entstehen. Die Gefahr des Gefäßverschlusses durch die Druckabnahme an der Stelle einer Ablagerung läßt sich mit dem in Schritt 2 erarbeiteten qualitativen Verständnis der Bernoulli'schen Gleichung besprechen (eine quantitative Behandlung befindet sich in der Lehrerinformation).

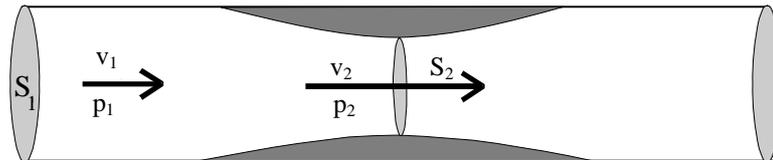


Bild 11: Verengung in einer Arterie. Das Blut fließt durch $S_2 < S_1$, daher ist die Strömungsgeschwindigkeit $v_2 > v_1$ und der statische Druck $p_2 < p_1$.

Wenn sich in einem Blutgefäß ein Blutpfropf (Thrombus) mit Einbuchtungen ausbildet, wie es in Bild 12 dargestellt ist, wird der Druck p_2 nach der Bernoulli'schen Gleichung geringer. In der Einbuchtung wird der Druck p_1 wegen $v = 0$ größer, so dass sich ein großer Druckunterschied ($p_1 - p_2$) ergibt. Unter diesen Bedingungen kann sich ein Teil dieses Thrombus lösen und über den Blutstrom wegtransportiert werden, bis er an einer engeren Stelle stecken bleibt, und zu einem gefährlichen Gefäßverschluss führen kann.

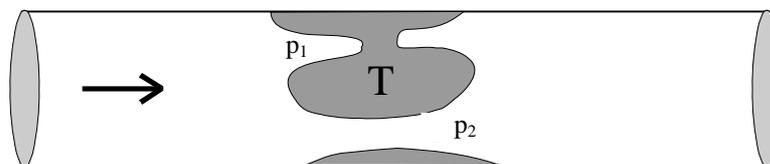


Bild 12: Ausbildung eines Thrombus. In der Einbuchtung herrscht ein größerer Druck (p_1) als in der Verengung (p_2). Die Druckdifferenz ($p_1 - p_2$) kann daher den unteren Teil (T) des Partikels leicht abreißen.

4. Kollaterale Verbindung (By-pass)

Als ein verblüffendes Beispiel dafür, dass der menschliche Körper Defekte selbständig beheben kann, kann anhand einer Folie über die Ausbildung eines kollateralen Blutkreislaufs bei einer Stenose berichtet werden. (Bild 13)

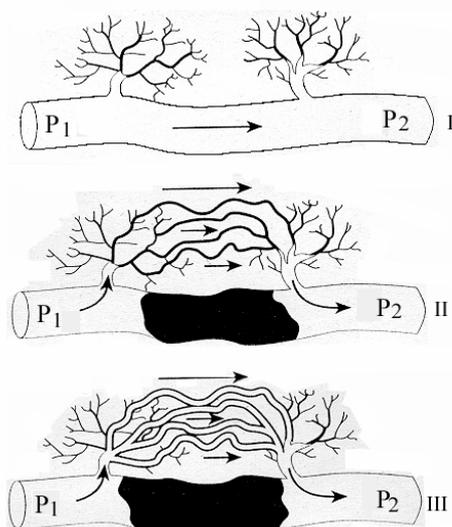


Bild 13: Entwicklung eines Kollateralkreislaufs bei einem arteriellen Verschluss.

5. Der Druck im Luftballon in Abhängigkeit vom Durchmesser

Um die Entstehung eines Aneurysmas zu erklären eignet sich folgender Versuch als Hinführung. Er zeigt, dass der Druck in einem luftgefüllten Ballon mit der Größe abnimmt. Ausgegangen wird von der Frage, ob beim Aufblasen eines Luftballons der Druck im Ballon, gegen den die zusätzliche Luft hinein geblasen werden muss, ansteigt. Zu Beginn des Aufblasens kann man spüren, dass es zunächst schwerer geht, bei bereits aufgeblasenem Ballon dagegen leichter.

Deutlicher und überzeugender ist der folgende Versuch:

Man bläst die Luftballons verschieden stark auf und stülpt sie je auf ein Ende des Glasrohres (Bild 14). Dann öffnet man den Hahn H. Die Luft strömt von dem kleineren Ballon in den größeren Ballon. Deshalb muss der Druck in dem kleineren Ballon größer sein.

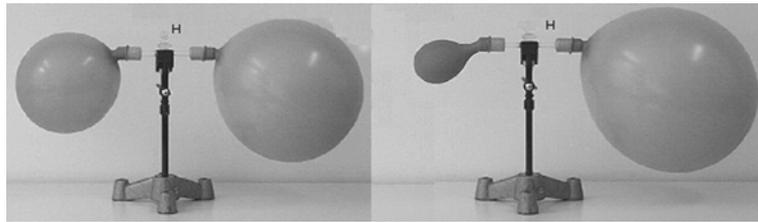


Bild 14: Bei zwei verschieden groß aufgeblasenen Luftballons (a), strömt Luft aus dem kleineren in den größeren Ballon (b), weil der Druck im kleineren Ballon größer ist.

Die dickere Gummihaut eines kleineren Luftballons presst die Luft in ihm stärker zusammen als die dünnere Haut des größeren Luftballons. Sorgen wir also für einen bestimmten konstanten Druck an der Öffnung dieser Ballons, gedanklich z.B. durch ein sehr großes Gefäß mit leicht komprimierter Luft, kann es passieren, dass er sich immer weiter aufbläst und schließlich platzt.

Dies wenden wir jetzt auf Blutgefäße an, mit dem Unterschied, dass wir statt Luft die Blutflüssigkeit haben.

6. Das Aneurysma

Als Einstieg kann den Schülern ein Bild eines Aneurysmas gezeigt werden (z. B. Bild 15), dessen erschreckende Gestalt Aufmerksamkeit erregt.

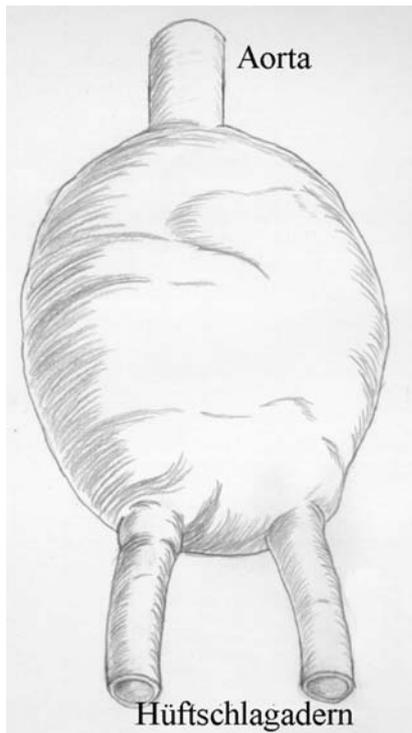


Bild 15: Gestalt eines großen Aneurysmas

Dann kann die Gefahr des Platzens eines Aneurysmas mit folgendem Versuch demonstriert werden (Bild 16):

In einen festen Schlauch wird ein Fenster geschnitten und die innere Wand des Schlauchs durch einen länglichen Luftballon ausgekleidet (siehe Bild 10). Er ist das Analogon für eine defekte, zu „weiche“ Gefäßwand. Der Schlauch führt in ein Auffangbecken, der zweite zu einem Wasservorratsbehälter. Durch Heben dieses Behälters wird der Druck im Ballon vergrößert. Ab einer bestimmten Höhe beginnt der Luftballon sich immer weiter aufzublähen, obwohl die Höhe des Behälters gleich bleibt (Wasser nachfüllen, damit der Druck in etwa gleich bleibt!). Der Luftballon platzt nach kurzer Zeit, auch wenn die Höhe des Behälters bei einem schon vergrößerten Luftballon etwas verringert wird.

Eine qualitative Herleitung befindet sich in der Lehrerinformation.



Bild 16: Simulationsversuch zum Aneurysma: der Luftballon im Schlauch bläht sich auch bei konstantem Druck bis zum Platzen auf.

Im Klassengespräch wird den Schülerinnen und Schülern verdeutlicht, dass – wie beim Luftballon im vorhergehenden Versuch – das Ausdehnen mit größer werdendem Volumen immer leichter geht, die Gefäßwand dabei immer dünner wird und schließlich platzen kann.

Literatur:

KRUSE H. (1990): Der Blutdruck. Naturwissenschaften im Unterricht – Ph 1/5, S. 27-34

LILLYWHITE H.B. (1989): Der Blutkreislauf von Schlangen und die Schwerkraft. Spektrum der Wissenschaft, Heft 2

Bildquellennachweis:

Bild 2: Entnommen mit freundlicher Genehmigung des Verlags aus THEWS G., Mutscher E., Vaupel P., Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart (1999), S. 213, Abb. 9-1