

KOMPAKTWISSEN

Informationen zu den Versuchen im Vakuumlabor

Beschleuniger | Forschung mit Photonen | Teilchenphysik

Deutsches Elektronen-Synchrotron
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft





INHALT

4

Was ist
Vakuum?



5

Was ist Luft?



6

Was ist Luftdruck?

8

Was ist
Dichte?



9

Was ist
Schall?



10

Was ist
Auftrieb?



12

Was ist
Luftwiderstand?



14

Was ist
Wärme?



15

MEHR
WISSEN



16

Luftdruck und
Wetter



20

Magnetismus
im Vakuum



21

Was sind
Aggregatzustände?



25

Was ist
Schwerkraft?



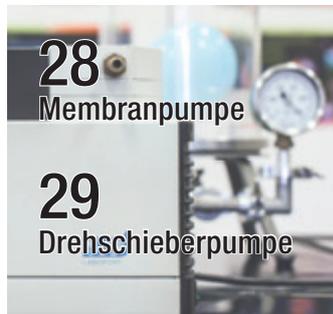
26

Übersicht über
Vakuumbereiche



28

Membranpumpe



29

Drehschieberpumpe

30

Weitere
Vakuumpumpen



31

Verwendete
Vakuummessgeräte



33

Vakuum im
Alltag



36

Geschichte des
Vakuums



39

ANHANG



40

Größen und
Einheiten



41

Arbeitsweisen der
Physik



42

Prototypisches
Protokoll



44

Beispielprotokoll

45

Allgemeine
Sicherheitsregeln



47

Impressum

Wusstest Du,
dass das Vakuum im
Universum nicht absolut ist?
Es beinhaltet immer noch einige
Atome und Moleküle
pro Kubikmeter.

WAS IST VAKUUM?

Wird der Begriff Vakuum verwendet, denkt man im Allgemeinen an einen luftleeren oder genauer ausgedrückt materiefreien Raum. Das ergibt sich schon aus der Bedeutung des Wortes. Schließlich heißt das lateinische „vacuus“ auf deutsch „frei“ oder „leer“.



Für die Praxis ist diese Definition jedoch nicht ausreichend, denn sie beschreibt nur das sogenannte ideale oder absolute Vakuum, eine Vorstellung, die in der Realität nicht verwirklicht werden kann. Trotz ausgefeilter Technik sowie ständiger Fortschritte in der Pumpenentwicklung ist es nicht möglich, aus einem Raum alle Teilchen zu entfernen.

In der experimentellen Physik muss das Vakuum also genauer definiert werden. Damit alle Physiker und Ingenieure, die diesen Begriff verwenden, auch das Gleiche darunter verstehen, hat das Deutsche Institut für Normung die Definition des Begriffs Vakuum festgelegt.

In der DIN-Norm 28400 steht:

„Vakuum heißt der Zustand eines Gases, wenn in einem Behälter der Druck des Gases und damit die Teilchenzahldichte niedriger ist als außerhalb oder wenn der Druck des Gases niedriger ist als 300 mbar, d. h. kleiner als der niedrigste auf der Erdoberfläche vorkommende Atmosphärendruck.“

Nach dieser Definition kann schon von einem Vakuum gesprochen werden, wenn nur ein kleiner Teil der Luft aus dem Behälter abgepumpt worden ist. Dann ist der Innendruck schon geringer als der Außendruck. So erzeugt man vom Beginn des Abpumpvorganges an ein Vakuum.

WAS IST LUFT?

Als Luft wird das Gemisch verschiedener Gase bezeichnet, welches die Erdatmosphäre bildet. Dieses Gasgemisch ist unsichtbar, geschmacksneutral und geruchlos. Die wichtigsten Bestandteile der Luft sind Stickstoff und Sauerstoff. Darüber hinaus gibt es noch eine Vielzahl weiterer Komponenten, die in kleinen Mengen in der Luft enthalten sind, wie z. B. Edelgase, Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und Methan.

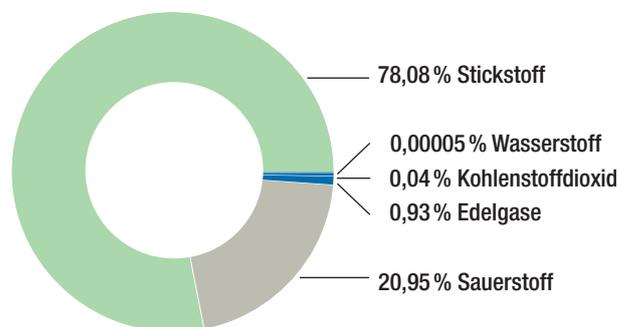


Abbildung 1: Hauptbestandteile der Luft in Volumenprozent

Die oben genannten Gase bestehen aus Atomen und Molekülen. Der Einfachheit halber werden im Folgenden alle Teilchen aus denen sich die Luft zusammensetzt als Luftteilchen bezeichnet. Diese Luftteilchen kann man sich als winzig kleine Kugeln vorstellen, die ständig in Bewegung sind. Dabei stoßen sie gegeneinander und ändern ihre

Geschwindigkeit sowie ihre Bewegungsrichtung. Die Luftteilchen sind so klein, dass sie mit bloßem Auge nicht zu sehen sind. Trotzdem gibt es extrem viele davon. In einer „leeren“ Milchpackung befinden sich deutlich mehr Luftteilchen, als es Insekten auf der Erde gibt. Zwischen diesen einzelnen Luftteilchen herrscht Vakuum.

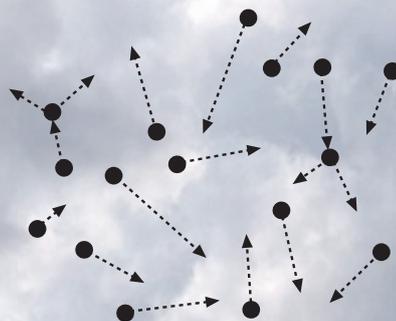


Abbildung 2: Schematische Darstellung sich bewegnender Luftteilchen (die Pfeile geben die Bewegungsrichtung und die Geschwindigkeit an)



WAS IST LUFTDRUCK?

Die Luft zeichnet sich dadurch aus, dass alle Luftteilchen im Raum frei umherfliegen und dabei aneinanderstoßen. Befindet sich Luft in einem Behälter, so stoßen die Luftteilchen auch ständig gegen die Behälterwände und prallen wie Bälle an einer Wand ab. Durch dieses intensive Prasseln der Luftteilchen wirkt eine Kraft senkrecht auf die Behälterwand: Die Luft übt einen Druck aus.

Zusatz: Je mehr Teilchen sich in einem bestimmten Raum befinden, desto höher ist der Druck.

Die Luft drückt auf alles, was uns umgibt, auch auf Pflanzen, Tiere und Menschen. Auf einen Fingernagel drückt die Luft so stark, als würde auf ihm eine volle 1-Liter-Wasserflasche stehen. Rechnet man das auf den gesamten Körper hoch, entspricht das einer Masse von 18 Tonnen, die auf einem Menschen lastet. Ein U-Bahn-Waggon oder fünf ausgewachsene Elefanten wiegen genauso viel. In der Regel nimmt man diesen Luftdruck nicht wahr, weil diesem ein innerer Druck entgegenwirkt. Wir leben auf dem Grund eines Meeres aus Luft. Der Luftdruck ist nicht an jedem Ort auf der Erde gleich. Mit zunehmender Höhe wird die Luft der Atmosphäre dünner d. h. die Dichte nimmt ab und damit auch der Druck.

Abbildung 3: Abhängigkeit des Luftdrucks von der Höhe



Reiseflughöhe
10 000 m $\hat{=}$ 250 mbar

Mount Everest
8900 m $\hat{=}$ 340 mbar

Zugspitze
2900 m $\hat{=}$ 690 mbar

Fernsehturm Berlin
368 m $\hat{=}$ 968 mbar

Meereshöhe 1013 mbar

Wusstest Du, dass Luftdruck in sechs verschiedenen Einheiten angegeben werden kann?

Der Normaldruck wurde auf $1,01325 \text{ bar} = 1013,25 \text{ mbar}$ festgelegt. Er soll dem mittleren Druck auf Meereshöhe entsprechen. Die gebräuchliche Einheit für den Druck ist hPa, wobei $1 \text{ hPa (Hektopascal)} = 1 \text{ mbar (Millibar)}$ entspricht.

Wie wirkt der Druck auf unseren Körper?

Auch wenn sich der Außendruck ändert, bleibt der Druck in unserem Körper nahezu gleich. Da dieser nach außen wirkt, kann das Reisen in der Höhe unangenehm sein. Viele Menschen leiden dann unter Kopfschmerzen, Verdauungsstörungen, schweren Beinen oder Herzklopfen. Ganz besonders wirkt sich der Außendruck dabei auf jene Körperteile aus, die Gase enthalten, d. h. luftgefüllte Hohlräume wie z. B. auf Magen, Lunge oder Ohr.

Wie genau entsteht der Druck auf das Trommelfell beim Fliegen?

Startet das Flugzeug, wird ein schmerzhafter Druck in den Ohren, genauer gesagt auf das Trommelfell, spürbar. Das Trommelfell ist eine Trennwand zwischen der äußeren Luft und der Luft im Innenohr. Mit zunehmender Höhe nimmt der äußere Luftdruck ab. Die Luft im Ohr drückt noch immer unverändert stark gegen das Trommelfell, sodass dieses sich nun nach außen wölbt.

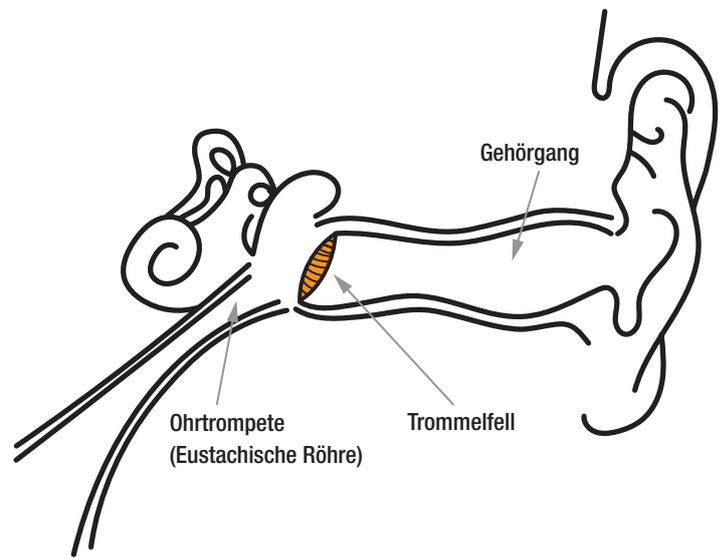


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Innenohres

Abhilfe schafft ein Druckausgleich: Hier werden kleine Ventilchen in der sogenannten Ohrtrompete im Mittelohr geöffnet. Bei geöffnetem Ventil kann Luft hinter das Trommelfell strömen oder von dort abgelassen werden. Durch Schlucken oder Gähnen wird der Luftdruck im Innenohr verringert, bis er sich dem äußeren Luftdruck angepasst hat.

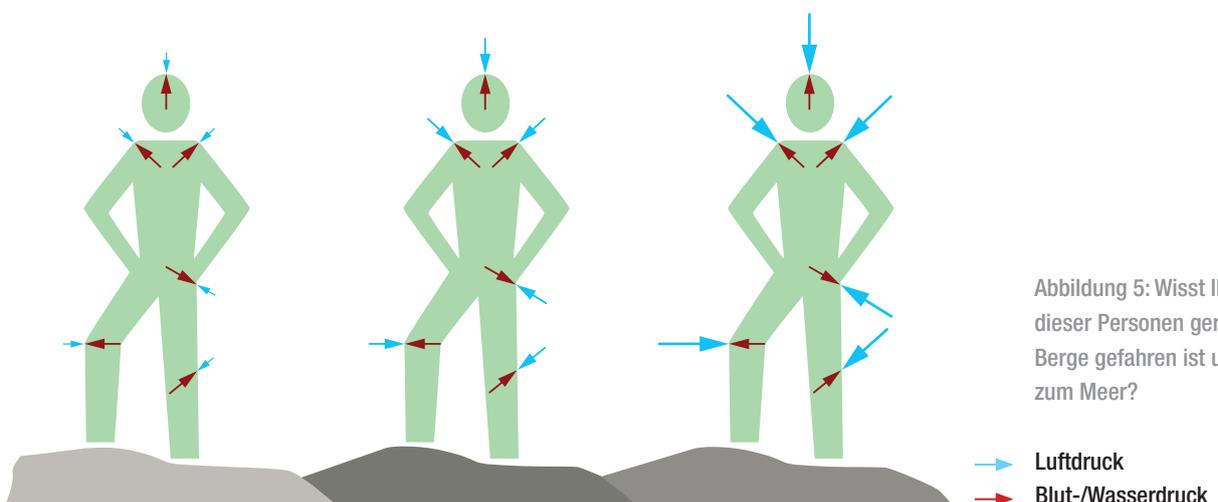


Abbildung 5: Wisst Ihr, welche dieser Personen gerade in die Berge gefahren ist und welche zum Meer?

→ Luftdruck
→ Blut-/Wasserdruck

Auf dem Mount Everest ist der Luftdruck nur noch knapp ein Drittel des normalen Luftdrucks. Weil es dort so wenig Sauerstoff gibt, müssen Bergsteiger oft Atemmasken tragen.

WAS IST DICHTER?

Die Dichte, Formelzeichen ρ (aus dem Griechischen, gesprochen rho), ist eine physikalische Eigenschaft eines Stoffes. Sie ist durch das Verhältnis aus der Masse m und dem Volumen V definiert:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Die offizielle Einheit der Dichte, die abgeleitete SI-Einheit, ist kg/m^3 . Bei Rechenaufgaben zur Dichte sind oft Einheitenumwandlungen notwendig. Deshalb beachte:

$$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

$$1 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3}$$

Masse der Luft

Wiegt Luft eigentlich etwas? Wer schon einmal über diese Frage nachgedacht hat, ist möglicherweise zu dem Schluss gekommen, dass Luft möglicherweise nichts wiegt. Denn man spürt sie ja nicht (außer sie bewegt sich schnell in Form von Wind).

Dies ist jedoch nicht richtig. Tatsächlich hat Luft, wie jeder andere Stoff auch, eine Masse. Sie ist abhängig vom Druck und von der Temperatur (siehe Tabelle unten). Bei normalen Bedingungen wiegt 1 Liter Luft 1,2 g. 1 Liter entspricht dem Volumen einer Milchflasche.



Die Dichte der Luft hängt vom Luftdruck und der Temperatur ab. Dies zeigt die unten stehende Tabelle.

Luftdichte in $\frac{\text{g}}{\text{l}}$

	980	990	1000	1010	1013	1020	1030	1040	1050	mbar
0	1,250	1,263	1,275	1,288	1,293	1,301	1,314	1,327	1,340	
2	1,240	1,253	1,266	1,279	1,283	1,291	1,304	1,317	1,329	
4	1,232	1,244	1,257	1,270	1,274	1,282	1,295	1,308	1,320	
6	1,223	1,236	1,248	1,260	1,265	1,273	1,285	1,297	1,310	
8	1,214	1,227	1,239	1,252	1,256	1,264	1,276	1,288	1,301	
10	1,206	1,218	1,230	1,243	1,247	1,255	1,267	1,279	1,292	
12	1,197	1,210	1,222	1,234	1,238	1,246	1,258	1,270	1,282	
14	1,189	1,201	1,213	1,225	1,229	1,238	1,250	1,262	1,274	
16	1,181	1,193	1,205	1,217	1,221	1,229	1,241	1,253	1,265	
18	1,173	1,185	1,200	1,209	1,212	1,221	1,232	1,244	1,256	
20	1,165	1,177	1,188	1,200	1,204	1,212	1,224	1,236	1,248	
22	1,157	1,169	1,180	1,192	1,196	1,204	1,216	1,228	1,240	
24	1,149	1,161	1,172	1,184	1,188	1,196	1,208	1,220	1,231	
26	1,141	1,153	1,165	1,176	1,180	1,188	1,200	1,212	1,223	
28	1,134	1,145	1,157	1,168	1,172	1,180	1,192	1,204	1,215	
30	1,126	1,138	1,149	1,161	1,164	1,172	1,184	1,196	1,207	
32 °C	1,119	1,130	1,142	1,153	1,157	1,165	1,176	1,188	1,199	

Die Dichte der Luft beträgt bei 0 °C und 1013 mbar 1,293 g/l. Dieser Wert wird als Normdichte bezeichnet.

WAS IST SCHALL?

Schall ist der physikalische Ausdruck für alles was wir hören können. Für die Entstehung von Schall wird ein Schallerreger, wie z. B. eine Gitarrensaite, unsere Stimmbänder oder eine Klingel benötigt.

Am Entstehungsort des Schalls wird der Schallerreger zum Schwingen gebracht. Das kann man spüren, wenn man beim Sprechen einen Finger auf den Kehlkopf hält. Dabei werden die umgebenen Luftteilchen zum Schwingen angeregt. Die Luftteilchen bewegen sich nun in alle Raumrichtungen von der Schallquelle weg, bis sie auf Nachbarpartikeln treffen und ihre

Bewegungsenergie an diese weitergeben: Eine Schallwelle ist entstanden. Dort, wo die Teilchen auf ihre Nachbarpartikeln treffen, ist der Luftdruck ein wenig höher als in der Umgebung. Deshalb kann eine Schallwelle auch als Druckwelle bezeichnet werden. Diese breitet sich in Luft mit 343 m/s also ca. 1200 km/h aus, der sogenannten Schallgeschwindigkeit.

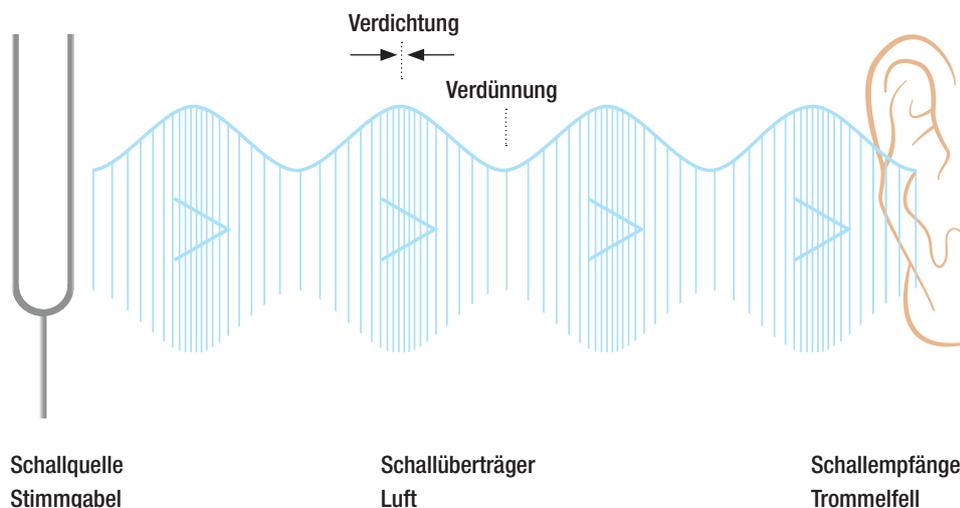


Abbildung 6: Veranschaulichung der Übertragung von Schallwellen in der Luft

Schallwellen können sich jedoch nicht nur in gasförmiger Materie ausbreiten. Auch Flüssigkeiten oder feste Stoffe, beispielsweise Glas oder Beton, sind in der Lage Schall zu übertragen. Darum können sich Meereslebewesen, wie z. B. Wale, unter Wasser verständigen. Die Ausbreitung des Schalls im Wasser ist viermal schneller als in Luft. Das liegt daran, dass die Teilchen im Wasser enger beieinander liegen.

Trifft die Schallwelle auf unser Trommelfell, so wird dieses ebenfalls zum Schwingen gebracht. Diese Schwingungen werden über die Gehörknöchelchen zum Innenohr übertragen, wo sie in elektrische Impulse umgewandelt und an unser Gehirn weitergeleitet werden.

Experiment

Lege deinen Kopf auf eine Tischplatte und lasse eine andere Person möglichst weit entfernt auf den Tisch klopfen. Hörst du etwas? Wie kommt der Schall zum Ohr?

Eine Bowlingkugel und ein Fußball erfahren ungefähr den gleichen Auftrieb. Trotzdem sinkt eine Bowlingkugel im Wasser aufgrund der wesentlich größeren Gewichtskraft, die auf sie wirkt.

WAS IST AUFTRIEB?

Jeder kennt das Phänomen, dass z. B. auf einen Plastikball, der unter Wasser gedrückt wird, eine hohe Kraft nach oben wirkt. Der Ball schießt regelrecht aus dem Wasser, wenn er losgelassen wird. Diese nach oben gerichtete Kraft heißt Auftriebskraft oder auch kurz Auftrieb und lässt einen Körper im Wasser viel leichter erscheinen. Sie täuscht eine Verminderung der nach unten gerichteten Gewichtskraft vor.

Schon im alten Griechenland machte Archimedes beim Baden in einer Wanne eine geniale Beobachtung. Das Wasser schwappte über den Rand der bis oben gefüllten Wanne, als er sich hineinsetzte. Die verdrängte Wassermenge entsprach dabei dem Volumen seines Körpers. Er dachte sogar noch etwas weiter nach und kam schließlich zu folgendem Schluss, der heute als Satz des Archimedes bekannt ist:

„Die Auftriebskraft ist so groß wie die Gewichtskraft des verdrängten Mediums.“

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V$$

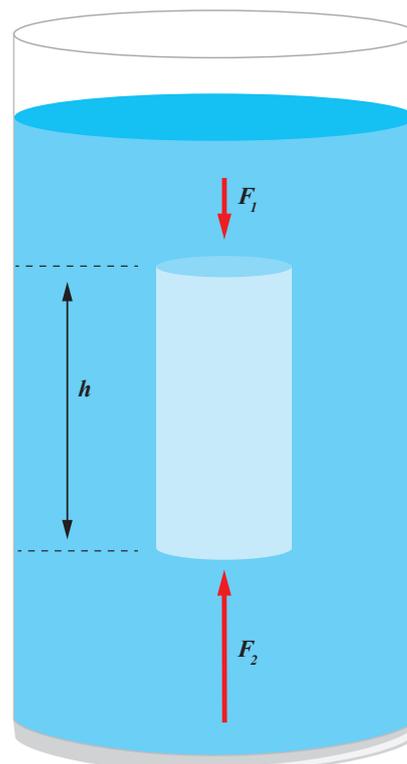
F_A Auftriebskraft
 ρ Dichte des verdrängten Mediums (griech. rho)
 g Erdbeschleunigung (Zeuthen: 9,81 m/s²)
 V Volumen des Körpers

F_1, F_2 Druckkräfte
 $F_1 < F_2$
 h Höhe des Körpers

Abbildung 7: Veranschaulichung des Auftriebes im Wasser

Aber wie entsteht die Auftriebskraft?

Der Druck im Wasser wird mit zunehmender Tiefe größer. Dieses Phänomen hat jeder schon einmal beim Tauchen selbst erfahren können. Je tiefer getaucht wird, desto stärker schmerzen die Ohren. Wird ein Zylinder unter Wasser betrachtet, lässt sich erkennen, dass auf die untere Fläche des Zylinders eine größere Kraft F_2 wirkt als auf die obere Fläche (Kraft F_1). Das liegt daran, dass die untere Fläche tiefer (Höhenunterschied h) im Wasser ist, wo ein höherer Druck herrscht. Die daraus resultierende Kraft wird Auftriebskraft F_A genannt und berechnet sich wie folgt: $F_A = F_2 - F_1$. Die Auftriebskraft wirkt somit nach oben.



Bekannte Alltagsphänomene werden durch das Wirken der Auftriebskraft erklärt. So schwimmen Schiffe nur dann auf dem Wasser, wenn ihre mittlere Dichte geringer ist als die Dichte des verdrängten Wassers. Gleiches gilt für Rettungsringe und Schwimmflügel.



Abbildung 8: Forschungs-U-Boot des Forschungszentrums GEOMAR

Besonders interessant ist die Funktionsweise von U-Booten. Da sich das Volumen des U-Bootes nicht ändert, bleibt die Auftriebskraft konstant. Durch Änderung der Gewichtskraft F_G können folgende Effekte erzielt werden:

Sinken ($F_G > F_A$)

Um das U-Boot zum Sinken zu bringen, werden die Ballasttanks mit Wasser geflutet. Damit nimmt die Gewichtskraft des U-Bootes zu und übersteigt die Auftriebskraft. Das U-Boot sinkt.

Schweben ($F_G = F_A$)

Zum Beibehalten einer bestimmten Wassertiefe müssen Gewichtskraft und Auftriebskraft gleich groß sein. Dies wird erreicht, indem die leeren Ballasttanks so lange geflutet werden, bis die beiden Kräfte übereinstimmen.

Aufsteigen ($F_G < F_A$)

Damit das U-Boot zur Wasseroberfläche zurückkehren kann, werden die Ballasttanks vollständig leergepumpt. Die Gewichtskraft nimmt dabei ab und die Auftriebskraft überwiegt. Das U-Boot steigt auf.

Auftriebskräfte gibt es nicht nur in Flüssigkeiten sondern auch in Gasen!

Auch hier gilt der Satz des Archimedes. Dies bedeutet, dass z. B. auch in der Luft die Auftriebskraft, die auf einen Körper wirkt, genauso groß ist wie die Gewichtskraft der Luft, die durch diesen Körper verdrängt wird. Da die Dichte von Luft jedoch sehr viel kleiner ist als die Dichte von Wasser, ist auch die Auftriebskraft in Luft sehr viel kleiner als die Auftriebskraft in Wasser. Dennoch wird sich dieser Effekt zunutze gemacht, z. B. bei Heißluftballons oder Zeppelinen.

WAS IST LUFTWIDERSTAND?

Dem Luftwiderstand begegnet man in verschiedenen Alltagssituationen. Um Höchstgeschwindigkeiten zu erreichen, baut man Rennwagen besonders flach und windschnittig. Im Gegensatz dazu wird der abbremsende Effekt der umgebenden Luft z. B. beim Fallschirm ausgenutzt.

Wenn sich ein Gegenstand durch die Luft bewegt, dann muss er die Luft, die im Weg ist, verdrängen, um sich dorthin bewegen zu können. Durch das Verdrängen wird der bewegte Gegenstand abgebremst. Dieser Effekt wird als Luftwiderstand bezeichnet und kann mit der Bewegung einer Person durch eine Menschenmenge veranschaulicht werden: Trifft man auf Personen, die im Weg sind, so wird man abgebremst und kann sich erst weiter bewegen, wenn die Personen zur Seite geschoben wurden. Jedoch wird man dadurch langsamer.

Je größer die Fläche des Gegenstandes ist, desto mehr Luft muss er verdrängen und somit steigt sein Luftwiderstand an. Dementsprechend besitzt der rechte Fallschirm in Abbildung 9 einen größeren Luftwiderstand und landet bei gleicher Last später als der linke.

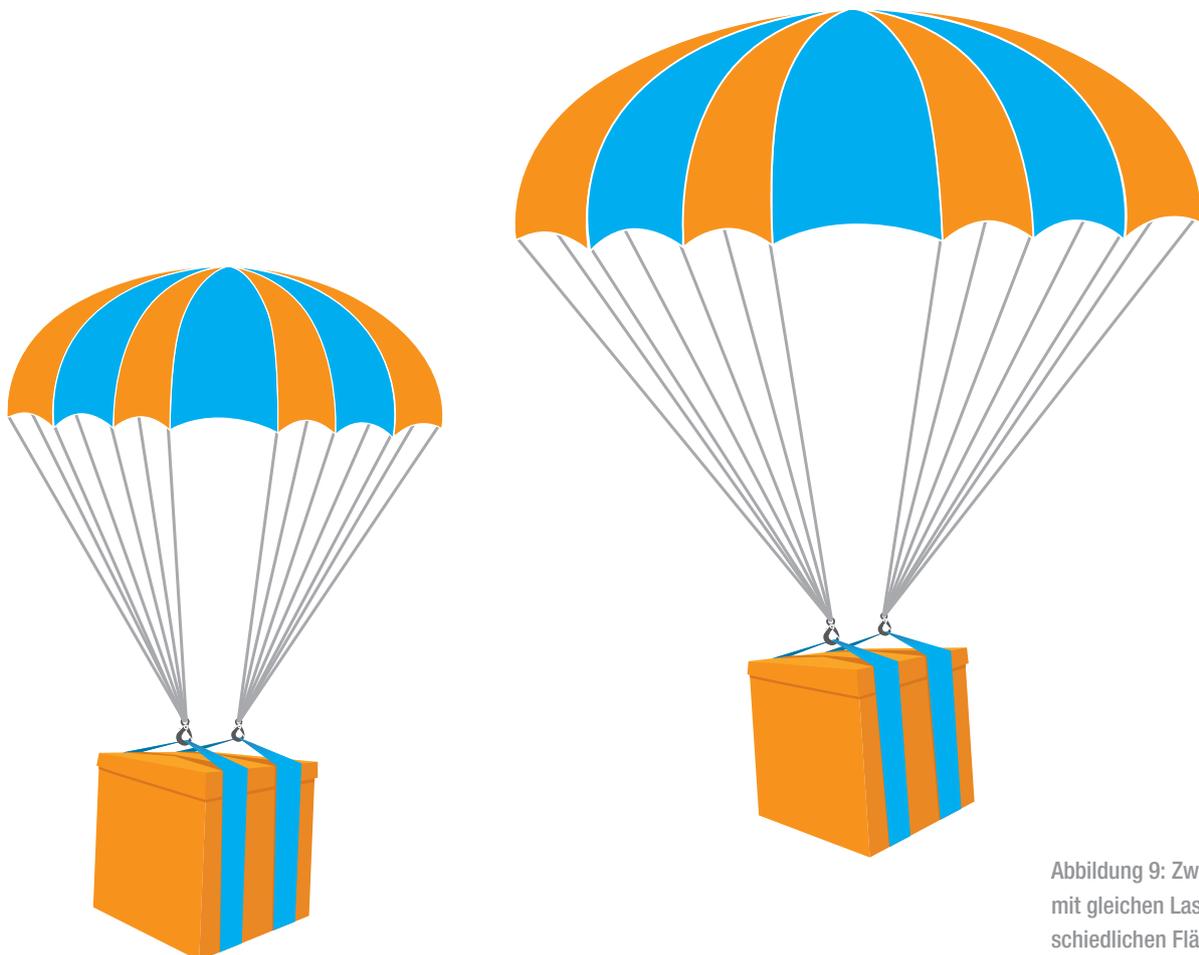


Abbildung 9: Zwei Fallschirme mit gleichen Lasten und unterschiedlichen Flächen

Neben der Fläche wird der Luftwiderstand eines Körpers auch durch seine Form und Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst. In Abbildung 10 ist zu erkennen, wie unterschiedliche Formen zu verschiedenen Verwirbelungen führen, welche in der Regel ein zusätzliches Abbremsen bewirken. Die Kugel (links im Bild) erzeugt Verwirbelungen, die sie stärker verlangsamen, als die verwirbelungsfreie Strömung bei der Tropfenform (rechts im Bild). Außerdem hat die Oberflächenbeschaffenheit (Rauigkeit, Struktur...) auch einen Einfluss auf den Luftwiderstand.

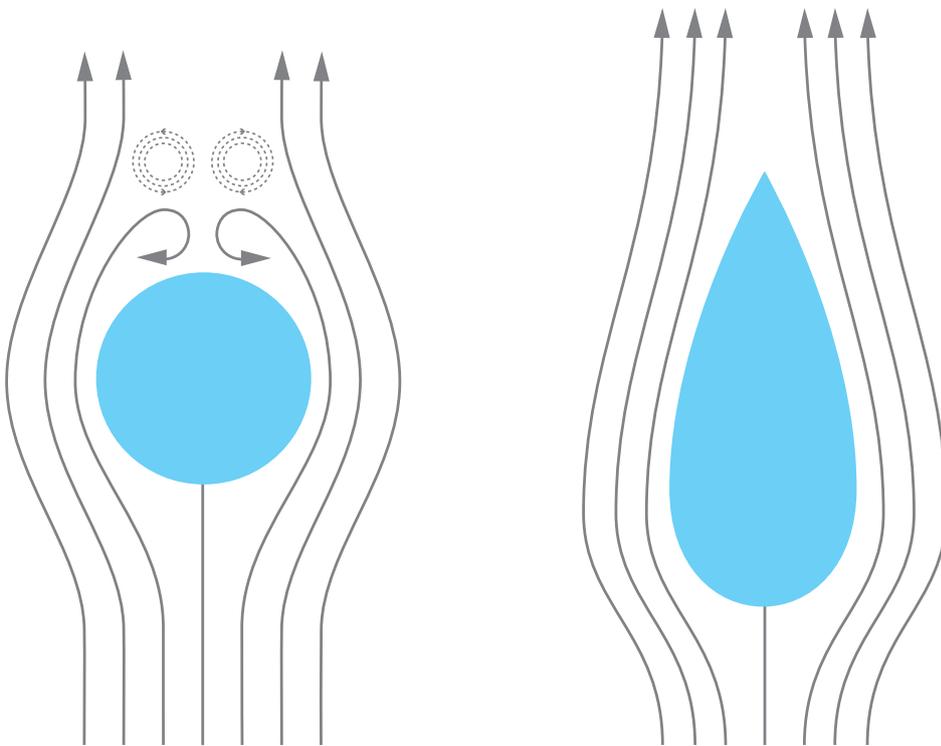


Abbildung 10: Veranschaulichung der Strömung bei unterschiedlich geformten Körpern

Maximale Fallgeschwindigkeit

Die maximale Fallgeschwindigkeit eines Körpers ist jedoch nicht nur von dessen Luftwiderstand abhängig.

Werden zwei Gegenstände mit gleicher Fläche und Form fallen gelassen, dann haben sie auch den gleichen Luftwiderstand. Sind diese Gegenstände jedoch unterschiedlich schwer (da sie z. B. aus unterschiedlichen Materialien sind), dann fällt der schwere Gegenstand mit einer höheren Geschwindigkeit, als der Leichte. Das liegt daran, dass der schwere Gegenstand eine höhere Gewichtskraft hat, um den Luftwiderstand zu überwinden.

WAS IST WÄRME?

Wir wissen, dass sich Luftteilchen ungeordnet bewegen und ständig aneinander stoßen. Die Geschwindigkeit von Teilchen können wir mit einem Thermometer messen, denn: Die Temperatur ist ein Maß für die durchschnittliche Geschwindigkeit von Teilchen. „Durchschnittliche Geschwindigkeit“ heißt es deshalb, weil es Teilchen gibt, die sich langsamer bewegen, aber auch solche, die sich schneller bewegen. Je höher die durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen ist, desto höher ist auch die Temperatur.



Wusstest Du, dass nicht nur vermeintlich „heiße Gegenstände“ wie die Sonne oder Feuer thermische Energie in Form von Wärmestrahlung abgeben, sondern auch „kühl erscheinende“ Dinge wie Häuser.

Um die Temperatur eines Körpers zu ändern, muss ihm Energie in Form von Wärme zugeführt oder entzogen werden. Diese sogenannte Wärmeübertragung von einem Körper auf einen anderen kann auf drei verschiedene Arten geschehen:

Wärmeströmung

Bei Wärmeströmung, auch thermische Konvektion genannt, übertragen strömende Flüssigkeiten oder Gase Wärmeenergie von einem Körper auf einen anderen.



Die Kerze erwärmt die Luft. Warme Luft steigt nach oben und versetzt die Pyramidenflügel in Bewegung.

Wärmeleitung

Die Moleküle eines Stoffes geben ihre Bewegungsenergie bei Stoßprozessen an benachbarte Moleküle weiter und somit wird die Wärme weitergeleitet.



Die Herdwärme wird durch den Topf zum Inhalt geleitet.

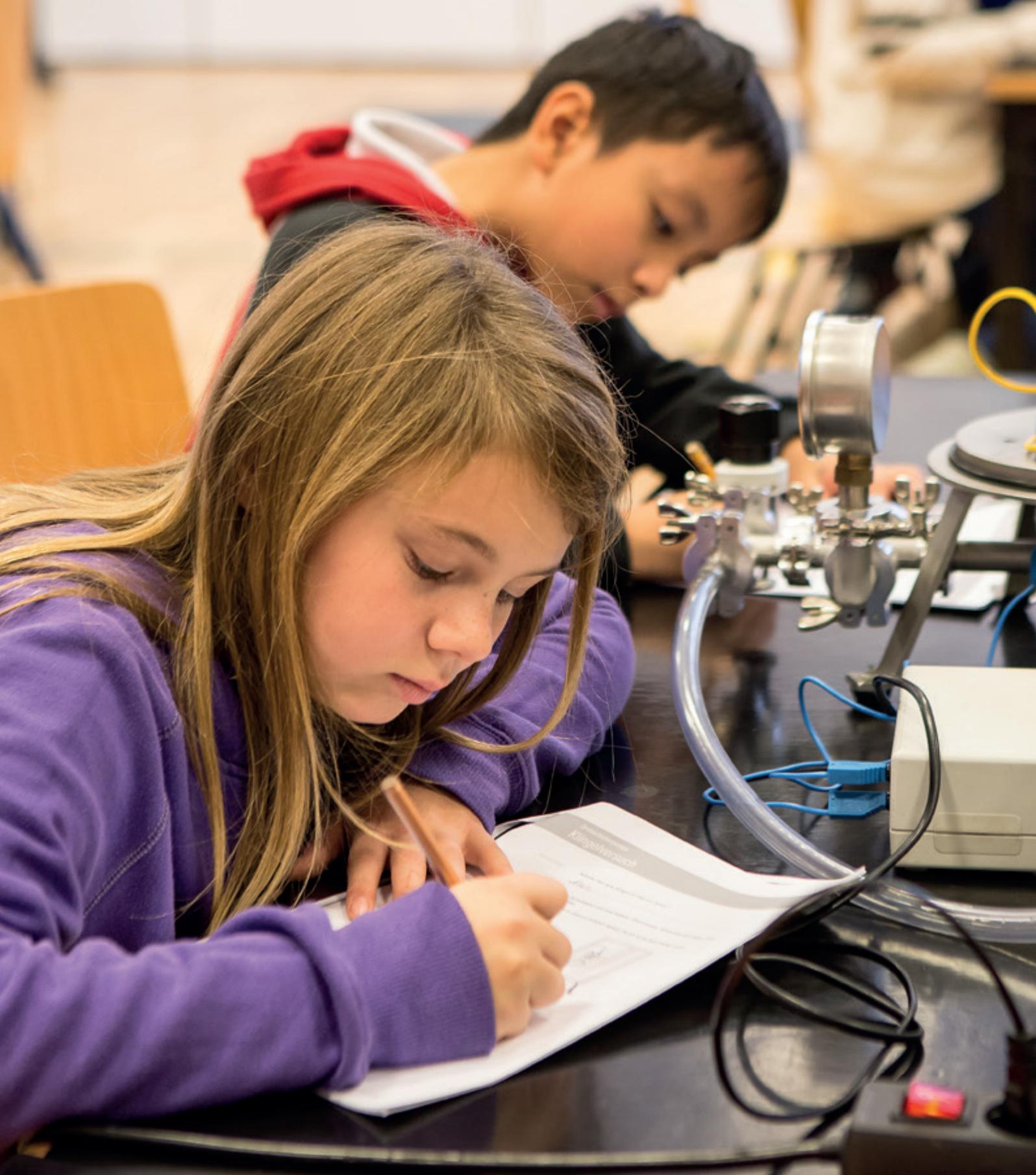
Wärmestrahlung

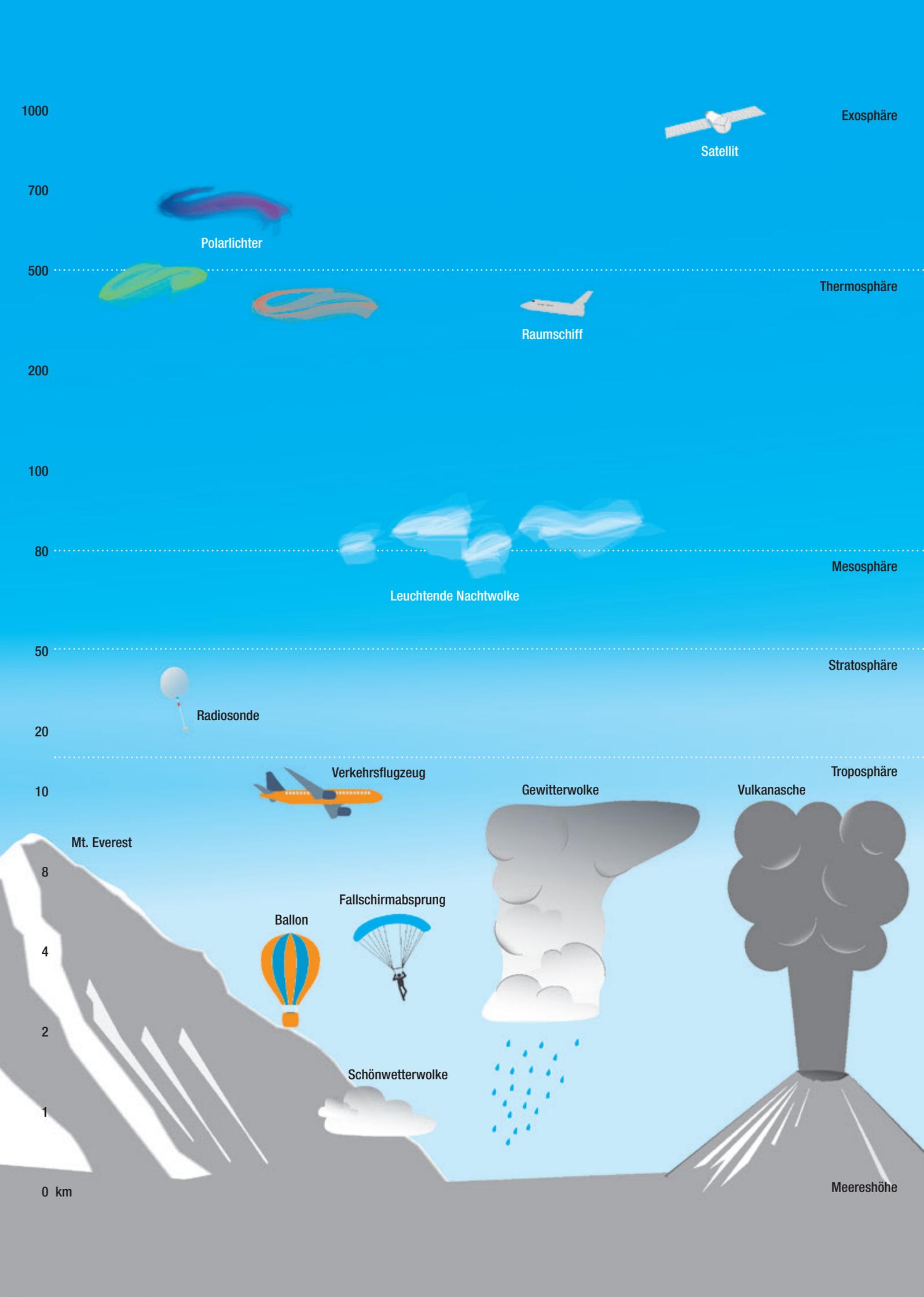
Wärmestrahlung ist eine Form von elektromagnetischen Wellen, die auch im luftleeren Raum übertragen werden kann. Sie sorgt dafür, dass die Sonnenenergie durch das Weltall zu uns gelangen kann.



Bei schönem Wetter spürt man die Wärme der Sonne auf der Haut.

MEHR WISSEN





1000
700
500
200
100
80
50
20
10
8
4
2
1
0 km

Exosphäre
Thermosphäre
Mesosphäre
Stratosphäre
Troposphäre
Meereshöhe



Satellit



Polarlichter



Raumschiff



Leuchtende Nachtwolke



Radiosonde



Verkehrsflugzeug



Gewitterwolke



Vulkanasche



Ballon



Fallschirmabsprung



Schönwetterwolke

Mt. Everest

Meereshöhe

LUFTDRUCK UND WETTER

Jeder kennt das Phänomen: Im Wetterbericht ist wieder von einem Tiefdruckgebiet die Rede, das die nächste Regenfront mit sich bringen soll. Aber was genau bedeutet Tiefdruckgebiet? Und was hat das mit dem Regen zu tun? Um das zu verstehen, muss der Aufbau der Erdatmosphäre genauer betrachtet werden.

Die Atmosphäre

Die Erde ist von einer kilometerdicken Lufthülle umgeben, die uns nicht nur mit Luft zum Atmen versorgt, sondern auch vor UV- und kosmischer Strahlung schützt und somit das irdische Leben ermöglicht. Die Atmosphäre ist aus mehreren Schichten aufgebaut. Aufgrund der Erdanziehungskraft, die auf die Luftteilchen wirkt, ist die Dichte der Luft auf Meeresspiegelniveau höher, das heißt es befinden sich mehr Luftteilchen in einem bestimmten Volumen. Je größer der Abstand zum Meeresspiegel ist, desto dünner wird die Luft, das heißt desto geringer ist ihre Dichte.

Troposphäre

Die unterste Schicht der Atmosphäre ist die Troposphäre. Sie reicht bis in eine Höhe von etwa zehn Kilometern. Hier befinden sich etwa 80 bis 90 Prozent der gesamten Luftmasse der Atmosphäre. Durch Druck- und Temperaturunterschiede entsteht in der Troposphäre das Wetter auf der Erde. Flugzeuge fliegen am oberen Rand der Troposphäre, um Turbulenzen durch Wind und Niederschläge zu vermeiden. Innerhalb der Troposphäre nimmt die Temperatur mit der Höhe um ca. $6,5^{\circ}\text{C}$ pro Kilometer ab, sodass am oberen Rand Temperaturen von -80°C herrschen.

Stratosphäre

Die nächste Schicht ist die Stratosphäre, die sich bis auf eine Höhe von etwa 50 km erstreckt. Hier befindet sich auch die Ozonschicht, die uns vor den gefährlichen UV-Strahlen der Sonne schützt. Durch die Absorption des UV-Lichtes steigt die Temperatur in der Stratosphäre von -80°C auf 0°C an.

Mesosphäre

An die Stratosphäre grenzt die Mesosphäre. Sie reicht bis in eine Höhe von etwa 80 Kilometern. Die Mesosphäre wird auch als kalte Schicht bezeichnet, da die Temperatur hier auf bis zu -120°C absinkt. Der Luftdruck in der Mesosphäre ist nur noch ein Tausendstel dessen auf Meereshöhe. In der Mesosphäre verglühen Staubteilchen und kleinere Gesteinsbrocken aus dem Weltall, was wir in Form von Sternschnuppen beobachten können.

Thermosphäre

Die zweithöchste Schicht der Erde ist die Thermosphäre und reicht bis in eine Höhe von 500 km. In der Thermosphäre umkreisen sowohl die Internationale Raumstation (ISS) als auch Space Shuttles die Erde. Die Luft ist extrem dünn, sodass der Abstand zwischen den Gasteilchen mehrere Kilometer betragen kann. Die mittlere Bewegungsenergie der Gasteilchen in der Thermosphäre kann einer Temperatur von über 2000°C entsprechen. Unsere Vorstellung von hohen Temperaturen ist hier jedoch nicht mehr gültig. Die Gasteilchen haben zwar eine sehr hohe Geschwindigkeit (was die hohe Temperatur beschreibt), jedoch kommt es aufgrund der großen Entfernung der Gasteilchen nicht zum Energieaustausch, da kaum Stöße stattfinden und deswegen kann man die hohe Temperatur kaum spüren.

Exosphäre

Die Exosphäre schließt sich an die Thermosphäre an und bezeichnet den fließenden Übergang ins Weltall. Die Erdanziehungskraft ist hier bereits so schwach, dass die Gasmoleküle nicht mehr an die Erde gebunden sind, sondern ins Weltall entweichen können.

Die Bezeichnungen für die Hochdruck- und Tiefdruckgebiete sind immer Männer- und Frauennamen. Diese werden vom Meteorologischen Institut der Freien Universität Berlin vergeben. In geraden Jahren erhalten Hochdruckgebiete weibliche Namen und Tiefdruckgebiete männliche. In ungeraden Jahren ist es umgekehrt.

Hoch- und Tiefdruckgebiete

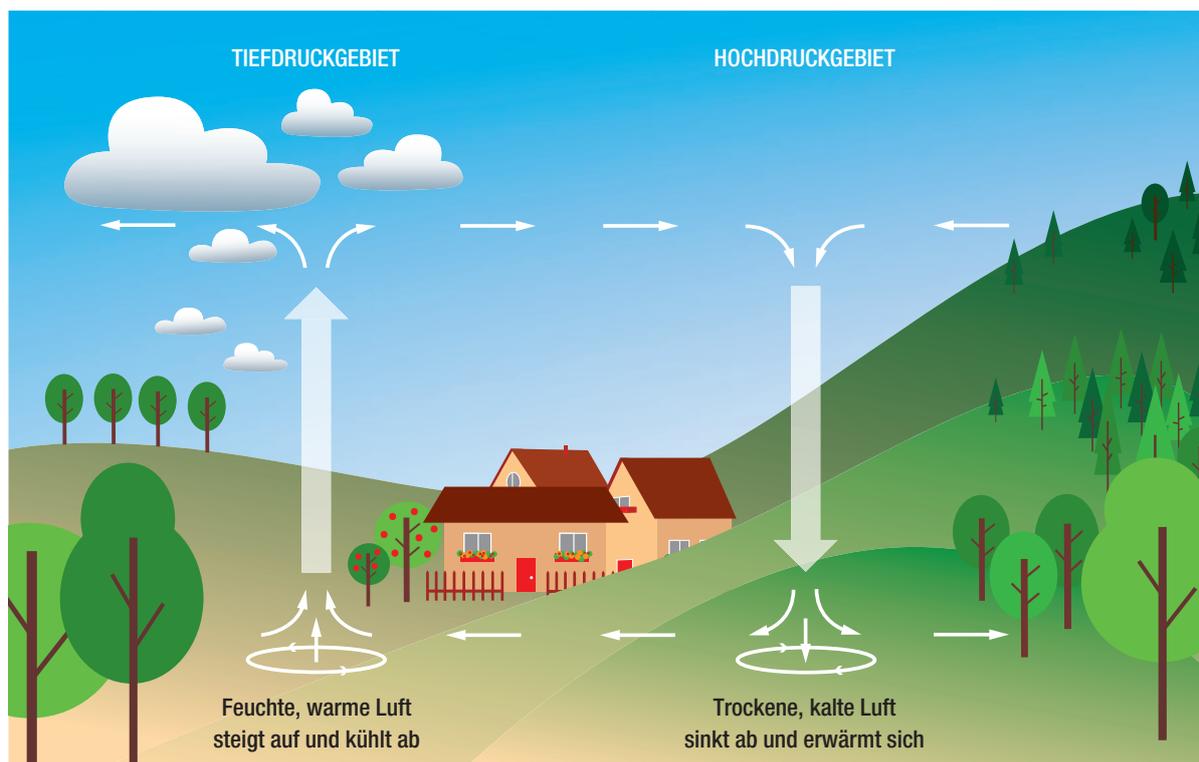
Das Wetter ist ein Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort, zu einem bestimmten Zeitpunkt. Dies wird hauptsächlich durch die folgenden Elemente bestimmt: Sonneneinstrahlung, Luftdruck, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windverhältnisse. Die Luft über der Erdoberfläche wird durch die Sonneneinstrahlung ungleichmäßig erwärmt; dabei spielt neben der Bodenbeschaffenheit (z. B. Sand, Steine, Wasser) auch die Boden-neigung (z. B. Hang, Ebene) eine wesentliche Rolle. Dort wo eine Erwärmung stattfindet dehnt sich die Luft aus und steigt nach oben. Sie kühlt sich dabei ab; der enthaltene Wasserdampf kondensiert und es bilden sich Wolken. Dadurch befinden sich weniger Luftteilchen über der Erdoberfläche: der Luftdruck in diesen Gebieten sinkt und es wird von einem Tiefdruckgebiet (T) gesprochen. In kälteren Gebieten hingegen brauchen die Teilchen weniger Platz und rücken in einem bestimmten Volumen näher zusammen, wodurch die Dichte der Luft steigt. Die verdichtete, schwere Luft sinkt ab und es herrscht ein höherer Luftdruck. Dies wird als Hochdruckgebiet (H) bezeichnet. Der Luftdruckunterschied zwischen einem Hoch- und einem Tiefdruckgebiet kann bis zu 100 mbar betragen.

Wie entsteht Wind?

Um diesen Luftdruckunterschied auszugleichen, strömt die Luft aus den wärmeren Gebieten in die kälteren und die Luft beginnt sich zu mischen. Die strömenden Luftmassen bezeichnen wir als Wind. Je nachdem wie stark der Luftdruckunterschied, bzw. der Temperaturunterschied ist, kann es zu leichteren Winden bis hin zu heftigen Orkanen kommen.

Da durch die Sonneneinstrahlung ständig neue Luftmassen erwärmt werden, kommt es kontinuierlich zur Entstehung von neuen Hoch- und Tiefdruckgebieten. Diese können pro Tag bis zu 2000 km zurücklegen und einen Durchmesser von 1500 km erreichen.

Abbildung 11: Entstehung von Hoch- und Tiefdruckgebieten

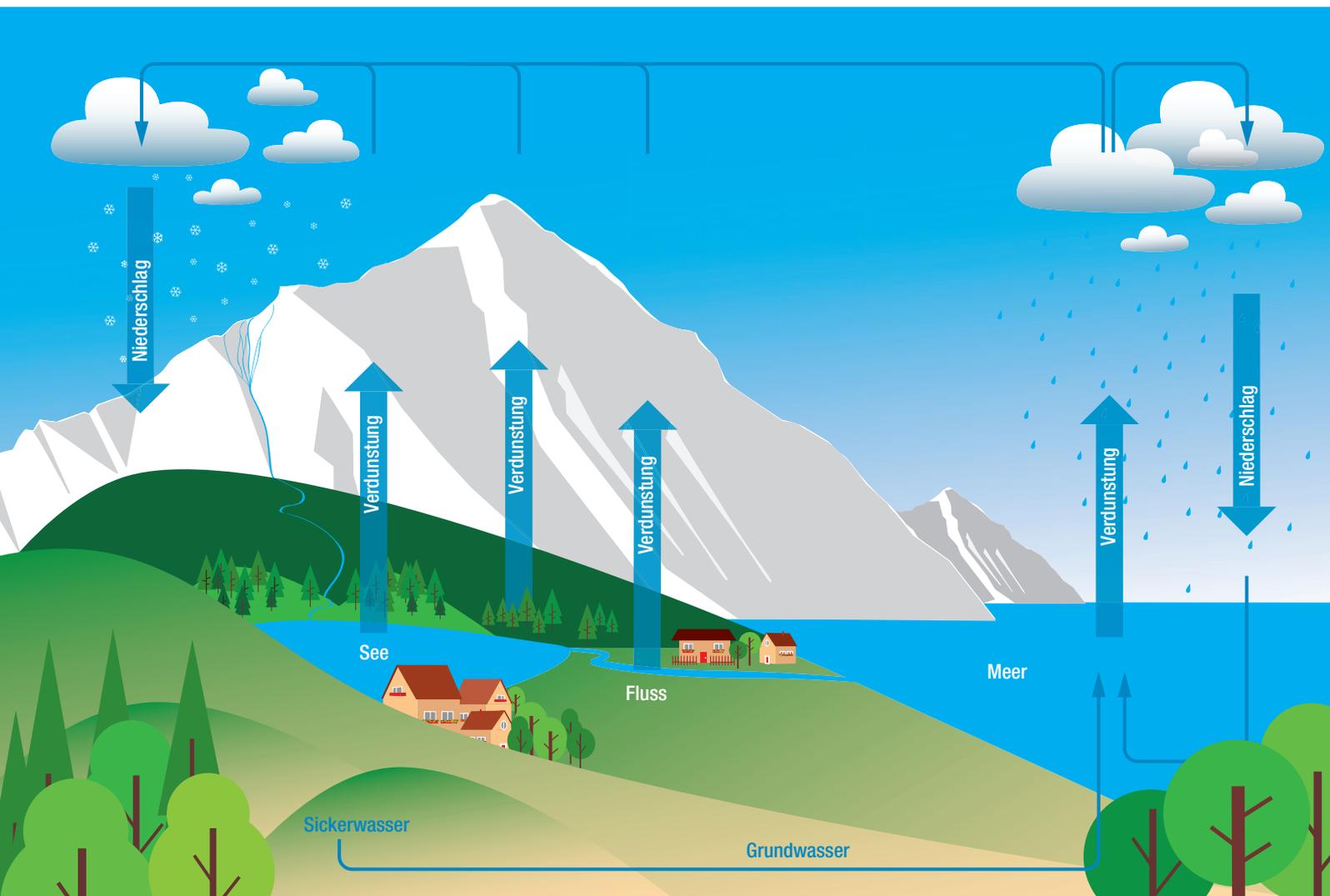


Wie entstehen Niederschläge?

Durch die Sonneneinstrahlung auf der Erdoberfläche kommt es nicht nur zum Erwärmen der Luftmassen, sondern auch zur Verdunstung von Wasser. Hierbei verdunstet flüssiges Wasser, geht in den gasförmigen Zustand über und wird von der Luft in Form von Wasserdampf aufgenommen. Wie viel Wasser in der Luft enthalten ist, wird durch die Luftfeuchtigkeit beschrieben. Insbesondere von der verdunstenden Meeresoberfläche und feuchten Gebieten wie tropischen Regenwäldern geht ein Großteil der Luftfeuchtigkeit aus.

Die mit Wasserdampf gesättigte Luft der wärmeren Tiefdruckgebiete steigt nun auf und kühlt in der Atmosphäre ab. Da kalte Luft aber weniger Wasser aufnehmen kann als warme, kondensiert der Wasserdampf in der Luft und es entstehen Wolken. Diese führen schließlich zu Niederschlag. In einem Hochdruckgebiet hingegen ist die Luft häufig kalt und trocken. Sinkt ein Hochdruckgebiet ab, erwärmt sich nämlich die Luft und kann dadurch mehr Feuchtigkeit aufnehmen. Daher kommt es in Hochdruckgebieten seltener zu Wolken und es herrscht häufig schönes Wetter.

Abbildung 12: Wasserkreislauf



Das größte Magnetfeld, das wir auf der Erde kennen, ist das Erdmagnetfeld. Dort, wo du auf unserem Planeten den geografischen Nordpol findest, befindet sich der magnetische Südpol. Dort, wo du den geografischen Südpol findest, befindet sich wiederum der magnetische Nordpol.

MAGNETISMUS IM VAKUUM

Im Alltag begegnet man Magneten. Sie haften am Kühlschrank, sind der Grund, warum Töne aus den Lautsprechern der Musikanlage kommen und nutzen bei der Orientierung mit Hilfe eines Kompasses. Doch wie funktioniert das überhaupt?

Ein Magnet kann Körper aus Eisen, Nickel oder Cobalt anziehen. Das Magnetfeld eines Magneten wird sichtbar, wenn Eisenspäne in das Magnetfeld eingeführt werden. Dann richten sich die feinen Späne genau nach den Feldlinien des Magnetfeldes aus. Jedes Magnetfeld hat einen Nord- und einen Südpol. Wird ein Dauermagnet mit einem weiteren Magneten zusammen gebracht, ist Folgendes zu erkennen: Gleiche Pole (Nord-Nord/Süd-Süd) stoßen sich ab, während sich ungleiche Pole (Nord-Süd) anziehen.

Ebenso wie die Eisenspäne im Magnetfeld eines Dauermagneten, richtet sich auch die Nadel eines Kompasses stets nach dem Magnetfeld der Erde aus, da die Kompassnadel selbst ein kleiner Magnet ist.

Funktioniert ein Kompass auch im Vakuum?

Die Antwort lautet: Ja! Magnetfelder brauchen, anders als z.B. Schall, kein Medium, um sich auszuweiten. Somit ist es egal, ob ein Kompass von Luft umgeben ist oder sich im Vakuum befindet. Das beste Beispiel hierfür liefert erneut das Erdmagnetfeld, das auch außerhalb unserer Atmosphäre noch weit in das Weltall hinein reicht. Das Erdmagnetfeld dient also nicht nur der Orientierung auf unserem Planeten, es schützt uns sogar.

Die Erde ist ständiger Strahlung, der kosmischen Strahlung, ausgesetzt, die unter anderem von der Sonne kommt. Diese Strahlung wird zu großen Teilen durch unser Erdmagnetfeld abgelenkt. Würde sie den Boden und uns erreichen, so wäre ein Leben, wie wir es kennen, nicht möglich. Die kosmische Strahlung ist für Menschen und das meiste Leben auf der Erde schädlich. Durch diese Ablenkung entsteht ein einzigartiger Effekt, der sich in Polarregionen bewundern lässt: die Polarlichter.

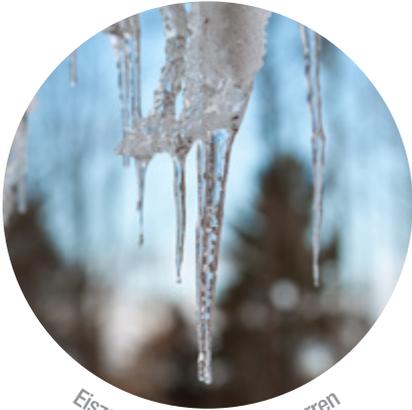
WAS SIND AGGREGATZUSTÄNDE?



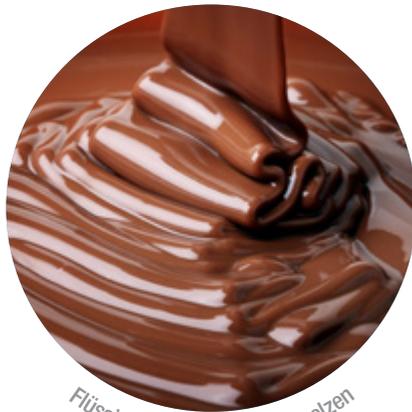
Stoffe befinden sich in verschiedenen Zuständen, den sogenannten Aggregatzuständen (gasförmig, flüssig, fest). Bei den meisten Stoffen kennt man nur einen oder vielleicht zwei dieser Zustände. Es gibt jedoch auch einen Stoff, bei dem wir mit allen Zuständen vertraut sind: das Wasser. Wir kennen es hauptsächlich in seiner flüssigen Form: flüssiges Wasser. Aber auch der feste (Wassereis, kurz Eis) und gasförmige Zustand (Wasserdampf, kurz Dampf) sind uns vertraut.

Fest

Im festen Zustand sind die Teilchen so dicht beieinander, dass sie sich nicht frei bewegen können. Sie haben einen festen Platz, an dem



Eiszapfen im Winter – Erstarren



Flüssige Schokolade – Schmelzen

Erstarren
Schmelzen

Was beim Übergang zwischen verschiedenen Aggregatzuständen passiert, lässt sich mithilfe des Teilchenmodells verstehen: Laut des Teilchenmodells besteht jeder Stoff, egal ob fest, flüssig oder gasförmig, aus kleinen Teilchen,

Flüssig

Die Teilchen einer Flüssigkeit haben keinen festen Platz und können sich frei bewegen. Sie sind aber immer noch relativ nah beieinander. Jedoch können sie die Flüssigkeit nicht verlassen, da sie von den anderen Teilchen daran gehindert werden.



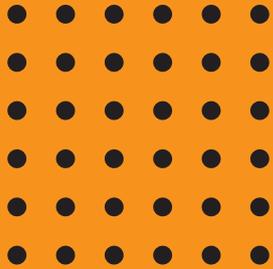
Verdampfen

Kondensieren



Ausbruch eines Geysirs – Verdampfen

sie durch die umgebenden Teilchen gehalten werden. An diesem Platz können sie nur hin und her schwingen, ihn jedoch nicht verlassen.



Eisblumen am Fenster – Resublimieren



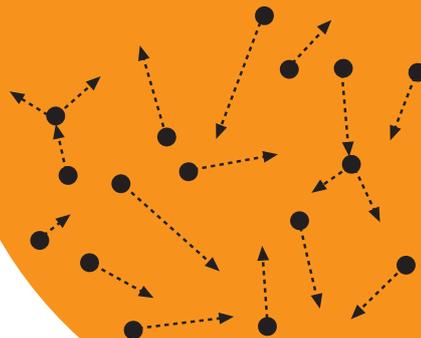
Wäschetrocknen im Winter – Sublimieren

die weder mit dem bloßen Auge noch mit einem Mikroskop sichtbar sind. Welchen Aggregatzustand ein Stoff hat, wird nur dadurch bestimmt, wie schnell sich diese Teilchen bewegen und wie nah benachbarte Teilchen aneinander sind.

Resublimieren
Sublimieren

Gasförmig

Teilchen, die die Flüssigkeit verlassen haben, sind sehr weit voneinander entfernt und bewegen sich sehr schnell. Sie beeinflussen sich kaum noch gegenseitig, wodurch es ihnen möglich ist, sich im ganzen Raum auszubreiten. Dies ist der gasförmige Zustand.



Flugzeugabgase – Kondensieren

Wie stellt man sich diese Übergänge vor?

Schmelzen

Das Schmelzen ist der Umkehrprozess des Erstarrens. Dabei wird einem festen Körper (z. B. Eis) Energie zugeführt. Die Folge ist, dass sich die Teilchen in dem Körper schneller bewegen, sie schwingen stärker. Wenn diese Schwingungen stark genug sind, reißt die enge Verbindung zwischen den Teilchen.

Verdampfen

Sieden

Durch Erhitzen wird die Temperatur und damit die durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen so weit erhöht, dass sie genug Energie haben, um den Teilchenverbund zu verlassen. Während des Siedens bleibt die Temperatur gleich. Bei geringerem Luftdruck reicht die Durchschnittsgeschwindigkeit der Teilchen schon bei einer niedrigeren Temperatur zum Sieden aus: Die Siedetemperatur ist also druckabhängig.

Verdunsten

Auch wenn die Temperatur noch nicht hoch genug ist, können Teilchen die Flüssigkeit verlassen. Die Teilchen haben nicht alle die gleiche Geschwindigkeit, einige sind langsamer, andere schneller. Wenn nun ein schnelleres Teilchen an der Oberfläche ist und sich nach außen bewegt, kann seine Energie ausreichen, um in die Umgebung zu gelangen. Ohne diese Möglichkeit würde Wäsche nie trocken werden. Verdunsten geschieht nur an der Oberfläche.

Sublimieren

Sublimieren beschreibt den direkten Übergang vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand. Hierfür müssen bestimmte Druck- und Temperaturverhältnisse herrschen. Dies geschieht z. B. bei Trockeneis, gefrorenem Kohlendioxid. Die Sublimation ist aber auch dafür verantwortlich, dass es im Winter bei starkem Frost und trockener Luft möglich ist, Wäsche im Freien zu trocknen. Die Feuchtigkeit im Wäschestück gefriert zunächst und sublimiert dann zu Wasserdampf.

Kondensieren

Kondensieren ist der Umkehrprozess des Verdampfens. Kühlt ein Gas so weit ab, dass die Teilchen bei den Stößen eine lockere Bindung eingehen, verflüssigt sich das Gas. Auch die Temperatur, bei der ein Gas kondensiert, also flüssig wird, ist druckabhängig. Die Gase, aus denen die Luft besteht, kondensieren erst bei so niedrigen Temperaturen, dass sie auf der Erde nie natürlich in flüssiger Form vorkommen.

Erstarren

Wird eine Flüssigkeit weiter abgekühlt, erreicht sie irgendwann den Punkt, wo die Geschwindigkeit der Teilchen so gering ist, dass sie bei Stößen nicht mehr voneinander abprallen. Die Teilchen bleiben zusammen. Da dies gleichzeitig mit vielen Teilchen geschieht, entsteht ein fester Körper, in dem die Moleküle auf eine bestimmte Art angeordnet sind (Kristalle).

Resublimieren

Die Resublimation ist der umgekehrte Vorgang der Sublimation. Er ist verantwortlich für die Raureifbildung an kalten Tagen. Wenn die Luftfeuchtigkeit hoch genug ist, kristallisieren die Wassermoleküle aus der Luft.

Wusstest Du,
dass man auf
sehr hohen Bergen
Eier nicht hart
kochen kann?



Abbildung 13: John W. Young auf dem Mond während der Apollo-16-Mission. Charles M. Duke Jr. hat diese Aufnahme gemacht. Die Mondlandefähre LM Orion ist links im Bild. 21. April 1972.

WAS IST SCHWERKRAFT?

Sir Isaac Newton erkannte bereits im 17. Jahrhundert, dass zwischen Körpern im Universum eine Massenanziehungskraft (Gravitation) wirkt. Alle Vorgänge auf der Erde werden von dieser Gravitation bzw. Schwerkraft beeinflusst. Die Größe der Anziehung hängt von der Masse der Körper und deren Entfernung ab. Je größer die Masse der Körper ist, desto stärker ist die Anziehung.

Masse

Die Masse m ist eine Grundeigenschaft eines Körpers: Sie ist überall im Universum dieselbe und somit ortsunabhängig. Wird dagegen von dem Gewicht gesprochen, wie es z. B. die Waage anzeigt, ist im Allgemeinen die Gewichts- oder Schwerkraft, die auf einen Körper wirkt, gemeint. Diese ist, anders als die Eigenschaft Masse, ortsabhängig. Der Betrag der Gewichtskraft F_G eines Körpers wird ermittelt, indem die vom Körper abhängige Masse m mit der vom Ort abhängigen Fallbeschleunigung g multipliziert wird. Auf der Erdoberfläche beträgt die Fallbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$ und ist für alle Körper gleich.

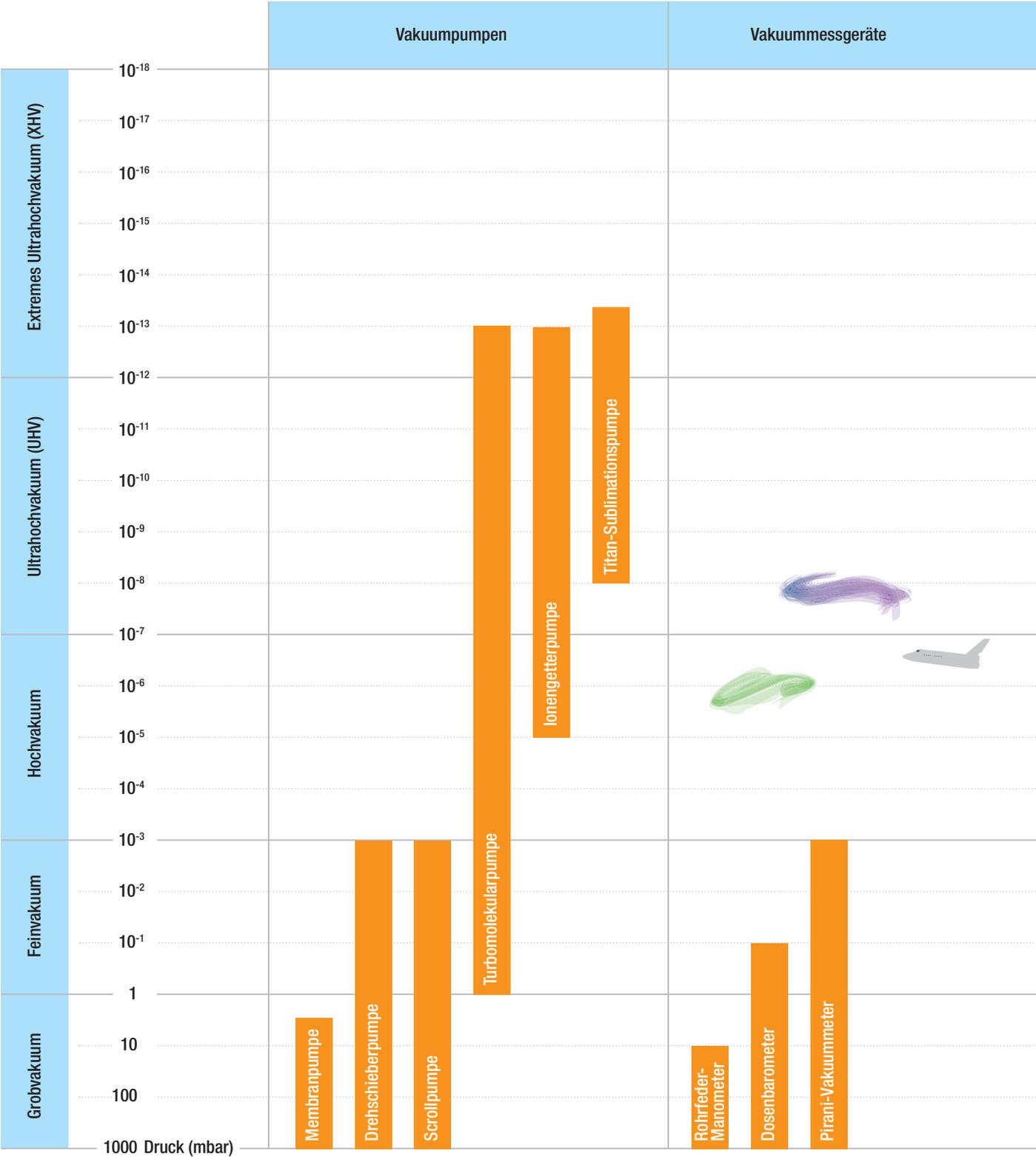
Gravitationskraft

Auch wenn der Mond beispielsweise keine Atmosphäre besitzt, gibt es dort ebenfalls eine Anziehungskraft. Diese entspricht ungefähr einem Sechstel der Erdanziehungskraft, weil der Mond leichter ist. Dass Astronauten sich trotzdem im Weltall schwerelos bewegen, hat damit zu tun, dass sie sich weit genug entfernt von einem Himmelskörper befinden, um von dessen Gravitation angezogen zu werden.

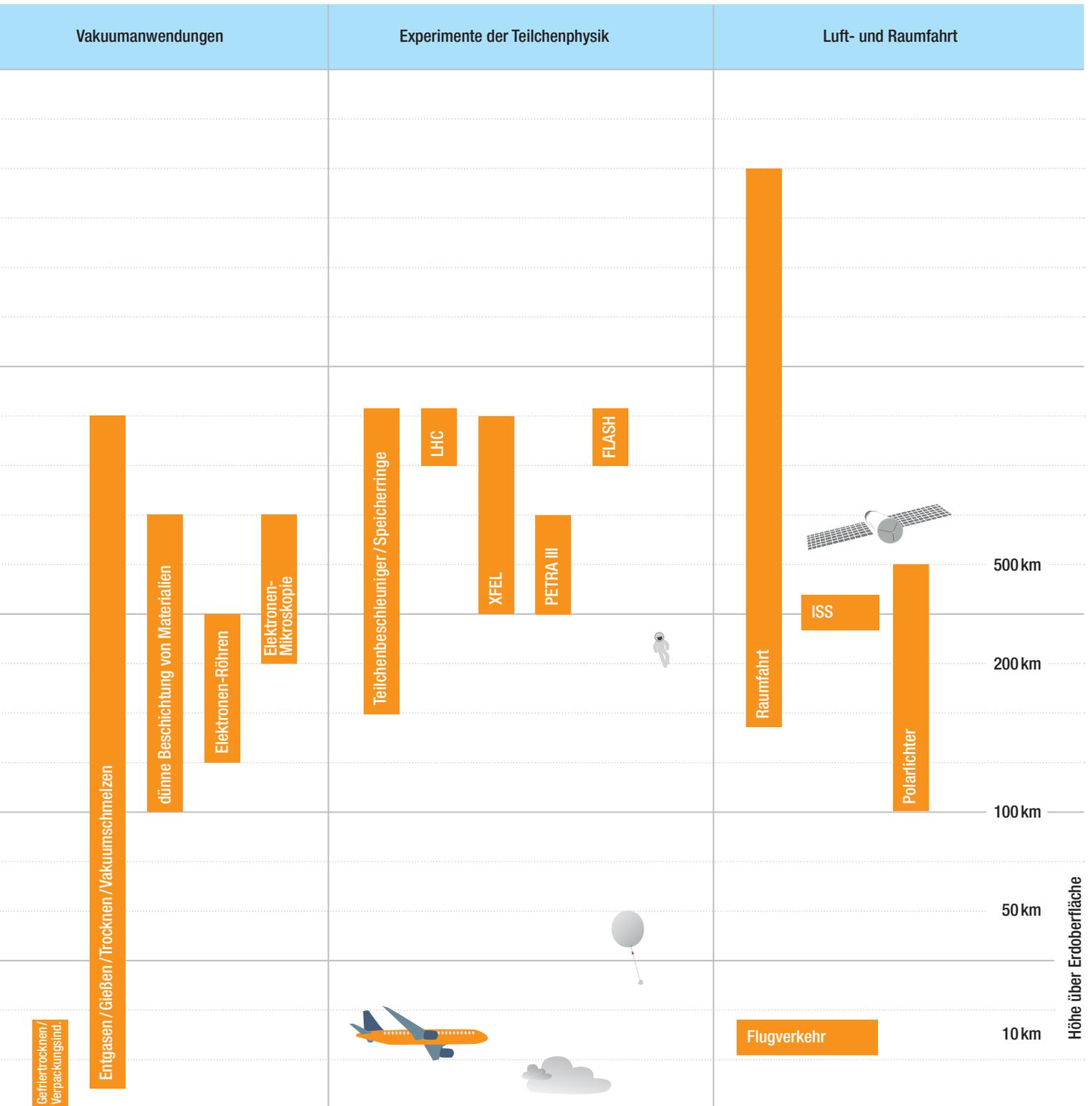
Fallbeschleunigung

Wenn die Fallbeschleunigung nun jedoch für jeden Körper gleich ist, wie kommt es dann, dass verschiedene Dinge unterschiedlich schnell fallen? Das liegt zum einen daran, dass Körper während des freien Falls einen Luftwiderstand erfahren (Reibung mit der Luft). Je größer die Oberfläche eines Körpers ist, desto stärker wird dieser durch den Luftwiderstand gebremst. Im Vakuum hingegen gibt es keine Luft und somit auch keinen Luftwiderstand. Das bedeutet, dass im Vakuum alle Körper gleich schnell fallen. Das wurde unter anderem von Astronauten der Mission Apollo 15 nachgewiesen, als sie auf dem Mond einen Hammer und eine Feder fallen ließen und beide Körper gleichzeitig die Mondoberfläche erreichten.

ÜBERSICHT ÜBER VAKUUMBEREICHE

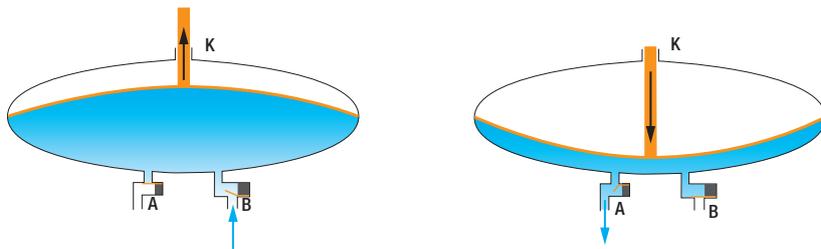


Offensichtlich gibt es verschieden „gute“ Vakua. Je niedriger der Gasdruck in einem luftdichten Raum ist, desto „besser“ ist das Vakuum in diesem Raum. Aus diesem Grund wird das Vakuum nach seiner Güte klassifiziert.



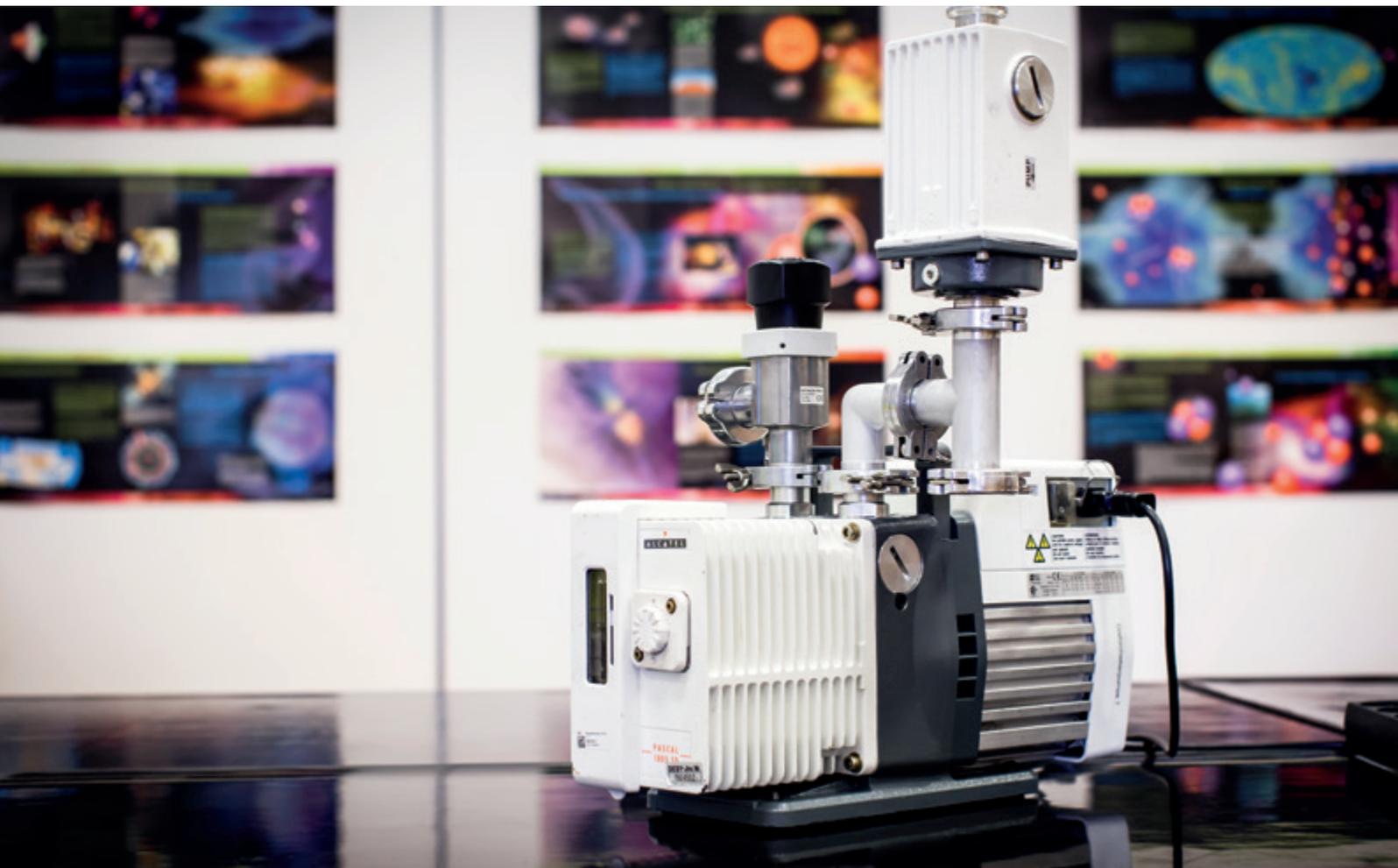
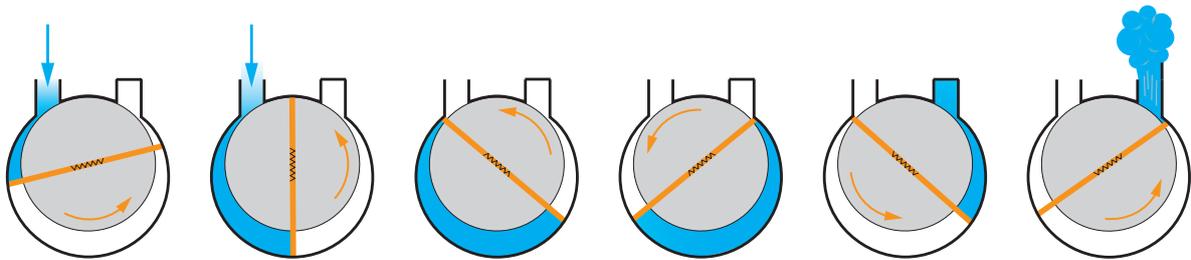
MEMBRANPUMPE

Bei der Aufwärtsbewegung der Kolbenstange K vergrößert sich das Volumen in der Pumpe. Da sich nun gleichviele Luftteilchen in einem größeren Volumen befinden, nimmt der Luftdruck innerhalb der Pumpe ab. Die Luft außerhalb und innerhalb der Pumpe drückt konstant auf die beiden Ventile A und B. Ist der Druck in der Pumpe nun geringer als der Luftdruck außerhalb, bewirkt der Luftdruckunterschied, dass Ventil A zugeedrückt und Ventil B aufgedrückt wird. Durch das geöffnete Ventil B gelangt nun Luft in die Pumpe. Wenn sich die Kolbenstange anschließend nach unten bewegt, erhöht sich der Druck in der Pumpe und wird größer als der äußere Luftdruck. Ventil A öffnet sich während Ventil B zugeedrückt wird. Die Luft kann nun aus der Pumpe entweichen. Schließt man die Pumpenseite von Ventil B an einen ansonsten geschlossenen Behälter, kann man darin auf diese Weise ein Vakuum erzeugen.



DREHSCHIEBERPUMPE

Eine Drehschieberpumpe besteht aus einem zylinderförmigen Hohlraum, in dem sich ein kleinerer Metallzylinder dreht. Der kleinere Zylinder ist dabei im Größeren so angeordnet, dass sich beide an einer Seite fast berühren. Zusätzlich gibt es zwei Schieber, die am inneren Zylinder befestigt sind und ihre Länge so ändern können, dass sie immer den äußeren Zylinder berühren. Wenn sich der innere Zylinder nun dreht, strömt durch die eine Öffnung Luft in den Zwischenraum zwischen den beiden Zylindern. Dreht sich der innere Zylinder nun weiter, schließen die beweglichen Schieber die Luft im Zwischenraum ein. Erst, wenn der innere Zylinder so weit gedreht ist, dass die Luft die zweite Öffnung erreicht hat, wird die Luft durch diese Öffnung hinaus gedrückt. Wird die erste Öffnung mit einem luftdichten Behälter verbunden, kann auf diese Weise ein Vakuum erzeugt werden.



WEITERE VAKUUMPUMPEN

Im Schülerlabor wird mit Membran- und Drehschieberpumpen im Grob- bzw. Feinvakuumbereich gearbeitet. Die Teilchenphysiker am DESY brauchen für ihre Experimente ein besseres Vakuum als es im Schülerlabor erreicht werden kann. Damit die Teilchen die notwendige Geschwindigkeit – sie bewegen sich fast mit Lichtgeschwindigkeit – erreichen können, wird ein Ultrahochvakuum benötigt. Um es zu erzeugen, wurden im Laufe der Zeit zahlreiche unterschiedliche Pumpentypen entwickelt.



Scrollpumpen

In der Scrollpumpe befinden sich zwei ineinander gesteckte Spiralen. Eine der beiden dreht sich auf exzentrischen Bahnen um die zweite, welche stationär befestigt ist.

Bei dieser Bewegung entstehen in der Kammer zwischen den Spiralen luftdichte Bereiche. Deren Volumen verringert sich mit jeder Umdrehung der beweglichen Spirale und das eingeschlossene Gas wird dabei nach innen transportiert. Im Zentrum beider Spiralen befindet sich ein Ventil, durch das das komprimierte Gas hinaus gedrückt wird.



Iongetterpumpe

In Getterpumpen sind keine beweglichen, mechanischen Teile zu finden. Die Gasmoleküle werden vielmehr im Inneren der Pumpe am sogenannten Gettermaterial chemisch gebunden.

Dazu wird das Gas ionisiert, d.h. elektrisch aufgeladen und dann mithilfe einer Hochspannung auf das Gettermaterial (z. B. Titan) beschleunigt. Dabei wird die Oberfläche durch die auftreffenden Ionen zerstäubt. Das frei gewordene Titan bindet die Gasmoleküle chemisch an sich und setzt sich wieder an den Innenwänden der Pumpe ab.



Turbomolekularpumpe

Die Turbomolekularpumpe, eine Erfindung aus dem Jahre 1958, funktioniert wie ein Ventilator. Bei diesem Staubsauger für Gasmoleküle erreichen die hochtourigen Schaufelblätter fast Schallgeschwindigkeit. Sie geben den Gasmolekülen einen kräftigen Stoß und befördern sie so nach außen. Im Vakuum herrscht dann ein Luftdruck von einem Milliardstel des Atmosphärendrucks.

Damit Turbomolekularpumpen richtig funktionieren, muss der Luftdruck zuvor durch eine andere Pumpe, z. B. einer Scrollpumpe, verringert worden sein.

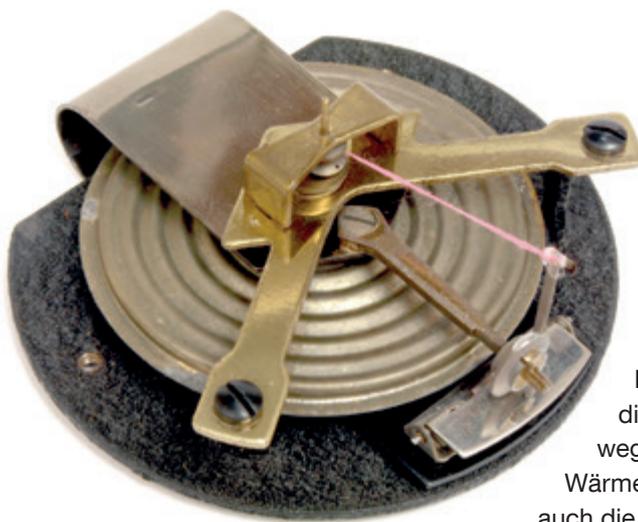


Titan-Sublimationspumpe

In dieser Pumpe werden Gasmoleküle chemisch gebunden. Dazu wird ein dicker Draht aus Titan durch einen starken Strom bei über 1300 °C zur Weißglut gebracht. Das Titan sublimiert (beziehungsweise verdampft) dabei. Der Titan-Dampf resublimiert nun an den kälteren Wänden der Pumpe und kann dort mit den Luftmolekülen in der Pumpe reagieren: Gase wie Sauerstoff, Stickstoff oder Kohlenstoffdioxid werden so chemisch ans Titan gebunden.

VERWENDETE VAKUUMMESSGERÄTE

Die Luftdichte und somit das Vakuum lassen sich nur schwierig auf direktem Wege messen. Die einfachste und am häufigsten genutzte Methode ist die Bestimmung des Luftdruckes mit Hilfe eines Manometers, welches den Luftdruckunterschied zur Umgebung misst. Es gibt jedoch einige Messgeräte, die den absoluten Luftdruck messen können. Diese werden Barometer genannt.



Dosenbarometer

Ein Dosenbarometer enthält als zentrales Element eine Dose aus dünnem Blech. Diese Dose ist luftdicht abgeschlossen und enthält ein Gas, das unter niedrigem Druck (ca. 5 mbar) steht. Druck von außen verformt diese Dose und die Verformung kann auf einen Zeiger übertragen werden. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit können mehrere solcher Dosen gestapelt werden.

Dieses System ist jedoch temperaturempfindlich, da sich die Dose auch durch Temperaturänderungen verformt. Deswegen werden spezielle Metalllegierungen verwendet, um die Wärmeausdehnung zu minimieren. Dieser Bauweise entsprechen auch die meisten im Haushalt verwendeten Barometer.

Abbildung 15: Innenleben eines Dosenbarometers

Rohrfeder-Manometer

Eine Rohrfeder ist ein Rohr, das spiral- oder kreisförmig aufgewickelt und an einem Ende verschlossen ist. Das offene Ende wird an den Raum angeschlossen, in dem der Luftdruck gemessen werden soll. Beim Sinken des Luftdrucks im Inneren des Rohres wird die Rohrfeder vom äußeren Luftdruck zusammengedrückt, beim Steigen drückt sie der innere Luftdruck auseinander. Diese Verformung kann mithilfe eines Hebels auf einen Zeiger übertragen werden, der somit den Luftdruckunterschied zwischen Innen und Außen auf einer Skala anzeigt.

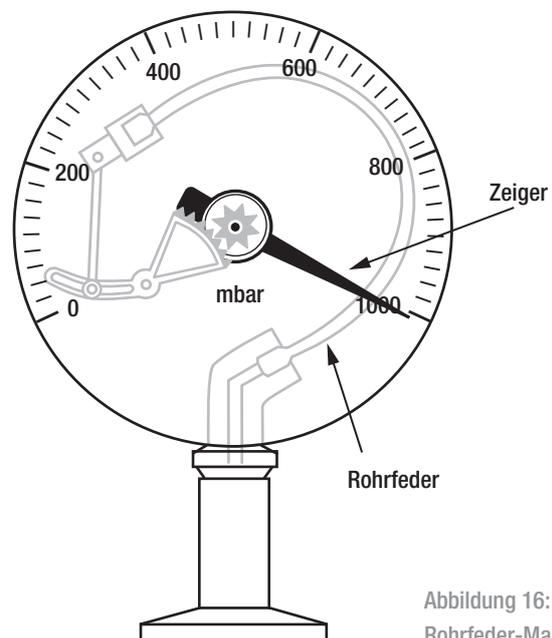


Abbildung 16: Skizze eines Rohrfeder-Manometers

Pirani-Vakuummeter

Die Piranis gehören zur Gruppe der Wärmeleitungsvakuummeter. Ihr Aufbau besteht im Wesentlichen aus einem sehr dünnen Draht, der durch elektrische Energiezufuhr geheizt wird. Das Prinzip ist relativ einfach: Je weniger Gasmoleküle vorhanden sind, umso weniger Wärme kann „abtransportiert“ werden (Thermoskannenprinzip). Das bedeutet, bei konstanter Heizspannung und sinkendem Druck steigt die Temperatur im Heizdraht und dadurch auch sein elektrischer Widerstand. Letzterer wird mit einer Widerstandsmessbrücke gemessen und entsprechend kalibriert als Druck angezeigt.

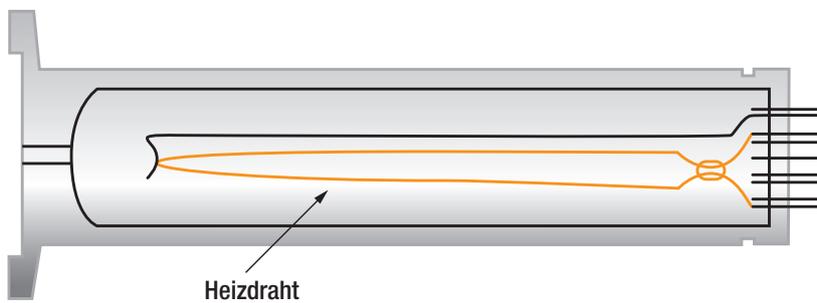


Abbildung 17: Skizze eines Pirani-Vakuummeters

Historisches

Während die industrielle Revolution in Deutschland noch in den Kinderschuhen steckte, entdeckte 1845 der Eisenbahningenieur Rudolf Schinz zufällig das Prinzip der Druckmessung per Rohrfeder. Aus dieser Erkenntnis heraus erbaute er ein Manometer zur Druckmessung.

Zum Vergleich: Um 1850 war die erste Glühlampe noch nicht einmal konstruiert und elektrischer Strom wurde vorrangig für die Telegrafie genutzt.



VAKUUM IM ALLTAG

Vakuum ist weit mehr als nur „Nichts“. Seine Eigenschaften nutzen wir im täglichen Leben: Vakuum sorgt dafür, dass unsere verpackten Lebensmittel haltbar bleiben oder hilft beim Staubsaugen.



Ein Putztag ohne Staubsauger ist heutzutage nicht mehr vorstellbar. Der englische Name „vacuum cleaner“ sagt allerdings mehr über das Prinzip dieses Haushaltsgerätes aus. Im Staubsauger wird mithilfe eines Motors eine Pumpe betrieben, die im Staubsauger einen Unterdruck, also ein Vakuum erzeugt. Der äußere Luftdruck treibt die Luft durch die Düse in den Staubsauger hinein, wobei kleine Teilchen (Staub) mitgerissen werden und sich in einem Auffangbehälter sammeln. Dieser Effekt tritt auch auf, wenn eine Flüssigkeit mit einem Trinkhalm getrunken wird.



Wird bei der Abflussreinigung auf chemische Hilfsmittel verzichtet, kann ein „Pümpel“ verwendet werden. Auch zur Befestigung von Haken an der Wand werden kleine Saugnäpfe verwendet (Handtuchhalter). Die größeren Saugnäpfe dienen zur Halterung von Geräten auf der Arbeitsplatte. Eine weitere Anwendung ist der Saugheber, mit dem z. B. Glas- oder Steinplatten transportiert werden können.



Beim Einkaufen findet man eine Menge Lebensmittel, die vakuumverpackt angeboten werden, wie z. B. Kaffee oder Erdnüsse. Die Aromastoffe bleiben im vakuumverpackten Lebensmittel erhalten. Im Haushalt werden auch Vakuumvorratsdosen zur Aufbewahrung verwendet, wo mit einer kleinen Handpumpe Luft abgepumpt wird.



In einem Grobvakuum wird beispielsweise Fleisch oder Gemüse gegart, welches sich in einem evakuierten Vakuumbbeutel befindet, damit dieser Prozess bei einer niedrigeren Temperatur geschehen kann. Das hat zur Folge, dass Aromen und Inhaltsstoffe besser erhalten bleiben, die Struktur des Gargutes geschont wird und Speisen somit appetitlicher aussehen. Dieses Verfahren nennt man Vakuumgaren.



Beim Thermoformen werden vorgewärmte Kunststoffplatten auf ein ebenfalls temperiertes Werkzeug gelegt. Im Werkzeug wird ein Vakuum erzeugt, worauf der Kunststoff in das Werkzeug hineingedrückt wird und so dessen Form übernimmt. Auf diese Weise werden große Teile wie Gehäuse, Badewannen und Armaturenblecher hergestellt, aber auch Joghurtbecher und Verpackungsmaterial.



In Rettungswagen kommen Vakuumformkissen und -matratzen zum Einsatz. Wenn Brüche bis zur Weiterbehandlung ruhig gestellt werden sollen, wird z. B. der Fuß in ein solches Formkissen gelegt. Dieses Kissen ist mit einem Granulat gefüllt und die Luft wird anschließend abgepumpt. Das Kissen legt sich eng an den Fuß an und wird fest und stabil.



Eine andere „All-tägliche“ Anwendung des Vakuums ist eine Weltraumhose. Aufgrund der Schwerelosigkeit im Weltall befindet sich dort mehr Blut im Gehirn der Astronauten als auf der Erde. Dies ist eine der Ursachen für die Weltraumkrankheit. Für die russische Weltraumfahrt wurde dagegen eine Hose entwickelt, in der an den Beinen ein Vakuum erzeugt werden kann. Die Blutdruckverhältnisse im Körper sind dann ähnlich wie auf der Erde.



Die doppelwandige Thermoskanne hält den Kaffee nur deshalb so lange warm, weil zwischen den beiden Kannen fast keine Luft ist, die die Wärme nach außen transportieren könnte. Dadurch wird eine Übertragungsform für Wärme weitgehend ausgeschlossen, nämlich die Wärmeleitung. In einer Thermoskanne bleiben übrigens nicht nur heiße Getränke warm sondern auch kalte Getränke kalt.

Wusstest Du, dass ein Knutschfleck entsteht, wenn jemand mit seinem Mund an deiner Haut ein Vakuum erzeugt?



Wir brauchen – so erstaunlich das auch klingen mag – ein Vakuum zum Leben. Wir können nur deshalb atmen, also Luft in unsere Lunge befördern, weil der Druck in unserer Lunge geringer ist als außerhalb. Dieser Unterdruck entsteht dadurch, dass das Lungenvolumen vergrößert wird.



Was wohl mancher schon bemerkt hat: Man holt etwas aus dem Gefrierschrank, schließt die Tür wieder und stellt fest, dass man noch etwas vergessen hat. Aber die Tür des Gefrierschranks lässt sich plötzlich nicht mehr so leicht öffnen. Die zuvor eingeströmte wärmere Luft ist abgekühlt und hat sich zusammen gezogen. Daher ist der Luftdruck im Inneren kleiner als außen, weshalb sich die Tür schwieriger öffnen lässt.



Segelflieger verwenden zur Bestimmung ihrer Flughöhe einen Höhenmesser. Dieses Instrument nutzt die Tatsache aus, dass der Luftdruck mit zunehmender Höhe abnimmt und funktioniert defacto wie ein Barometer.

Wenn das Gerät am Start richtig kalibriert wird, ist der Luftdruck ein gutes Maß für die Höhe.



Bei der Bilderzeugung in älteren Fernseh- und Monitorbildröhren ist die Verwendung eines Hochvakuums essentiell. Hier werden Elektronen durch magnetische Felder auf den Bildschirm gelenkt. Ohne Hochvakuum würden Luftteilchen die Elektronen ablenken und es würde kein scharfes Bild entstehen können.



Die Frischhaltung von Lebensmitteln war schon immer von großer Bedeutung. Es kommt darauf an, Sauerstoff von den Lebensmitteln fernzuhalten und somit das Oxidieren und auch die Entwicklung von Keimen zu verhindern.

Beim Einwecken werden die Lebensmittel erhitzt und Keime werden abgetötet. Das Einkochen geschieht in einem Glas, wobei ein Überdruck in dem Behälter entsteht. Bei sinkender Temperatur verringert sich das Volumen der eingeschlossenen Luft, ohne das Luft von außen nachströmen kann. In dem verschlossenen Weckglas entsteht ein Vakuum. Die auf diese Weise behandelten Lebensmittel können sogar einige Jahre gelagert werden.

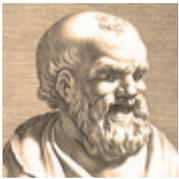


Ein besonders schonendes Verfahren zum Trocknen von Lebensmitteln (z. B. Kräuter, Gewürze, Pilze), bei dem keine Vitamine und Nährstoffe verloren gehen, ist die Gefriertrocknung. Dabei wird der Effekt ausgenutzt, dass Eis sublimieren kann. Die Lebensmittel werden zunächst tief gefroren. Anschließend werden in großen Vakuumkammern die Luft und der entstehende Wasserdampf abgepumpt. Dieses Verfahren wird auch benutzt, um feucht gewordene Bücher schonend zu trocknen. Auf diese Weise wurden auch Bücher gerettet, die durch Hochwasser (Dresden, 2002) oder Löschwasser (Anna-Amalia-Bibliothek, Weimar, 2005) geschädigt wurden.

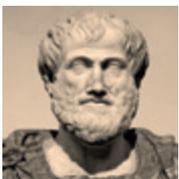


Bei der Weinerzeugung wird versucht, bessere Resultate durch Erhöhung der Mostkonzentration zu erreichen. Dies kann durch Zusatzstoffe, aber auch durch Wasserentzug geschehen. Im letzteren Fall wird der Most zum Sieden gebracht und dabei Wasser abdestilliert. Weil bei 100 °C starke Qualitätsverluste durch das Verdampfen der Aromen eintreten, wird ein Vakuum erzeugt. Das Wasser siedet dann bei ca. 25 °C. So kann ohne große Aromenverluste destilliert werden.

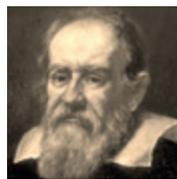
GESCHICHTE DES VAKUUMS



Demokrit (* um 460 v. Chr., † um 375 v. Chr.)
Schon im alten Griechenland machten sich Philosophen Gedanken über das Vakuum. Es begann mit einer äußerst komplizierten Formulierung des Philosophen Demokrit, der sagte: „Das Ichts“, gemeint ist die Materie, „existiert nicht mehr als das Nichts.“ Was er damit sagen wollte ist, dass „das Leere“, also das Vakuum, real ist. Er argumentierte weiter, dass es ohne „das Leere“ keine Bewegung geben könne, denn Materie könne sich nur bewegen, wenn sie einen Raum einnimmt, der vorher leer gewesen sein muss.



Aristoteles (* 384 v. Chr., † 322 v. Chr.)
Es gab im alten Griechenland auch Philosophen, die den Gedanken von Demokrit widersprachen. So war Aristoteles der Meinung, dass mit dem Nichts keinerlei Wechselwirkung stattfinden könne, und etwas ohne Wechselwirkung könne nicht Gegenstand einer Naturphilosophie sein. Am Ende seiner Überlegungen war er sich sicher, dass die Natur kein Vakuum kennt und jeder Ort mit „Stofflichem“ ausgefüllt ist. Die Bewegung von Körpern erklärte er sich nicht wie Demokrit durch das Ausfüllen der Leere sondern durch Umschichtung und Platzwechsel der Materie.



Wissenschaft im Mittelalter

Die Wissenschaft war bis in das 17. Jhd. hinein stark geprägt durch die Gedanken von Aristoteles. Daher wurde in der von der katholischen Kirche beeinflussten Naturphilosophie des Mittelalters die Existenz eines leeren Raumes für unmöglich gehalten. Eine Erklärung dafür war der „horror vacui“, die Abscheu der Natur vor der Leere.

Galileo Galilei (* 1564, † 1642)

Nach langer Zeit wurde erstmals von Galilei das Prinzip des „horror vacui“ in Frage gestellt. Sein Ansatz war: „Wenn das Vakuum weder mit den Sinnen noch mit dem Verstand erkannt werden kann, wie haben die Philosophen es eigentlich fertig gebracht heraus zu bekommen, dass es gar nicht existiert?“

Allerdings konnte auch ein Galilei sich nicht ganz von dem Gedanken des „horror vacui“ lösen. Das ist z. B. an seiner Erklärung für die maximale Wassersaughöhe einer Pumpe von 18 Ellen (= 10 m) zu sehen. Seiner Meinung nach ließ sich das Phänomen dadurch erklären, dass die Wassersäule unter ihrem eigenen Gewicht reißt und sich der entstandene luftleere Raum sofort wieder mit Luft auffüllt. Das bedeutete, dass man ein Vakuum kurzzeitig erzeugen aber nicht aufrechterhalten kann.



Blaise Pascal (* 1623, † 1662)

Der französische Philosoph und Physiker Blaise Pascal konnte zeigen, dass die Steighöhe im Quecksilberbarometer abnimmt, je höher er auf einen Berg steigt. Pascal machte dazu eine ironische Bemerkung: „Scheut sich die Natur denn weniger auf den Bergen als in den Tälern vor dem Vakuum?“



Evangelista Torricelli (* 1608, † 1647)
Vincenzo Viviani (* 1622, † 1703)

Mit einem einfachen Experiment konnten die Schüler Galileis den „horror vacui“ widerlegen. Sie füllten ein etwa 1m langes Rohr, das an einer Seite geschlossen war, mit Quecksilber und stellten es kopfüber in ein Quecksilberbad. Mit einem zweiten Rohr verfahren sie ebenso. Die Form des zweiten Rohres unterschied sich allerdings von dem des ersten durch eine Hohlkugel am oberen Ende des Rohres. Die Quecksilbersäule sank in beiden Rohren unabhängig von der Form auf eine Höhe von 76 cm. Das Experiment zeigte, dass das Volumen des Vakuums keinen Einfluss auf die Höhe der Quecksilbersäule hatte. Also, so folgerten sie, übte das Vakuum keine Kraft auf das Quecksilber aus. Demzufolge musste die Kraft, die es auf dieser Höhe



hielt, von außen auf das Quecksilber wirken. Torricelli argumentierte wie folgt: Um die Quecksilbersäule auf dieser Höhe im Gleichgewicht zu halten, bedarf es einer äußeren Kraft, die einer 50 Meilen hohen Luftsäule entspricht. Somit hatte er das Quecksilberbarometer erfunden.



Otto von Guericke

(* 1602 in Magdeburg, † 1686 in Hamburg) Ohne etwas von den Experimenten Torricellis und Pascals gehört zu haben, machte sich in Deutschland der Ingenieur und spätere Bürgermeister von Magdeburg, Otto von Guericke, Gedanken über das Vakuum. Angeregt durch Keplers Erkenntnisse über die Bewegung der Planeten, vertrat er die Auffassung, dass der leere Raum das Natürlichste der Welt sein sollte. Sonst müssten die Planeten auf ihren Bahnen schon längst durch den Widerstand des umgebenden Mediums ihre Bewegungsenergie verloren haben und vom Himmel gefallen sein. Seine ersten Versuche, ein Vakuum mit einer umgebauten Feuerspritze, einer Kolbenpumpe für Löschwasser, zu erzeugen, scheiterten kläglich. Die mit Wasser gefüllten Behälter, erst Holz- und später Metallfässer, waren undicht oder sie implodierten.

Daraufhin ließ er das Wasser weg und verwendete erfolgreich eine luftgefüllte hohle Metallkugel und eine luftgefüllte Pumpe. So konnte er ein Vakuum erzeugen und war gleichzeitig Erfinder der Luftpumpe (ein Original steht im Deutschen Museum München).

Otto von Guericke erkennt: „Eine Abscheu vor dem leeren Raum ist in der Natur nicht vorhanden; an seine Stelle ist der Druck der umgebenden Luft zu setzen.“

Neben einer Reihe anderer Experimente entwickelte von Guericke einen der berühmtesten Schauversuche. Zwei mal acht Pferde schafften es nicht, zwei evakuierte Kupferhalbkugeln mit einem Durchmesser von ca. 50 cm, abgedichtet durch einen mit Wachs und Terpentinöl getränkten Lederstreifen, zu trennen. Ein Kind dagegen konnte die Verbindung der beiden „Magdeburger Halbkugeln“ leicht durch das Öffnen eines Ventils lösen.



Robert Boyle (* 1627, † 1691)

Angeregt durch von Guericke's Versuche führte auch der irisch-britische Physiker Sir Robert Boyle Versuche über den Luftdruck und das Vakuum durch.

Er erkannte die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdruck und bewies Galilei's Behauptung, dass alle Körper im Vakuum gleich schnell fallen. Auch die Entdeckung des später unter anderem nach ihm benannten Druck-Volumen-Gesetzes der Luft, dessen Begründung Mariotte nachlieferte, steht im Zusammenhang mit dem Vakuum. Aber aus dem Streit um das Wesen des Nichts hielt er sich heraus.



Heinrich Geißler (* 1814, † 1879)

1857 entwickelte Geißler eine Quecksilberluftpumpe. Das flüssige Metall tropft eine Fallröhre runter und presst so die Luft aus dem Apparat. Dazu musste das unten aufgefangene Quecksilber zahllose Male wieder oben nachgefüllt werden.



Robert Wilhelm Bunsen (* 1811, † 1899)

Eine Wasserstrahlpumpe, deren Bedienung weit weniger körperlichen Einsatz bedurfte, wurde 1870 von Bunsen gebaut. Das durchströmende Wasser reißt die Luft mit sich, wodurch ein Unterdruck entsteht.

20. Jahrhundert

Die Entwicklung von immer besseren Pumpen wurde durch die zunehmende Industrialisierung und Elektrifizierung vorangetrieben. Ebenso trugen der Bedarf bei der Herstellung von Glühlampen, Röhren und die Entwicklung des Fernsehers zur rasanten Pumpenentwicklung bei.

In der Wissenschaft forderten die Massenspektroskopie, die Transmissions- und Rasterelektronenmikroskopie und schließlich die Elementarteilchenphysik die Erzeugung eines immer besseren Vakuums. Mit Pumpen, die zum Teil gezielt für Forschungsaufgaben entwickelt wurden, erreicht man heutzutage Drücke, die dem niedrigen Druck auf der Mondoberfläche entsprechen.

Raum

ANHANG

heute: 10^{13} mbar
= 10^{13} Pa

kann man sehen, hören
..
fühlen
warum?

GRÖSSEN UND EINHEITEN

Als physikalische Größe werden Eigenschaften eines Objektes oder Zustands bezeichnet, dessen Zahlenwert gemessen oder bestimmt werden kann. Eine solche Größe besteht aus einem Zahlenwert und einer Maßeinheit (kurz: Einheit). Die meisten Größen besitzen ein Formelzeichen.

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheiten	Umrechnungen
Masse	m	1 g (Gramm), 1 t (Tonne)	1 t = 1000 kg = 1000000 g
Länge	l	1 m (Meter), 1 ft (Fuß)	1 ft = 0,3048 m
Fläche	A	1 m ² (Quadratmeter), 1 ha (Hektar)	1 ha = 10 000 m ²
Volumen	V	1 m ³ (Kubikmeter), 1 l (Liter)	1 l = 1 dm ³
Temperatur	T	1 K (Kelvin), 1 °C (Grad Celsius)	
Kraft	F	1 N (Newton)	
Energie	E	1 J (Joule), 1 cal (Kalorie)	
Zeit	t	1 s (Sekunde), 1 min (Minute), 1 h (Stunde)	
Druck	p	1 Pa (Pascal), 1 bar (Bar)	1 hPa = 1 mbar

Einheiten können auch verschiedene Vorsilben haben, die die nachfolgende Einheit vervielfachen oder teilen. Bekannte Beispiele sind: m, dm, cm, mm; es gibt aber noch mehr:

Zehnerpotenzen

Ziffern	Zehnerpotenz	Name	Vorsilbe	Zeichen
1 000 000 000 000	= 10 ¹²	Billion	Tera	T
1 000 000 000	= 10 ⁹	Milliarde	Giga	G
1 000 000	= 10 ⁶	Million	Mega	M
1 000	= 10 ³	Tausend	Kilo	k
100	= 10 ²	Hundert	Hekto	h
10	= 10 ¹	Zehn	Deka	da
1	= 10 ⁰	Eins		
0,1	= 10 ⁻¹	Ein Zehntel	Dezi	d
0,01	= 10 ⁻²	Ein Hundertstel	Zenti	c
0,001	= 10 ⁻³	Ein Tausendstel	Milli	m
0,000 001	= 10 ⁻⁶	Ein Millionstel	Mikro	μ
0,000 000 001	= 10 ⁻⁹	Ein Milliardstel	Nano	n
0,000 000 000 001	= 10 ⁻¹²	Ein Billionstel	Pico	p

Achtung: bei Einheiten, die Potenzen anderer Einheiten sind, ist Folgendes zu beachten:

$$1 \text{ m}^2 = 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 10 \text{ dm} \cdot 10 \text{ dm} = 100 \text{ dm}^2$$

Entsprechend beim Volumen:

$$1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ dm} \cdot 1 \text{ dm} \cdot 1 \text{ dm} = 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^3$$

ARBEITSWEISEN DER PHYSIK

Der Ausgangspunkt der physikalischen Forschung ist meist ein mit der momentan gültigen Theorie nicht erklärbares Problem oder Messresultat. Somit muss eine neue Theorie entwickelt werden, welche die Erklärung des Problems ermöglicht. Um die nicht erklärte Physik zu begründen, erhält man meist eine Frage oder eine Hypothese, welche aus der neu entwickelten Theorie folgt. Um diese Theorie zu bestätigen oder zu widerlegen, überlegt man sich Experimente, die anschließend simuliert und durchgeführt werden. Häufig sind bei komplexen Problemen sowohl bei der Fragestellung als auch bei der experimentellen Verifizierung viele Wissenschaftler beteiligt.

Das Ergebnis eines Experimentes können folgende Resultate sein:

1. Die Frage wurde beantwortet bzw. die Hypothese wurde bestätigt/widerlegt.
→ Eine neue Theorie muss aufgestellt werden.
2. Über die Frage oder Hypothese kann keine Aussage getroffen werden.
→ Das Experiment ist missglückt oder nicht geeignet für das vorliegende Problem und muss entsprechend angepasst werden.
3. Eine neue Frage/Hypothese/unerklärte Physik wird aufgeworfen.
→ Es wird erneut nach einer verbesserten Theorie gesucht und der Prozess beginnt von vorn.

An dieser Stelle ist wichtig zu differenzieren, was ein Experiment und was ein Versuch ist. In der Wissenschaft wird experimentiert. Ein Experiment dient der Erfassung von wissenschaftlichen Daten, indem künstlich versucht wird, gewisse Situationen herbeizuführen und zu beobachten. Diese Beobachtungen müssen unabhängig von Ort und Zeit reproduzierbar sein. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, alles genauestens zu dokumentieren. Diese Dokumentation wird in einem Protokoll festgehalten. Wie ein Protokoll aussehen kann, wird auf den beiden nächsten Seiten erläutert.

Im Gegensatz zum Experiment steht der Versuch. Bei einem Versuch befolgt man vorgegebene Schritte, dokumentiert diese und versucht anschließend das Beobachtete zu erklären. Somit steht am Anfang des Prozesses nicht eine Frage oder Hypothese, wie bei einem Experiment, sondern eine Handlungsanweisung, welche das Ziel hat, eine bestimmte Erkenntnis durch gesonderte Beobachtung herbeizuführen.

In der Schule zielen Versuche zudem auf Folgendes ab:

- Veranschaulichung physikalischer Sachverhalte
- Einführung von Themengebieten
- Motivation der Schülerinnen und Schüler
- Förderung methodischer und sozialer Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler

PROTOTYPISCHES PROTOKOLL

Die Überschrift dient der thematischen Einordnung. Sie sorgt für eine einheitliche Struktur der Protokolle und erzeugt damit Übersichtlichkeit.

Die Frage kann als Ausgangspunkt des Experimentes verstanden werden. Sie stellt die Problematik klar dar und dient zudem als Gedankenstütze.

Die benötigten Materialien bzw. das Versuchszubehör sollten genau und vollständig notiert werden, am besten als neutrale Aufzählung der fachlich korrekt benannten Gegenstände.

- Welche Materialien benötigt man für diesen Versuch?

Bei der Durchführung sollten protokollierende Personen notieren, was sie in welcher Reihenfolge getan haben, um die Nachvollziehbarkeit zu erhöhen. Damit wird auch den Personen, die das Experiment nicht durchgeführt haben (oder nach längere Zeit nachschlagen müssen), klar was getan wurde.

Zu beachten ist:

- Neutrale und objektive Schreibweise, idealerweise im Passiv
- Vermeidung von personenbezogenen Pronomen (ich, du, er, sie, wir, ihr, sie)

In einer Auswertung bzw. Erklärung werden die Beobachtungen in einen fachlich korrekten Zusammenhang gebracht. Bei aufgenommenen Daten eignen sich für die Darstellung der Ergebnisse vor allem Graphen und Tabellen. Optimal wäre die Rückführung der Ergebnisse auf die Frage oder Hypothese zu Beginn des Experimentes/Versuches und somit eine Beantwortung der Frage bzw. Falsifizierung/Verifizierung der Hypothese. Die Leitfragen lauten nun:

- Wieso, weshalb, warum konnte man das Beobachtete wahrnehmen?
- Weshalb geschah das Beobachtete?



Name
Datum

Allgemeine Informationen, wie z. B. der Name der (mit-)protokollierenden Person und Datum, sind wichtig für die spätere Nachvollziehbarkeit und Zuordnung des Protokolls.

Bevor man mit ein Experiment beginnt wird eine Vermutung (in der Fachsprache auch „Hypothese“ genannt) über das Ergebnis des Experimentes entwickelt.

Die Vermutung kann über das Ergebnis:

- > bestätigt (die Vermutung war korrekt) werden.
- > widerlegt (die Vermutung war falsch) werden. In diesem Fall kann die Vermutung verändert oder das Experiment neu überdacht werden.

Die (Versuchs-)Skizze dient der Visualisierung und des Aufbaus. Dementsprechend sollte sie stark vereinfacht, klar verständlich und „nachbaubar“ sein. Eine schriftliche Beschreibung sollte möglichst nur ergänzend und nicht allein stehend verwendet werden.

- > Wie soll der Versuch aussehen, wenn er komplett aufgebaut ist?

Nach dem Versuch

Eine Beobachtung zeichnet sich dadurch aus, dass sachlich, neutral und objektiv notiert wird, was mit den fünf Sinnen wahrnehmbar war. In Experimenten, bei denen Daten aufgenommen werden, sollten die Messdaten in Tabellen erfasst werden. Eine Unterteilung der Beobachtung (z. B. in Form einer Tabelle) in die drei Zustände „vor Versuchsbeginn“, „während des Versuches“ und „nach dem Versuch“ empfiehlt sich, um auch Experimente ohne Datenerfassung strukturiert und übersichtlich darzustellen. Als Leitfragen kann man die Folgenden nutzen:

- > Was konnte man wahrnehmen? Was geschah?
- > Was war zu sehen, hören, fühlen, (riechen, schmecken)?

BEISPIELPROTOKOLL

Protokoll: Luftballonversuch

ProtokollantIn: Alfred Kwak

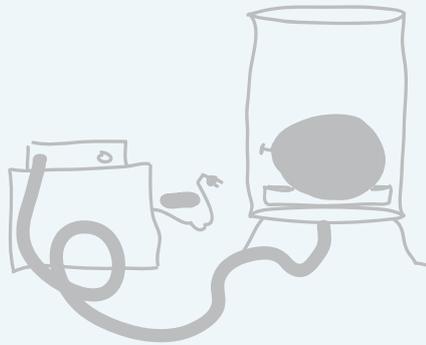
MitprotokollantIn: Biene Maja

Datum: 29.11.2016

1. Vermutung In einem Vakuum geschieht nichts mit einem Luftballon.

2. Materialien Luftballon, Rezipient (luftdichter Raum), Schlauch, Vakuumpumpe

3. Aufbau



4. Durchführung

Der Luftballon wird aufgepustet und anschließend mit einem Knoten verschlossen. Danach wird der aufgeblasene Luftballon in den Rezipienten gelegt und die Luft aus dem luftdichten Rezipienten entfernt.

5. Beobachtung

Vor dem Versuch

Der aufgeblasene Luftballon liegt unverändert im Rezipienten.

Während des Versuches

Wird die Luft aus dem Rezipienten entfernt, so vergrößert sich der Luftballon. Ist der Luftdruck ausreichend klein, so platzt der Luftballon.

Nach dem Versuch

Es liegen Luftballonreste im Rezipienten. Der Luftdruck ist nach dem Platzen des Ballons leicht angestiegen.

6. Auswertung

Zu Beginn des Experimentes ist der Luftdruck im Luftballon und außerhalb des Luftballons gleich groß, weshalb er seine Ausdehnung beibehält.

Wird die Luft aus dem Rezipienten entfernt, sinkt der Luftdruck dort und somit wird der Luftballon nicht mehr so stark vom Luftdruck im Rezipienten zusammengedrückt. Da nun der Luftdruck im Inneren des Luftballons größer ist als der Luftdruck im Rezipienten, kann sich die Luft im Ballon ausdehnen. Der Luftballon wird größer. Wird die Belastungsgrenze der Luftballonhülle erreicht, platzt der Ballon. Die Luft in ihm entweicht und erhöht somit den Luftdruck im Rezipienten.

Da sich ein Luftballon im Vakuum vergrößert oder sogar platzt, ist damit die Hypothese widerlegt.

SICHERHEITSREGELN

Um beim Experimentieren im Labor nicht nur Spaß zu haben, sondern auch sicher zu sein und sich und die Mitexperimentierenden nicht zu verletzen, gibt es einige Sicherheitsregeln, die beachtet werden müssen:

- > **Im Labor darf nicht gegessen und getrunken werden.**
Essenskrümel und verschüttete Getränke können Geräte beschädigen. Beim Umgang mit Chemikalien können diese auf die Nahrung und somit in den Körper gelangen.
- > **Halte deinen Arbeitsplatz immer ordentlich und aufgeräumt! Lasse nur für das Experiment relevante Materialien auf dem Tisch stehen!**
An einem unübersichtlichen Arbeitsplatz unterlaufen einem schnell Fehler, wodurch Geräte beschädigt und Personen verletzt werden können.
- > **Lies vor dem Experimentieren sorgfältig die Anleitung! Frage bei Unklarheiten nach!**
Wenn man nicht weiß, wie ein Versuch durchgeführt wird, kann es zu Fehlern kommen, die Geräte beschädigen und Personen verletzen könnten.
- > **Trage nicht zu viele Materialien auf einmal zum Arbeitsplatz!**
Wenn man zu viele Sachen in der Hand hat, kann es sein, dass man sie nicht richtig halten kann und sie zu Boden fallen und beschädigt werden könnten.
- > **Renne nicht im Labor!**
Man könnte durch das Rennen Gegenstände zu Boden reißen, über Kabel stolpern oder mit anderen Personen zusammen stoßen.
- > **Beachte Warnhinweise!**
Zu einigen Versuchen werden Hinweise gegeben, die auf spezielle Gefahren des Experimentes aufmerksam machen.

Fortsetzung S. 46 →





Beim Arbeiten mit elektrischen Geräten sollst du zusätzlich diese Regeln beachten:

- > **Baue das Experiment auf! Stecke den Netzstecker erst in die Steckdose, wenn das Experiment ordnungsgemäß aufgebaut ist!**
Solange ein Experiment nicht an das Stromnetz angeschlossen ist, kann es nicht zu Stromunfällen kommen.
- > **Ziehe den Netzstecker aus der Steckdose, wenn das Experiment beendet ist!**
Wenn das Experiment vom Stromnetz getrennt ist, besteht nicht die Gefahr ein stromdurchflossenes Kabel zu berühren.
- > **Knicke keine Kabel!**
Dadurch kann die Isolierung beschädigt und die Strom durchflossene Leitung direkt berührt werden.
- > **Berühre keine heißen Gegenstände!**
In Strom durchflossenen Leitern wird zusätzlich Wärme frei, durch die man sich verbrennen kann.
- > **Stecke nur Netzstecker in die Steckdose, keine Kabel!**
In den Experimenten verwendete Kabel sind nur für kleine Spannungen und Ströme ausgelegt. Durch zu hohe Spannungen oder Ströme werden sie beschädigt und die Isolierung könnte brennen.
- > **Melde sofort Beschädigungen und Defekte an Geräten und Materialien!**
Beschädigte Geräte können unter Umständen nicht oder nicht wie erwartet funktionieren. Damit stellen sie eine potenzielle Verletzungsgefahr dar.

IMPRESSUM

Herausgeber

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-
Gemeinschaft
www.desy.de

Standort Hamburg

Notkestraße 85, 22607 Hamburg
Tel.: +49 40 8998-0, Fax: +49 40 8998-3282
desyinfo@desy.de

Standort Zeuthen

Platanenallee 6, 15738 Zeuthen
Tel.: +49 33762 7-70, Fax: +49 33762 7-7413
desyinfo-zeuthen@desy.de

Fotos

Umschlag DESY/Lars Berg, S. 2
DESY/Ernst Fessler, S. 4 NASA, David
Parker/Science Photo Library, London,
iStock/Miguel Malo, GenaU (Rasche),
iStock/airportrait, iStock/dem10, S. 8
iStock/Roland Magnusson, S. 11 JAGO-
Team; GEOMAR Helmholtz-Zentrum für
Ozeanforschung Kiel, S. 14 iStock/ivans-
muk, iStock/Matheratte, iStock/Zmaj88,
iStock/prudkov, S. 15 DESY/Ernst Fessler,
S. 20 Freija Descamps/NSF, S. 21 iStock/
dingming zhang, iStock/regionales, S. 22
iStock/Travis Owenby, iStock/mikdam,
iStock/JoeGough, iStock/gudrun_anna,
iStock/Bent Stamnes, S. 23 iStock/Oliver-
Childs, iStock/Astrid Gast, iStock/Gudella,
iStock/eskaylim, S. 25 NASA, S. 28/29
DESY/Lars Berg, S. 30 DESY, S. 31
FranzKK, S. 33 iStock/Ruslan Kokarev,
S. 34 iStock/dem10, iStock/AndreyPopov,
iStock/lindavostrovskaja, Erikoinentunnus,
iStock/johnfoto18, René M. Kieselmann,
NASA, iStock/al_1033, S. 35 iStock/janulla,
iStock/lolostock, Bernard Ladenthin,
iStock/Thampapon, iStock/airportrait,
iStock/BrianBaer, iStock/2011 Phil McDonald,
S. 36/37 Otto-von-Guericke-Gesellschaft e.V.,
S. 39 DESY, S. 45/46 GenaU (Rasche)

Text und Redaktion

Adelheid Sommer, Thomas Auge, Juliane
Block, Falko Brademann, Florian Conrad, René
Dohrmann, Christoph Maut, André Meyer, Daniela
Rolf, Christian Schneider sowie weitere Mitarbeiter
des physik.begreifen-Teams

Gestaltung und Produktion

Christine lezzi

Grafiken und Illustrationen

S. 6, 7, 10, 12, 13, 16, 18, 19, 31, 32 Silke Haack,
haack-design, alle weiteren DESY

Druck

ELCH Graphics GmbH, Berlin

Redaktionsschluss

November 2016

Aus Gründen der Lesbarkeit haben wir auf eine
durchgängige Nennung der weiblichen und männ-
lichen Personen verzichtet. Selbstverständlich
beziehen sich alle Formulierungen auf beide
Geschlechter.

Nachdruck, auch auszugsweise, unter Nennung
der Quelle gerne gestattet.



Deutsches Elektronen-Synchrotron Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

In der Helmholtz-Gemeinschaft haben sich 18 naturwissenschaftlich-technische und medizinisch-biologische Forschungszentren zusammengeschlossen. Ihre Aufgabe ist es, langfristige Forschungsziele des Staates und der Gesellschaft zu verfolgen. Die Gemeinschaft strebt nach Erkenntnissen, die dazu beitragen, die Lebensgrundlagen des Menschen zu erhalten und zu verbessern. Dazu identifiziert

und bearbeitet sie große und drängende Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft durch strategisch-programmatisch ausgerichtete Spitzenforschung in sechs Forschungsbereichen: Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Schlüsseltechnologien, Struktur der Materie sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr.

www.helmholtz.de

