



Schulbiologiezentrum Hannover

Vinnhorster Weg 2, 30419 Hannover

Tel: 0511-16847665/7

Fax: 0511-16847352

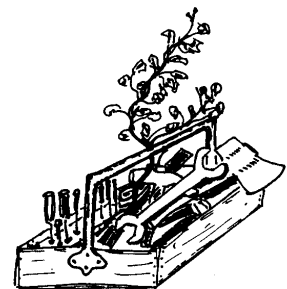
Email : schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de

Hannover

Unterrichtsprojekte Natur und Technik

19.6

Als Anregung für
für Unterricht, Arbeitsgemeinschaften, Projektwochen
und Schullandheimfahrten:



„Wetterküche“

35 Experimente zur Physik von Wolken, Regen und Wind.
Für die Projektwoche und für zu Hause



„Wetterküche“: Das dürfen Sie im zweifachen Sinne wörtlich nehmen. Einmal geht es hier natürlich um das Wetter. Zum anderen bietet die Küche mit ihren vielen Küchenutensilien einen leicht zugänglichen Erfahrungsraum um die Physik des Wetters verstehen zu lernen. Wir reden alle über das Wetter, nur leider tun wir das viel zu selten in der Schule. Meistens überlassen wir das Thema den Leuten vom Fach, den Meteorologen. Und genau da liegt das Problem: Der tägliche Rückgriff auf das Fernseh Wetter verengt die Sicht des

Normalverbrauchers auf die Ergebnisse der Fachleute. Warum also selbst darüber nachdenken, wie Wetter funktioniert? Folglich ist das Thema eher am Rand der Unterrichtsfächer angesiedelt und eigentlich fühlt sich keiner so richtig zuständig dafür.

Kälte und Wärme, Wind, Wolken und Regen haben relativ leicht einzusehende Ursachen. Viele Wetterelemente lassen sich zu Hause erfahren, wie beispielsweise beschlagene Fensterscheiben oder die „Waschküche“ nach dem Duschen. Wenn die eine Hausseite in der Sonne liegt, und die andere im Schatten, lässt der Zug Türen knallen.

Wenn sich Omas Marmelade nicht öffnen lässt, hält man das Glas unter heißes Wasser. Das sind nur einige Beispiele für die Allgegenwärtigkeit der Wetterelemente. Die Zutaten der atmosphärischen „Wetterküche“ sind physikalischer Natur. Physik muss aber nicht zwangsläufig formelhaft und trocken daher kommen. Man kann sie auch spielerisch erfahren, zumal es hier wirklich nur um Grundlagen geht.

Die Physik der Atmosphäre sollte Teil des schulischen Curriculums sein, schon weil die allgemeine öffentliche Diskussion über „Klimaveränderungen“ einer breiten sachlichen Grundlage bedarf. Das Argument beispielsweise, durch verbesserte Filtertechniken reduzierte Staubemissionen wären ursächlich für eine stärkere Einstrahlung und Erwärmung lässt sich nur bewerten, wenn man die Wirkung von Kondensationskeimen bei der Wolken- und Niederschlagsentwicklung kennt. Wetterprognosen sind nicht nur etwas für Spezialisten. Viele Zeichen am Himmel kann auch der Laie interpretieren, Grundkenntnisse zur Physik des Wassers, der Luft, der Wärme sind natürlich vorausgesetzt. Diese Kenntnisse vermittelt die Schulphysik durchaus, oft bleibt aber die Anwendung auf das von vielen Elementen bestimmte Wettergeschehen aus.

Mit dieser Arbeitshilfe möchten wir Ihnen Anregungen geben, einige dieser physikalischen Grundlagen zu einer – hoffentlich – spannenden Erfahrungswelt zu machen.

Mit Hilfe einfacher Haushaltsgeräte (aus der Küche!) lassen sich einfache und ungefährliche Experimente durchführen. Diese Experimente eignen sich gleichermaßen für eine Projektwoche „Wetter“, ein „Mitmachmuseum“ in Form eines Lernkabinetts, für zwischengeschaltete Fünf-Minuten-Experimente oder für das entdeckende Lernen in der Küche zu Hause.

Die „Wetterküche“ ist nur eine vorläufige und in vieler Hinsicht unvollständige Ideensammlung. Sie deckt nur Teile des umfangreichen Themas ab.

Hochinteressante Themen wie „Blitz und Donner“ oder die Vielfalt von Eiskristallen wurden nicht berücksichtigt.

Der Inhalt der „Wetterküche“ gründet sich auf unseren gleichnamigen Lehrerfortbildungskurs und auf Erfahrungen mit Schülern verschiedener Altersstufen. Wir stellen die Experimente in Form von Arbeitsblättern vor, die Sie 1:1 übernehmen oder im Hinblick auf die konkrete Lerngruppe verändern können.

Im Anhang finden Sie Hinweise und Erklärungen zu den Experimenten, einige unumgängliche und hoffentlich nützliche Tabellen und eine Materialliste.

Die mit einem * bezeichneten Geräte können Sie sich im Schulbiologiezentrum Hannover zu den üblichen Konditionen kostenlos ausleihen.

Einige Wetterthemen haben wir bereits in früheren Arbeitshilfen beschrieben:

- Windmessgerät aus einem Elektromotor und halbierten Tischtennisbällen
- „Prima-Klima-Box“: Modell der Windentstehung (Land-/Seewind)
- Der Globus, der zeigt, warum es Sommer und Winter gibt
- Themengarten „Sonne, Energie, Klima“
- Experimente zum CO₂-Treibhauseffekt
- Solare Leistungsmessung nach der geometrischen Methode
- Regenbogen, siehe auch „Licht und Farbe“

Das Thema „Blitz und Donner!“ ist in Arbeit und wird in nächster Zukunft erscheinen.

Ingo Mennerich, Schulbiologiezentrum Hannover, Januar 2005

Inhalt

- 1 Mitten im Wasser verdursten?
Wie Regen entsteht
- 2 Was bringt den Regen in den Himmel?
Wie Wasserdampf zu Wasser wird
- 3 Ein ganz einfaches Thermometer
Stoffe dehnen sich bei Erwärmung aus
- 4 Der „Geist“ in der Flasche
Wärme erzeugt Druck
- 5 Wer pustet den Ballon in die Flasche?
Kälte erzeugt Unterdruck
- 6 Das Schaschlikstab-Barometer
Wir entdecken den Luftdruck und stellen Druckveränderungen fest
- 7 Das Flaschenbarometer
Wir entdecken den Luftdruck und stellen Druckveränderungen fest
- 8 Leere Flaschen, gibt es die überhaupt?
Wir nehmen Luft als Stoff wahr
- 9 Knitterflaschen
Luftdruck am Boden und in der Höhe
- 10 Denk dir, unsere Erde wäre ein Apfel...
Wie dick ist die Lufthülle der Erde?
- 11 Platzen Chipstüten auf Bergspitzen?
Luftdruck am Boden und in der Höhe
- 12 Warum geht Omas Pflaumenmus nicht auf?
Luft hat Kraft
- 13 Was sagt uns ein Barometer?
Was heißt eigentlich „Luftdruck“ und wie wird er gemessen?
- 14 Je dünner, desto höher
Höhenmessung mit dem Barometer
- 15 Aufsteiger und Absteiger
Heißes steigt auf, kaltes sinkt ab
- 16 Warum ist es in den Bergen kalt?
Abkühlung durch Ausdehnung
- 17 Mit der Luftpumpe heizen?
Erwärmung durch Kompression
- 18 Dem „Flaschengeist“ auf der Spur
Wärme erzeugt (messbaren) Druck
- 19 Was du nicht sehen kannst (Lesetext)
Luft besteht aus bewegten Teilchen
- 20 Wolken in der Salatschüssel
Wasserdampf und Tropfenbildung
- 21 Bodennebel
Kondensation und Temperatur

- 22 Was du über Keime in der Luft wissen musst (Lesetext)
Kondensationskeime und Wolken
- 23 Wetter machen im Marmeladenglas
Luftruck und Wolkenbildung
- 24 Tiefdruck und Regenwolken
Kondensation unter der Glasglocke
- 25 Wie viel Wasser hat sich in der Luft versteckt?
Taupunkt, absolute und relative Luftfeuchtigkeit
- 26 Alles relativ: Luftfeuchtigkeit und Temperatur
Luftfeuchtigkeit und Temperatur
- 27 Wann gibt es auf Helgoland endlich hitzefrei?
Temperaturschwankungen im maritimen und kontinentalen Klima
- 28 Was hat der Boden mit der Temperatur zu tun?
Sonnenlicht und Wärme, Absorption
- 29 Warum ist es kalt am Pol?
Breitenabhängiger Einstrahlungswinkel und Absorption
- 30 Wind im Gänsebräter
Windentstehung als Druckausgleich, Land-See-Wind-Zirkulation
- 31 Der Tornado in der Flasche
Strudel im Wasser und in der Luft
- 32 Nach dem Abwasch
Drehrichtung von Strudeln: Zufall oder Gesetz?
- 33 Links oder rechts herum?
Tiefs und Hochs auf der Wetterkarte, Windsysteme
- 34 Kurven auf dem Suppenteller
Ablenkung durch die Corioliskraft
- 35 Das Coriolis-Karussell
Untersuchung der Corioliskraft

Anhang mit zusätzlichen Hinweisen und Erklärungen zu den einzelnen Versuchen

1 – Mitten im Wasser verdursten?

Ein Schiff fährt über das Meer.
Ein Mann fällt von Bord.
Er schwimmt und schwimmt und schwimmt und schwimmt...
Das Wasser ist warm.
Die Sonne steht hoch am Himmel.
Endlich Land!
Eine ganz kleine einsame Insel.
Soweit das Auge reicht: Meer, Meer, Meer...
Der Mann sitzt auf der Insel und hat Durst.
Um ihn herum: Wasser, Wasser, Wasser und noch mal Wasser.
Salzwasser!
Das schmeckt nicht und als er es trinkt, wird er noch durstiger.
So, als wenn man bergeweise Kartoffelchips in sich hineinstopft.

Er spannt seinen Sonnenschirm auf und wartet auf Regen...



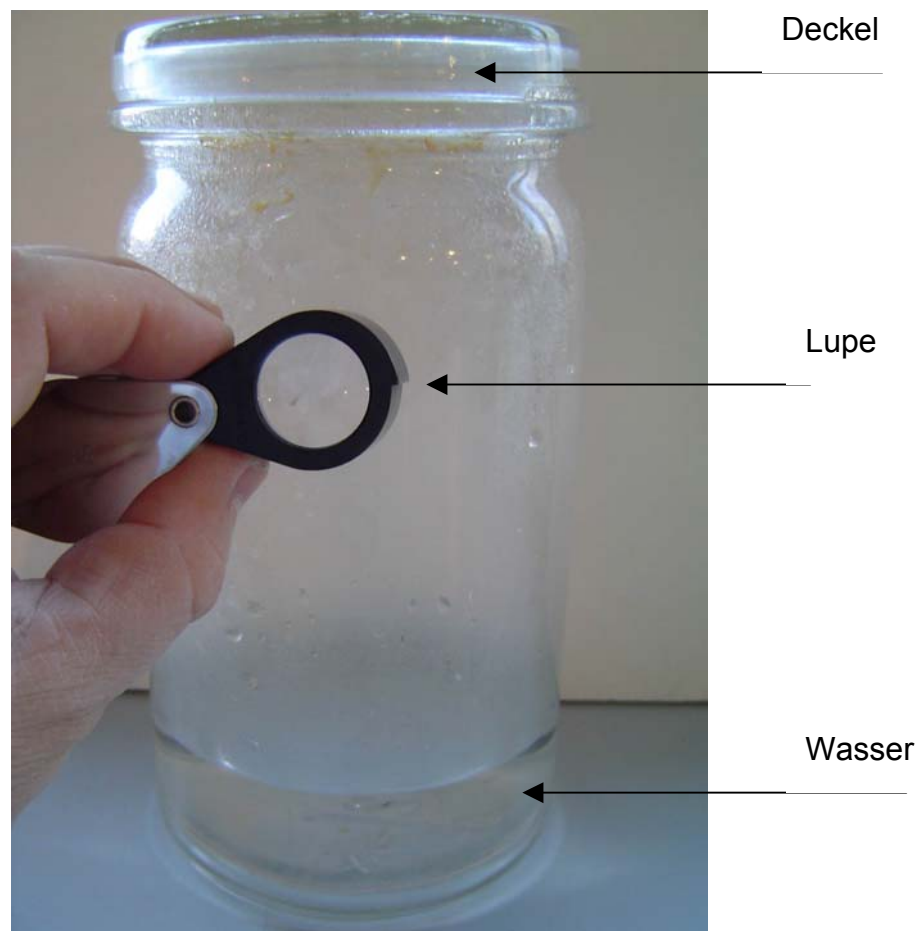
Dieses Experiment zeigt dir, wie Regen entsteht.

- Du brauchst:
Einen Teller, eine Tasse, eine gläserne Schüssel, Sand, Pappe, eine Schere, einen Papierschirm, Wasser, Salz und Sonne.
- Fülle einen tiefen Teller zur Hälfte mit Wasser. Das ist das „Meer“.
- Fülle eine Tasse mit Sand. Das ist die „Insel“.
- Stelle die „Insel“ in das „Meer“.
- Schneide einen Menschen aus Pappe aus.
- Stelle den Pappmenschen auf die „Insel“.
- Stecke den aufgespannten Schirm in den Sand.
- Stülpe die Salatschüssel über den Teller.

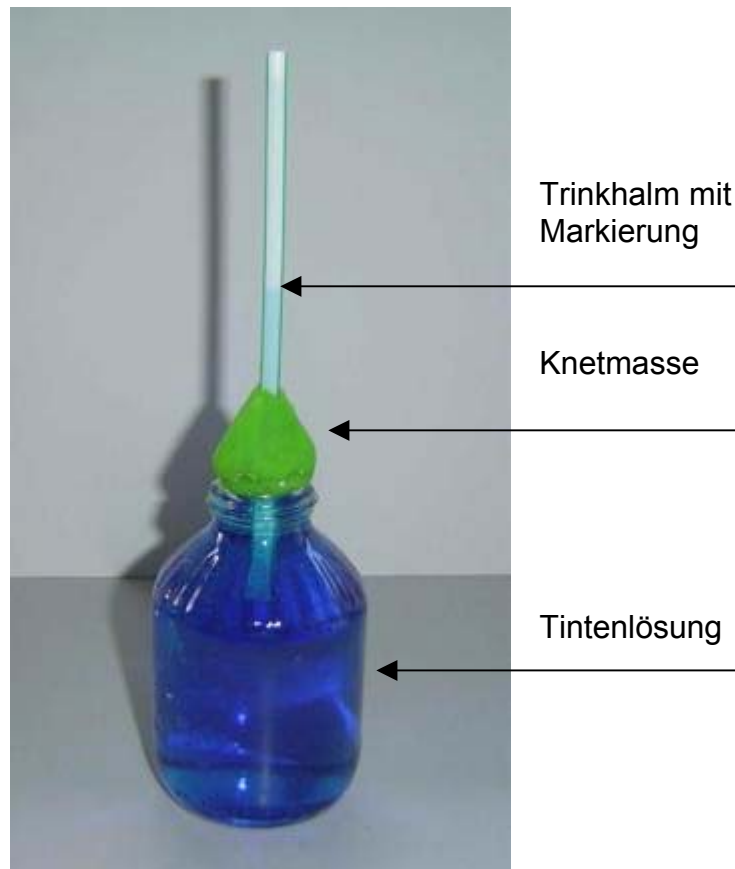
Stelle den Versuch in die Sonne. Wann wird der Sonnenschirm zum Regenschirm?

2 - Was bringt den Regen in den Himmel?

- Du brauchst:
Mehrere große (gleiche) Einmachgläser mit Deckel, heißes, warmes und kaltes Wasser und eine Lupe
- Spüle die Einmachgläser und trockne sie gut ab.
- Stelle die Gläser nebeneinander auf einen Tisch.
- Gib vorsichtig etwas warmes Wasser in das Einmachglas und schließe den Deckel.
- Warte, bis das Glas beschlägt.
- Wo beschlägt es?
- Beobachte den Beschlag mit der Lupe.
- Führe den Versuch mit kaltem, warmem und mit heißem Wasser durch.



3 - Ein ganz einfaches Thermometer



- Du brauchst:
Eine kleine Glasflasche (z.B. eine, in der Kondensmilch war),
Wasser, Tinte, Knetmasse, einen durchsichtigen Trinkhalm, einen Folienstift
und ein richtiges Thermometer zur Kontrolle.
- Fülle die Flasche vollständig mit Wasser.
- Gib etwas Tinte dazu.
- Setze den Trinkhalm mit einem Pfropfen aus Knetmasse auf die Flaschenöffnung.
- Der Trinkhalm muss ins Wasser tauchen.
- Gib mit der Pipette* so viel Tinte in die obere Öffnung des Trinkhalms,
dass die Flüssigkeit im Trinkhalm zu sehen ist..
- Achte darauf, dass keine Luftblasen im Trinkhalm bleiben.
- Markiere den Wasserspiegel mit einem Folienstift.
- Lies die Temperatur auf dem Thermometer ab.

** Wenn Du keine Pipette hast, nimm einen zweiten Trinkhalm. Tauche das untere Ende in die Tinte und drücke dann einen Finger auf die obere Öffnung. So bleibt die Tinte im Trinkhalm, auch wenn Du ihn aus Flüssigkeit herausziehst. Wenn Du den Finger von der Öffnung hebst, fällt die Tinte aus dem Trinkhalm.*

4 - Der „Geist“ in der Flasche

- Du brauchst:

Eine Flasche, einen Luftballon, einen Topf , heißes Wasser oder die Sonne.

Für den zweiten Versuch ein Geldstück, das genau auf die Flaschenöffnung passt.



- Puste den Luftballon mehrfach kräftig auf.
- Ziehe ihn vorsichtig über die Flaschenöffnung.
- Stelle die Flasche in einen Topf.
- Gib heißes Wasser in den Topf und warte ab.
- Du könntest die Flasche auch in die Sonne stellen.

Der Luftballon pustet sich von selbst auf, oder ist da ein Geist in der Flasche?

Heiße Luft steigt auf, das weißt Du vom Heißluftballon. Aber ist das die Erklärung?

- Nimm die Flasche aus dem Topf und drehe sie vorsichtig auf den Kopf.

Was beobachtest Du? Wird der Ballon wieder schlaff?

Bei diesem Experiment hast Du es mit dem **Luftdruck** zu tun.

Drücke mal auf den Ballon, dann weißt Du, warum es Luftdruck heißt.

Der Luftdruck hat etwas mit der **Temperatur** zu tun.

- Nimm den Ballon von der Flasche ohne das die Luft entweicht.
- Verknote den Hals des Luftballons und lege ihn in den Schatten.
- Lass die Flasche in der Sonne stehen.
- Feuchte den Rand der Flaschenöffnung etwas an (Spucke).
- Lege ein passendes Geldstück auf die Öffnung.
- Kannst du den „Flaschengeist“ klappern hören?

5 - Wer pustet den Ballon in die Flasche?

Kann man einen Luftballon in eine Flasche hineinpusten?
Versuche es einmal.

- Du brauchst: Eine Flasche und einen Luftballon.



- Wenn du keinen Erfolg damit hast, denk nach, warum es nicht geht.
- Irgendwie muss es ja doch gehen, wie man auf dem Bild sieht.
- Überlege, was Du tun müsstest, um den Luftballon in die Flasche „hineinkriechen“ zu lassen.
- Probiere es aus!

6 – Das „Schaschlikstab“- Barometer



- Du brauchst:
Ein Glasgefäß, Frischhaltefolie, ein Gummiband, Klebeband, einen Schaschlikstab oder einen Trinkhalm als Zeiger.
- Ziehe die Frischhaltefolie stramm über die Öffnung des Glasgefäßes.
- Schließe das Gefäß mit dem Gummiband luftdicht ab.
- Befestige den Zeiger mit etwas Klebeband in der Mitte der Folie.
- Stelle das Barometer in einen Topf mit heißem und dann kaltem Wasser.
- Beobachte den Zeiger.
- Stelle das Barometer an einen schattigen Ort.
- Notiere den Zeigerstand.
- Lasse es mehrere Tage am selben Ort stehen und beobachte den Zeiger.

7 - Ein Flaschenbarometer

- Du brauchst:

Eine durchsichtige Plastikflasche mit dünner Wand, Knetmasse, einen durchsichtigen Trinkhalm, Wasser, etwas Tinte, einen Foliestift.



- Mische Wasser mit einigen Tropfen Tinte.
 - Fülle die Flasche damit einige Zentimeter hoch auf.
 - Stecke den Trinkhalm so in die Flasche, dass er ins Wasser taucht.
 - Befestige ihn mit einem Stopfen aus Knetmasse in der Flaschenöffnung.
 - Achte darauf, dass der Stopfen völlig luftdicht in der Öffnung sitzt.
 - Bringe eine Markierung oberhalb des Stopfens an.
 - Gib mit einer Pipette so viel Tintenlösung in den Trinkhalm hinein, dass der Wasserspiegel an der Markierung steht.
-
- Teste dein Barometer, indem du vorsichtig auf die Flasche drückst. Die Flüssigkeit im Trinkhalm muss dabei etwas ansteigen. Warum ist das so?
 - Wie würde die Flüssigkeit reagieren, wenn du an der Flaschenwand ziehen könntest?

8 - Leere Flaschen, gibt es die überhaupt?

Papa: „Marvin, bring die leeren Flaschen in den Keller!“

Marvin: „Die Flaschen sind gar nicht leer.“

Papa: „Rede keinen Unsinn! Du bist bloß zu faul, in den Keller zu laufen!“

Marvin ist faul, das stimmt.

Aber schlau ist er auch.

Er geht zu Papa und gibt ihm eine der „leeren“ Flaschen.

„Komm Papa, wir machen mal ein Experiment. Und Du versprichst mir, dass ich die Flaschen nicht in den Keller bringen muss, wenn sie nicht leer sind.“

Hier verraten wir, warum der schlaue Marvin Recht hat.

Und weshalb Papa selbst in den Keller laufen muss.



- Nimm eine Plastikflasche in die Hand und schraube den Deckel ganz fest.
- Kannst Du die Flasche ganz zusammendrücken?
- Öffne die Flasche und versuche es noch einmal.
- Lasse die Flasche los.
- Drücke sie mit einer Hand ganz fest zusammen.
- Schraube den Deckel mit der anderen Hand ganz fest zu.

9 - Knitterflaschen

Annabell und Niklas sind mit ihren Eltern auf einen hohen Berg geklettert. Es war heiß und der Weg war ziemlich steil. Jeder hatte eine Flasche Wasser im Rucksack. Um Gewicht zu sparen, hatten sie sich für leichte Plastikflaschen entschieden. Annabells Flasche tranken sie auf dem Gipfel aus. Dort schraubten sie die leere Flasche zu und steckten sie zurück in den Rucksack. Auf dem Weg zurück ins Tal tranken sie auch Niklas Flasche aus. Die leere und zugeschraubte Flasche packten sie in den Rucksack.

Als sie später den Rucksack auspackten, staunten die beiden nicht schlecht: Annabells Flasche war ganz verbeult und eingedrückt. „Das ist ja eine komische Knitterflasche geworden!“



Was meinst Du?

- Die Flasche wurde eingedrückt, weil der Rucksack so voll war.
- Annabell hat die Flasche zusammengedrückt, damit sie nicht so viel Platz im Rucksack wegnimmt.
- Wenn Annabell und Niklas die eingedrückte Flasche wieder auf den Berg hinauftragen wird sie wieder ganz normal aussehen.
- Wenn sie die nicht eingedrückte Flasche wieder auf den Berg tragen wird sie ganz dick.
- Wenn sie die Flasche nicht zugeschraubt hätten, wäre das nicht passiert.

10 - Denk dir, unsere Erde wäre ein Apfel...



Wie groß wärest Du dann?

Wie groß wäre ein Baum?

Wie groß wäre ein Berg?

Wie hoch wäre der höchste Berg?

Wie hoch würde ein Flugzeug fliegen?

Dort wo Flugzeuge fliegen, kann der Mensch nicht leben.

Es ist zu kalt und man sagt, die Luft sei zu „dünn“.

„Zu dünn“ heißt: Es gibt dort nur ganz wenige Luftteilchen.

Viel zu wenig um atmen zu können.

Mit einem **Globus** kannst du herausfinden, wie „dick“ die Lufthülle der Erde ist.

- Du brauchst:
Einen Globus, einen Atlas, ein Lineal, ein Stück Faden und einen Taschenrechner.
- Suche zwei Orte auf dem Globus.
- Finde mit Atlas und Lineal heraus, wie weit die Orte voneinander entfernt sind.
- Verbinde die beiden Orte auf dem Globus mit dem Faden.
- Miss die Länge des Fadenstücks.
- Die Länge des Fadenstücks entspricht dem Abstand der beiden Orte.
- Die Erdatmosphäre ist etwa 10 km dick.
- Rechne aus, wie dick die Atmosphäre auf dem Globus wäre.

11 - Platzen Chipstüten auf Bergspitzen?

Als Annabell und Niklas oben auf dem Berg saßen, holten sie eine große Tüte Kartoffelchips aus dem Rucksack.

Die Tüte sah aus, als würde sie gleich platzen.

„Ich glaube, die Chips sind schlecht geworden“, meinte Mama.

„Bevor wir davon Bauchweh kriegen, lassen wir die Tüte schön zu und bringen sie zurück in den Supermarkt.“

„Komisch“, sagte Papa, „als ich sie eingepackt habe, sah sie ganz normal aus.“

Was meinst Du?

- Der Chef des Supermarkts entschuldigt sich und sie kriegen ihr Geld zurück.
- Als sie wieder zurück im Tal waren, sah die Tüte wieder normal aus.

Der Supermarktleiter wusste Bescheid: „Oben auf den Bergen ist die Luft dünner als im Tal, deshalb wird die Tüte dicker.“

- Mit einer Vakuumpumpe und einem luftdichten Glasgefäß kannst du ausprobieren was geschieht, wenn eine Tüte von „dünner“ Luft umgeben ist.
- Blase etwas Luft in eine dünne Plastiktüte und verschließe sie mit einem Knoten.
- Durch leichten Druck auf die Tüte kannst du feststellen, ob sie luftdicht ist.



Überlege einmal:

- Wie hoch kann ein mit Gas gefüllter Luftballon steigen?
- Was macht eine Chipstüte auf dem Mond?

12 - Warum geht Omas Pflaumenmus nicht auf?

Sonntagmorgen.

Frühstückszeit.



Oma hat im Herbst leckeres Pflaumenmus gemacht.

Nur leider: Das Glas geht nicht auf.

Markus schafft es nicht.

Mama schafft es nicht und Papa kriegt die Krise, weil Mama meint, ein Mann ohne „Muckies“ wäre kein „richtiger“ Mann.

Lisa nimmt das Glas mit dem Pflaumenmus und hält es unter den **Wasserhahn**.

Und: Es lässt sich ganz leicht aufdrehen.

- Hat sie das Glas unter **heißes** oder kaltes **Wasser** gehalten?

Es gibt einen Trick, mit dem du ein Glas so fest verschließen kannst, dass es deine kräftigsten Freunde nicht aufdrehen können

- Du brauchst ein Glas mit Schraubdeckel.
- Heißes und kaltes Wasser.

Findest du selbst heraus, wie der Trick funktioniert?

13 - Was sagt uns ein Barometer?

Ein Barometer misst den Luftdruck.

Die Messeinheit für Druck ist das **Pascal** (Pa).

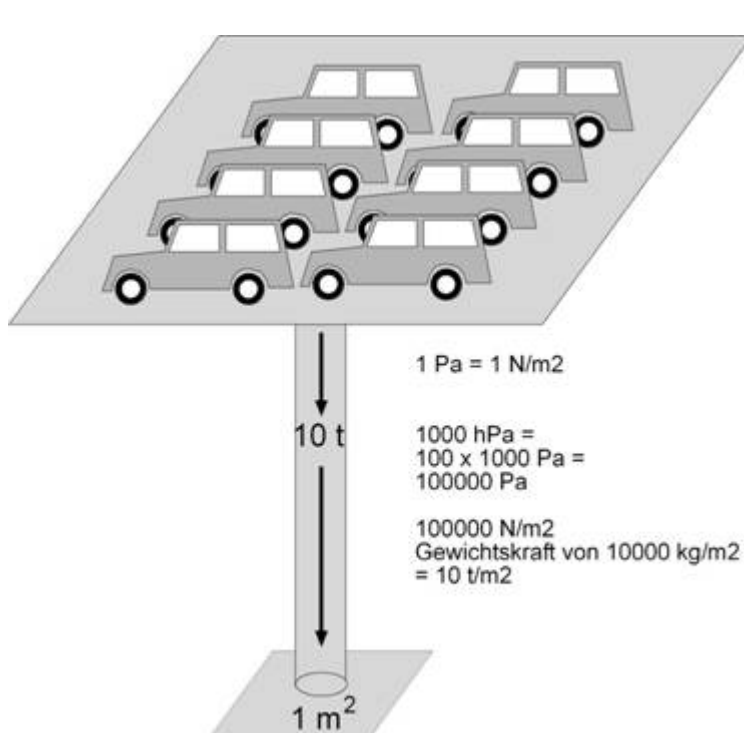
1 Pa bedeutet: Hier drückt eine Kraft von 1 Newton (N) auf einen Quadratmeter (m^2).

1 N, das entspricht ungefähr der Gewichtskraft einer Tafel Schokolade (100 g).

Das Barometer gibt den Luftdruck in Hektopascal (hPa) an.

Ein hPa ist gleich 100 Pa.

Das Barometer zeigt Druckwerte zwischen 940 und 1040 hPa an.



- Woher kommt der Druck?
- Warum merken wir nichts davon?

Luft ist nicht „nichts“. Luft hat Gewicht. Luft ist zwar leicht, aber die Luftschicht über der Erdoberfläche ist mehrere Kilometer dick und daher doch sehr schwer: Luft drückt mit der Gewichtskraft von etwa 10 Tonnen auf einen Quadratmeter!

Wir merken davon praktisch nichts. Auch einer „leeren“, verschraubten Plastikflasche sieht man nicht an, dass viele Tonnen Gewicht auf ihr lasten, denn im Inneren der Flasche herrscht der gleiche Luftdruck wie außen.

Eine wirklich leere, d.h. luftleer gepumpte Flasche würde vom Luftdruck wie unter einer Dampfwalze zusammengequetscht.

14 - Je dünner, desto höher

Wie du mit einem Barometer feststellen kannst, auf welcher Höhe du dich befindest.

- Du brauchst:
Ein Barometer, eine luftdicht verschließbare Glasglocke und eine Vakuumpumpe.



Vakuumpumpe

Mit der Vakuumpumpe kannst du Luft aus der Glasglocke saugen. Dabei „verdünnt“ du die Luft unter der Glocke: Die Zahl der Luftteilchen unter der Glocke sinkt. Das Volumen der Glocke bleibt gleich, da sie nicht schrumpft. Jetzt haben die noch in der Glocke gebliebenen Luftteilchen mehr Platz als vorher.



Glasglocke

- Miss zunächst den aktuellen Luftdruck unter der Glasglocke.
- Pumpe so viel Luft aus der Glasglocke, dass der Luftdruck um jeweils 10 hPa sinkt.
- Trage die Werte in die erste Spalte der Tabelle.
- Wenn Du 10 m in die Höhe steigst sinkt der Luftdruck um etwa 1 hPa.
- Berechne in welcher Höhe tatsächlich mit diesem Luftdruck zu rechnen ist.

Luftdruck in hPa	Höhe in m

15 – Aufsteiger und Absteiger

Dieses Experiment zeigt dir, wie sich Kälte und Wärme im Raum verteilen.

- Du brauchst:
Eine große gläserne Schale, etwas blaue und etwas rote Tinte, eine Filmdose, warmes und heißes Wasser.



- Fülle eine Filmdose mit Wasser und gib einige Tropfen Tinte dazu.
- Drücke den Deckel auf die Filmdose und friere sie im Kühlschrank ein.
- Fülle den Topf mit warmen Wasser.
- Befreie das blaue Eis mit Hilfe von lauwarmem Wasser aus der Filmdose.
- Lege das Eis ganz vorsichtig auf die Wasseroberfläche.

Das Eis schmilzt und das blaue Schmelzwasser „fällt“ zum Topfboden.

- Tropfe etwas rote Tinte in das heiße Wasser gib die Lösung mit der Pipette auf den Boden des Gefäßes.



Eis schwimmt weil es leichter ist als flüssiges Wasser. Warum sinkt das Schmelzwasser zu Boden?



Nach einiger Zeit bildet sich eine blaue Schicht am Grund des Beckens. Untersuche mit einem Thermometer, warum das so ist. Dabei darfst du das Wasser nicht umrühren!

16 - Warum ist es auf den Bergen kalt?

Der wärmste Platz in der Küche ist meistens oben unter der Zimmerdecke. Klar, wirst du sagen, warme Luft steigt auf.

Aber warum ist es auf den Bergen kälter als im Tal?

Um diese Frage beantworten zu können musst du zwei Dinge untersuchen:

- Woher kommt die Wärme?
- Was geschieht mit der warmen Luft, wenn sie aufsteigt?

Woher kommt die Wärme?

- Du brauchst:
Eine Herdplatte, ein Strahlungsthermometer (Infrarot-Thermometer) und ein Digitalthermometer.



- Bringe die Herdplatte auf etwa 100° C
- Kontrolliere die Temperatur mit dem Strahlungsthermometer.
- Halte deine Hand über (!) die Platte.
- In welcher Höhe spürst du die Wärme noch?
- Miss die Lufttemperatur mit dem Digitalthermometer.
- Die Platte nicht berühren!

Was geschieht mit der warmen Luft, wenn sie aufsteigt?

Du brauchst: Eine Spraydose (z.B. Entfroster)



- Diesen Versuch bitte nur einmal machen!
- Nimm die Spraydose mit nach draußen!
- Drücke 5 Sekunden lang auf das Ventil.
- Hat sich die Temperatur am Ventil verändert?

Der erste Versuch zeigt, dass warme Luft aufsteigt, dass die Wärme aber schon in geringer Höhe nicht mehr zu spüren ist. Der zweite Versuch zeigt dir, dass sich das in der Spraydose zusammengedrückte Gas abkühlt, wenn es sich ausdehnen kann. Überlege, wie diese beiden Dinge zusammenhängen!

17 – Heizen mit der Luftpumpe?

Kann man sich an einer Luftpumpe die Finger verbrennen?

Ja, man kann!

Beim Aufpumpen eines platten Fahrradreifens hast du sicher bemerkt, dass nicht nur du, sondern auch die Luftpumpe ganz schön warm wird.

Mit einem Spezialthermometer kannst du messen, wie warm die Pumpe wird.

- Du brauchst:
Eine Luftpumpe und ein Digitalthermometer mit einem Drahtfühler.



- Stecke den Fühler des Thermometers in die Öffnung der Pumpe.
 - Schalte das Thermometer ein.
 - Drücke deinen Daumen fest auf die Öffnung. Die Luft muss in der Pumpe bleiben.
 - Schiebe den Kolben der Pumpe ganz schnell in den Zylinder.
 - Achte auf das Thermometer.
- Wie viele Kolbenstöße brauchst du um 50°C zu erreichen?
 - Wie hoch steigt die Temperatur?
 - Wie lange hält dein Daumen das aus?

Weil du den Daumen auf die Öffnung der Pumpe hältst, kann die Luft nicht hinaus. Dadurch wird die Luft in der Pumpe stark zusammengepresst (zusammengedrückt). Luft besteht aus winzigen Teilchen, den Molekülen.

Sie sind ständig in Bewegung, haben aber normalerweise viel Platz.

Wenn Luft schnell zusammengepresst wird, wird ihnen der Platz weggenommen. Dann stoßen die Teilchen oft zusammen.

Sie reiben sich aneinander und es entsteht Reibungshitze.

Druck erzeugt also Wärme.

18 – Dem „Flaschengeist“ auf der Spur

Dieses Experiment zeigt, wie **Luftdruck** und **Lufttemperatur** in einem geschlossenen Gefäß voneinander abhängen. Es zeigt dir auch, wie der „Flaschengeist“ in den Ballon gestiegen ist...

- Du brauchst:
Eine Barometer und ein großes, fest verschließbares Glasgefäß.



- Lege ein Barometer in ein großes, mit Schraubdeckel verschließbares Glas.
- Lege ein Thermometer dazu.
- Schraube den Deckel ganz fest zu.
- Stelle das Glas in die Sonne.
- Achte auf den Zeiger des Barometers.
- Stelle das Glas an einen kalten Ort, z.B. in den Kühlschrank.
- Achte auf den Zeiger des Barometers.

Wenn im geschlossenen Gefäß die Temperatur steigt, steigt auch der Luftdruck.

Sinkt die Temperatur, fällt der Luftdruck.

Beim Experiment mit dem „Geist“ in der Flasche hat sich der Ballon in heißer Umgebung scheinbar selbst „aufgepustet“. Das stimmt natürlich nicht, denn Luftballons können sich nicht selbst aufpusten.

Warme Luft braucht mehr Platz als kalte Luft.

19 - Was du nicht sehen kannst:

Luft besteht aus winzigen Luftteilchen (Molekülen). Die Moleküle sind ständig in Bewegung. In kalter Umgebung bewegen sie sich langsam, in warmer Umgebung schnell. Was sich schnell bewegt, braucht mehr Platz. Deshalb findet der Sportunterricht auch in der Sporthalle und nicht im Klassenraum statt.

*An einem heißen Schultag wirst du zappeliger sein als in der Kälte und wirst öfter mit deinem Tischnachbarn zusammenstoßen. Mit warmen Luftteilchen ist es genau so: Wie Pistolenkugeln sausen sie durch den Raum, prallen aufeinander und auf die Wände des geschlossenen Gefäßes. Dabei drücken sie von innen auf das Glas. Das führt zu **hohem Druck**.*

*An kalten Tagen rücken wir Menschen eher zusammen und sind ruhiger. Genau so verhalten sich die Luftteilchen: Sie bewegen sich langsamer, stoßen seltener und nicht so heftig aufeinander und gegen die Wände. Das führt zu **tiefem Druck**.*

Höherer Druck bedeutet also:

Die in einem Raum enthaltenen warmen schnellen Luftteilchen möchten sich auf einen größeren Raum verteilen. Wenn der Raum begrenzt ist, und die Wände nicht nachgeben, müssen sie auf ihre „Nachbarn“ und auf die Wände des Gefäßes drücken.

Tieferer Druck bedeutet:

Die kalten und langsamen Teilchen brauchen weniger Platz und der vorhandene Raum reicht aus. Zusammenstöße untereinander und mit den Wänden sind seltener.

20 - Wolken in der Teekanne

Dieses Experiment zeigt dir, wie Wolken entstehen.

- Du brauchst ein großes Glasgefäß, z.B. eine gläserne Teekanne mit Deckel, ein Streichholz, etwas lauwarmes Wasser und eine schwarze Pappe.
- Stelle die Schüssel vor die schwarze Pappe oder vor eine dunkle Wand. Vor einem schwarzen Hintergrund sind die Wolken besonders gut zu sehen.
- Entzünde ein Streichholz, halte es in die Schale und blase es aus.
- Setze schnell den Deckel auf die Schüssel.
- Warte ab bis sich der Rauch verteilt hat.
- Schiebe den Teller etwas zur Seite und gieße etwas warmes Wasser in die Schüssel.

Innerhalb weniger Sekunden füllt sich die Schüssel mit **Wolken**.
Man kann auch **Nebel** sagen, denn Wolken und Nebel sind eigentlich das gleiche.



Manchmal beschlägt das Glas, dann kann man die Wolken nicht sehen. Dann musst du die Schüssel etwas hin und her schwenken und die Tropfen mit dem Wasser wegspülen.

- Wiederhole das Experiment, lasse dabei aber das Wasser weg.
- Wiederhole das Experiment, jetzt ohne den Rauch.
- Wiederhole das Experiment noch einmal, jetzt mit kaltem Wasser.

Kannst Du jetzt jemandem das beste Rezept zum Wolkenmachen nennen?

21 - Bodennebel

Bodennebel tritt im Herbst und Winter oft auf. Herabgesetzte Sichtweiten führen bei zu schnellem Fahren zu Unfällen.

Bodennebel tritt auf, wenn der Boden kälter ist als die darüber liegende feuchte Luft.

Dieses Experiment zeigt dir, wie sich Kälte auf die Bildung von Wolken auswirkt.

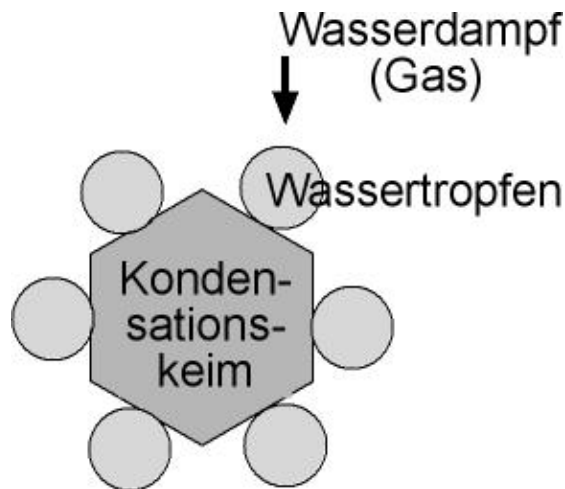
- Du brauchst:
Eis (Mit Wasser gefüllte Filmdosen* im Gefrierfach abkühlen lassen!)



- Gehe genau so vor wie im vorigen Experiment. Stelle einige mit Eis gefüllte Filmdosen auf den Boden des Glasgefäßes.
- Wiederhole das Experiment und lasse das Wasser weg.
- Wiederhole das Experiment noch einmal und lasse den Rauch weg.

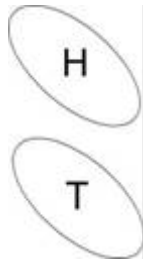
*Filmdosen gibt es beim Fotohändler oft kostenlos, wenn man nett fragt.

22 – Was du über Keime in der Luft wissen musst



- Rauch besteht aus vielen winzigen, in der Luft schwebenden Rauchteilchen.
- An der Oberfläche solcher Teilchen kann der unsichtbare, gasförmige Wasserdampf zu Wassertröpfchen kondensieren.
- Die Kondensation von Wasser führt zu Nebel oder Wolken.
- Auch in der salzhaltigen Luft am Meer bildet sich bei hoher Luftfeuchtigkeit leicht Nebel.
- In völlig sauberer, staubfreier Luft können sich kaum Nebel, Wolken und Regentropfen bilden.
- Rauch und hohe Luftfeuchtigkeit führt zu Smog, einer dicken „Nebelsuppe“
- Das Wort Smog besteht aus „smoke“ (= Rauch) und „fog“ (= Nebel).

23 - Wetter machen im Marmeladenglas



Ein Hochdruckgebiet („Hoch“) bringt meistens schönes Wetter. Blauer Himmel, Sonne und gute Sicht.

Ein Tiefdruckgebiet („Tief“) bringt meistens Wolken und Regen.

Dieses Experiment zeigt dir, was hoher und tiefer Luftdruck mit der Bildung von Wolken zu tun hat.

- Du brauchst:

Ein Einmachglas (1 l), einen Gummihandschuh, ein Streichholz, etwas lauwarmes Wasser und (ganz wichtig) einen Partner, der dir hilft.



- Fülle etwas lauwarmes Wasser in das Glas.
- Zünde ein Streichholz an, halte es ins Glas und puste es (vorsichtig) aus.
- Ziehe den Gummihandschuh ganz schnell über die Öffnung des Glases.
- Der Handschuh muss das Glas ganz dicht verschließen.
- Ziehe den Handschuh schnell und kräftig nach oben. Schaue dabei ins Glas hinein.
- Drücke den Handschuh schnell und kräftig nach unten.

Wenn du den Handschuh nach oben ziehst, hat die Luft mehr Platz.

Der Luftdruck sinkt (**Tiefdruck**) und im Glas bildet sich Nebel.

Wenn du den Handschuh nach unten drückst, hat die Luft weniger Platz.

Der Luftdruck steigt (**Hochdruck**). Der Nebel löst sich auf, die Luft wird klar.

Hoher Druck bedeutet **Wärme**. Das weißt du von der Luftpumpe.

Warme Luft kann mehr Wasser unsichtbar verstecken als kalte Luft.

Unter hohem Druck verschwinden die Wolken.

24 – Tiefdruck und Regenwolken

- Du brauchst:

Eine Glasglocke, eine Vakuumpumpe, ein Streichholz , eine kleine Konservendose ohne Deckel, etwas lauwarmes Wasser.



- Gib etwas lauwarmes Wasser in die Dose.
- Stelle die Dose unter die Glasglocke.
- Zünde ein Streichholz an und halte es in die Öffnung der Glasglocke.
- Puste die Flamme so aus, dass möglichst viel Rauch in die Glasglocke gerät.
- Stecke den Schlauch der Vakuumpumpe in die Glasglocke.
- Schalte die Pumpe ein und beobachte, was unter der Glasglocke geschieht.



Du kannst dich selbst von der Wirkung der Kondensationskeime überzeugen:

- Führe das Experiment auch einmal ohne Rauch durch.

25 - Wie viel Wasser hat sich in der Luft versteckt?

Manchmal sind die Scheiben beschlagen. Das ist aber nicht immer so. Manchmal wird ein Wasserglas auch außen nass. Ist es etwa undicht? Luft enthält unsichtbaren Wasserdampf, Wasser in gasförmigem Zustand. Wenn du die Luft abkühlst, kannst du den Wasserdampf sichtbar machen.

- Du brauchst: Glasgefäß, Thermometer, Eiswürfel, Lupe



- Miss die Lufttemperatur.
- Fülle das Glasgefäß mit Wasser.
- Miss die Wassertemperatur.
- Gib die Eiswürfel ins Wasser.
- Kontrolliere die Wassertemperatur
- Achte auf die Oberfläche des Glasgefäßes.
- Bei welcher Temperatur beschlägt das Glas?

Diese Temperatur, bei der das Glas beschlägt, wird **Taupunkt** genannt.

Sollte der Taupunkt unter 0°C liegen (zum Beispiel an trockenen Tagen im Winter), musst Du etwas Salz in das Wasser geben, damit das Wasser im Glas nicht einfriert.

Temperatur (°C)	Maximaler Wasserdampfgehalt (g/m ³)	Temperatur (°C)	Maximaler Wasserdampfgehalt (g/m ³)	Temperatur (°C)	Maximaler Wasserdampfgehalt (g/m ³)
34	37.58	19	16.33	4	6.37
33	35.66	18	15.40	3	5.96
32	33.82	17	14.50	2	5.57
31	32.07	16	13.65	1	5.20
30	30.40	15	12.95	0	4.85
29	28.80	14	12.09	-1	4.49
28	27.27	13	11.37	-2	4.14
27	25.80	12	10.68	-3	3.82
26	24.40	11	10.03	-4	3.52
25	23.07	10	9.41	-5	3.25
24	21.80	9	8.83	-6	2.99
23	20.60	8	8.28	-7	2.75
22	19.45	7	7.76	-8	2.53
21	18.35	6	7.27	-9	2.33
20	17.31	5	6.80	-10	2.14

- Berechne mit Hilfe der Tabelle den Wasserdampfgehalt der Luft.

Beispiel: Liegt der Taupunkt bei 16°C und die Lufttemperatur bei 26°C:

Bei 16°C kann Luft maximal 13,6 g Wasserdampf pro Kubikmeter aufnehmen.

Bei 26°C kann Luft maximal 24,4 g Wasserdampf pro Kubikmeter aufnehmen.

Die absolute Feuchte ist 13,6 g, die relative Feuchte ist $13,6/24,4 \times 100 = 56 \%$.

26 – Alles relativ: Luftfeuchtigkeit und Temperatur



- Du brauchst:
Ein Thermometer, ein Hygrometer, ein großes Glasgefäß mit Deckel.
- Stelle ein Hygrometer und ein Thermometer in ein passendes Glasgefäß. Verschließe das Glas.
- Stelle das Glas an einen **warmen Ort**, am besten in die Sonne.
- Notiere die Temperatur- und Feuchtigkeitswerte (Tabelle).
- Bei welcher Luftfeuchtigkeit bilden sich Wolken?

Temperatur (°C)	Luftfeuchte (%)	Temperatur (°C)	Luftfeuchte (%)	Temperatur (°C)	Luftfeuchte (%)

27 - Wann gibt es auf Helgoland endlich hitzefrei?



Schnee auf Helgoland ist richtig selten. So selten, dass wenn es wirklich mal schneit, die Schule ausfällt, weil die Kinder dann Schlitten fahren wollen.

Findest du das ungerecht?

Dann solltest du wissen: Hitzefrei gibt es dort auch nur selten. Auf Helgoland ist es – anders als in Hannover - nie richtig kalt und nie richtig heiß.

Fachleute nennen das Helgoländer Klima „maritim“ (von „Mare“ = Meer). In Hannover ist es schon etwas kontinentaler. Vergleiche die Durchschnittstemperaturen (°C):

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Hannover	0.6	1.1	4.0	7.8	12.6	15.8	17.2	16.9	13.7	9.7	5.0	1.9	8.9
Helgoland	3.1	2.6	4.1	6.5	10.6	13.7	16.3	17.1	14.9	11.6	7.5	4.8	9.4

Diese beiden Experimente zeigen dir, warum das Klima verschieden ist.

Versuch 1

- Du brauchst: Zwei Marmeladengläser mit Glasdeckel, Erde, Wasser, Thermometer.
- Fülle ein Glas mit Erde, das andere mit Wasser.
- Stelle beide Töpfe in die Sonne.
- Miss die Temperaturen an der Erd- und an der Wasseroberfläche.
- Protokolliere die Daten.
- Miss die Temperaturen, wenn die Sonne nicht mehr scheint.
- Protokolliere die Daten.



Versuch 2

- Du brauchst:
Zwei tiefe Teller, 2 gleiche Marmeladengläser mit Deckel, Wasser, Erde.
- Fülle den einen Teller mit Wasser.
- Fülle beide Marmeladengläser mit Erde und stelle sie auf die Teller.
- Protokolliere die Temperaturen in den Marmeladengläsern.

28 - Was hat der Boden mit der Temperatur zu tun?

- Du brauchst:
Ein schwarzes Stück Pappe und ein weißes Stück Pappe.
- Lege die Pappen auf eine ebene Fläche.
- Lasse die Sonne darauf scheinen.
- Fühle die Temperatur mit den Fingern.
- Versuche die Pappen möglichst stark zu erwärmen.
- Wie musst du sie ausrichten?
- Welchen Einfluss hat die Neigung zur Sonne?



Böden erwärmen sich unterschiedlich stark

Oregano, Thymian und Salbei lieben sandige Böden.

Pflanzen brauchen Wärme. Das gilt besonders für Pflanzen, die eigentlich in südlichen Ländern zu hause sind.

Oregano und Thymian sind dort zuhause, wo die Pizza herkommt.

- Fülle tiefe Teller mit diesen Materialien:
 - trockener Sand
 - nasser Sand
 - trockener Gartenboden
 - nasser Gartenboden
 - trockene Torferde
 - nasse Torferde
 - schwarzer trockener Split
 - schwarzer nasser Split
- Stelle die Teller in die Sonne und miss in regelmäßigem Abstand die Temperatur.

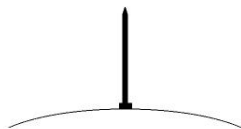
29 – Warum ist es kalt am Pol?

Manche Leute sagen: „Weil der Pol weiter von der Sonne entfernt ist als der Äquator.“ Das ist zwar nicht ganz falsch, denn die Erde ist ja eine Kugel. Aber das erklärt nicht die Hitze am Äquator und die Kälte an den Polen. Die Sonne ist ungefähr 149000000 km von der Erde entfernt, da spielt es keine Rolle, dass die Pole 6000 km weiter entfernt sind.

Dieses Experiment zeigt dir, woran es wirklich liegt.

- Du brauchst:
Einen großen hellen Ball, schwarzes Klebeband, eine Schere und eine Tasse.

- Schneide mehrere 1 cm lange Stücke Klebeband ab.
- Klebe sie auf den Ball.
- Stelle die Tasse an einen sonnigen Platz und lege den Ball darauf.
- Drehe den Ball so, dass die Klebestreifen im Sonnenlicht liegen.
- Fühle mit den Fingern, welche Klebestreifen sich am stärksten erwärmen.



- Setze einen Nagel senkrecht auf die Oberfläche des Balls und befestige ihn mit etwas Knetmasse. Achte auf den Schatten des Nagels.
- Setze einen Nagel an einen anderen Ort und vergleiche die Länge des Schattens.
- Welchen Zusammenhang gibt es zwischen der Wärme und Schattenlänge?

30 - Wind im Gänsebräter (oder im Aquarium)

Blase einen Luftballon auf.
Lasse ihn los.

Blase ihn noch einmal auf und lasse dir die Luft auf die Stirn pusten.

Jetzt weißt du, wie Wind entsteht, oder stimmt das vielleicht garnicht?

Dies Experiment zeigt dir, wie Wind wirklich entsteht.



- Du brauchst:
Einen großen Behälter mit Glasdeckel, z.B. einen Gänsebräter oder ein Aquarium, einen Räucherkegel, zwei kleine Schalen, die in die große Schale hineinpassen, dunkle Steinchen, Eis oder kaltes Wasser.
- Stelle die beiden Schalen nebeneinander in den Behälter. Fülle die eine Schale mit kaltem Wasser, die andere mit dunklen Steinchen. Stelle den Versuch in die Sonne und warte, bis die Steinchen warm geworden sind. Stelle dann den Räucherkegel zwischen die beiden Schalen. Beobachte, wohin der Rauch zieht. Am besten geht es, wenn du einen gläsernen Deckel auf den Behälter setzt.

Im Bild oben wurde ein altes Aquarium in der Mitte durch eine (wasserdichte) Wand geteilt. Auf der einen Seite ist kaltes Wasser (Meer), auf der anderen Seite schwarzer Sand (Land). Über dem Aquarium steht ein Halogenstrahler.

Ein Schornstein, eigentlich gedacht für eine Modelleisenbahnlokomotive, erzeugt etwas Rauch.

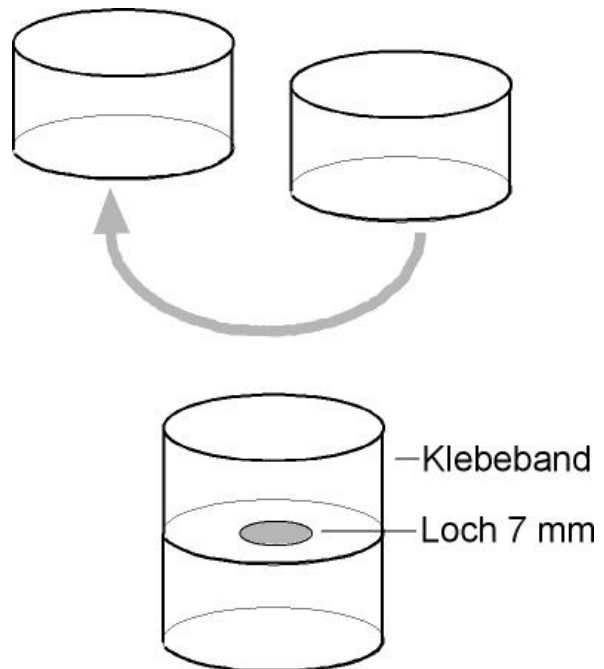
31 - Der Tornado in der Flasche

Tornados sind Wirbelstürme. Taifune oder Hurrikane sind andere Namen dafür. Wirbelstürme sind riesige Luftstrudel, ähnlich den Strudeln, die sich in einem schnell fließenden Bach bilden.

Manchmal kann man kleine „Tornados“ beobachten, die Blätter im Kreis herumwirbeln und in die Höhe tragen. Man nennt sie „Windteufel“.

Mit diesem Experiment kannst du einen Strudel erzeugen und beobachten.

- Du brauchst:
Zwei große Plastikflaschen mit Schraubverschlüssen, einen Bohrer, Klebeband und Wasser.



- Presse die Schraubverschlüsse mit den flachen Seiten gegeneinander.
- Umwickle sie mit mehreren Lagen Klebeband.
- Bohre ein etwa 7 mm weites kreisförmiges (!) Loch in den „Zwillingsverschluss“.
- Fülle eine der beiden Flaschen mit Wasser.
- Schraube die beiden Flaschen mit dem „Zwillingsverschluss“ zusammen.

Finde selbst heraus, wie ein Strudel entsteht! Erzeuge „Linksrum-“ und „Rechtsrum-“ Strudel.

32 - Nach dem Abwasch: Strudelt der Strudel links oder rechts herum?



Hast du einmal auf den Strudel geachtet, der entsteht, wenn du nach dem Abwasch den Stöpsel ziehst? In welche Richtung dreht er sich?

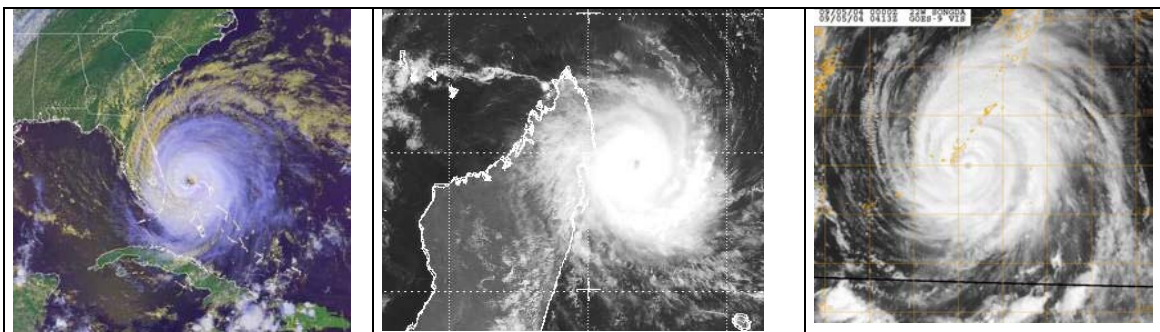
Mache mehrere Versuche.

Achte jedes Mal darauf, dass das Wasser ganz ruhig im Becken steht.

Notiere die Drehrichtung des Strudels.

Versuch	Im Uhrzeigersinn	Gegen den Uhrzeigersinn
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Die Bilder zeigen drei Wirbelstürme über Nordamerika, Madagaskar und Japan. Achte auf die Drehrichtung der „Luftstrudel“. Fällt dir etwas auf?



33 - Links oder rechts herum? Hochs, Tiefs und Wind auf der Wetterkarte

Beim Experiment „Flaschentornado“ kannst du Strudel erzeugen, die links oder rechts herum laufen. Wovon hängt das ab?

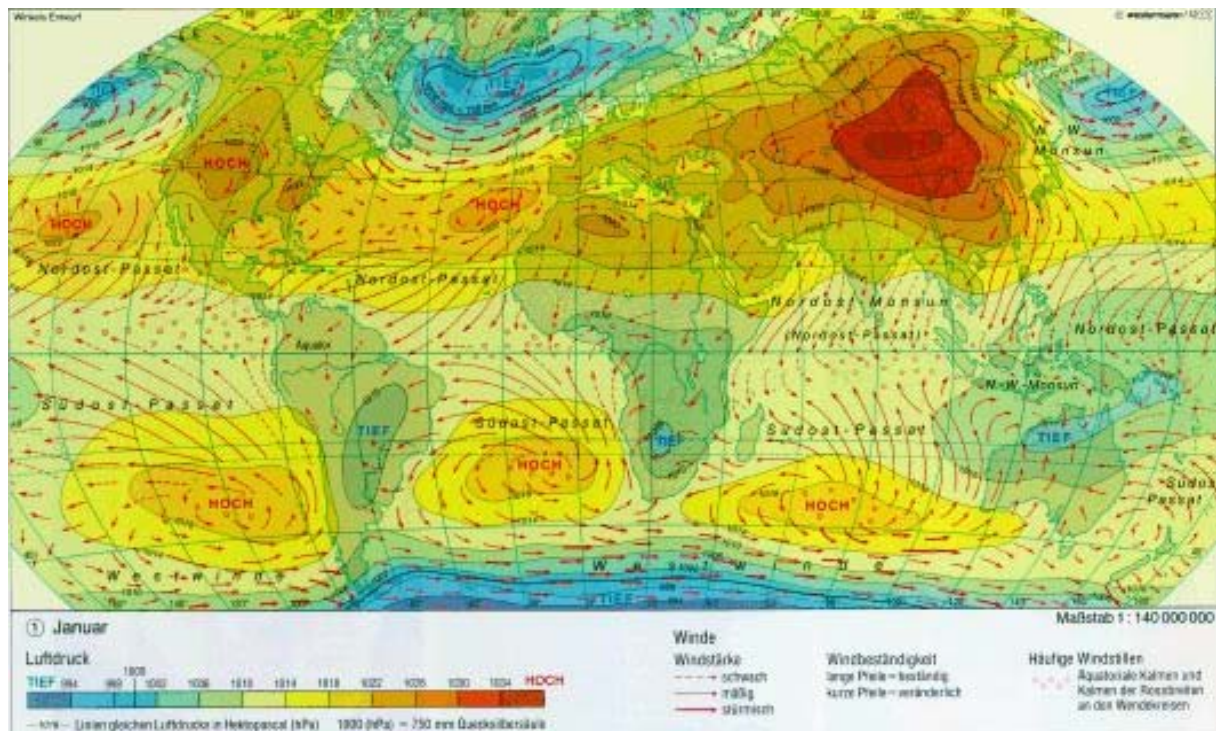
Bei Tornados wird die Luft wie auf einem Karussell um ein Zentrum („Auge“) herumgewirbelt. Die Luft wird in das Zentrum des Wirbelsturms „hineingestrudelt“, denn im Zentrum ist der Luftdruck geringer als am Rand.

Das ist bei „normalen“ Tiefdruckgebieten genau so.

Sie haben nur weniger Energie und wirbeln langsamer als Wirbelstürme.

Die Drehrichtung der „Luftstrudel“ ist nicht zufällig, sondern folgt klaren Regeln.

- Schau dir die Luftdruckverteilung und die Windrichtungen auf der Erde genau an.
- Suche die Tiefdruck- und Hochdruckgebiete heraus.
- Achte auf die Windrichtungen in der Umgebung der „Tiefs“ und „Hochs“.
- Was fällt dir auf?



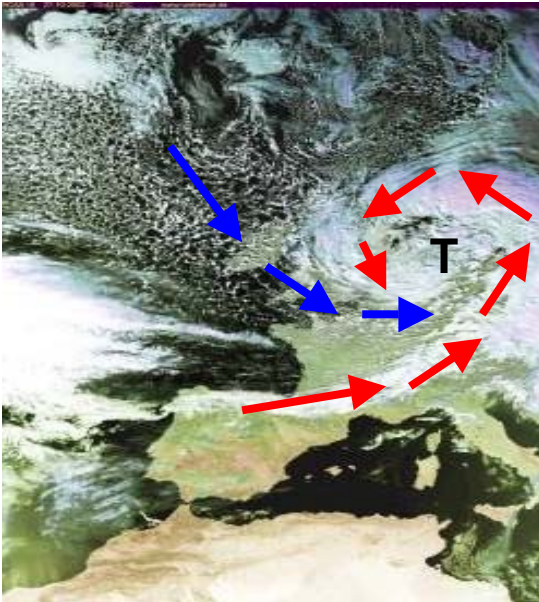
Tiefdruckgebiete drehen sich...

...auf der **Nordhalbkugel** der Erde **links** herum (also gegen den Uhrzeigersinn)

...auf der **Südhalbkugel** der Erde **rechts** herum (also im Uhrzeigersinn).

Das hat etwas damit zu tun, **dass sich die Erde um ihre Achse dreht.**

33 – Kurven auf dem Suppenteller Der Corioliskraft auf der Spur



Auf der Nordhalbkugel der Erde, also zum Beispiel über Europa, „strudelt“ die Luft gegen den Uhrzeigersinn in ein Tiefdruckgebiet hinein. Auf der Südhalbkugel ist es umgekehrt. Das Bild unten zeigt ein Tiefdruckgebiet über Europa. Es heißt „Jeanette“ und ist der Rest eines Hurrikans, der ein paar Tage vorher über den Osten der USA gezogen war. Achte auf die Wolken und versuche, das Zentrum des Tiefdruckgebietes zu finden.

Das folgende Experiment zeigt dir, warum die Luft nicht den „geraden“ Weg zum tiefsten Luftdruck nehmen kann.

- Du brauchst: Einen Teller und etwas Öl.
- Bitte einen Partner, den Teller senkrecht zu halten und langsam zu drehen.
- Tauche eine Fingerspitze in das Öl.
- Setze den Tropfen, der am Finger hängen bleibt, in die Mitte des Tellers.
- Der Tropfen möchte senkrecht herab gleiten.
- Schau dir die Spur des Öltropfens an. Was stellst du fest?
- Bitte deinen Partner, die Schale anders herum zu drehen. Was stellst du fest?

Der Öltropfen möchte senkrecht nach unten rutschen. Da die Schale gedreht wird, beschreibt die Ölspur einen Bogen.

Wird der Teller, von dir aus gesehen, im Uhrzeigersinn gedreht, macht der Tropfen (scheinbar) eine Linkskurve.

Wird die Schale, von dir aus gesehen, gegen den Uhrzeigersinn gedreht, macht der Tropfen (scheinbar) eine Rechtskurve.

Die Begriffe „links“ und „rechts“ beziehen sich dabei auf die „Sicht“ des Tropfens. Denk dir einfach, du wärest der Tropfen!

34 – Das Coriolis-Karussell

Warum fließt die Luft in der Erdatmosphäre nicht auf dem kürzesten Wege vom Hochdruckgebiet ins Tiefdruckgebiet?

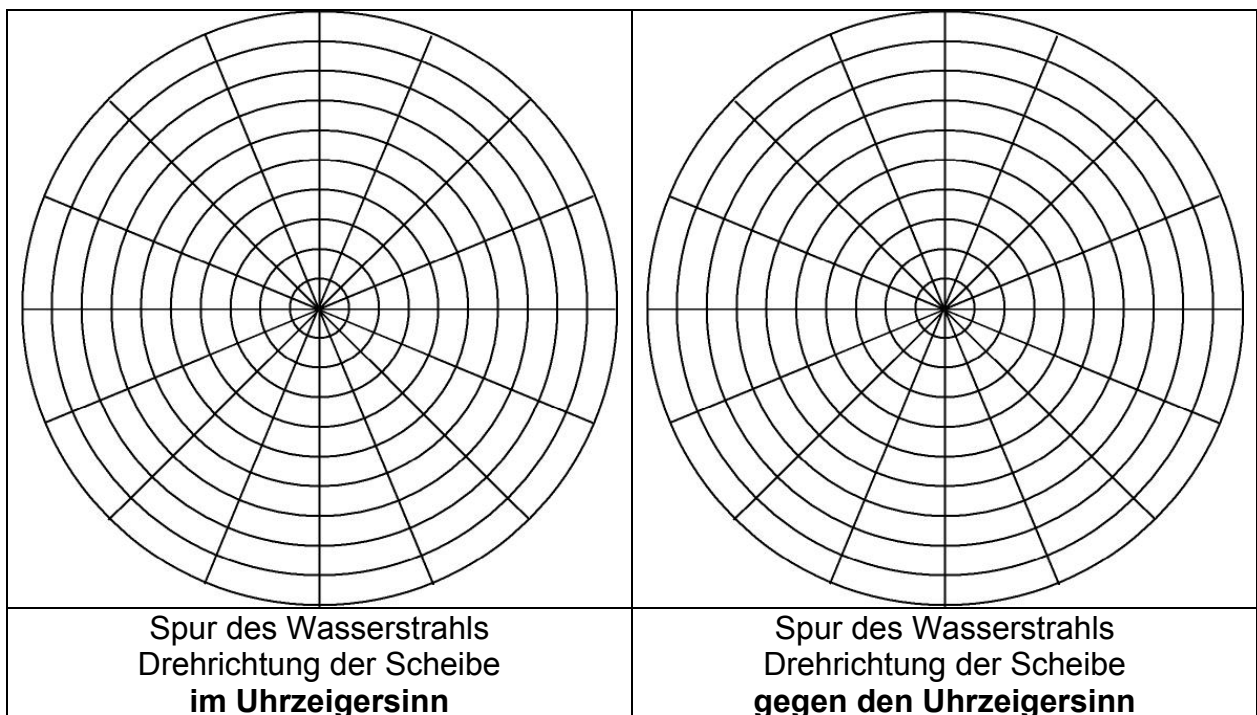
Warum bilden sich große „Luftstrudel“?

Der Grund dafür ist die Corioliskraft. Und die hat mit der Erddrehung zu tun.

Mit dem Coriolis-Karussell kannst du untersuchen, wie das zusammenhängt.



- Gib mit der Pipette etwas Wasser in das Röhrchen.
- Lasse den Elektromotor langsam laufen.
- Beobachte, wohin sich das Wasser bewegt.
- Schau dir die Spur des Wassers auf der Scheibe an.
- Zeichne sie in den Kreis ein (unten)!
- Was geschieht bei anderen Geschwindigkeiten?
- Was geschieht, wenn du die Drehrichtung änderst?



Anhang

1

Mitten im Wasser verdursten?

Dieses Experiment zum Thema „Wasserkreislauf“ (siehe Titelbild) eignet sich hervorragend für die Fensterbank. Beim Ansetzen des Meeresswassers muss man zwar etwas rechnen und wiegen, dafür läuft der Rest des Experiments in der Sonne ganz ohne Zutun ab.

Auf einer winzigen Insel mitten im Ozean droht der Schiffbrüchige zu verdursten. Salzwasser erzeugt nur noch mehr Durst, da es das Wasser aus den Körperzellen saugt. Das Prinzip der Osmose an semipermeablen Membranen ist ein Vorgang, der es den Lebewesen überhaupt erst ermöglicht, Wasser aufzunehmen. Wenn allerdings die Konzentration der osmotisch wirksamen Substanzen im außenzellulären Milieu höher ist als in der Zelle, bewegt sich das Wasser in die andere Richtung und der Körper trocknet aus. Bei schlappen Salatblättern die zu lange in der Vinaigrette gelegen haben kann man die Osmose verantwortlich machen oder bei dem Durstgefühl, dass sich nach dem Verzehr von gesalzene Kartoffelchips einstellt. Selbst der „Kater“ und der Nachdurst nach durchzechter Nacht ist ein Ergebnis osmotischer Missverhältnisse.

Meerwasser hat eine Salzkonzentration von etwa 3,3 % auf. Unser künstliches Meerwasser besteht aus etwas mehr als 3 g Meersalz, gelöst in 100 ml Wasser und darf in kleinen Mengen probiert werden.

Dem von Salzwasser umgebenem Schiffbrüchigen bleibt nur die Hoffnung auf Regen. Der aufgespannte Schirm (Eisdiele, Konditorei oder Partybedarf) schützt derweil vor Sonnenbrand. Die übergestülpte, den „Himmel“ symbolisierende Glasschale beschlägt wegen des Treibhauseffektes und sehr bald fallen die ersten Tropfen herab auf den Schirm.

Wenn man die Schale zu einem späteren Zeitpunkt wegnimmt, lässt sich fühlen, dass der Sonnenschirm zum nassen Regenschirm geworden ist.

2

Wie kommen die Tropfen in den Himmel?

Ein Eimer Wasser ist ganz schön schwer. Ein Regenguss füllt viele Eimer und hier stellt sich die Frage, welche Kraft das Wasser eigentlich in die Höhe transportiert. Bei diesem ganz einfachen Versuch untersuchen wir den Wasserkreislauf etwas näher und unter verschiedenen Bedingungen. Am besten nehmen wir dazu Einmachgläser mit Glasdeckel.

Das Experiment sollte sowohl mit kaltem als auch warmem Wasser durchgeführt werden. Wichtig ist, dass das Glas vorher ganz sauber und gut abgetrocknet ist. Wie das Wasser verdunstet, ist leider nicht zu beobachten. Wenn erzählt wird, dass Wasser beim Verdunsten zu Wasserdampf wird, stellen wir uns den Wasserdampf meistens als Wolke vor, die aus dem Kochtopf steigt. Das stimmt aber nicht. Wolken bestehen aus winzigen Tröpfchen, also aus flüssigem Wasser. Wasserdampf dagegen ist gasförmiges Wasser und unsichtbar.

Der Wasserdampf schlägt sich schnell am Innenrand des Glases nieder. Zunächst sind es nur kleine Tröpfchen, die aber bald zu größeren Tropfen zusammenwachsen. Wenn sie schwer genug sind, kann sie die Oberflächenspannung nicht am Glas halten und sie rutschen oder fallen herab.

Unmittelbar oberhalb der warmen Wasseroberfläche ist eine tropfenfreie Zone zu beobachten. In diesem Bereich ist das Glas fühlbar wärmer als weiter oben. Erst in kühleren Zonen kondensiert der Wasserdampf. Diese Beobachtung lässt sich auf die Atmosphäre übertragen: Die Untergrenze der Wolken liegt meist nicht am Boden sondern erst in allerdings wechselnder Höhe.

Man kann die Tropfenbildung unterstützen, indem man Eiswürfel auf den Deckel legt. Den Zusammenhang zwischen Temperatur und Kondensation untersuchen wir bei der Bestimmung des Taupunkts (Abschnitt 23).

3

Ein ganz einfaches Thermometer

Das Experiment beruht auf der Eigenschaft von Stoffen, sich bei Erwärmung auszudehnen. Für unser einfaches Thermometer nehmen wir gefärbtes Wasser. Flüssigkeitsthermometer enthalten sonst eingefärbten Alkohol oder Quecksilber. Dabei nimmt Wasser insofern eine Sonderstellung ein, als dass es uns im „normalen“ Temperaturbereich in drei Aggregatzuständen (Eis, Wasser, Wasserdampf) begegnet. Die Übergänge zwischen fest und flüssig bzw. flüssig und gasförmig setzen den Rahmen der Temperaturskala nach Celsius (0°C bzw. 100°). Das „Wasserthermometer“ ist unterhalb von 4°C nicht mehr einsetzbar. Einerseits hat Wasser im flüssigen Zustand seine größte Dichte bei 4°C und dehnt sich unterhalb dieses Werts wieder aus. Andererseits wird das Wasser bei Erreichen des Gefrierpunkts fest und würde das Gefäß sprengen.

Die Volumenzunahme pro Grad Celsius ist nur gering. Bei hinreichend engem Messrohr ist das Auf- und Absteigen der Flüssigkeitssäule aber deutlich. Zu eng darf das Röhrchen aber auch nicht sein, weil die Kapillarwirkung sonst das Ergebnis überlagern würde.

4

Der Geist in der Flasche



Auch Luft dehnt sich bei Erwärmung aus, wobei die Volumenzunahme hier erheblich stärker ausfällt als beim Wasser. Wir empfehlen für das Experiment eine dunkle Bierflasche. Sie wird infolge größerer Absorption von Sonnenstrahlung schneller warm. Ersatzweise kann man die Flasche auch in einen Topf mit heißem Wasser stellen. Der über die Flaschenöffnung gezogene Luftballon sollte vorher einige Male aufgeblasen werden, um ihn weicher und nachgiebiger zu machen.

Der mögliche Einwurf, dass heiße Luft aufsteigt, lässt sich überprüfen, in dem man die Flasche vorsichtig kopfüber hält. Jetzt müsste die Luft in die Flasche zurückkehren. Der Luftballon bleibt aber bleibt „aufgeblasen“. Wer ihn vorsichtig zwischen die Finger nimmt, wird den Luftdruck im Ballon spüren.

Wenn es Ihnen gelingt, den Luftballon vorsichtig von der Flasche zu ziehen und zu verknoten, ohne dass die Luft entweicht, sollten Sie ihn in den Schatten oder an einen anderen kalten Ort legen. Während er schrumpft, können Ihre Schüler den

„Flaschengeist“ entdecken. Den kannte schon Aladin. Eine Münze, die passend auf der angefeuchteten Flaschenöffnung liegt, wird eigenartige Klickgeräusche machen. Aber nur, wenn die Flasche in der Sonne steht. Na klar, dem Geist wird es zu warm in der Flasche und will ´raus!

Übrigens: Eine größere Flasche oder noch besser ein dunkler Metallbehälter führt zu noch besseren Ergebnissen.

5

Wer pustet einen Luftballon in die Flasche hinein?



Ein sehr motivierender Stundeneinstieg. Lassen Sie es Ihre Schüler versuchen! Leider geht es nicht. Vielleicht werden Ihre Schüler entdecken, dass die „leere“ Flasche nicht leer ist, sondern Luft enthält. Man kann auch nur sehr begrenzt Luft in eine Flasche hineinpusten. Wer den Luftballon in die Flasche „hineinzaubern“ möchte, sollte ihn für einige Zeit ins Eisfach legen. Dann schrumpft das Luftvolumen in der Flasche und der Ballon wird in den Flaschenhals

hineingezogen. Ein tolles Experiment an einem kalten Wintertag draußen!

5

Das „Schaschlik-Barometer“

Die Bierflasche mit dem Luftballon führt in das Thema Luftdruck und Temperatur ein. Das Auf und Ab des uns umgebenden Luftdrucks lässt sich mit dem „Schaschlik-Barometer“ beobachten. Dazu wird einfach eine Frischhaltefolie über ein Einmachglas gespannt und mit einem Gummiband befestigt. Wichtig ist, dass es luftdicht verschlossen ist. Im Zweifelsfall sollte man prüfen, ob unter Wasser Bläschen aufsteigen. Dann wird ein Ende des Schaschlikstabes mit Klebeband auf der Mitte der Folie befestigt. Der Stab muss locker auf dem Rand des Glases liegen. Wenn der Luftdruck im Raum steigt, wird die Folie etwas eingedrückt. Dann hebt sich die Spitze des Stabes. Das lässt sich besonders gut beobachten, wenn das Schaschlik-Barometer vor einer Lampe steht, und der Schatten der Spitze auf eine Zur schnellen Funktionsprüfung schlagen wir vor, das Barometer in einen Topf mit etwas heißem Wasser zu stellen. Der steigende Druck im Glas sollte dazu führen, dass sich die Folie leicht nach oben ausbeult und die Spitze des Stabes sinkt.

6

Das Flaschenbarometer

Dieses Gerät ist zwar nicht ganz so empfindlich wie das Schaschlik-Barometer, dafür funktioniert es schon bei leichtem Druck mit den Fingern. Nehmen Sie eine Flasche aus dünnem und leicht nachgebendem Plastikmaterial. Schieben Sie einen transparenten Trinkhalm durch den zuvor passend aufgebohrten Schraubverschluss. Die Flasche wird so weit mit eingefärbtem Wasser (Tinte oder Lebensmittelfarbe) aufgefüllt, dass der Trinkhalm gerade in die Flüssigkeit taucht.

Geben Sie mit einer Pipette so viel des eingefärbten Wassers hinzu, dass der Wasserspiegel im Trinkhalm bis an die Markierung reicht. Dabei darf die Flasche nicht gedrückt, am besten überhaupt nicht berührt werden. Steigt der Luftdruck in der Umgebung, wird die Flasche etwas zusammengedrückt. Dadurch erhöht sich der Luftdruck in der Flasche. Der Luftdruck kann den Wasserspiegel etwas herabdrücken, weil die Flüssigkeit in den Trinkhalm ausweichen kann.

7

Leere Flaschen, gibt es sie überhaupt?

Das altkluge, etwas vorlaute Kind hat Recht: Die Flaschen enthalten Luft. Jeder weiß, dass man eine kopfüber gehaltene Flasche nur schwer ins Wasser drücken kann und dass Blasen aufsteigen, wenn man sie umdreht. Meistens wird die unsichtbare Luft als „Nichts“ empfunden.

Die kleine Geschichte soll noch einmal bewusst machen dass Luft „etwas ist“.

8

„Knitterflaschen“

Der Luftdruck ist nicht überall gleich und außerdem einem ständigen Wandel unterworfen. Die dünne Lufthaut der Erde, Atmosphäre genannt, ist in ewiger Bewegung. Um „Wetter“ zu begreifen, sollte man sich mit ihrem vertikalen Aufbau beschäftigen.

Die Geschichte mit den Knitterflaschen beruht auf einem eigenen Erlebnis. Die Idee war, Bergluft einzusperren und mit ins Tal nehmen. Warum schrumpfte die Flasche beim Abstieg? Bergluft wird gemeinhin als „dünn“ bezeichnet und je höher man steigt, desto „dünnere“ wird sie. Wir merken das durch Atemlosigkeit, Schwindelgefühl und Kopfschmerzen.

„Dünn“ heißt, physikalisch formuliert, dass die Zahl der Luftteilchen in einem bestimmten Volumen geringer wird. Damit sinkt auch der Luftdruck.

Wenn man Bergluft mit geringem Druck in eine Plastikflasche „einsperrt“ und sie zurück ins Tal trägt, wird der höhere Luftdruck die Flasche zusammenpressen.

Man kann natürlich auch Luft aus dem Tal auf den Berg tragen. Das Ergebnis fällt allerdings ganz anders aus. Dazu der Abschnitt „Platzende Chipstüten“.

Der Zusammenhang zwischen Luftdruck und der Höhe über dem Meeresspiegel ist mathematisch in der „barometrischen Höhenformel“ und tabellarisch in der „Standardatmosphäre“ erfasst:

US Standardatmosphäre (1962)

Höhe	T°C	Druck hPa	Dichte kg/m ³
0	15,0	1013,2	1,2250
500	11,8	954,6	1,1673
1000	8,5	898,8	1,1117
1500	5,2	845,6	1,0581
2000	2,0	795,0	1,0066
2500	-1,2	746,9	0,9569
3000	-4,5	701,2	0,9092
3500	-7,7	657,8	0,8634
4000	-11,0	616,6	0,8194
4500	-14,2	577,5	0,7770
5000	-17,5	540,5	0,7364

Höhe	T°C	Druck hPa	Dichte kg/m ³
5500	-20,7	505,4	0,6975
6000	-24,0	472,2	0,6601
6500	-27,2	440,8	0,6243
7000	-30,4	411,0	0,5900
7500	-33,7	383,0	0,5572
8000	-36,9	356,5	0,5258
8500	-40,2	331,5	0,4958
9000	-43,4	308,0	0,4671
9500	-46,7	285,8	0,4397
10000	-49,9	265,0	0,4140
15000	-56,5	121,1	0,1948

Der Luftdruck wird in „Pascal“ (hier Hektopascal, 1 hPa = 100 Pa) angegeben, mehr dazu unter „Was sagt uns das Barometer?“

9

Denk dir, unsere Erde wäre ein Apfel

Die Atmosphäre der Erde, wie auch die Erdkruste, ist im Verhältnis zur Größe des Planeten nur eine dünne Haut, vergleichbar mit der Schale eines Apfels.

Wir geben Schülern einen großen Globus und bitten sie zu zeigen, wie hoch die höchsten Berge sind und wie hoch Flugzeuge fliegen. Die Schätzungen liegen stets zu hoch, auch bei älteren Befragten, die in Flugzeugen geflogen waren.

Man kann die tatsächliche Höhe über der Globusoberfläche leicht bestimmen, wenn man den Abstand zweier möglichst bekannter Orte im Atlas misst. Wenn man die Distanz auf den Globus überträgt, lässt sich sein Maßstab leicht berechnen.

10

Platzende Chipstüten

Keks- und Chipstüten werden mit Gas gefüllt, um Transportschäden und Oxidation zu vermeiden. Ihr Binnendruck liegt über dem Luftdruck auf Meeresniveau. Wird eine solche Tüte den Berg hinaufgetragen, bläht sie sich auf und kann unter Umständen platzen. Ähnlich kann es Gas gefüllten Luftballons beim Aufsteigen in große Höhen ergehen. Unter einer luftdicht verschlossenen und abgepumpten Glasglocke (z.B. einem Eksikkator) blähen sich Tüten oder Negerküsse zu einem Mehrfachen ihres ursprünglichen Volumens auf. Dass ein Negerkuss bei dieser Behandlung für eine ganze Klasse reicht, ist allerdings eine Falschmeldung.

Statt einer Keks- oder Chipstüte nehmen wir eine leichte durchsichtige Plastiktüte, pusten sie etwas auf und verknoten sie ganz fest.

11

Warum geht Omas Pflaumenmus nicht auf?

Heiß abgefüllt und dann abgekühlt: Das im Glas verbliebene Luftvolumen über der Marmelade zieht sich zusammen und der Druck sinkt. Manchmal kann man das sogar am etwas eingebaulten Deckel sehen.

Die Lösung des Problems ist ein Stück Alltagsphysik und zeigt, das „Wetter“ und „Küche“ gar nicht so weit auseinander liegen.

12

Was sagt uns ein Barometer?

Der Luftdruck wird in Pascal (Pa) angegeben. 1 Pa entspricht der Kraft von 1 Newton (N) auf einen Quadratmeter (m^2). 1 N entspricht 98,7 g Gewicht, also fast 100 g. Das Barometer gibt den Luftdruck in Hektopascal (hPa) an. 1 hPa ist gleich 100 Pa. Übliche Druckwerte in Meeresspiegelhöhe bewegen sich zwischen 960 und 1040 hPa.

Umgerechnet bedeuten 1000 hPa (= $100 \times 1000 \text{ Pa} = 100000 \text{ Pa}$), dass eine Luftsäule von 1 qm^2 Grundfläche mit der Gewichtskraft von 10000 kg oder 10 t auf dem Boden lastet.

Von diesem Druck merken wir erstaunlicherweise nichts. Nicht einmal eine weiche Plastikflasche wird zusammengedrückt. Der Grund dafür ist, dass der Binnendruck in der Flasche und der Aussendruck gleich sind. Eine wirklich leere, das heißt luftfrei gepumpte Flasche würde unter Normaldruck wie unter einer Dampfwalze zusammengequetscht.

13

Je dünner, desto höher

98% der Lufthülle liegt unterhalb von 30,5 km Höhe, aber die Schwerkraft drückt gut die Hälfte auf den untersten 5,5 km zusammen. Einem Druck von 1000 hPa auf Meeresniveau steht ein Druck von 10 hPa in 30,5 km Höhe gegenüber.

Das Wettergeschehen beschränkt sich auf die unterste Schicht der bis etwa 80 km hinaufreichenden Lufthülle, die Troposphäre. Ihre Obergrenze wird von der Bewegungsenergie der Luftmoleküle bestimmt und liegt über dem Äquator bei 16 km und über den Polen bei 8 km.

Der Luftdruck nimmt gesetzmäßig mit der Höhe ab, die Abnahme ist aber nicht linear. Zwei Faustregeln sagen, dass in den untersten 3000 Höhenmetern der Luftdruck um 1 hPa pro 10 m sinkt und dass 8,4 km Höhengewinn den Luftdruck auf 1/3 des Ausgangswertes reduziert. Genauere Werte kann man mit Hilfe der Standardatmosphäre berechnen.

Schon wenn man mit einem Barometer auf einen Turm steigt, dürfte der Zeiger darauf reagieren. Ein Barometer kann folglich zur Bestimmung der Höhe benutzt werden. Voraussetzung ist aber, dass man den Luftdruck auf Meereshöhe kennt. Wir simulieren einen Aufstieg in die Berge, in dem wir eine luftdichte Glasglocke mit einer Vakuumpumpe evakuieren. Unter der Glasglocke liegt ein Barometer.

Da der Messbereich eines normalen Barometers nur bis etwa 920 hPa reicht wäre der „Ausflug“ schon bei etwa 930 Höhenmetern beendet. Schon auf „Seilbahn-Endstations-Höhe“ - in vielleicht 2000 m Höhe - herrschen Druckverhältnisse, wie sie selbst im „Auge“ eines Hurrikans nicht vorkommen.

Ein Tiefdruckgebiet mit ganz üblichen 960 hPa über der Nordsee und ein Hochdruckgebiet über Niedersachsen mit ebenfalls ganz üblichen 1030 hPa führen zu Windstärken von 12 und mehr. Wohl gemerkt, Hoch- und Tiefdruckkern sind hier immer noch einige Hundert Kilometer voneinander entfernt. Zwischen Meereshöhe und einem Dreitausender liegt mehr als 300 hPa Druckunterschied.

Wie so rast – so fragt man sich – dann kein Orkan den Berg hinauf der nur wenige Kilometer vom Talgrund entfernt liegt?

14

Warmes steigt auf, kaltes sinkt ab

Ein im wahrsten Sinne schöner Versuch: Blaues Eis schwimmt auf der warmen Wasseroberfläche. Eis schwimmt, weil es eine geringere Dichte hat als flüssiges Wasser, bei gleichem Volumen also leichter ist. Das wärmere Wasser lässt das Eis schmelzen. Das kalte Schmelzwasser ist schwerer als das umgebende wärmere Wasser und sinkt als blaue Fahne auf den Grund des Beckens ab, wo es sich als Schicht ablagert.

Wenn wir jetzt noch etwas heißes, rot gefärbtes Wasser mit einer Pipette auf den Boden des Gefäßes bringen, sieht man, wie es aufsteigt.

Dieser Versuch ist eine Analogie zur Bewegung warmer und kalter Luftmassen in der Atmosphäre.

15

Heiße Luft steigt auf, doch in der Höhe wird es kälter...

Jeder weiß, dass es auf den Bergen normalerweise kälter ist als im Tal. Nur bei so genannten Inversionswetterlagen kann es anders sein.

Das ist eigentlich paradox, weil warme Luft doch aufsteigt, wie man an Heißluftballons im Sommer sehen kann. Warum steigt die warme Luft nicht hinauf auf die Berge und bleibt dort? Beim Eierkochen steigt die Wolke aus dem Topf an die Küchendecke. Dort ist es sowieso schon am wärmsten.

Wenn man das Gefrierfach des Kühlschranks aufmacht, fällt einem oft eine weiße Wolke entgegen. Die kalte Luft sinkt zu Boden. Müsste die Kälte der schneebedeckten Berge nicht ins Tal sinken, während die aus dem Tal aufsteigende Wärme den Schnee in der Höhe zum Schmelzen bringt? Müsste es nicht überhaupt oben wärmer als unten sein?

Tatsache aber ist: In der Atmosphäre nimmt die Temperatur mit der Höhe ab. Der so genannte trocken-adiabatische Temperaturgradient beträgt etwa 1°C pro 100 m. Dies gilt aber nur für trockene Luft und ist nur ein theoretischer Wert. Er fällt durch die Kondensation mit Wasserdampf gesättigter, aufsteigender Luft (Energie wird frei!) geringer aus (feucht-adiabatischer Temperaturgradient).

Warum wird es in der Höhe kälter?

Hier sind zwei Gründe zu nennen: Zum einen ist es die vom Boden ausgehende und nur begrenzt wirksame Strahlungswärme, zum anderen die Konvektion warmer Luft und die damit verbundene Abkühlung durch Ausdehnung.

Wenn wir die Hand über (!) die heiße Herdplatte halten, und sie dann langsam nach oben bewegen lässt das Wärmegefühl deutlich nach. Das, was wir fühlen, ist Strahlungswärme, genau genommen elektromagnetische Strahlung im für uns unsichtbaren Infrarotbereich. Die Strahlung reicht offenbar nicht sehr weit, was besonders deutlich wird, wenn man Kochplatten senkrecht stellt.

Der zweite Grund der Abkühlung in der Höhe ist Konvektion, also der Aufstieg erwärmter Luft. Sie ist aufgrund der höheren Bewegungsenergie ihrer Moleküle weniger dicht und damit leichter. Eine physikalisch nicht ganz korrekte Analogie wären Ihre Schüler, die an einem heißen Sommertag unruhiger sind als

üblicherweise und einfach mehr Platz an ihren Tischen zu brauchen scheinen. So ähnlich ist es mit den Luftteilchen auch: Sie bewegen sich heftiger und vergrößern ihren Abstand zueinander. In einem geschlossenen Raum würde sich der Druck auf die Wände erhöhen. Der erwärmten Luft am Boden sind nach oben aber zunächst keine Grenzen gesetzt und sie kann sich ausdehnen.

Die Ausdehnung der Luft führt zur Abkühlung. Die Luftteilchen verlieren ihre Bewegungsenergie. Das kann man an Sprayflaschen fühlen, wenn das unter hohem Druck stehende Treibgas am Ventil expandiert. Der Entfrosterspray für die eingefrorene Autotür macht sich zunächst durch Kälte bemerkbar.

Warme Luft steigt also unter Verlust ihrer Wärmeenergie auf. Damit rücken die Luftteilchen wieder enger zusammen, die Dichte und das Gewicht der Luftmasse wachsen und der Auftrieb wird abgebremst.

Dieser so genannte trocken-adiabatische Aufstieg führt dazu, dass trockene Luft nicht unbegrenzt in den Himmel wächst, und ist ein Grund dafür, dass es in der Höhe kalt ist.

Beim feucht-adiabatischen Aufstieg wasserdampfhaltiger Luft ist das anders: Bei der Verdunstung wurde Sonnenenergie ins Wasser „investiert“. Diese Energie steckt im Wasserdampf und wird bei der Kondensation wieder frei. Das bedeutet beschleunigten Auftrieb der zusätzlich erwärmten Luft. Die blumenkohlartigen „Wolkenschiffe“, von den Meteorologen „Cumulus“ genannt, wachsen durch diesen Mechanismus zu bis zu 12 km hohen Gewitterwolken an.

16

Mit der Luftpumpe heizen?

Luft ist im Gegensatz zu Wasser sehr kompressibel. Das ist gut so, denn sonst müssten wir auf Vollgummireifen Fahrrad fahren. Jeder der einmal ein Fahrrad aufgepumpt hat, weiß, dass einem dabei nicht nur selbst heiß wird. Auch die Pumpe wird warm.

Wir stecken den Messfühler eines Digitalthermometers in die Öffnung einer Luftpumpe, halten die Öffnung mit dem Daumen gut zu, pumpen mit aller Kraft und werden uns wahrscheinlich den Daumen verbrennen.

Warum ist das so und was hat das mit dem Wetter zu tun?

So wie sich Luft abkühlt wenn sie sich ausdehnt wird sie wärmer wenn sie aus irgendeinem Grunde zusammengedrückt wird.

Da die Bereitschaft des Wasserdampfes, zu Tropfen zu kondensieren, von der Umgebungstemperatur abhängt, folgt aus steigendem und sinkendem Luftdruck auch ein Wetterwechsel. Das wussten schon unsere Urgroßeltern, auch wenn wir nicht verstanden, wie sie mit leichtem Klopfen am Barometer Regen herbeizaubern konnten...

Der Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur, Wasserdampfgehalt und Kondensationsbereitschaft wird aber erst deutlich wenn wir untersucht haben, wie Regentropfen eigentlich entstehen.

17

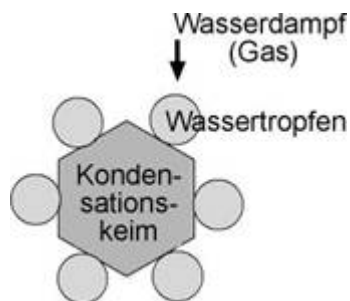
Wärme macht Druck

Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Druck wird noch einmal deutlich (vergleiche den „Flaschengeist“ im Abschnitt 4), wenn man sowohl ein Thermometer als auch ein Barometer in ein großes verschließbares Glas (etwa eine Bonboniere) legt und den Versuch in die Sonne stellt.

Eine schwarze Metallplatte am Boden beschleunigt den Vorgang. Vielleicht passen auch die selbst gebauten Thermometer und Barometer in das Glas? Mit steigender Temperatur wird sich auch der Druck erhöhen da die Luft nicht entweichen kann.

18

Wolken in der Salatschüssel



Dieses Experiment beruht auf der Eigenschaft des Wasserdampfes, bevorzugt an winzigen Partikeln in der Luft zu kondensieren. Ohne diese so genannten Kondensationskeime, also in völlig staubfreier Luft kommt es auch in wasserdampfübersättigter Luft nur schwer zur Tropfenbildung.

Als Kondensationskeime benutzen wir hier die winzigen Ascheteilchen im Rauch eines ausgeblasenen Streichholzes. Wenn wir warmes Wasser in die Schale gießen bildet sich sofort eine dichte Wolke. Der Zusammenhang wird sehr deutlich wenn der Versuch ohne Rauch oder ohne Hinzugabe von Wasser wiederholt wird. Hier fällt das Ergebnis viel bescheidener aus. Kaltes Wasser erzeugt weniger Wasserdampf, daher ist der Effekt auch hier geringer.

19

Bodennebel

Dieser Versuch baut auf den Erfahrungen des vorigen Experiments auf und erweitert ihn um einen entscheidenden Punkt. Die Bereitschaft des Wasserdampfes zu kondensieren ist temperaturabhängig. Die maximale Menge des unsichtbar in der Luft enthaltenen gasförmigen Wassers sinkt mit der Lufttemperatur. So erklärt sich der Bodennebel, der auftritt, wenn der Boden in langen klaren Nächten stark auskühlt. Die Temperatur der darüber liegenden Luftschicht geht zurück und unterschreitet den so genannten Taupunkt. Seenebel tritt oft bei Gezeitenwechsel auf, wenn warmes Oberflächenwasser durch den Einstrom kälteren Wassers ersetzt wird.

Als Behälter für das Eis sollten Sie leicht beschaffbare Filmdosen verwenden. Ein größeres Wasservolumen, in kleinen Portionen eingefroren, bietet eine größere Oberfläche und damit eine schnellere Abkühlung als ein einzelner Eisblock gleicher Größe.

20

Information Kondenskeime

21

Blauer Himmel und Regenwolken im Glas

Dieses Experiment zeigt den Zusammenhang zwischen Luftdruck und der Kondensationsbereitschaft des Wasserdampfes.

Wenn wir einen Plastikhandschuh über den Rand eines Einmachglases ziehen und ihn abwechselnd herausziehen oder hineindrücken, entspannen bzw. komprimieren wir die im Glas enthaltene Luft.

Das Aufziehen des Handschuhs sollte vorher im „Trockenkurs“ geübt werden, weil es nachher sehr schnell gehen muss und er sicher auf dem Rand des Glases sitzen muss.

Im ersten Schritt des Experiments geben wir etwas warmes Wasser in das Glas. Dann halten wir ein Streichholz in das Gefäß und blasen es aus. Jetzt wird – ganz schnell – der Handschuh über das Glas gezogen. Die Innenwand benetzendes Kondenswasser beseitigen wir durch leichtes Umschwenken des Glases. Ist dann die Sicht klar, wird der Handschuh schnell in das Glas hineingedrückt und nach kurzem Warten ebenso schnell hinausgezogen.

Beim Herausziehen entsteht Nebel im Glas, beim Hineindrücken verschwindet er wieder. Mit etwas Übung und einem dunklen Hintergrund gelingt der Versuch sehr gut.

Die Erklärung dieses Phänomens vereint eine Reihe von Erfahrungen aus vorigen Experimenten: Komprimierte Luft erwärmt sich (Luftpumpe!), expandierende Luft kühlt ab (Spraydose!), Wasserdampf kondensiert in kalter Umgebung leichter als in warmer (Bodennebel!) und Kondensationskeime (Rauch!) sind die Voraussetzung der Tropfenbildung. Eine für ein gutes Gelingen des Versuches notwendige Voraussetzung ist an dieser Stelle noch nicht zu vermitteln. Die Temperatur im Glas muss sich in der Nähe des so genannten Taupunktes bewegen. Das ist die Temperatur bei der Wasserdampf zu kondensieren beginnt. Dazu mehr beim Thema Taupunkt (23).

22

Tiefdruck und Regenwolken

Hier wiederholen wir den vorigen Versuch mit einer luftdicht verschlossenen Glasglocke und einer Vakuumpumpe. Auch hier wird der Wasserdampf kondensieren, sobald die Temperatur durch Expansion der Luft auf den Taupunkt gefallen ist.

23

Wie viel Wasser hat sich in der Luft versteckt?

Der Taupunkt ist eine wichtige Kenngröße in der Meteorologie. Der Taupunkt ist die vom aktuellen Wasserdampfgehalt der Luft abhängige „Kondensationstemperatur“. Kennt man den Taupunkt weiß man nicht nur, wann sich Nebel oder Wolken bilden sondern kann auch daraus berechnen, wie viel Wasserdampf in der Luft enthalten ist. Der maximale Wasserdampfgehalt steigt mit der Temperatur. Wird diese Sättigungstemperatur unterschritten, geht ein Teil des Wasserdampfes in die flüssige Phase über. Bei Vorhandensein von Kondensationskeimen entstehen Wassertröpfchen.

Die hier skizzierte Taupunktbestimmung ist eine grobe, aber zum Verständnis der Zusammenhänge hinreichende Methode. Sie beruht auf der Erfahrung, dass ein frisch auf den Tisch gestelltes Glas kaltes Mineralwasser „nicht richtig abgetrocknet“ oder „undicht“ zu sein scheint. Denn wie sollte man sich sonst erklären, dass es außen feucht wird?

Der Wasserdampfgehalt der Luft wird im Allgemeinen entweder als absolute oder als relative Feuchte angegeben. Die absolute Feuchte bezieht sich auf den tatsächlichen Wasserdampfgehalt gemessen zum Beispiel in g/m^3 Luft. Hygrometer messen die relative Feuchte. „Relativ“ bezieht sich auf den Wasserdampfgehalt im Verhältnis zum bei der aktuellen Temperatur möglichen Sättigungswert (Taupunkt!).

Als Beispiel sei gegeben eine Lufttemperatur von 26°C . Die Kondensation tritt bei 16°C ein. Dies ist der gesuchte Taupunkt. Bei 16°C kann Luft maximal 13,6 g Wasserdampf pro Kubikmeter aufnehmen. Die absolute Feuchte der gemessenen

Luft liegt bei 13,6 g. Bei 26°C läge die Sättigung bei 24,4 g. Sie wird aber offensichtlich nicht erreicht, denn sonst wären wir von Nebel umgeben. Die relative Feuchte ist das Verhältnis der tatsächlichen absoluten Feuchte zum (bei der gemessenen Lufttemperatur möglichen!) Sättigungswert: $13,6/24,4 \times 100 = 56 \%$

24

Alles relativ: Luftfeuchtigkeit und Temperatur

Aus dem vorigen Abschnitt folgt, dass die relative, vom Hygrometer gemessene Luftfeuchtigkeit bei steigender Temperatur sinken muss. Das im Glasgefäß enthaltene Luftpaket erwärmt sich in der Sonne. Damit steigt das potentielle Aufnahmevermögen für Wasserdampf. Da das Glas aber verschlossen ist, gibt es keinen Feuchtigkeitsnachschub.

Der Versuchsaufbau lässt sich auch nutzen, um den Taupunkt zu bestimmen und vielleicht noch erfolgreicher als bisher Wolken zu machen. Wenn das Hygrometer bei fallender Temperatur 100% anzeigt, ist der Taupunkt erreicht und man kann etwas Zigarettenrauch in das Gefäß blasen.

26

Warum gibt es auf Helgoland nur selten hitzefrei?

Maritimes Klima („Seeklima“) ist geprägt von relativ geringen tages- und jahreszeitlichen Temperaturamplituden. Es wird selten richtig heiß, aber auch nur selten richtig kalt. Im Gegensatz dazu ist das kontinentale Klima gekennzeichnet durch oft weit auseinanderklaffende Extremwerte (kalte Winter, heiße Sommer, heiße Tage, kalte Nächte).

Der Grund dafür ist in erster Linie in der unterschiedlichen spezifischen Wärme von Wasser und Gesteinen bzw. Boden zu suchen. Die spezifische Wärme gibt an, wie viel Energie (Joule) man einem Gramm einer bestimmten Substanz zuführen muss, um sie um ein Kelvin (K) zu erwärmen. Wasser hat mit 4,2 Joule/Gramm eine viel höhere spezifische Wärme als Gestein, dessen Wert bei 0,7 J/g liegt. Wasser hält die aufgenommene Wärme viel länger als Gesteine, besonders wenn es sich um große Wasservolumina handelt. Aber auch im Freibad lässt es sich im Oktober noch aushalten, selbst wenn die Lufttemperaturen nicht zum Schwimmen einladen.

Das große Wärmeaufnahmevermögen des Wassers führt zu einer verzögerten Temperaturentwicklung in Meeresnähe. Im Frühjahr wird es nur zögerlich warm, im Herbst und Winter gehen die Temperaturen nicht so weit zurück wie im kontinentalen Bereich. Der „Wärmepol“ in Deutschland liegt Ende Dezember oft in Nordseennähe, während es im Süden schon richtig kalt werden kann.

27

Was der Boden mit der Temperatur zu tun?

Radio und Fernsehsender bringen elektromagnetische Strahlung auf den Weg. Das ist bei der Sonne nicht anders: Ihre Strahlung ist nur viel energiereicher und damit viel kurzwelliger als Radiowellen. Radio- und Fernsehgeräte absorbieren über Antennen einen Teil der vom Sender ausgesandten Energie und verwandeln die Schwingungen in Töne und Bilder. Übrigens kann man die Sonne mit bestimmten Empfängern auch hören.

Zur Absorption der Sonnenstrahlen braucht man nur einen dunklen Gegenstand, etwa ein schwarzes T-Shirt, das den größten Teil der Strahlungsenergie

„verschluckt“ und in langwellige Schwingungen der Atome verwandelt. Das Hin- und Herschwingen der Teilchen empfinden wir als Wärme. Weiße Gegenstände reflektieren das Sonnenlicht und die Energie wird fast ungenutzt zurückgeschickt. Zur Einführung in das Thema „Absorption“ bitten wir die Schüler zu prüfen, wer der „heißeste“ und „coolste“ Typ ist, gemessen an der Temperatur von Pullovern, T-Shirts, Hosen oder Haaren.

Besonders deutlich wird der Unterschied bei schwarzen und weißen Metallflächen. Entscheidend ist dabei auch der Neigungswinkel zur Sonne.

Erwartungsgemäß spielt die Farbe des Bodens eine wichtige Rolle für die Bodentemperatur. Um die Lufttemperatur unabhängig vom zufälligen Bodentyp angeben zu können, wird daher in 2 m Höhe gemessen.

Schwarzer Sand wird in der Sonne oft so heiß, dass man nicht mehr darauf laufen kann und asphaltierte Flächen heizen die Städte auf. Auch andere Faktoren sind wichtig, zum Beispiel der Luft und Wassergehalt der Oberfläche. Nasse Sandböden weisen Werte bis zu $3,5 \text{ J/cm}^3$ auf.

Hervorzuheben ist allerdings, dass sich die spezifische Wärme auf die Masse und nicht auf das für die tatsächliche Erwärmung viel entscheidendere Volumen bezieht. Berücksichtigt man die Dichte der Materialien und rechnet die Wärmeaufnahme auf das Volumen, werden die Zusammenhänge noch deutlicher. Gestein und trockene Böden wärmen sich folglich viel schneller auf als Wasser oder nasse Böden.

Spezifische Wärme, Dichte und Volumenwärme verschiedener Materialien
(aus Häckel: Meteorologie)

	Spezifische Wärme J/g	Dichte (g/cm^3)	Volumenwärme J/cm^3
Gestein	0,7 - 0,8	1,7 – 3,0	1,8
Sandboden, trocken	0,8 - 0,9	1,4	1,2
Lehmboden, trocken	0,6 - 0,8	1,7	1,2
Moorboden, trocken	1,7 - 1,9	0,3	0,5
Wasser	4,2	1,0	4,2
Sandboden, nass	1,9 - 2,1	1,6	3,2
Lehmboden, nass	0,7 - 0,9	2,0	1,6
Moorboden, nass	3,2 - 3,5	0,9	3,0
Eis	1,9 - 2,1	0,9	1,8
Luft (20 °C, 1013 hPa)	1,0	0,0012	0,0012

28

Warum ist es an den Polen kälter als in den Tropen?

Dies hat mehrere Gründe, unter denen vor allem der unterschiedliche Einstrahlungswinkel der Sonne hervorzuheben ist. Bei senkrechtem Einfall, was nur in den Tropen möglich ist, liegt ihre maximal Strahlungsleistung bei etwa 1000 W/m^2 . Bei uns (52° nördl. Breite) zwischen 879 W/m^2 im Sommer und 250 W/m^2 im Winter. An den Polen variiert die Strahlungsleistung zwischen maximal 398 W/m^2 im Sommerhalbjahr und 0 W/m^2 in der sechsmonatigen dunklen Zeit.

Es gibt eine einfache Überschlagsrechnung zur Bestimmung der Strahlungsleistung P pro Quadratmeter. Sie lautet $P = 1000 \text{ W} \cdot \sin \alpha$, der Winkel α ist die Höhe der Sonne über dem Horizont.

Die breitenabhängige Strahlungsleistung führt natürlich zu unterschiedlicher Wärmeentwicklung am Boden. Ein kleiner „Fühlglobus“ veranschaulicht den Zusammenhang. Der Ball wird in den „Tropen“, den „mittleren Breiten“ und den „Polen“ mit schwarzem Klebeband versehen, so auf den Tisch gestellt dass der „Äquator“ waagrecht liegt. Jetzt wird der Ball mit einer starken Leuchte seitwärts angestrahlt. Sehr bald schon werden die „Tropen“ fühlbar wärmer als die „mittleren Breiten“, die „Pole“ bleiben kalt.

Ein solcher „Fühlglobus“ kann auch die Entstehung der Jahreszeiten verdeutlichen. Dafür müssen wir die Pole und den Äquator um $23,5^\circ$ zur Waagerechten neigen. Einen selbst herstellbaren Fühlglobus zum Entdecken der Jahreszeiten haben wir in der Arbeitshilfe 19.42 ausführlich beschrieben.

Den in den Tropen erhitzten Luftmassen und der polaren Kaltluft entspricht – wie beim „Flaschengeist“ ein großer Druckunterschied. Dieser Druckunterschied ist der Motor der großen planetarischen Windsysteme.

29

Warum gibt es eigentlich Wind?

Recht verbreitet ist die Ansicht, der Wind entstehe durch die Erdrotation als eine Art „Fahrtwind“. Tatsächlich bewegt sich jeder Punkt auf der Erde mit einer Geschwindigkeit von 0 km/h an den Polen bis zu 1666 km/h am Äquator. Selbst in unseren Breiten rotieren wir immer noch mit Überschallgeschwindigkeit. Die Windgeschwindigkeiten in einem Taifun oder Hurrikan bleiben aber deutlich darunter. Wäre die Erddrehung dennoch die – abgemilderte - Ursache des Windes, dann müsste er stets von Osten nach Westen wehen, denn jeder Punkt auf der Erde, die Pole ausgenommen, bewegt sich nach Osten.

Dem ist aber nicht so: In Deutschland verzeichnen wir wechselnde Winde überwiegend aus westlichen Richtungen.

Wind ist ein Kind der Sonne. Er entsteht als Druckausgleich zwischen unterschiedlich stark aufgeheizten Luftmassen. Warme Luft steigt auf, fließt abkühlend in der Höhe in kältere Gebiete ab und wird am Boden durch kältere Luft ersetzt. Ein klassisches Beispiel dieser Zirkulation ist der Seewind, der sich über warmem Land und kalter See einstellt. Eine Experimentiereinrichtung zum See-Land-Wind haben wir in der Arbeitshilfe 19.32 „Prima-Klima-Box“ veröffentlicht. Hier zeigen an dünnen Seidenfäden aufgehängte Daunenfedern die Zirkulation an.

In Abwandlung dieser Idee und eines bei uns ausleihbaren Modells mit einem Raucheinsatz für Modelleisenbahnlokomotiven schlagen wir den „Wind im Gänsebräter“ vor. In den Bräter, der eine gläserne Abdeckung besitzen muss, stellen wir zwei passende, den Raum möglichst gut ausfüllende tiefe Schalen. Die eine wird mit Eiswürfeln, die andere mit schwarzem Gesteinssplit oder ähnlichem, leicht erwärmbar Material gefüllt. Als Alternative dazu kommt auch eine schwarz angemalte und zur Sonne geneigte Metallfläche in Frage. Dann wird der Bräter mit aufgesetztem Deckel in die Sonne gestellt. Nach einiger Zeit stellen wir eine Räucherkerze in die Mitte. Der Rauch wird nicht senkrecht aufsteigen sondern zur heißen Seite hin abgelenkt, steigt dort auf und zieht unter der Abdeckung zur kalten Seite, wo er langsam absinkt.

Der Versuch klappt noch besser mit Eiswürfeln und heißem Wasser. Der Zusammenhang „Sonne – Energie – Wind“ ist damit aber schwerer zu vermitteln. Auf einem nicht rotierenden Planeten würde die Luft in den heißen Tropen aufsteigen und in der Höhe, Wärmeenergie abgebend nordwärts den Polen zustreben. Am Boden würde sich ein entgegen gesetzter nach Süden fließender Luftstrom einstellen. Diese gedachte „Ruhezirkulation“ wird durch die Erdrotation abgelenkt und dadurch zu einer Westwindzone in der Höhe und unterschiedlichen Winden am Boden. Die diese Ablenkung verursachende Scheinkraft wird als Coriolis-Kraft bezeichnet. Da sie zum Verständnis aller globalen Windsysteme, vom Tornado und Taifun über Passat zum Hoch- und Tiefdruckgebiet notwendig ist, haben wir ihr zwei eigene Abschnitte gewidmet.

29

Der Tornado in der Colaflasche

Zwillingsverschlüsse für Colaflaschen findet man manchmal in den Souvenirläden der Wissenschaftsmuseen. Man kann sie aber auch aus zwei mit dem Rücken aufeinander geklebten Schraubverschlüssen selbst herstellen. Nur eine der beiden so verbundenen Flaschen wird mit Wasser gefüllt, die andere bleibt „leer“. Stellen Sie die Zwillingsflasche aufrecht, die mit Wasser gefüllte nach oben. Erstaunlicherweise bleibt das Wasser oben. Es gibt mehrere Möglichkeiten, das Wasser in die untere Flasche zu befördern. Leichtes rhythmisches Drücken, entweder der einen oder der anderen Flasche führt dazu, dass Luft von unten nach oben entweicht und durch das Wasser blubbert. Oder man hält die Flaschen etwa waagrecht. Auch dann kann die Luft der einen Flasche durch das Wasser der anderen ersetzt werden. Am besten klappt es aber, wenn die Flaschen aufrecht gehalten leicht gedreht werden. Mit etwas Übung gelingt dann ein sehr schöner Strudel, in dessen wasserfreien Kern die Luft aufsteigen kann. Wenn das Wasser mit leicht trübenden Materialien versetzt wird, kann man die Drehbewegung des „Colaflaschentornados“ („Tornado“, spanisch „tornar“ = drehen) noch besser sehen. Wir verwenden dazu das sehr feinkörnige Bentonit, das im Gartenfachhandel erhältlich oder in Katzenstreu enthalten ist.

29

Nach dem Abwasch

Wenn das Abwaschwasser nach getaner Arbeit in die Tiefe strudelt, strebt es dann im oder gegen den Uhrzeigersinn seinem Ziel zu? Diese Frage hat schon viele Laien und Physiker beschäftigt. Es gibt Leute, die gesehen haben wollen, dass sich der Strudel im Norden Quitos, das genau auf dem Äquator liegt, anders herum als im Süden der Stadt dreht. Auch für die Beobachtung, dass das Badewasser in Australien anders hinabstrudelt, gibt es Zeugen. Sollte sich die Coriolis-Kraft tatsächlich in Küche und Bad auswirken? Es gibt nur wenige spekulativere Themen in der Physik! Wir wollen mit der Aufforderung, Strudel zu beobachten, nur dazu anregen, eine ganz empirische Strichliste zu führen um sich eine eigene Auffassung dazu bilden zu können.

30

Links oder rechts herum?

Badewannenstrudel hin oder her! Großräumige Windsysteme werden – wahrscheinlich im Gegensatz zum Abwaschbecken – von der Erdrotation beeinflusst. Auf Wetterkarten ist leicht zu erkennen, dass sich der Druckausgleich zwischen Hoch- und Tiefdruckgebieten nicht auf dem direkten kürzesten Wege vollzieht. Hochs und Tiefs verhalten sich wie große Luftstrudel. Während die bodennahe Luft in ein Tiefdruckgebiet hineinstrudelt, wird die aus dem Hoch – bildlich gesprochen – hinausgeworfen. In beiden Fällen strömt die Luft um ihre Kerne herum.

Die typischerweise Dauerregen mit sich führende Warmfront auf der Vorderseite eines Tiefdruckgebietes und die abwechselnd Schauer und blauen Himmel bringende Kaltfront auf dessen Rückseite ist ohne Kenntnis der Coriolis-Ablenkung nicht zu verstehen.

Auf der Nordhalbkugel werden Tiefdruckgebiete gegen den Uhrzeigersinn umströmt, Hochdruckgebiete im Uhrzeigersinn.

Auf der Südhalbkugel ist es genau anders herum.

31

Coriolis: Schwer zu verstehen, doch leicht zu begreifen

Die Wirkung der Coriolis-Kraft ist ohne anschauliche Modelle nur schwer zu verstehen. Daher stellen wir zwei einfache Experimente vor, mit denen man das Prinzip experimentell erforschen kann und hoffen, dass es dadurch hantierbarer und motivierender wird.

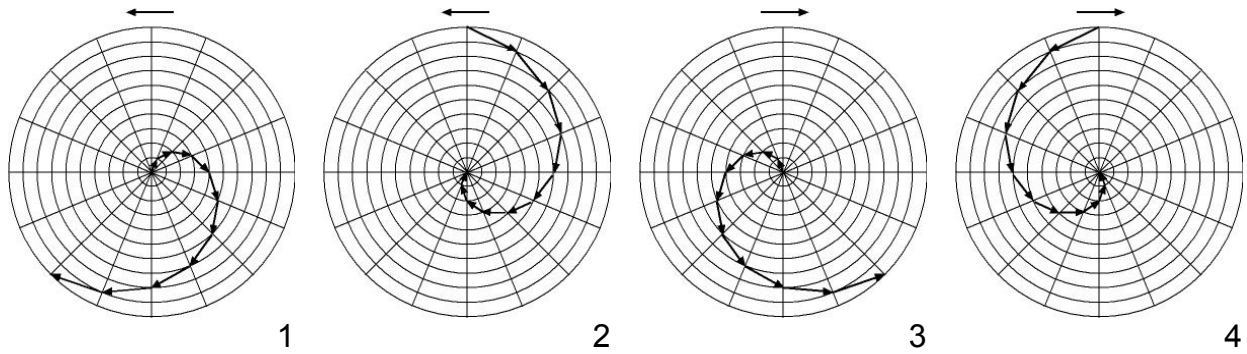
Wenn ein Wassertropfen von Rand eines tiefen Tellers der Schwerkraft folgend zur Mitte rutscht, hinterlässt er eine feuchte Spur. Wenn währenddessen die Unterlage gedreht wird, scheint es, als habe der Tropfen eine Kurve beschrieben. Tatsächlich bewegt er sich – von Reibungsverlusten einmal abgesehen – auf geradlinigem Wege zum Zentrum. Es scheint nur so, als wäre der Weg gekrümmt. Je nachdem, ob der Teller nach links oder nach rechts gedreht wird, läuft die Kurve nach rechts oder nach links.

Da die Reibung am Teller bei dieser Methode den Weg des Tropfens beeinflusst schlagen wir als Alternative vor, den Teller senkrecht zu halten und den Tropfen der Schwerkraft zu überantworten.

Auf diese Weise kann man ausprobieren, was geschieht, wenn der Tropfen nicht neben den Rand, sondern ins Zentrum des Tellers gesetzt wird.

Oder führen Sie den angefeuchteten Zeigefinger auf dem kürzesten Weg vom Zentrum zum Rand (oder vom Rand zum Zentrum!). Wir kommen immer zum gleichen Ergebnis: Der Weg scheint gekrümmt und stets folgt aus der Rotation im Uhrzeigersinn eine Links- und aus der Rotation gegen den Uhrzeigersinn eine Rechtskurve.

Ein geradlinig geführter Stift auf einem rotierenden Bierdeckel führt zum selben Ergebnis.



Spur eines sich bewegenden Teilchens auf einer rotierenden Scheibe:

Eine kreisrunde Scheibe wird in konzentrische Ringe und Sektoren aufgeteilt. Während das Teilchen um einen Ring weiter wandert, rotiert die Scheibe einen Sektor weiter.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die gegen den Uhrzeigersinn rotierende Scheibe (Nordhalbkugel der Erde). Dargestellt ist die Spur des Teilchens beim Weg vom Zentrum zum Rand (1) bzw. vom Rand zum Zentrum (2).

Die Abbildung 3 und 4 zeigen die entsprechenden Verhältnisse bei der Rotation im Uhrzeigersinn (Südhalbkugel).

Achten Sie darauf, dass es völlig unwesentlich ist, wo der Weg auf der Scheibe des Teilchens beginnt.

32

Das Coriolis- Karussell

Dieses kleine Funktionsmodell lässt sich leicht nachbauen.

Wir haben eine runde Pappscheibe auf einen Korken geklebt und den Korken auf die Welle eines kleinen Gleichstrom-Elektromotors gesetzt. Solche Motoren sind für wenig Geld in den Modellbauabteilungen von Elektronik-Fachmärkten erhältlich. Der Motor liegt aufrecht in einem Blumentopf. In die Mitte der Pappscheibe haben wir ein Plastikröhrchen geklebt, welches unten an der Seite ganz dünn aufgebohrt wurde. Vor dem Experiment geben wir Wasser in das Röhrchen. Das Loch im Röhrchen ist so fein, dass das Wasser auf Grund der Oberflächenspannung nicht ausläuft: Die Wasserteilchen haften zusammen und bilden einen dünnen Film, der die dahinter liegenden Wasserteilchen festhält.



Sobald der Motor anläuft, hebt die Zentrifugalkraft die Oberflächenspannung auf, und ein dünner Wasserstrahl schießt aus dem Röhrchen.

Der Strahl bewegt sich geradeaus, wie bei einer Wasserpistole gleich hinter der Mündung. Auf der Pappe beschreibt das Wasser aber eine Kurve.

Je nachdem, ob der Motor links oder rechts herum läuft (Plus und Minus vertauschen!), ist die Wasserspur mal in die eine, mal in die andere Richtung gekrümmt.

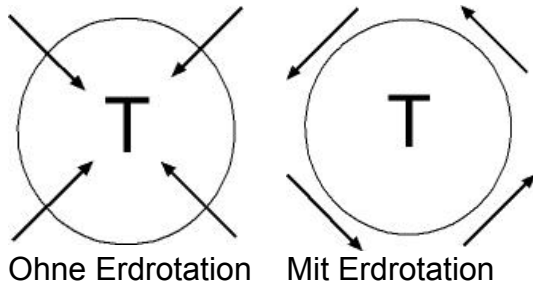
Dabei machen wir folgende Beobachtung: Rotiert die Scheibe im Uhrzeigersinn, beschreibt die Wasserspur eine Linkskurve.

Der Wasserstrahl scheint also nach links abgelenkt zu werden.

Rotiert die Scheibe gegen den Uhrzeigersinn, ergibt sich eine Rechtskurve.

Der Wasserstrahl scheint nach rechts abgelenkt zu werden. In Wirklichkeit spritzt das Wasser nahezu geradlinig aus dem Röhrchen.

Die Spur des Wasserstrahls zeigt, dass die Ablenkung nicht überall gleich stark ist. Sie ist im Zentrum der rotierenden Scheibe am stärksten. Im Randbereich der Scheibe ändert sich der Ablenkungswinkel nur noch geringfügig. Das ist auf der Erde genau so: Die Corioliskraft ist an den Polen am stärksten und sinkt zum Äquator auf Null ab, wo sie ihre Richtung ändert.



Wie lassen sich diese aus den Experimenten gewonnen Regeln auf die Bewegung der Luft in der Erdatmosphäre übertragen?

Aus einem Raumschiff, das hoch über dem Nordpol schwebt, dreht sich die Erde gegen den Uhrzeigersinn. Auf dem Globus oder einem Ball lässt sich das gut nachvollziehen, dass sich jeder Punkt nach Osten dreht.

Warum nach Osten? Ganz einfach: Im Osten geht die Sonne auf!

Aus dem Fenster des Raumschiffs sieht man große Wolkenwirbel, die aussehen wie riesige sich gegen den Uhrzeigersinn drehende Strudel.

Auf der gegen den Uhrzeigersinn rotierenden Nordhalbkugel wird jedes bewegte Luftteilchen nach rechts abgelenkt. Ein Tiefdrucksystem wird also gegen den Uhrzeigersinn umströmt.

Auf der Südhalbkugel ist alles anders, weil sie sich, über dem Südpol betrachtet, im Uhrzeigersinn dreht. Die Luftteilchen werden also nach links abgelenkt und ein Tiefdruckgebiet im Uhrzeigersinn umströmt.

Ingo Mennerich
Schulbiologiezentrum Hannover
Januar 2005