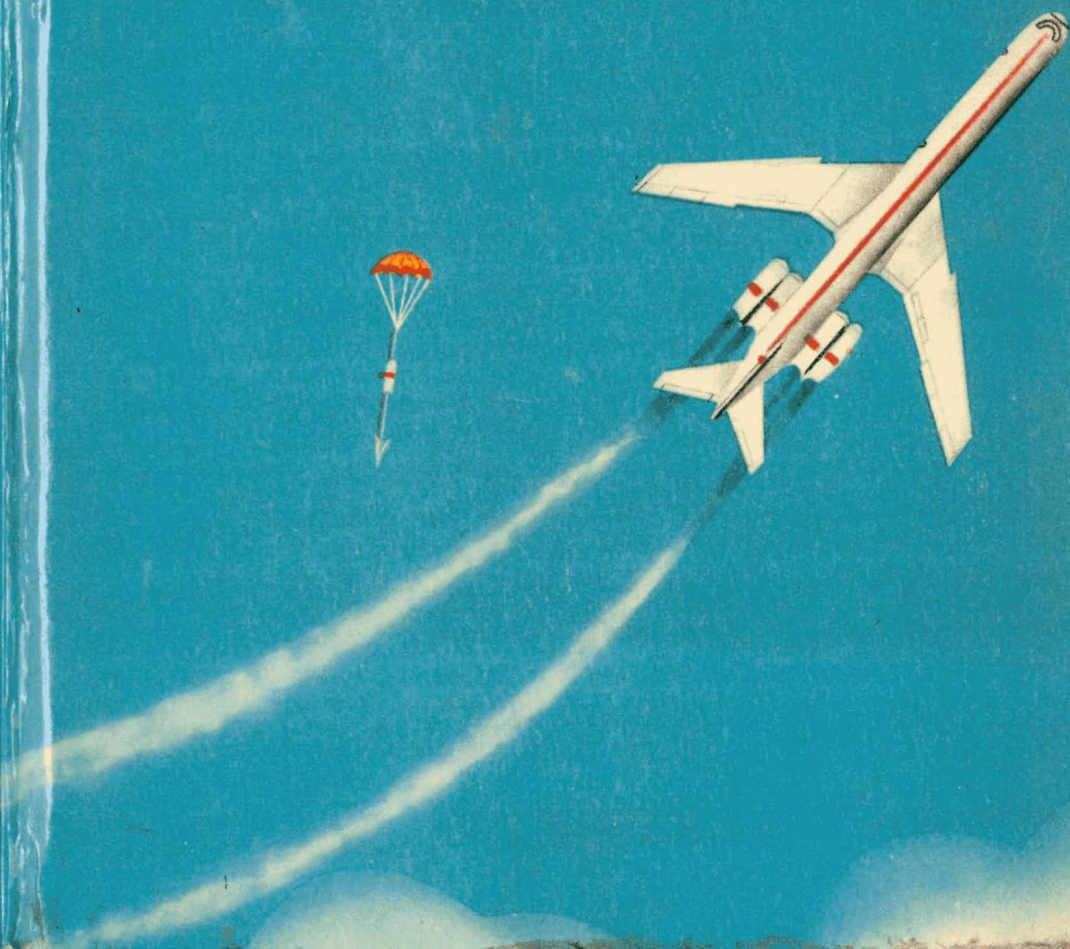


Hans Kleffe

Wolken Wind und Wärmestrahlen



Hans Kleffe
Wolken, Wind und Wärmestrahlen



Hans Kleffe

Wolken, Wind und Wärmestrahlen

Wir erforschen die Natur



Der Kinderbuchverlag Berlin

Illustrationen von Rosemarie und Otto Schack

Alle Rechte vorbehalten

Printed in the German Democratic Republic

Издано в Германской Демократической Республике

Lizenz-Nr. 304-270/91/75 – (20)

Satz: GG Interdruck Leipzig

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Röderdruck, Leipzig

1. Auflage

LSV 7841

Für Kinder von 10 Jahren an

Best.-Nr. 629 3005

EVP 6,80 M

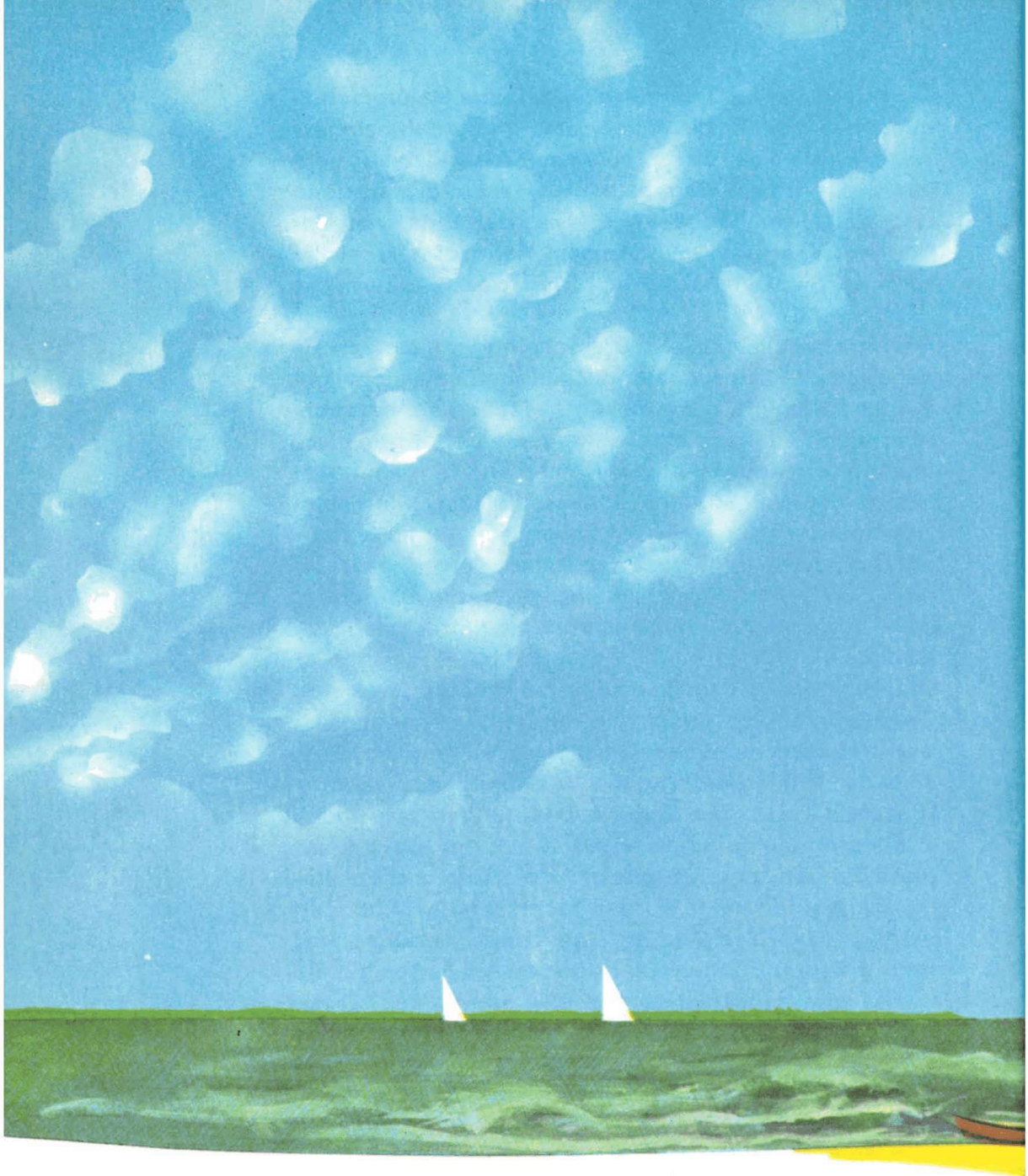
Täglich erleben wir eine große Zahl von Naturerscheinungen. Wir sehen die Wolken am Himmel dahinziehen. Wie entstehen sie, warum schweben sie und fallen nicht herab wie andere Gegenstände? Warum gibt es dann und wann ein Gewitter? Was ist der Blitz, was der Donner? Wie funktioniert unser Thermometer, warum zeigt es die Temperatur an? Und was ist überhaupt Wärme?

Man könnte alle diese Naturerscheinungen einfach als gegeben und selbstverständlich hinnehmen, sich nicht darum kümmern, auf welchen Ursachen sie beruhen. Aber wenn sich alle Menschen damit begnügt hätten, müßten wir noch heute in Höhlen hausen, allen Gefahren der Natur hilflos ausgesetzt sein, wie Steinzeitmenschen auf einer primitiven Kulturstufe leben – ohne moderne Technik, ohne Radio, Fernsehen, Auto und Eisenbahn. Es gäbe keine Weltraumschiffe und keine Computer, ja nicht einmal die einfachsten Maschinen.

Die vielen Erfindungen wurden nur möglich, weil sich Generationen von Menschen mit dem Vorhandensein der Naturerscheinungen nicht begnügten, sondern stets den Fragen nachgingen: Wie kommt das? Welche Ursachen liegen den Naturerscheinungen zugrunde? Wie kann man sie erklären? Erst aus der Antwort auf diese Fragen, durch Einsicht in die Ursachenzusammenhänge der Natur wurden technische Erfindungen möglich. Die Technik ist eine Nutzanwendung der Naturerkenntnis, erwachsen aus den Antworten auf die immer wieder gestellte Frage: Wie kommt das? Diese Frage soll deshalb auch das Motto unseres Buches sein.

Wie entstehen die Wolken?

Wie schön sieht es aus, wenn über den blauen Himmel einzelne weiße Wolken wandern! Wolken gibt es in vielen verschiedenen Formen. Manchmal stehen zahlreiche kleine Wolkenballen dicht gedrängt wie eine



Herde Schafe am Himmel. Der Volksmund nennt sie deshalb Schäfchenwolken. Im Sommer türmen sich zuweilen gewaltige Wolken „gebirge“ in die Höhe. Ihre Formen erinnern an Blumenkohl. Wenig schön finden



wir Wolken, die eine geschlossene weiße oder graue Decke bilden und den ganzen Himmel verhängen, so daß an keiner Stelle mehr das Himmelsblau hindurchleuchtet.



Wasser kommt in drei verschiedenen Zuständen vor: 1. gasförmig als Wasserdampf, 2. flüssig als Wasser, 3. fest als Eis und Schnee. Schnee ist eine besondere Form des festen Zustands von Wasser. Eine Schneeflocke besteht aus sehr vielen kleinen aneinandergesetzten Eiskristallen

Was sind eigentlich Wolken? Woraus bestehen sie? Mitunter hört man als Antwort auf diese Frage, die Wolken bestünden aus Wasserdampf! Aber das ist nicht richtig. Vermutlich rührt die falsche Antwort daher, daß sich beim Ablassen von Dampf aus dem Kessel der Lokomotive weiße Wölkchen bilden. Diese Wölkchen bestehen jedoch ebenfalls nicht aus Wasserdampf. Denn Wasserdampf ist unsichtbar.

In der Wissenschaft hat das Wort Wasserdampf eine genauere Bedeutung. Ebenso wie andere Stoffe kann auch das Wasser in drei verschiedenen Zuständen vorkommen: im festen Zustand als Eis oder Schnee; im flüssigen Zustand, dann nennen wir es Wasser; schließlich im gasförmigen Zustand. Nur dieser unsichtbare gasförmige Zustand des Wassers ist Wasserdampf. Er ist ebenso unsichtbar wie die Luft. Flüssiges oder gefrorenes Wasser dagegen können wir sehen.

Die Wolken bestehen aus flüssigem oder sogar aus festem Wasser, nämlich aus Wassertropfen oder Eiskristallen. Es fällt vielleicht schwer, sich vorzustellen, daß Wassertropfen oder gar Eiskristalle in der Luft schweben können. Doch wird uns das verständlicher, wenn wir daran denken, daß auch Staub in der Luft schweben kann. Wenn die Sonne in bestimmter Weise in unser Zimmer scheint, sehen wir in der Luft unzählige winzige Teilchen schweben. Manche glitzern. Wir erkennen daran: Wenn Teilchen sehr klein sind, zum Beispiel nur einen Tausendstelmillimeter Durchmesser haben, können sie lange Zeit in der Luft schweben, ohne zu Boden zu fallen.

Auch die Wassertröpfchen und die Eiskristalle, aus denen Wolken bestehen, sind sehr klein und leicht und können daher in der Luft schweben. In niedrigen Höhen bestehen die Wolken aus Wassertröpfchen, in großer Höhe häufig aus Eiskristallen. Unvorstellbar viele solcher winzigen Tröpfchen oder Kristalle gehören zu einer Wolke. Der Nebel, der Wrasen in der Küche und die weißen Wolken, die sich beim Ablassen von Dampf aus dem Kessel der Lokomotive bilden, bestehen ebenfalls aus schwebenden Wassertröpfchen.

Nun wissen wir, woraus Wolken bestehen. Aber wie entstehen sie? – In der Luft ist immer Wasserdampf enthalten, also Wasser im gasförmigen, unsichtbaren Zustand. Doch kann Luft keine beliebig großen Mengen Wasserdampf „fassen“. Wird in einem bestimmten Luftraum eine bestimmte Menge Wasserdampf überschritten, so bilden sich unter gewissen Voraussetzungen, die wir noch kennenlernen werden, aus dem Wasserdampf schwebende Wassertröpfchen oder Eiskristalle.

Wieviel Wasserdampf die Luft enthalten kann, ohne daß er in die Form von Wassertröpfchen übergeht, das hängt in gesetzmäßiger Weise von der Temperatur der Luft ab. Warme Luft kann viel, kalte Luft nur wenig Wasserdampf aufnehmen. Das zeigt die nachstehende Tabelle:

Lufttemperatur in Grad Celsius (°C)	+30	+20	+10	0	-10	-20
Wasserdampf- menge in Gramm je Kubikmeter Luft (g/m ³)	30,4	17,3	9,4	4,7	2,4	1,1

Wir sehen: Je kälter Luft ist, desto weniger Wasserdampf kann sie fassen. Enthält Luft je Kubikmeter genau die in der Tabelle angegebenen Mengen Wasserdampf, so ist sie mit Wasserdampf gesättigt. Diese Wasserdampfmengen heißen deshalb Sättigungsmengen. Enthält Luft gerade die Sättigungsmenge, dann sagt man auch: Sie hat eine relative Luftfeuchtigkeit von 100 Prozent.

In vielen Haushalten und in jeder Wetterstation gibt es ein Instrument, mit dem man die relative Luftfeuchtigkeit messen kann. Es heißt Hygrometer. Wenn es beispielsweise eine relative Luftfeuchtigkeit von 60 Prozent anzeigt, so bedeutet das: Es sind je Kubikmeter nur 60 Prozent der Sättigungsmenge Wasserdampf in der Luft enthalten. Bei einer Luft-



Hygrometer zum Messen der relativen Luftfeuchtigkeit



temperatur von 20 Grad Celsius im Zimmer wären das $60 \times 0,173 \text{ Gramm} = 10,38 \text{ Gramm}$ Wasserdampf je Kubikmeter.

Stellen wir uns nun einmal vor, wir würden die in unserem Zimmer eingeschlossene Luft auf 0 Grad Celsius abkühlen. Für 0 Grad stellen bereits 4,7 Gramm Wasserdampf je Kubikmeter die Sättigungsmenge (= 100 Prozent relative Luftfeuchtigkeit) dar. Die in unserem Zimmer eingeschlossene Luft enthält aber 10,38 Gramm, also rund 5,7 Gramm je Kubikmeter mehr. Daher ist die Luft jetzt mit Wasserdampf übersättigt.

Der Wasserdampf-Überschuß geht in die Form von Wassertröpfchen über. In unserem Zimmer käme es allerdings zu keiner Wolkenbildung, die Wassertröpfchen würden sich vielmehr zuerst an den Wänden, Schränken und den Oberflächen anderer Gegenstände niederschlagen. Vielleicht haben wir schon einmal beobachtet, daß in einem kalten und sehr feuchten Raum, zum Beispiel im Keller, die Wände naß, das heißt mit einer dünnen Schicht aus vielen winzigen Wassertröpfchen bedeckt sind.

In den luftigen Höhen, in denen die Wolken schweben, gibt es freilich keine Wände und Schränke. Aber auch hier gibt es etwas, woran sich Wasserdampf zu Wassertröpfchen niederschlagen kann, nämlich winzige, in der Luft schwebende Staubteilchen. Rund um ein Staubteilchen bildet sich ein kleines Wassertröpfchen. Der Durchmesser der Wassertröpfchen, aus denen Wolken bestehen, beträgt nur etwa 3 bis 20 Tausendstelmillimeter.

Man nennt den Übergang des Wassers aus dem gasförmigen in den flüssigen Zustand Kondensation. Die Staub- und anderen Teilchen, an denen der Wasserdampf zu Wassertröpfchen kondensiert, heißen deshalb Kondensationskerne.

Wolken entstehen also, wenn sich Luft so weit abkühlt, daß der in ihr enthaltene Wasserdampf die Sättigungsmenge überschreitet, **und** in ihr Kondensationskerne vorhanden sind, an denen der Wasserdampf

Wolken bestehen aus winzigen schwebenden Wassertröpfchen oder Eiskristallen



zu Tröpfchen kondensieren kann. Umgekehrt lösen sich Wolken auf, wenn Luft so weit erwärmt wird, daß der in ihr enthaltene Wasserdampf die Sättigungsmenge unterschreitet. Dann ist die Luft wieder aufnahmefähig für Wasserdampf. Dadurch verdampfen die Wassertröpfchen der Wolken, sie gehen wieder in den (unsichtbaren) gasförmigen Zustand über.



Wann bilden sich Kondensstreifen am Himmel?

Am blauen Himmel können wir gelegentlich lange weiße Streifen beobachten. Wenn wir genau hinschauen, sehen wir an der Spitze des Streifens, dort, wo er ganz dünn ist, ein Flugzeug, das sich über den Himmel bewegt und dabei den weißen Streifen her-

vorruft. Das Flugzeug kann man kaum erkennen, denn es fliegt sehr hoch.

Warum rufen nicht auch die niedrig fliegenden Maschinen, die man deutlich sehen kann, solche Kondensstreifen hervor? – Wir wissen inzwischen schon, daß Wasserdampf nur dann zu Wassertröpfchen kondensieren kann, wenn die Luft übersättigt ist und Kondensationskerne, zum Beispiel Staubteilchen, enthält. Nun ist die Luft in sehr großen Höhen aber häufig so rein und staubarm, daß es an Kondensationskernen fehlt. Dann kann trotz Übersättigung der Luft mit Wasserdampf keine Kondensation zu Wassertröpfchen stattfinden.

Erst wenn ein Flugzeug in diese Höhen kommt und dort große Mengen von Abgasteilchen in die Luft bläst, sind reichlich Kondensationskerne vorhanden. Daher kondensiert der überschüssige Wasserdampf dann sofort zu Wassertröpfchen. Es bildet sich längs der Abgasfahne des Flugzeugs ein dünner Streifen schwebender Wassertröpfchen oder Eiskristalle, den wir am blauen Himmel deutlich sehen.

An der Spitze des Streifens, dort, wo er von dem Flugzeug soeben erst hervorgerufen wurde, ist er noch ganz schmal. Nach hinten verbreitert er sich und zerfasert, weil die Wassertröpfchen oder Eiskristalle durch die Luftbewegung allmählich auseinandergetrieben und über einen breiten Raum verteilt werden.

Die Kondensstreifen sind jedoch ein Sonderfall, denn das Bilden und Wiederauflösen von Wolken in der freien Luft geht sehr viel langsamer vonstatten. Aber was dort langsam abläuft, können wir gewissermaßen wie in einem Zeitrafferfilm mit großer Geschwindigkeit in der Küche ablaufen sehen, wenn beim Kochen Wrasen entsteht.

Die Luft, die sich im Topf über dem heißen Wasser oder der heißen Suppe befindet, wird ebenfalls stark erhitzt. Da sie eine hohe Temperatur hat, kann sie viel Wasserdampf fassen. Sobald wir den Deckel vom Topf nehmen, steigt diese heiße Luft mit ihrem hohen Wasserdampfgehalt nach oben. Dabei vermischt sie

sich schnell mit der sie umgebenden viel kälteren Luft des Raumes und kühlt sich dadurch ab.

Für ihre jetzt niedrigere Temperatur enthält sie zuviel Wasserdampf. Sie ist mit Wasserdampf übersättigt. Folglich schlägt sich dieser an Staubteilchen, die in der Luft schweben, zu sichtbaren Wassertröpfchen nieder. So entsteht der Wrasen. Anstatt Wrasen zu bilden, kann sich der Wasserdampf auch an den Wänden niederschlagen und einen feuchten Belag bilden.

Der Wrasen in der Küche hält sich jedoch nicht lange. Denn schnell vermischt sich die kleine Luftmenge, in der der Wrasen entstanden ist, mit der großen Luftmenge, welche die ganze Küche ausfüllt. Diese übrige Luftmenge ist aber noch lange nicht mit Wasserdampf übersättigt. Sie kann daher noch viel zusätzlichen Wasserdampf aufnehmen. Dadurch verdampfen die Wrasentröpfchen beinahe ebenso schnell wieder, wie sie entstanden sind.

Woher kommen Tau und Reif?

An manchen Morgen beobachten wir auf dem Gras, den Blättern von Sträuchern und Bäumen und anderen Gegenständen, die sich in der Nähe des Erdbodens befinden, einen nassen Belag. Man sagt: Es ist Tau gefallen. Aber diese Ausdrucksweise ist falsch. Denn Tau fällt nicht wie Regen vom Himmel, sondern bildet sich auf den Blättern und anderen Flächen selbst. Er besteht aus vielen Wassertröpfchen, die gleichfalls durch Kondensation von Wasserdampf aus der bodennahen Luft entstanden sind. Erinnern wir uns an das Gedankenexperiment, bei dem wir die in unserem Zimmer eingeschlossene Luft stark abkühlten. Dabei bekamen die Wände und die Oberflächen anderer Gegenstände ebenfalls einen Belag aus vielen kleinen Wassertröpfchen.

Der Tau ist eine ähnliche Erscheinung. Er beruht aber nicht nur auf der Abkühlung der Luft, sondern hängt auch mit dem Auskühlen der Gegenstände selbst

zusammen, auf denen er sich niederschlägt. Denn nicht nur die Luft, auch der Erdboden, die Pflanzen und andere Gegenstände kühlen im Verlaufe der Nacht immer weiter ab. Ihre niedrigste Temperatur erreichen sie am Morgen vor Sonnenaufgang. Streicht die mit Wasserdampf beladene Luft an den abgekühlten Pflanzen und anderen Gegenständen vorüber, so schlägt sich auf ihnen Wasserdampf aus der bodennahen Luft in Form kleiner Wassertröpfchen nieder. Häufig fließen mehrere solcher kleinen Tröpfchen zu großen zusammen.

Blättern wir noch einmal zurück auf Seite 9 zur Tabelle der Wasserdampfmengen und Temperaturen. Die Wasserdampfmengen je Kubikmeter Luft nannten wir Sättigungsmengen. Die dazugehörigen Temperaturangaben in der Zeile darüber heißen Taupunkte. Unterschreitet die Temperatur von Gegenständen den Taupunkt der an ihnen vorüberstreichenden Luft, so kondensiert Wasserdampf aus der Luft auf diesen kalten Gegenständen.

Auf gleiche Weise beschlagen Fensterscheiben. Sie kühlen im Winter stark ab, ebenso eine ihnen unmittelbar anliegende dünne Luftschicht. Unterschreitet diese den Taupunkt, setzt eine Kondensation von Wasserdampf zu Tröpfchen ein.

Sinkt die Temperatur der Blätter, Gräser und Zweige sogar unter den Gefrierpunkt, also unter 0 Grad Celsius, so entstehen statt kleiner Wassertröpfchen Eiskristalle. Aus solchen Eiskristallen besteht der Reif.

Wenn wir genau beobachten, stellen wir fest, daß sich der Reif zuerst an den Blatträndern und Blattspitzen ansetzt. Da diese vom Blattstiel am weitesten entfernt sind, kühlen sie nämlich am stärksten aus. Besonders schön sieht der Rauhreif auf den Zweigen der Bäume aus, der durch Eisbildung aus unterkühlten Nebeltröpfchen besteht.

Werden unsere Fensterscheiben kälter als 0 Grad Celsius, so entstehen Eisblumen. Sie setzen sich aus ungezählten kleinen Eiskristallen zusammen, die das Licht in bestimmter Weise brechen, so daß eigenartige





Lichteffekte entstehen, eben das, was wir Eisblumen nennen.

Reif setzt sich besonders an den Blatträndern und -spitzen an

Tau entsteht hauptsächlich in Nächten mit wolkenlosem Himmel und bei Windstille oder in Nebelnächten. Stärkere Luftbewegung vermindert die Neigung zur Taubildung, weil den Pflanzenteilen mit der vorüberstreichenden Luft auch Wärme zugeführt wird; sie kühlen also weniger stark aus als bei Windstille. Warum wolkenloser Himmel die Taubildung begünstigt, werden wir später noch erfahren.

Warum schweben die Wolken?

In der Naturwissenschaft wirft die Beantwortung einer Frage oft viele weitere Fragen auf. Wir sagten: Die Wolken bestehen aus sehr kleinen und leichten Wassertropfchen oder Eiskristallen, die in der Luft schweben. Warum fallen sie nicht zur Erde herab wie Regentropfen und Schneeflocken?

Luft ist zwar nicht sichtbar, trotzdem ist sie ein Stoff wie Wasser oder Eisen, nur leichter und durchsichtig. Sie setzt auch jedem Körper, der sich durch die Luft bewegt, einen Widerstand entgegen, gleichgültig, in

Zu einer Kugel fest zusammengeknülltes Papier erreicht im freien Fall schneller den Erdboden als ein gleich schweres ungefaltetes Papierblatt

welche Richtung er sich bewegt. Der Luftwiderstand bremst daher die Bewegungsgeschwindigkeit.

Wenn wir mit der flachen Hand schnell durch das Wasser fahren, spüren wir deutlich den Widerstand, den das Wasser der Bewegung der Hand entgegensetzt. Bewegen wir die Hand durch die Luft, so bemerken wir kaum einen Widerstand. Der Luftwiderstand ist viel geringer als der des Wassers. Aber es gibt ihn. Unsere Sinne sind nur nicht empfindlich genug, um den schwachen Luftwiderstand bei langsamen Bewegungen festzustellen. Wenn wir jedoch bei schneller Fahrt auf der Autobahn die Hand aus dem Fenster halten, spüren wir ihn deutlich. Er bremst auch die Geschwindigkeit des Autos ständig etwas ab. Gäbe es den Luftwiderstand nicht, dann führe das Auto bei gleicher Motorleistung und gleichem Kraftstoffverbrauch wesentlich schneller.

Körper, die sehr klein und leicht sind, wie die Wassertropfchen der Wolken, werden bei ihrer Bewegung durch die Luft, also auch beim Herabfallen aus der Höhe, besonders stark gebremst. Wie kommt das? Zur Beantwortung dieser Frage wollen wir ein kleines Experiment durchführen.

Wir schneiden aus der Zeitung zwei Blatt Papier von genau gleicher Größe, zum Beispiel 15 cm × 15 cm oder 20 cm × 20 cm, aus. Das eine Blatt lassen wir so, wie es ist. Das zweite knüllen wir zu einer Papierkugel ganz fest zusammen. Jetzt gehen wir ans Fenster und lassen beides im selben Moment auf den Hof oder die Straße fallen. (Nach dem Versuch wollen wir nicht vergessen, das Papier wieder einzusammeln.)

Das nicht zerknüllte Blatt halten wir vor dem Fallenlassen mit beiden Händen waagerecht wie eine Tischplatte. Dabei klemmen wir zwischen zwei Finger der linken oder rechten Hand die Papierkugel. So können wir beides genau gleichzeitig fallen lassen.

Die Papierkugel fällt, wenn kein starker Wind herrscht, ziemlich senkrecht zur Erde und trifft viel früher am Boden ein als das unzerknüllte Papierblatt. Dieses fällt bedeutend langsamer und wird – je nach Stärke des





Die Menschen auf der Südhalbkugel scheinen kopfstehen. Doch „unten“ bedeutet immer: in Richtung zum Erdmittelpunkt. Auch die Leute am Südpol haben den Kopf oben. Die Anziehungskraft der Erde hält alle Menschen und Gegenstände, wo immer sie sich auf der Erde befinden, fest und zieht sie in Richtung zum Erdmittelpunkt an

Windes – noch ein Stück weit abgetrieben. Unter Umständen wird es zwischendurch von aufwärts gerichteter Luftströmung sogar wieder einige Male in die Höhe getragen.

Das Blatt Papier und die Papierkugel sind gleich schwer, denn beide stellen eine gleich große Menge, „Masse“ Papier dar. Der Versuch lehrt, daß der Fall des Blattes Papier durch den Luftwiderstand stärker verlangsamt und das Blatt bei seinem Fall durch den Wind weiter abgetrieben wird als die Papierkugel. Wie kommt das?

Zur Beantwortung der Frage müssen wir zunächst eine weitere, scheinbar ganz dumme Frage aufwerfen,

nämlich: Warum fallen Gegenstände, wenn man sie losläßt, überhaupt nach unten, genauer gesagt in Richtung des Erdmittelpunktes?

Die Erde zieht alle Körper mit einer bestimmten Kraft an. Diese Kraft ist um so größer, je größer die Masse des Körpers ist. Die Anziehungskraft bewirkt, daß zum Beispiel jeder Gegenstand zur Erde herabfällt, sobald man ihn losläßt.

Der Fall eines Körpers wird durch den Luftwiderstand gebremst. Wie stark er gebremst wird, hängt von der Oberfläche des Gegenstandes ab. Wir haben es also mit dem Gegenspiel zweier Kräfte zu tun:

1. der Anziehungskraft; sie ist um so größer, je größer die Masse des Körpers, und bewirkt das Fallen des Körpers;
2. der Bremskraft durch den Luftwiderstand; sie ist um so größer, je größer die Oberfläche des Körpers, und vermindert die Fallgeschwindigkeit.

Daraus folgt: Haben zwei Körper, zum Beispiel das Papierblatt und die Papierkugel, eine gleich große Masse, so werden sie auch mit gleicher Kraft von der Erde angezogen. Gäbe es keinen Luftwiderstand, so fielen sie auch gleich schnell nach unten. Haben die beiden Körper jedoch eine verschieden große Oberfläche, so fällt im luftgefüllten Raum der Körper mit der größeren Oberfläche langsamer, weil sein Fall vom Widerstand der Luft stärker gebremst wird. Da das Papierblatt bei gleicher Masse eine größere Oberfläche als die fest zusammengeknüllte Papierkugel hat, fällt es langsamer zur Erde.

Für die Fallgeschwindigkeit eines Körpers in der Luft spielt das **Verhältnis** von Oberfläche zu Masse eine große Rolle. Es ist also nicht so, daß alle kleinen Körper langsam und alle großen schnell zur Erde fallen. Eine Murmel ist kleiner als eine Seifenblase. Trotzdem fällt die Murmel schnell zur Erde, die Seifenblase kaum merklich – sie schwebt in der Luft und wird von dem leisesten Luftzug angetrieben. Die Murmel ist nämlich nicht nur kleiner, sondern auch schwerer, sie hat eine viel größere Masse als die Seifenblase. Denn diese ist



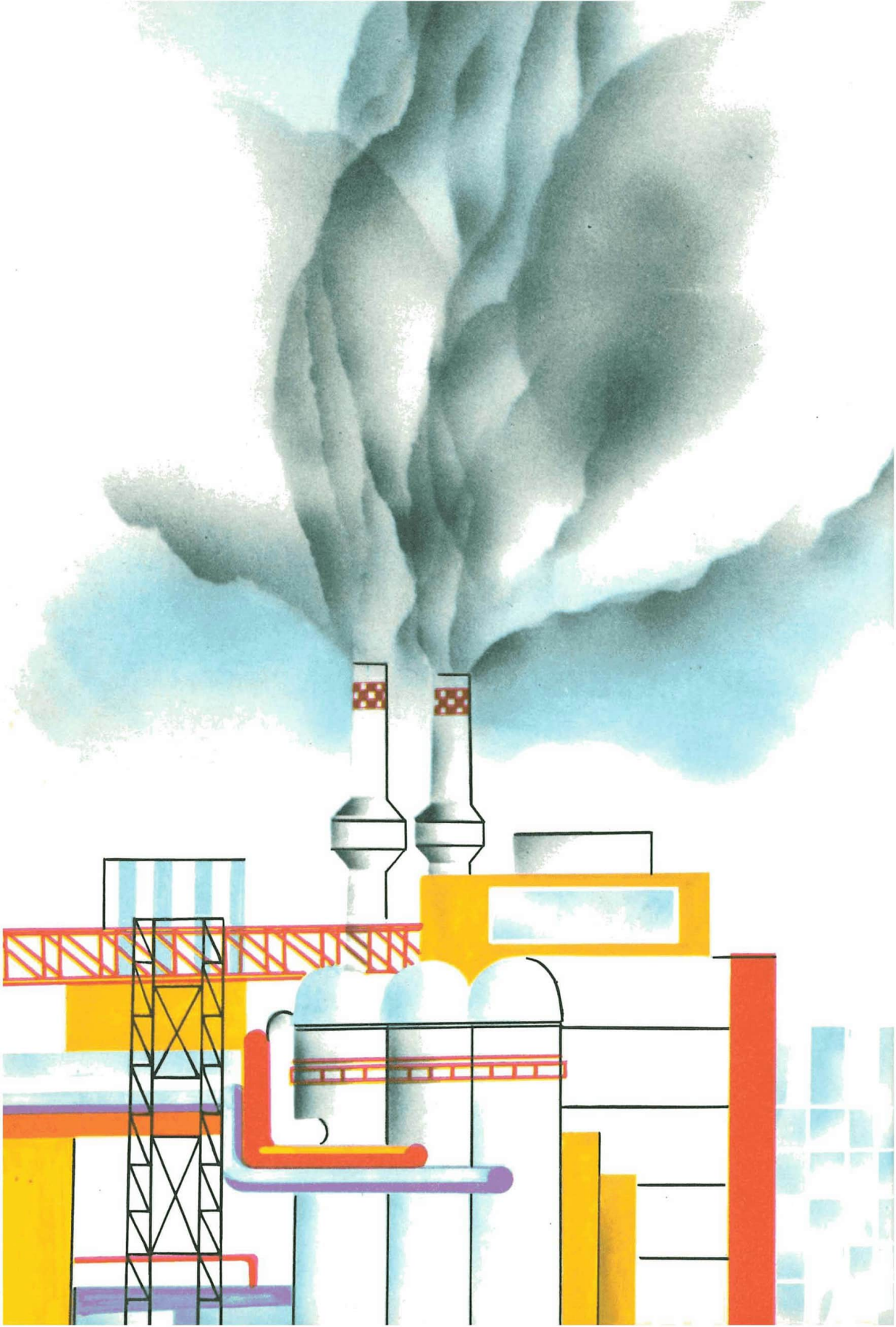
hohl und besteht nur aus einer hauchdünnen, ganz leichten Schicht von Seifenwasser oder Spülmittellösung.

Die Wassertröpfchen, aus denen die Wolken bestehen, haben Durchmesser zwischen 3 und 20 Tausendstelmillimeter. Sie sind klein **und** leicht. Wie wirkt sich das auf ihre Fallgeschwindigkeit aus?

Je kleiner ein Körper ist, desto größer wird seine Oberfläche im Verhältnis zur Masse. Davon wollen wir uns durch eine Berechnung selbst überzeugen. Um es uns einfach zu machen, betrachten wir dabei keine Kugeln, sondern Würfel, deren Oberfläche leicht zu berechnen ist.



Beim Fallschirmspringen wirken die Anziehungskraft der Erde und die Bremskraft des Luftwiderstands gegeneinander



Ein Eiswürfel von 1 Zentimeter Kantenlänge hat eine Masse von rund 1 Gramm. Da ein Würfel 6 gleiche Begrenzungsflächen hat und in unserem Beispiel jeder 1 Quadratzentimeter groß ist, beträgt seine Oberfläche

$$6 \times 1 \text{ cm}^2 = 6 \text{ cm}^2.$$

Um Vergleiche mit kleineren Würfeln anstellen zu können, müssen wir die Quadratzentimeter in Quadratmillimeter umrechnen. Da 1 cm^2 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ groß ist, entsprechen

$$1 \text{ cm}^2 = 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 100 \text{ mm}^2.$$

Unser Würfel von 1 Zentimeter Kantenlänge hat daher $6 \times 100 \text{ mm}^2 = 600 \text{ mm}^2$. Wir notieren als Daten dieses Eiswürfels:

Masse: 1 Gramm Oberfläche: 600 mm^2 .

Ein Eiswürfel von 1 Millimeter Kantenlänge hat nur den 1000. Teil des Volumens des zuerst berechneten Würfels. Denn da 1 cm 10 mm lang ist, brauchte man $10 \times 10 \times 10 = 1000$ Eiswürfel von 1 Millimeter Kantenlänge, um 1 Eiswürfel von 1 Zentimeter Kantenlänge daraus zusammenzusetzen. Da es sich in beiden Fällen um das gleiche Material Eis handelt, hat der Würfel von 1 Millimeter Kantenlänge auch nur den 1000. Teil der Masse, also $\frac{1}{1000}$ Gramm. Seine Oberfläche beträgt

$6 \times 1 \text{ mm}^2 = 6 \text{ mm}^2$. Wir notieren als Daten des kleinen Würfels:

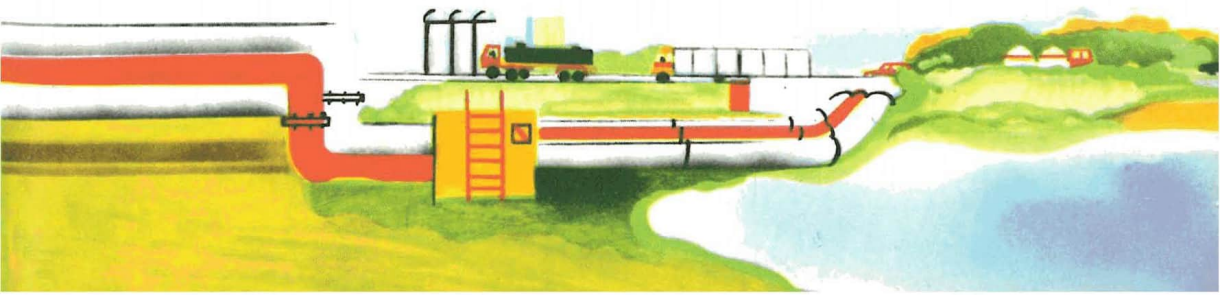
Masse: $\frac{1}{1000}$ Gramm Oberfläche 6 mm^2 .

Vergleichen wir diese Daten mit denen des großen Würfels, so stellen wir fest: Die Masse beträgt nur $\frac{1}{1000}$,

die Oberfläche aber $\frac{1}{100}$ der des größeren Würfels. Wir

sehen: Die Oberfläche nimmt bei Verkleinerung eines Körpers weniger ab als seine Masse.

Rußteilchen schweben lange in der Luft, weil sie ähnlich wie die Wassertropfchen und Eiskristalle der Wolken sehr klein und leicht sind



Wir könnten diese Rechnung fortsetzen und Masse sowie Oberfläche eines Eiskristalls berechnen, der nur eine Kantenlänge von 1 Hundertstelmillimeter hat, also etwa der Größe eines Wassertröpfchens von Wolken entspricht. Wir würden dann feststellen: Dieser Eiskristall hat nur noch eine Masse von 1 Milliardstelgramm. Seine Oberfläche beträgt $\frac{6}{10000}$ Quadrat-

millimeter. Damit hat die Masse auf den milliardsten, die Oberfläche nur auf den millionsten Teil abgenommen.

Allgemein ausgedrückt bedeutet das: Sehr kleine Körper haben eine im Vergleich zu ihrer Masse sehr große Oberfläche. Daher wird ihr Fall zur Erde durch den Luftwiderstand stark gebremst. Da sie eine geringe Masse aufweisen, zieht sie die Erde nur mit geringer Kraft an. Von dieser geringen Kraft wird nun noch der größte Teil durch den Luftwiderstand aufgezehrt. Die Folge davon ist, daß sie nur sehr langsam fallen.

Darum schweben die Wassertröpfchen und Eiskristalle der Wolken, die Staubteilchen und die Rußteilchen aus den Schornsteinen lange Zeit in der Luft. Die Wassertröpfchen und Eiskristalle der Wolken fallen selbst in unbewegter Luft nur um etwa 1 Zentimeter je Sekunde. Kommen nun noch aufwärts gerichtete Luftströmungen hinzu, so fallen die winzigen Tröpfchen und Kristalle praktisch überhaupt nicht, weil sie nach einer gewissen Fallstrecke von der Luftströmung wieder aufwärts getragen werden. Höhenverluste und Höhengewinne gleichen sich dadurch mehr oder weniger aus.

Im luftleeren Raum würden dagegen alle Körper, gleichgültig, welche Masse, Größe und Oberfläche sie haben, mit gleicher Geschwindigkeit zur Erde fallen. Diese Fallgeschwindigkeit nimmt in jeder Sekunde um 9,81 Meter je Sekunde zu. Nach 100 Sekunden hätte ein Wassertröpfchen bereits die enorme Fallgeschwindigkeit von 981 Metern je Sekunde.

In diesem Kapitel haben wir viel rechnen und mathematisch denken müssen. Aber wer die Natur erforschen möchte, muß sich von Anfang an daran

gewöhnen, daß er ohne Mathematik nicht auskommt. Sie bildet den oft unerläßlichen Schlüssel zur Lösung von Problemen.

Wie entstehen Regen und Schnee?

Der Beantwortung dieser Frage haben uns die durchgeführten Berechnungen schon sehr nahe gebracht. Denn wir wissen jetzt, daß und warum der Fall größerer und schwererer Wassertropfen oder Eiskristalle vom Luftwiderstand weniger gebremst wird. Regen und Schnee entstehen, wenn in den Wolken kleine Wassertöpfchen zu großen zusammenfließen oder kleine Eiskristalle zu großen zusammenwachsen.

Wenn sich durch Zusammenfließen mehrerer kleiner Tröpfchen ein Tropfen von 1 Zehntelmillimeter Durchmesser gebildet hat, fällt dieser bereits in jeder Sekunde um etwa 32 Zentimeter, falls keine aufwärts gerichtete Luftströmung herrscht. Aber er fällt zunächst noch nicht als Regen bis zur Erde herab. Wenn er bei seinem Fall in tiefere, wärmere Luftschichten gelangt, verdunstet er wieder.

Es fallen aber aus den höheren Luftschichten immer mehr Tröpfchen herab und verdunsten in den tieferen Schichten. Dadurch wird schließlich auch hier die Luft mit Wasserdampf übersättigt, so daß Wolkenbildung einsetzt. Die Wolke „wächst“ nach unten.

Wenn jetzt noch weitere Tröpfchen aus der Höhe herniederfallen, können sie in den übersättigten unteren Luftschichten nicht mehr verdunsten. Sie fallen daher weiter, gelangen tiefer und tiefer. Dabei reißen sie noch einige der kleinen Tröpfchen, aus denen Wolken bestehen, mit und fließen mit ihnen zusammen. Die fallenden Tröpfchen werden auf ihrem Weg nach unten also immer größer.

Sie können jedoch keine beliebige Größe erreichen. Der Regen, der auf diese Weise entsteht, enthält meist Tropfen von nur etwa 7 Zehntelmillimeter Durchmesser. Wir nennen ihn Sprühregen.

Würden wir bei Regen mit einem Ballon aufsteigen, so kämen wir von einer bestimmten Höhe an in eine Region, in der es schneit. Großtropfiger Regen entsteht aus Schnee, der schon vor Erreichen der Erdoberfläche in den wärmeren unteren Luftschichten taut

Großtropfiger Regen entsteht fast immer auf dem Wege über die Bildung von Schneeflocken. Große Regentropfen sind nämlich in den wärmeren unteren Luftschichten aufgetaute Schneeflocken.

Schneeflocken bestehen aus sehr vielen einzelnen Eiskristallen, die sich in den verschiedensten Formen aneinanderlagern. Wenn die zunächst noch sehr kleinen Schneeflocken durch die Wolken fallen, frieren auch Wassertröpfchen an ihnen an. So werden die Flocken immer größer. Herrschen bis zum Erdboden herab Lufttemperaturen unter 0 Grad Celsius, gelangen die Schneeflocken bis zur Erde. Es schneit dann. Sind die unteren Luftschichten jedoch wärmer als 0 Grad, tauen sie bei ihrem Fall auf und erreichen den Erdboden als Regentropfen.

Stiegen wir, wenn im Sommer ein kräftiger Regenschauer fällt, mit einem Ballon auf, so kämen wir von einer bestimmten Höhe an in eine Luftschicht, deren Temperatur unter dem Gefrierpunkt liegt und in der es trotz Sommerzeit kräftig schneit. Auf sehr hohen Bergen, wie es sie in der Deutschen Demokratischen Republik nicht gibt, fällt daher niemals Regen, sondern immer nur Schnee.

Doch auch in Mittelgebirgen, wie im Erzgebirge, Thüringer Wald und Harz, schneit es öfter als im Tiefland. Wenn im Herbst im Tiefland noch längst kein Schnee fällt, kann man in den hohen Kammlagen unserer Mittelgebirge oftmals schon Wintersport treiben, und wenn es im Frühjahr im Flachland nicht mehr schneit, fällt in den Kammlagen der Gebirge häufig noch einmal Schnee. Im Wetterbericht des Rundfunks und Fernsehens heißt es dann: Die Niederschläge fallen in den Gebirgslagen als Schnee, im Tiefland als Regen.

Die Ursache dafür besteht darin, daß mit zunehmender Höhe die Lufttemperatur in der Regel niedriger wird. Sie sinkt nach jeweils 1000 Meter Aufstieg um 6,5 Grad Celsius. Haben wir am Boden zum Beispiel 13 Grad Celsius gemessen, so beträgt die Lufttemperatur in 3000 Meter Höhe bereits minus 6,5 Grad Celsius. Auf

°C km
-13 4

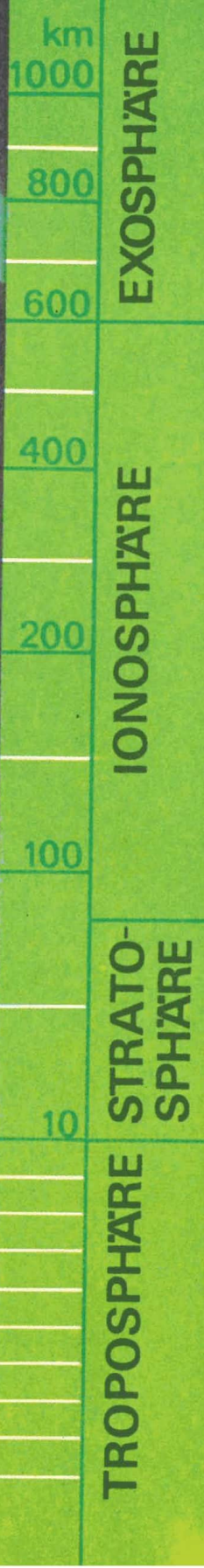
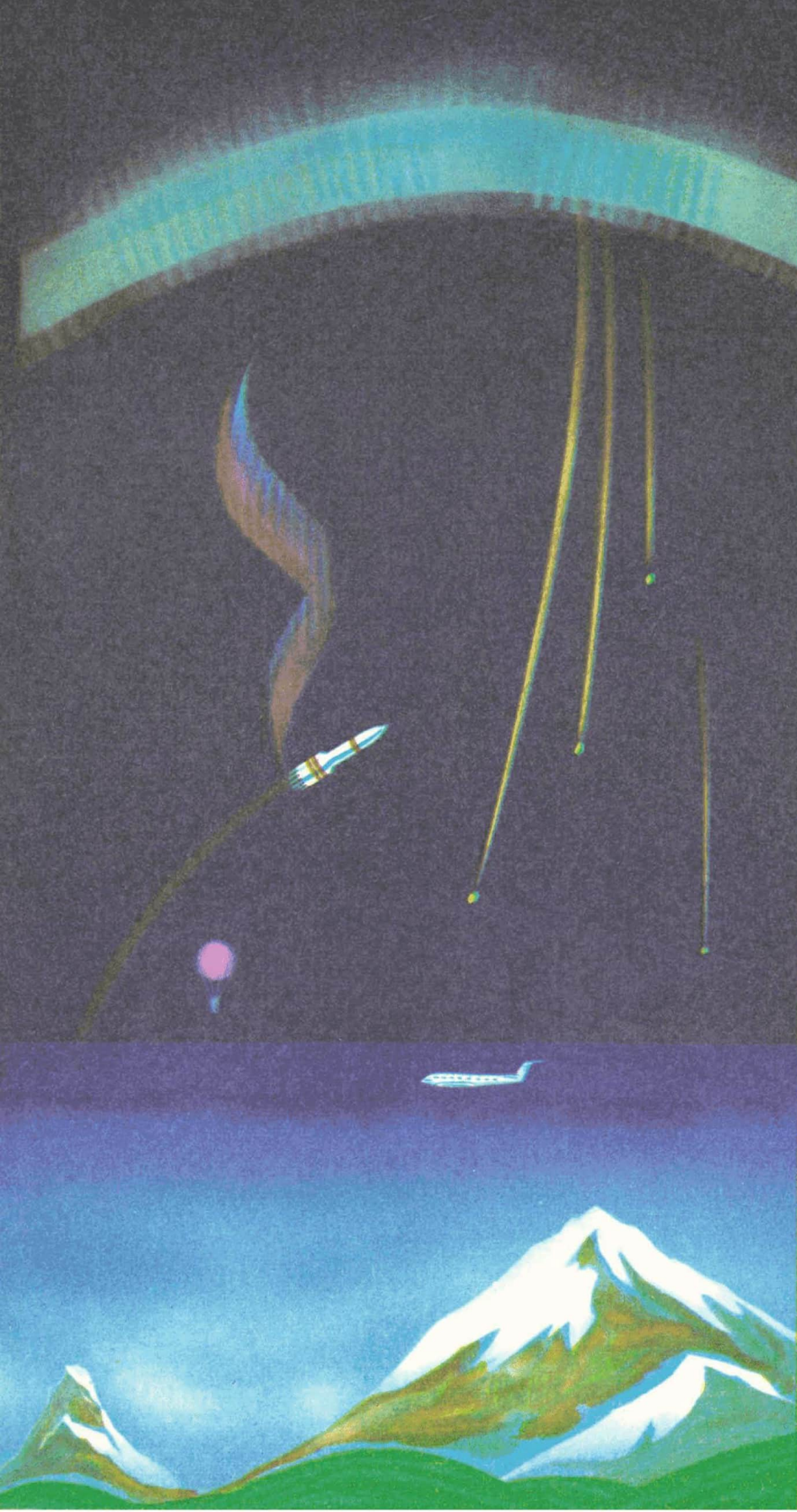
-6.5 3

0 2

+6.5 1

+13 0





Bergen ist es daher meist kälter als im Tal. Nur bei seltenen, ungewöhnlichen Wetterlagen kann es in der Höhe einmal wärmer als in tieferen Luftschichten sein.

Warum bringt ein Hoch Schönwetter?

Wer wünschte sich nicht schönes Wetter mit blauem Himmel und Sonnenschein! Wenn wir täglich den Wetterbericht im Rundfunk oder im Fernsehen verfolgen, dann ist uns vielleicht schon aufgefallen, daß ein Hoch meist Schönwetter, ein Tief dagegen bedeckten Himmel oder gar Regen bringt.

Warum ist das so?

Hoch und Tief sind Kurzbezeichnungen für Hochdruckgebiet bzw. Tiefdruckgebiet. In einem Hoch herrscht hoher Luftdruck, in einem Tief niedriger. Was ist Luftdruck?

Die Luft ist zwar sehr leicht, aber da sie bis in große Höhen reicht und den gesamten Erdball umgibt, hat sie insgesamt eine große Masse. Der untere Bereich dieser gewaltigen Gashülle erstreckt sich in den Polargebieten bis in etwa 8000 Meter Höhe, in den Tropen bis ungefähr 17 000 Meter. Auch darüber endet die Gashülle unseres Planeten noch nicht völlig. Selbst in Höhen von über 1000 Kilometern finden sich Gasteilchen.

Man nennt die gesamte Gashülle unseres Planeten Atmosphäre. Sie hat insgesamt 5,1 Billiarden Tonnen Masse. Diese gewaltige Last auf die Erdoberfläche von 510 Millionen Quadratkilometern verteilt, ergibt gerade 1 Kilogramm Luft je Quadratcentimeter Erdoberfläche.

Wie alle Körper, so wird auch die Lufthülle von der Erde mit einer Kraft angezogen, die ihrer Masse entspricht. Diese Kraft nennen wir Gewicht. Masse wird in Kilogramm (kg), Gewicht in Kilopond (kp) gemessen. Ein Körper von 1 Kilogramm Masse hat an der Erdoberfläche auch ein Gewicht von fast genau 1 Kilopond.

Die Atmosphäre der Erde reicht bis in große Höhen. Die Hauptmenge der Luft befindet sich in der untersten Schicht, der Troposphäre. Sie reicht im Durchschnitt etwa 10 Kilometer hoch. In ihr spielen sich die Wettervorgänge hauptsächlich ab. Darüber befindet sich die Stratosphäre. Dort ist die Luft schon so dünn, daß man ohne Atemgerät ersticken würde. Über der Stratosphäre liegt eine Ionosphäre genannte Schicht, deren physikalische Eigenschaften für den Funk-Weiternachrichtendienst Bedeutung haben. Die äußerste Schicht der Erdatmosphäre heißt Exosphäre.

Trotzdem ist die Unterscheidung von Masse und Gewicht bzw. Kilogramm und Kilopond nötig. Auf dem Mond hat ein Körper von 1 Kilogramm Masse nämlich ein geringeres Gewicht als 1 Kilopond, weil der Mond eine geringere Anziehungskraft ausübt als die Erde.

Die Masse eines Körpers bleibt also stets gleich, ob er sich auf der Erde, dem Mond, dem Mars oder auf dem Flug durchs Weltall befindet. Das Gewicht eines Körpers ist unter den verschiedenen Bedingungen jedoch unterschiedlich.

Zurück zur Atmosphäre unseres Planeten! Sie drückt mit einer Kraft von ungefähr 1 Kilopond je Quadratzentimeter auf die Erdoberfläche. Aber nicht nur auf den Erdboden drückt die Luft, sondern auf die unterste, dicht über dem Boden befindliche Luftschicht drückt das Gewicht der gesamten darüber lastenden Lufthülle mit praktisch gleicher Kraft wie auf den Erdboden. In der Luft herrscht daher überall ein bestimmter Druck, der Luftdruck.

Er ist nicht überall genau gleich. Auch wenn wir den Luftdruck stets in gleicher Höhe – nehmen wir an, in Höhe des Meeresspiegels – messen, werden wir zum Beispiel über dem Atlantischen Ozean einen etwas höheren Luftdruck registrieren als über der Ostsee. Das beruht darauf, daß die Luft zum Zeitpunkt unserer Messungen über dem Atlantik eine höhere Dichte hat als über der Ostsee. Was bedeutet das?

Wenn wir zur Herbstzeit im Garten Laub einsammeln und in Säcke füllen, so werden die Säcke, selbst wenn sie gleich groß sind, unterschiedlich schwer, je nachdem, wieviel Laub wir hineinstopfen. Füllen wir einen Sack nur ganz locker, dann ist er leichter, als wenn wir das Laub stark zusammendrücken, so daß möglichst viel hineingeht. In dem zweiten Sack liegen die Blätter dichter gepackt, daher gehen mehr hinein, der Sack ist schwerer.

Auch die Luftteilchen sind über manchen Gebieten der Erde dichter gepackt als über anderen. Die Luft wiegt deshalb dort mehr und drückt mit größerer Kraft auf die Erdoberfläche. Wo die Luftteilchen dichter gepackt

sind, besteht also ein höherer Luftdruck, ein Hochdruckgebiet. Wo die Luftteilchen lockerer gepackt sind, ist ein Tiefdruckgebiet.

Hoch- und Tiefdruckgebiete bleiben nicht immer an derselben Stelle, sondern wandern mit der Luftströmung weiter. Deshalb haben wir manchmal hohen, ein andermal tiefen Luftdruck.

Zur Messung des Luftdrucks benutzt man die Maßeinheiten Torr und Millibar. Der „normale“, mittlere Druck der Luft beträgt 760 Torr. Das entspricht 1013 Millibar. Bei Hochdruck steigt der Luftdruck, zum Beispiel auf 1035 Millibar, bei Tiefdruck sinkt er, angenommen auf 990 Millibar. Die Luftdruckunterschiede sind also, rein zahlenmäßig betrachtet, gar nicht sehr groß. Sie haben jedoch große Auswirkungen auf das Wettergeschehen.

Die örtlichen Luftdruckunterschiede streben nämlich danach, sich auszugleichen. Deshalb strömt in den unteren Schichten, wo der Druck am größten ist, aus dem Hochdruckgebiet Luft in die benachbarten Gebiete niedrigeren Luftdrucks hinein. So gerät die Luft durch die Druckunterschiede in Bewegung. Die Bewegung von Luft nennen wir Wind, Sturm, Orkan, je nachdem, mit welcher Geschwindigkeit die Luftmassen bewegt werden.

Aber nicht nur waagerechte, auch senkrechte Bewegungen der Luft werden durch die örtlichen Druckunterschiede ausgelöst. In einem sehr groben Vergleich kann man das Hochdruckgebiet mit einem Faß vergleichen, das unten undicht ist, so daß ständig etwas Wasser durchsickert. Das Faß wird aber nicht leer, weil es von oben ständig nachgefüllt wird. Ebenso wird unser „Luftfaß Hochdruckgebiet“ nicht leer. Denn für die unten „verlorengelassene“ Luftsinkt andere von oben nach. Folglich herrscht im Hochdruckgebiet eine abwärts gerichtete Luftbewegung.

Wir wissen: Da die Luft in den unteren Schichten wärmer ist als in den oberen, erwärmt sie sich, wenn sie im Hochdruckgebiet absteigt. Warme Luft wiederum kann mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte, ohne



daß es zur Wolkenbildung kommt. Daraus folgt: Gerät Luft in absteigende Bewegung, so besteht die Neigung zur Wolkenauflösung. Das ist die Erklärung dafür, warum in einem Hochdruckgebiet meist schönes, das heißt wolkenarmes oder gar wolkenloses Wetter herrscht.

Wodurch entstehen Schönwetter-Wolken?

Im Tiefdruckgebiet verhält es sich genau umgekehrt. In das Tiefdruckgebiet strömt, um den geringeren Druck auszugleichen, Luft aus den benachbarten Gebieten

höheren Drucks hinein. Wenden wir wieder den Vergleich mit dem Faß an, dann könnten wir sagen: Es wird von unten her Wasser in das Faß gedrückt. Die Wasserteilchen im Faß geraten dadurch in aufsteigende Bewegung. Ebenso ergeht es den Luftteilchen im Tiefdruckgebiet. Sie steigen aufwärts.

Beim Aufsteigen kühlt sich die Luft ab. Damit nimmt auch ihre Fähigkeit ab, Wasserdampf aufzunehmen. Die Sättigungsmenge Wasserdampf wird überschritten. Es bilden sich Wolken.

Ganz wolkenlos ist häufig aber auch ein Hochdruckgebiet nicht, denn im Hoch gibt es entgegen der allgemein absteigenden Luftbewegung örtlich auch aufwärts gerichtete Luftbewegungen. Sie entstehen besonders im Sommer, wenn die Sonne prall auf den Erdboden scheint. Er erwärmt sich dabei nicht gleichmäßig. Trockener Sandboden, Straßen mit einer Beton- oder Asphaltdecke, die Dächer der Häuser und überhaupt dicht bebaute Flächen, also Städte, erwärmen sich besonders stark. Wenn wir am Strand im trockenen Sand oder auf einer Asphaltstraße barfuß gehen, können wir das deutlich spüren.

Über den stark erwärmten Stellen des Erdbodens wird auch die Luft vom Boden her wie von einer Heizplatte besonders erwärmt. Diese erwärmte Luft steigt nach oben und kühlt sich dabei ab. Dadurch überschreitet der in ihr enthaltene Wasserdampf die Sättigungsmenge. Es bilden sich Wolken.

Eine Wiese und eine Asphalt- oder Betonstraße erhalten von der Sonne zwar die gleiche Menge Wärmestrahlung, dennoch werden das Gras sowie der Boden der Wiese und des Waldes nicht so heiß wie die Straßendecke und trockener, nicht mit Pflanzen bewachsener Sandboden. Das können wir beim Barfußlaufen leicht nachprüfen.

So kommt es, daß sich die Luft bei sommerlichem Sonnenschein über Sandflächen, trockenen Äckern und über der Stadt mit ihren vielen Straßen und Dächern stärker erwärmt als die Luft über dem Fluß, See, Park oder Wald. Nur über den stark erwärmten

Die unterschiedlichen Wolkenformen haben verschiedene Namen, die sich außerdem auch nach der Höhe der Wolken unterscheiden. Die tiefen Wolken bestehen aus schwebenden Wassertropfchen, mittelhohe häufig aus einem Gemisch von Wassertropfchen und Eiskristallen, hohe Wolken nur aus Eiskristallen. Gewitter- und manchmal auch Regenwolken erstrecken sich fast durch die gesamte Troposphäre bis in große Höhen. Außer diesen typischen Wolkenformen gibt es viele Übergangs- und Mischformen



Stellen des Erdbodens entsteht daher eine aufwärts gerichtete Luftbewegung. Folglich bilden sich nur einzelne Wolken, die in größeren Abständen locker über den Himmel verteilt sind. Sie wandern mit dem Wind weiter.



Solche Wolken nennt man Schönwetterwolken. Sie beenden das gute Wetter nicht, sind vielmehr typische Anzeichen schönen Wetters. Im Sommer können wir sie häufig beobachten. Oft haben sie eine auffällige Eigenschaft. Unten sind sie alle in gleicher Höhe ab-

Typische Schönwetterwolken am Sommerhimmel

geflacht; es sieht aus, als würde eine Flotte von Schiffen über den Himmel segeln.

Schönwetterwolken entstehen erst am Vormittag mit steigender Sonneneinstrahlung. Sie lösen sich wieder auf, wenn zum Abend die starke Sonneneinstrahlung nachläßt und die Erwärmung der Erdoberfläche und die Aufheizung der Luft vom Boden her aufhört. Die Luft gerät jetzt wieder überall in ihre normale, absteigende Bewegung. Dadurch lösen sich die Wolken auf.

Warum ist es auf Bergen kühler als im Tal?

Wir gingen bisher immer von der Tatsache aus, daß sich Luft beim Absteigen in niedrigere Höhen erwärmt und umgekehrt beim Aufsteigen in größere Höhen abkühlt. Warum ist das eigentlich so?

Wir lasen bereits, daß die Sonne bestimmte Teile des Erdbodens stärker erwärmt, zum Beispiel trockenen Sand, Asphalt, Beton und Steine. Wiesen- und Waldboden erwärmen sich weniger, dennoch werden auch sie weit stärker durch die Sonne erwärmt als die Luft.

Die Sonne erwärmt die Erde nicht durch ihre Lichtstrahlen, die wir sehen können, sondern durch Wärmestrahlen. Diese sind unsichtbar, ähneln jedoch dem Licht, denn es sind Wellenstrahlen. Wellenstrahlen haben verschiedene Wellenlängen; die verschiedenen Wellenlängen des Lichts empfinden wir als die einzelnen Farben.

Die Stoffe werden durch Wärmestrahlen unterschiedlicher Wellenlängen unterschiedlich stark erwärmt. Es gibt Stoffe, die durch Wärmestrahlen kürzerer Wellenlänge und es gibt solche, die durch Strahlen größerer Wellenlänge besonders gut erwärmt werden.

Die Wärmestrahlen der Sonne erwärmen die Luft nur wenig, den Erdboden dagegen viel stärker. Die erwärmte Erdoberfläche sendet ihrerseits ebenfalls Wärmestrahlen aus. Diese haben eine Wellenlänge, bei der auch die Luft gut erwärmt wird, weit stärker als

durch die Wärmestrahlen der Sonne selbst. Die Luft wird daher kaum direkt von der Sonne, sondern hauptsächlich von der Erdoberfläche, also von unten her aufgeheizt. Darum ist die Luft in den untersten Schichten am wärmsten. Nach oben hin breitet sich dagegen die Erwärmung der Luft nur allmählich aus. Deshalb nimmt die Temperatur der Luft normalerweise, das heißt wenn keine ungewöhnlichen Wetterverhältnisse herrschen, nach oben hin ab.

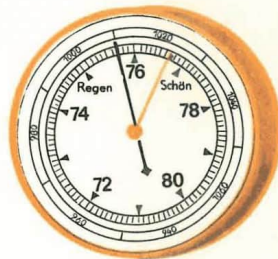
Es kommt noch eine zweite Ursache hinzu. Mit zunehmender Höhe sinkt der Luftdruck. Wenn Luft aus niedrigeren Bereichen in größere Höhen aufsteigt, verringert sich folglich ihr Druck. Auch durch diese Druckminderung sinkt die Temperatur der Luft.

Und umgekehrt: Sinkt Luft aus größeren Höhen in niedrigere ab, so steigt ihr Luftdruck, wobei sie sich erwärmt. Wir lasen bereits, daß darin die Ursache für die Auflösung der Wolken im Hochdruckgebiet liegt und daß sich im Tiefdruckgebiet Wolken bilden, weil die Luft aufsteigt und dabei abkühlt.

Eine Erwärmung der Luft durch Erhöhung des Drucks können wir an der Luftpumpe beobachten. Diese besteht aus einem langgestreckten Hohlzylinder, in dem mittels der Stange ein Kolben hin- und herbewegt werden kann. Beim Herausziehen der Stange saugen wir Luft in den Zylinder ein. Beim Hineinschieben bewegt sich der Kolben nach vorn und drückt dabei die Luft im Zylinder zusammen. Dadurch gerät sie unter so hohen Druck, daß sie das Ventil des Reifens öffnet und in den Reifen bzw. den Schlauch des Fahrrads oder Autos hineingepreßt wird.

Wenn wir die Luftpumpe einige Zeit betätigt haben, wird der Zylinder spürbar warm. Die Luft im Zylinder hat sich durch die Druckerhöhung erwärmt. Ein Teil der Wärme ist dabei auf den Zylinder übergegangen.

Zischt dagegen die Luft aus einem aufgepumpten Reifen, so spüren wir deutlich, daß sie kalt ist. Im Reifen stand die Luft unter hohem Druck. Als sie durch das Loch oder das Ventil austrat, erniedrigte sich schlagartig ihr Druck. Dabei kühlte sie sich ab.



Barometer zum Messen
des Luftdrucks

Bevor es andere Möglichkeiten der Höhenmessung gab, stellten Flugzeugpiloten und Ballonfahrer die Flughöhe mit dem Barometer fest

Bliebe noch die Frage: Warum nimmt der Luftdruck mit zunehmender Höhe ab? Das wollen wir uns durch einen Vergleich verständlich machen.

Im Zirkus und Varieté wird manchmal eine artistische Übung gezeigt, bei der drei Turner aufeinander stehen. Der obere steht jeweils auf den Schultern des unteren. Der unterste hat dabei das Gewicht der zwei über ihm stehenden mitzutragen.

Die Füße des untersten Turners drücken daher mit einer Kraft auf den Erdboden, die dem Gewicht von drei Menschen entspricht. Denn zu dem Gewicht seines eigenen Körpers kommt noch das der beiden über ihm stehenden. Die Füße des mittleren Turners drücken dagegen nur mit einer Kraft auf die Schultern des untersten, die dem Gewicht von zwei Menschen entspricht, nämlich dem Gewicht des mittleren und des oberen Turners.

Die Füße des obersten Turners schließlich drücken nur mit einer Kraft auf die Schultern des mittleren, die dem Gewicht eines Menschen, nämlich des obersten Turners entspricht. So nimmt der Druck auf die Schultern der Turner nach oben hin ab.

Ebenso verhält es sich mit den Luftteilchen. Auf den untersten Luftteilchen lastet das Gewicht aller sich darüber befindlichen. Je höher wir uns befinden, je weniger Luft sich über uns befindet, desto weniger wiegt die über uns befindliche Luft. Der Luftdruck nimmt daher mit zunehmender Höhe ab.

Alle Angaben über den Luftdruck, die wir im Wetterbericht hören, beziehen sich stets auf die Höhe des Meeresspiegels. Früher wurde das manchmal ausdrücklich angesagt. Es hieß dann zum Beispiel: „Luftdruck auf Meeresspiegel umgerechnet 760 Torr.“ Weil sich das mittlerweile von selbst versteht, läßt man den Zusatz heute im allgemeinen weg.

Der Luftdruck sinkt je 5500 Meter zunehmender Höhe auf jeweils etwa die Hälfte. In den unteren Luftschichten kann man sich nach der Faustregel richten, daß der Luftdruck auf je 10,5 Meter zunehmender Höhe um 1 Torr fällt. Ist der Luftdruck in Meeresspiegelhöhe



Barometer-
stand in
mb

1013

885

705

575

405

315

25

Meeresspiegel

Brocken

Zugspitze

Matterhorn

Aconcagua

Tschomolungma

Stratosphäre

Höhe über NN
in **m**

0

1142

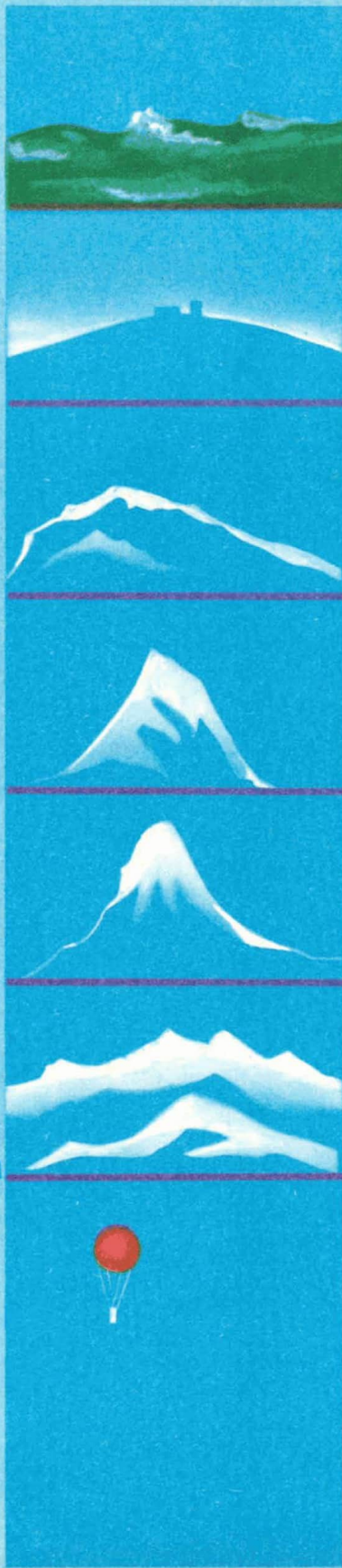
2963

4478

6958

8846

~25000



bekannt, kann man den Luftdruckmesser – man nennt ihn Barometer – zum Messen der Höhe benutzen. Bevor andere Möglichkeiten der Höhenmessung erfunden wurden, stellten die Piloten ihre Flughöhe mit Hilfe des Barometers fest. Rechnen wir nach der obengenannten Faustregel einmal aus, wie hoch der Luftdruck beispielsweise auf dem Fichtelberg ist, wenn er in Höhe des Meeresspiegels 760 Torr beträgt!

Der Fichtelberg hat eine Höhe von 1214 Metern über dem Meeresspiegel. Je 10,5 Meter fällt der Luftdruck um etwa 1 Torr. Das macht einen um $1214 : 10,5 = 116$ Torr niedrigeren Luftdruck aus. Auf dem Fichtelberg beträgt der Luftdruck folglich nur 644 Torr, wenn er über dem Meeresspiegel 760 Torr beträgt.

Nicht nur der Luftdruck, auch die Luftdichte nimmt mit zunehmender Höhe ab. Das hat für Bergsteiger, die sehr hohe Gebirge besteigen, eine weitere Konsequenz. Bei der geringen Luftdichte in Höhen von 8000 Metern enthält die Luft nicht mehr so viel Sauerstoff, wie der Mensch zum Leben benötigt.

Bei der Erstürmung der höchsten Berggipfel der Erde müssen die Bergsteiger daher Atemgeräte mitführen und den Sauerstoff aus diesen Apparaten einatmen.

In den strahlgetriebenen großen Verkehrsflugzeugen, die in etwa 8000 Meter Höhe fliegen, ist der gesamte Innenraum des Flugzeugs gegen die Außenluft druckdicht abgeschlossen. Im Innern des Flugzeugs werden künstlich ein bestimmter Luftdruck und Sauerstoffgehalt erzeugt, der für die normale Atmung ausreicht.

Lediglich die in Höhen von 10 und mehr Kilometern fliegenden Jagdflugzeuge sind mit Atemgeräten ausgerüstet, weil das Flugzeug bei Kampfhandlungen beschädigt werden und ein Leck bekommen kann. Dann müßte der Pilot an Sauerstoffmangel sterben, obwohl das Flugzeug vielleicht durchaus noch flug- und landefähig wäre.

Mit zunehmender Höhe
sinkt der Luftdruck

Wie entstehen Gewitter?

Querschnitt durch eine hochreichende Gewitterwolke. Sie ist im oberen und unteren Teil elektrisch positiv, im mittleren negativ geladen

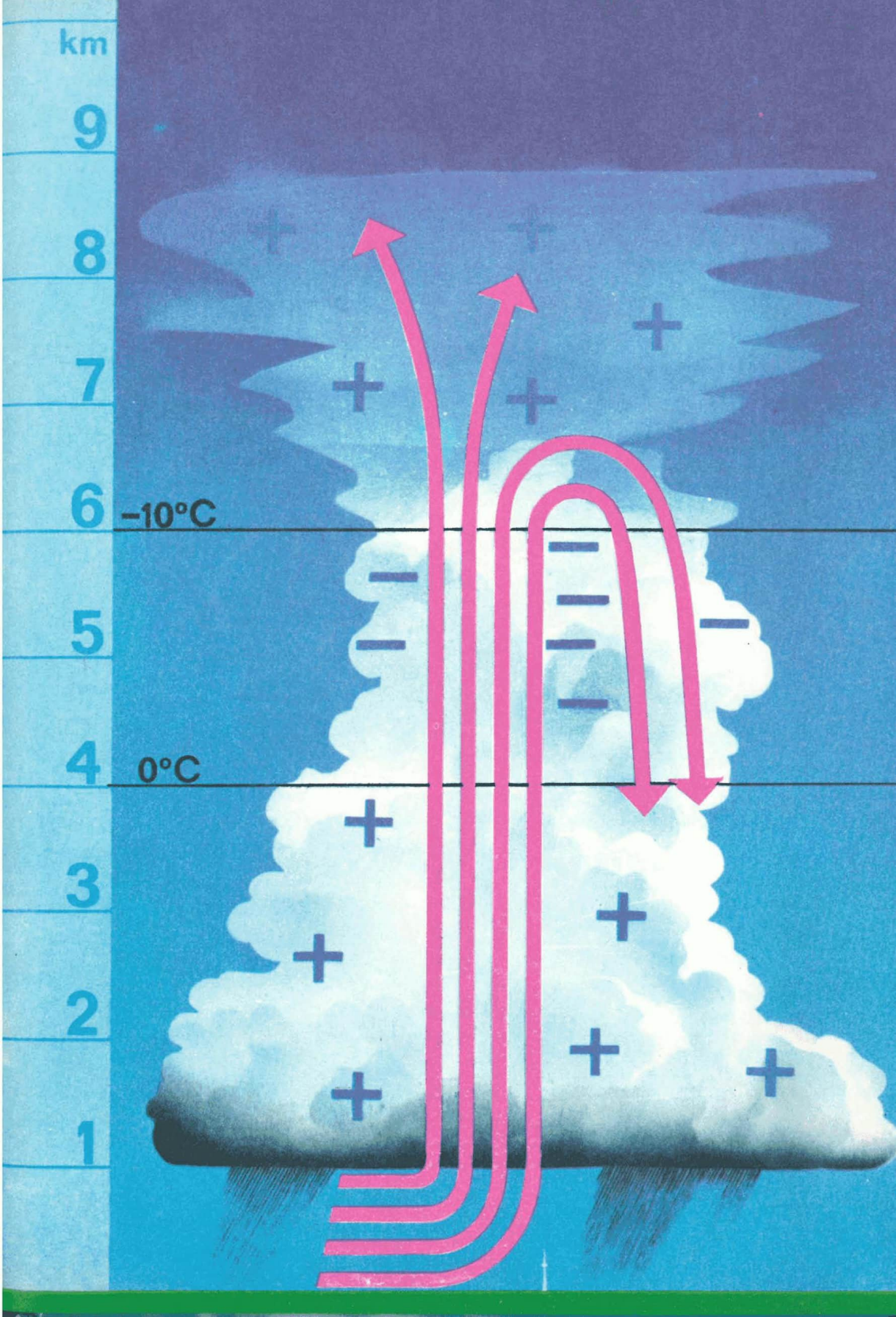
Vor einem sommerlichen Gewitter sagen die Menschen oft, es sei schwül. Wir empfinden es dann als unangenehm warm. Unsere Haut ist ständig mit einer Schweißschicht bedeckt, denn bei Schwüle herrscht außer hoher Temperatur auch hohe relative Luftfeuchtigkeit. Dadurch ist die Verdunstung des Schweißes gehemmt, und die Haut bleibt ständig feucht.

Viele Leute meinen dann, auf eine solche Schwüle werde ein Gewitter folgen. Sie behalten damit nicht immer, aber häufig recht. Tatsächlich ist hohe Luftfeuchtigkeit in den unteren Luftschichten eine der Bedingungen für das Entstehen sommerlicher Gewitter. Je feuchter die Luft, desto stärker ist ihre Neigung, beim Aufsteigen Wolken zu bilden. Vor einem sommerlichen Gewitter türmen sich darum häufig riesige Wolken „gebirge“ bis in große Höhen auf.

Es gibt aber noch andere Ursachen, die zu einem Gewitter führen. Wenn mit der Luftströmung kalte Luft herangeführt wird und dabei auf eine warme Luftmasse stößt, kann gleichfalls ein Gewitter entstehen. In der Wetterkunde nennt man das ein Frontgewitter, weil hierbei die Fronten zweier sehr verschiedenen warmer Luftmassen aufeinandertreffen. Doch wie entstehen die Merkmale des Gewitters, Blitz und Donner?

In der Luft schwebende Wassertröpfchen und Eiskristalle können elektrisch geladen sein. Zwar ist die Ladung eines einzelnen Wolkenteilchens sehr klein, da jedoch eine Wolke aus unvorstellbar vielen Wassertröpfchen oder Eiskristallen besteht, enthält sie insgesamt eine große elektrische Ladungsmenge.

Man unterscheidet zwei Arten elektrischer Ladung, positive (+) und negative (-). Wenn positive und negative Ladungsträger in einer Wolke gleichmäßig verteilt sind, heben sich die positive und negative Ladung der Wolke gegenseitig zu Null auf. Man sagt: Die Wolke ist nach außen elektrisch neutral. Es besteht weder ein Überschuß an positiven noch an negativen Ladungsträgern.





Tritt jedoch eine Entmischung der positiven und negativen Ladungsträger ein, werden also durch irgendeinen Vorgang positive und negative Ladungsträger „auseinandersortiert“ und an unterschiedlichen Orten angehäuft, so entstehen örtlich Überschüsse positiver und negativer Ladungsträger.



Dort, wo sich überwiegend positive Ladungsträger befinden, ist die Wolke positiv geladen, dort, wo die negativen Ladungsträger überwiegen, ist sie negativ geladen.

Eine Wolke kann zum Beispiel in ihrem unteren Bereich negativ, im oberen positiv geladen sein oder umgekehrt. Es können auch ganze Wolken überwiegend positiv oder negativ geladen sein. Auf welche Weise die negativen und positiven Ladungsträger entmischt werden, ist noch nicht eindeutig geklärt. Es gibt darüber verschiedene Theorien. Wahrscheinlich spielen dabei starke Aufwinde, die in Gewitterwolken herrschen und die Regentropfen und Eisteilchen aufwärts reißen, eine Rolle.

Sammeln sich an bestimmten Orten große Ladungen an, so besteht zwischen den positiv und negativ geladenen Wolken eine hohe elektrische Spannung. Schließlich springt ein Funken über und führt zur Entladung. Der Blitz ist ein solcher elektrischer Funkenüberschlag.

Man unterscheidet Linienblitze und Flächenblitze. Den Linienblitz sehen wir als eng umgrenzte gleißend helle Linie. Sie verläuft nicht gerade, sondern unregelmäßig gekrümmt und ist mehr oder weniger verästelt. Geht der Entladestrom von Wolke zu Wolke, so ist es ein Wolkenblitz, verläuft er zwischen Wolke und Erde, handelt es sich um einen Erdblitz.

Bei einer anderen Form der Entladung von Wolke zu Wolke sehen wir keine Linie, sondern nur das Aufleuchten einer größeren Fläche, einen Flächenblitz.

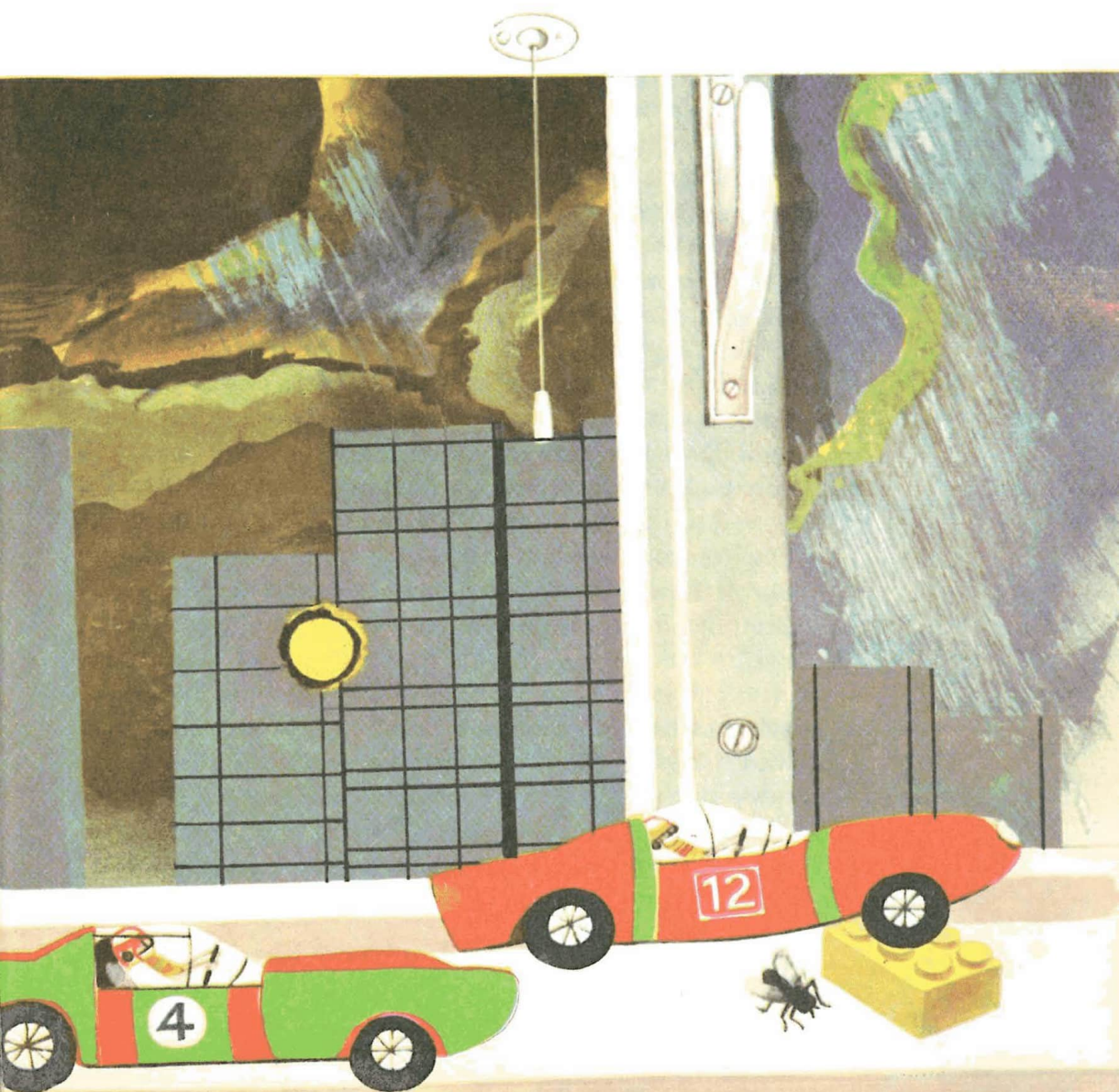
Außer Linien- und Flächenblitzen gibt es noch zwei seltenere Entladungsformen. Die eine ist der Perlschnurblitz. Er sieht nicht wie eine durchgehende Linie aus, sondern ähnelt einer aus vielen Perlen gebildeten Schnur. Weit seltener noch ist der Kugelblitz. Er erscheint als eine in der Luft schwebende Lichtkugel. Sie bewegt sich langsam, kann sogar durch Fenster- und Türritzen treten, sich im Freien und im Zimmer bewegen – eine höchst merkwürdige Erscheinung, die wissenschaftlich noch nicht erforscht ist.

Was sind Blitz und Donner?

Wodurch entsteht das Leuchten des Blitzes? Ein Stück Eisen kann man durch starkes Erhitzen zum Glühen bringen. Anfangs glüht es dunkelrot. Wenn die Temperatur weiter erhöht wird, geht es in Weißglut über und sendet grelles weißes Licht aus.

Bei einer elektrischen Entladung durch die Luft wird diese nicht nur erwärmt, sondern es finden noch andere physikalische Vorgänge in den Luftteilchen statt. Sie führen zur Aussendung sehr hellen Lichts. Da der Strom jedoch nur während eines winzigen Bruchteils einer

Ein Kugelblitz schwebt ähnlich wie eine Seifenblase langsam durch die Luft. Kugelblitze sind äußerst seltene Naturerscheinungen und nicht gefährlich



Sekunde fließt, sendet die Luft auch nur sehr kurze Zeit Licht aus.

Bei der Erhitzung dehnt sich die Luft zugleich heftig aus. Das geschieht so schnell, daß es einer Explosion gleichkommt. Ist der Blitz vorbei, kühlt sich die Luft schlagartig wieder ab. Jetzt verdichtet sich die Luft auf ihr ursprüngliches Volumen. Bei der schlagartigen Ausdehnung und Wiederverdichtung der Luft werden Schallwellen erzeugt. Wir hören sie als Donner.

Das Licht des Blitzes breitet sich wie jedes Licht mit einer Geschwindigkeit von rund 300 000 Kilometern je Sekunde aus, der Schall dagegen in der Luft mit nur etwa 343 Metern je Sekunde. Das Licht des Blitzes trifft daher praktisch sofort an unserem Auge ein, der Donner hingegen braucht einige Zeit, um unser Ohr zu erreichen. Aus der Zeit, die zwischen dem Blitz und dem Hörbarwerden des Donners vergeht, und der Schallgeschwindigkeit kann man die Entfernung des Blitzes errechnen.

Da der Schall je Sekunde etwa 343 Meter zurücklegt, braucht er für die Strecke von 1 Kilometer ungefähr 3 Sekunden. Vergehen zwischen Blitz und Donner zum Beispiel 12 Sekunden, so befand sich der Blitz in einer Entfernung von $12 : 3 = 4$ Kilometern.

Das lang anhaltende Rollen des Donners entsteht dadurch, daß die einzelnen Punkte der langen Blitzbahn unterschiedlich weit von uns entfernt sind. Die von den verschiedenen Punkten der Blitzbahn ausgehenden Schallwellen treffen folglich nicht zur gleichen Zeit an unserem Ohr ein. Außerdem entstehen durch Schallreflexionen Echos. Dadurch hören wir den Donner häufig als ein lang anhaltendes Grollen.

Warum bringt ein Hoch im Winter kaltes, im Sommer warmes Wetter?

Im Sommer freuen wir uns, wenn im Wetterbericht ein Hoch angekündigt wird. Denn erfahrungsgemäß folgt dann meist sonnenscheinreiches, warmes Wetter. Im

Winter warten wir nach langer Zeit strengen Frostes sehnlich auf ein Tief, das Frostmilderung bringt. Warum bringt das Hoch im Sommer meist wärmere Temperaturen, während es im Winter den Frost verschärft?

Wir wissen inzwischen, daß im Hochdruckgebiet in der Regel wenig oder gar keine Wolken am Himmel sind, während im Tief der Himmel bedeckt ist. Bleibt der Himmel wolkenlos, so kann die Wärmestrahlung der Sonne die Luft und die Erde ungehindert erwärmen. Ist dagegen eine Wolkendecke vorhanden, so wird ein großer Teil der Wärmestrahlen der Sonne wie Licht von einem Spiegel an der Oberseite der Wolken nutzlos in den Weltraum zurückgeworfen. Das vermindert die Erwärmung der Luft und der Erde.

Nun strahlt aber nicht nur die Sonne, sondern auch die Erde Wärme aus. Wärmestrahlen, das wissen wir, sind nicht zu verwechseln mit Lichtstrahlen. Da die Sonne Licht- und Wärmestrahlen gleichzeitig aussendet, kann der falsche Eindruck entstehen, als würden auch die Lichtstrahlen wärmen. Das ist jedoch nicht der Fall.

Ähnlich verhält es sich mit unseren Glühlampen. Auch sie senden Licht- und Wärmestrahlen gleichzeitig aus. Sie wandeln die ihnen zugeführte elektrische Energie sogar zum größten Teil in Wärme um. Man müßte sie deshalb eigentlich als kleine Heizkörper bezeichnen, die außerdem ein bißchen Licht aussenden.

Anders verhält es sich mit den Leuchtstofflampen. Sie wandeln einen weit größeren Teil der ihnen zugeführten Elektroenergie in Licht um und senden daher viel Licht, aber kaum Wärme aus. Das beweist nochmals, daß Licht- und Wärmestrahlen nicht dasselbe sind.

Die Erde sendet keine eigenen Lichtstrahlen aus, sondern reflektiert nur das Licht der Sonne – ebenso wie der Mond und die Planeten unseres Sonnensystems. Erde, Mond und überhaupt alle Körper senden jedoch Wärmestrahlen aus. Mithin vereinnahmt die Erde nicht nur Wärmestrahlen von der Sonne, sondern sie verausgabt auch ständig Wärme durch Strahlung in den Weltraum.

Strahlt die Erde im Verlaufe von 24 Stunden mehr Wärme aus, als sie in gleicher Zeit vereinnahmt, so wird es kälter. Vereinnahmt sie mehr Wärme, als sie in gleicher Zeit ausstrahlt, dann wird es wärmer.

So wie eine Wolkendecke die Wärmeeinnahmen der Erde von der Sonne vermindert, so verringert sie auch die Wärmeverluste der Erde. Ist der nächtliche Himmel wolkenlos, geht ein großer Teil der Wärmestrahlung der Erde ungehindert in den Weltraum hinaus und ist für



die Erde und die sie umgebende Lufthülle verloren. Besteht dagegen eine Wolkendecke, ist der Wärmeverlust der Erde und ihrer Atmosphäre wesentlich geringer.

Wärmestrahlen kann die Erde von der Sonne freilich nur am Tage empfangen. Wärme ausstrahlen kann sie dagegen Tag und Nacht. Die Bilanz zwischen Wärme-einnahmen und -ausgaben der Erde hängt folglich von zwei Faktoren ab: erstens davon, ob eine Wolken-





decke vorhanden ist oder nicht, zweitens von der Länge des Tages und der Nacht.

Im Sommer sind die Tage lang und die Nächte kurz. Außerdem steigt die Sonne höher. Dadurch fallen mehr Licht- und Wärmestrahlen auf eine gleich große Fläche unserer geografischen Breiten als im Winter. Wegen der großen Tageslänge und des hohen Sonnenstandes kann die Erde bei wolkenlosem oder wolkenarmem Himmel im Sommer viel Wärme vereinnahmen. Da die Nächte nur kurz sind, verliert die Erde selbst bei klarem Himmel nachts nicht allzuviel Wärme. Innerhalb von 24 Stunden ergibt sich daher ein großer Wärmeüberschuß, und wenn Tag für Tag die gleichen Verhältnisse bestehen bleiben, kann es beständig wärmer werden.

Im Winter sind dagegen die Tage kurz und die Nächte lang. Während der kurzen Tageszeit kann die Erde nur wenig Wärmestrahlung von der Sonne empfangen, zumal die Sonne ziemlich tief steht, so daß ihre Strahlen die Erdoberfläche unserer Breitengrade nur schräg streifen. Dem steht die lange Nacht gegenüber, während der die Erde viel Wärme in den Weltraum ausstrahlt. So entsteht ein zunehmender Wärmeverlust, es wird von Tag zu Tag kälter.

Da auch Schnee einen großen Teil der von der Sonne eintreffenden Wärmestrahlen in den Weltraum zurückwirft, wirkt ein winterliches Hochdruckgebiet besonders dann frostverschärfend, wenn eine geschlossene Schneedecke vorhanden ist.

Eine weitere Folge von Hochdruckwetter tritt im Sommer **und** im Winter ein. Weil tagsüber die Wärmeinstrahlung ebenso ungehindert ist wie nachts die Wärmeausstrahlung, bilden sich zwischen Tag und Nacht große Temperaturunterschiede aus. Selbst im Sommer kann es daher nachts recht kalt sein, vor allem dann, wenn die Luft sehr trocken ist.

Extrem trockene Luft herrscht in den Wüsten. Forscher, welche die Sahara durchstreiften, berichten, daß sie



nirgends so gefroren hätten wie in der Wüste. Obwohl es dort tagsüber fast unerträglich heiß ist, sinkt die Temperatur nachts nicht selten bis unter den Gefrierpunkt.

Eine Wolkendecke wirkt demgegenüber auf die Tages- und Nachttemperaturen stark ausgleichend, weil sie tagsüber die Wärmeeinstrahlung und nachts die Wärmeausstrahlung bremst. Bei lang anhaltender geschlossener Wolkendecke kommt es deshalb im Sommer wie im Winter gelegentlich vor, daß zwischen Tag und Nacht keine oder fast keine Temperaturunterschiede mehr bestehen.

Warum kann man das Wetter vorhersagen?

Mittels Radiosonden können meteorologische Daten in den verschiedenen Höhen gewonnen und die Ergebnisse zur Bodenstation gefunkt werden. Eine Richtantenne verfolgt automatisch, wie der Wind den Ballon abtreibt. Daraus sind Richtung und Geschwindigkeit der Luftströmung in den unterschiedlichen Höhen zu ermitteln

Wir kennen nun schon einige Zusammenhänge des Wettergeschehens und können zum Beispiel voraussagen, daß bei ansteigendem Luftdruck wolkenarmes Wetter wahrscheinlich ist, daß es im winterlichen Hoch bei geschlossener Schneedecke kälter wird und so weiter. Auf die Erkenntnis solcher Ursachen-Zusammenhänge gründen sich die Wettervorhersagen, die wir täglich über Rundfunk und Fernsehen hören bzw. sehen. Doch wir haben längst nicht alle Faktoren kennengelernt, von denen die Wetterentwicklung abhängt. Wir kennen auch nicht die Ausnahmen, die es von fast jeder Regel gibt. Das alles bildet eine umfangreiche Wissenschaft, die man Meteorologie (Wetterkunde) nennt.

Die Meteorologen haben auf der ganzen Erde viele Stationen eingerichtet, in denen regelmäßig zu bestimmten Zeiten die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, die Windrichtung und -stärke gemessen, die Sonnenscheindauer oder der Grad der Bewölkung notiert und noch viele weitere Messungen und Beobachtungen vorgenommen werden. Mit Flugzeugen und kleinen Ballons schickt man meteorologische Meßinstrumente in große Höhen. Mittels geeigneter Vorrichtungen werden die Meßwerte dieser



Instrumente in elektrische Signale umgewandelt. Kleine Sender, die zusammen mit den Meßgeräten an den Ballons hängen, funken sie zur Erde. Seit einigen Jahren übermitteln auch künstliche Erdsatelliten Bilder der Wolkenverteilung auf dem Funkwege zur Erde.

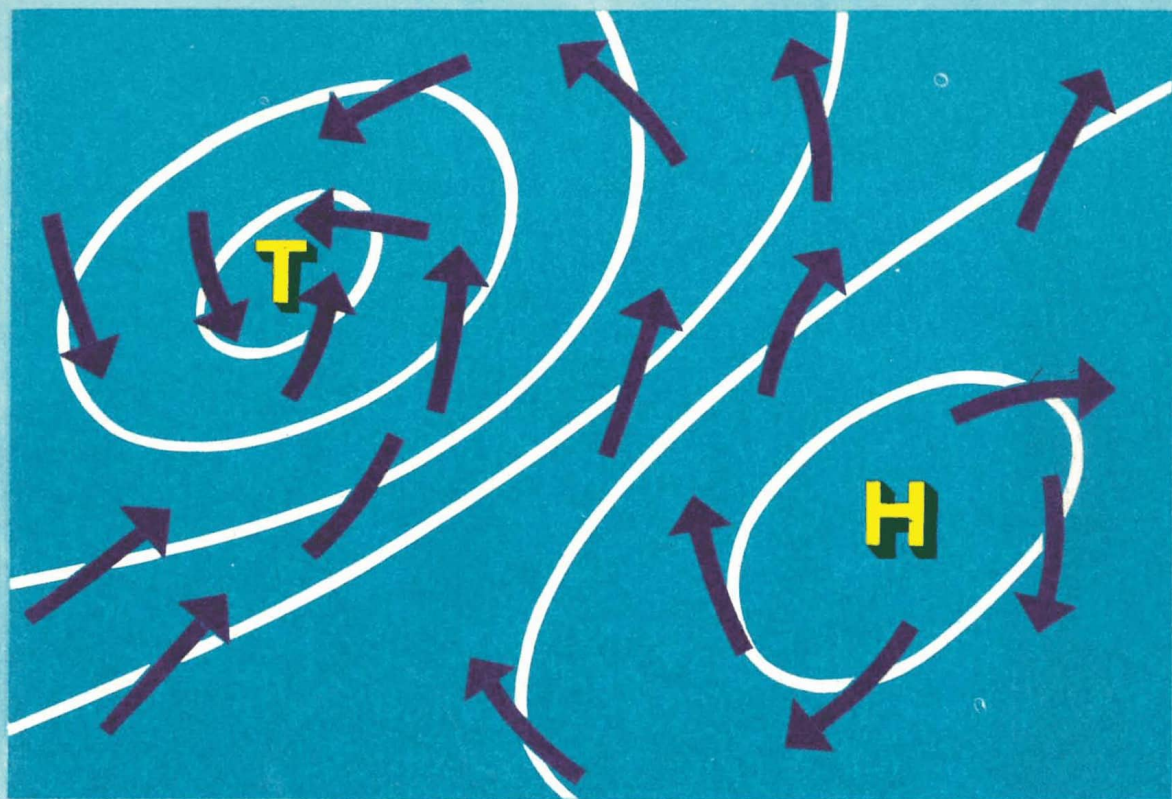
Alle diese Messungen und Beobachtungen erfolgen, um ständig einen Überblick über das Geschehen in der Lufthülle der Erde zu haben. Aus dieser Gesamtsicht können Vorhersagen des Wetters für die verschiedenen Gebiete der Erde abgeleitet werden.

Zeichnet man die Meßwerte des Luftdrucks in eine Landkarte ein und verbindet die Orte gleichen Luftdrucks durch Linien, so erhält man die Wetterkarte, wie wir sie täglich auf dem Fernsehschirm sehen. Die Linien auf der Wetterkarte nennt man Isobaren. Das bedeutet: Linien gleichen Luftdrucks.

Um Rückschlüsse aus der Wetterkarte ziehen zu können, muß man folgende wichtige Grundregel kennen: Auf der nördlichen Halbkugel der Erde strömen die Winde um ein Hochdruckgebiet im Uhrzeigersinn, um ein Tief entgegengesetzt. Dabei wehen die Winde nicht genau kreisförmig um das Hoch und Tief, sondern aus dem Hochdruckgebiet hinaus und in das Tiefdruckgebiet hinein. Die Windrichtungen haben deshalb den durch die Pfeile in unserem Bild angedeuteten Verlauf.

Warum die Luft aus dem Hoch hinaus und in das Tief hineinströmt, wird erklärlich, wenn wir uns daran erinnern, daß aus dem Hochdruckgebiet Luft in die benachbarten Gebiete niedrigeren Drucks abströmt. Umgekehrt strömt in das Tief Luft aus den angrenzenden Gebieten höheren Drucks hinein.

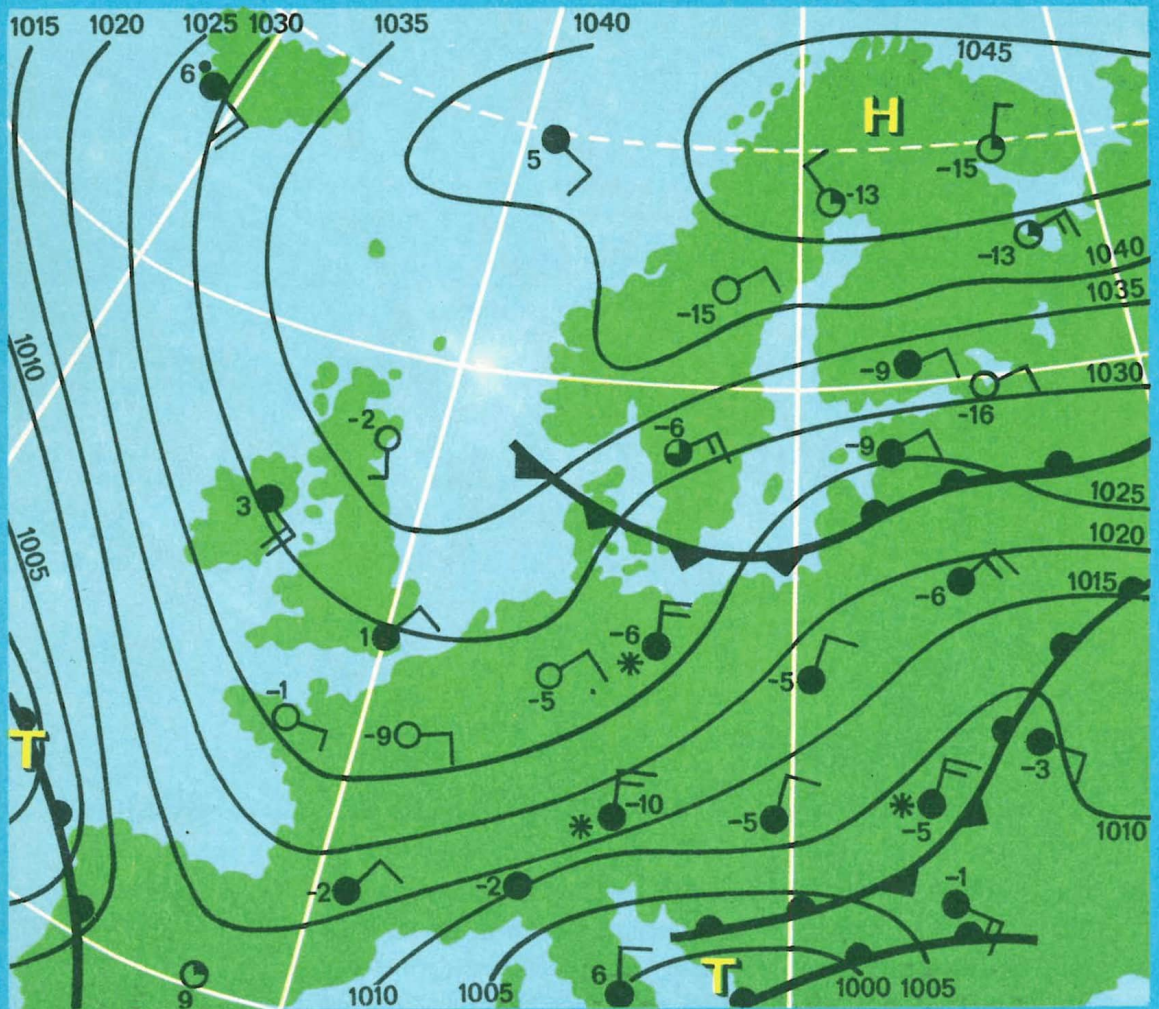
Befindet sich zum Beispiel über Skandinavien ein Hoch, so weht an seiner Ostseite der Wind von Norden, an seiner Westseite von Süden, an der Nordseite von Westen und an der Südseite von Osten. Befinden wir uns südlich des Hochdruckgebiets, so weht mit Ostwinden Festlandluft aus der Sowjetunion heran, die im Sommer häufig warm und trocken, im Winter kalt und trocken ist.



Um das Tiefdruckgebiet strömt die Luft umgekehrt zum Uhrzeigersinn. Liegt beispielsweise, was häufig der Fall ist, ein Tiefdruckgebiet über dem Nordatlantik, so werden an seiner Südseite mit westlichen Winden wolkenreiche Luftmassen nach Mitteleuropa geführt und bringen uns unbeständiges, zwischen Sonnenschein und Regenschauern wechselndes Wetter oder auch völlig bedeckten Himmel und Regen.

Da sich Tiefdruckgebiete über dem Nordatlantik in der Regel von Westen nach Osten bewegen, nennt man die Ostseite eines Tiefs Vorderseite, die Westseite Rückseite. So können wir aus der Wetterkarte stets die zu erwartende Windrichtung ablesen und den sonstigen Angaben – zum Beispiel über die Temperatur der Luft in den verschiedenen Gebieten – entnehmen, ob uns die Winde warme oder kalte Luftmassen heranbefördern werden.

Auf der Nordhalbkugel der Erde wehen die Winde um ein Hoch im Uhrzeigersinn, um ein Tief entgegengesetzt dazu



Was ist Wärme?

Eine Wetterkarte. Die gekrümmten Linien nennt man Isobaren (Linien gleichen Luftdrucks). Die dazugehörigen großen Zahlen geben den Luftdruck in Millibar an. Die Kreise symbolisieren den Grad der Bewölkung.

60

Es scheint, als sei diese Frage ganz leicht zu beantworten. Aber wenn wir sagten, Wärme sei die Höhe der Temperatur, so wäre das keine Erklärung. Denn wir ersetzen dabei das Wort Wärme nur durch das Wort Temperatur. Wir müssen hingegen erklären, wie es kommt, daß ein Körper warm oder kalt ist.

Die Wärme ist eine Form der Energie, die auf der ständigen ungeordneten Bewegung sehr kleiner Teilchen

beruht, die man Moleküle nennt. Die Wärme ist nicht die einzige Form der Energie. Es gibt noch andere Energieformen, zum Beispiel elektrische Energie. Allen Formen der Energie ist gemeinsam, daß sie sich ineinander umwandeln können. So wird die Energieform Wärme im Kraftwerk in elektrische Energie umgewandelt. Was aber sind Moleküle?

Alle Stoffe bestehen aus sehr kleinen Teilchen, etwa so, wie ein Sandhaufen aus ungezählten Sandkörnern besteht. Man nennt diese unvorstellbar kleinen Teilchen Atome. Zwei oder mehr Atome schließen sich zu Molekülen zusammen. Auch die Moleküle sind derart klein, daß wir sie selbst unter dem Mikroskop nicht sehen. Deshalb ist auch die Bewegung der Moleküle nicht direkt zu sehen.

Trotzdem befinden sich die Moleküle aller Stoffe ständig in feiner, ungeordneter Bewegung. Stellen wir uns zum Vergleich einen Ameisenhaufen vor, in dem alles kribbelt. Auch die Moleküle fester Stoffe, zum Beispiel der Tischplatte und des Papiers unseres Buches, bewegen sich in jedem Augenblick.

In festen Stoffen bewegen sich die Moleküle um eine feste Mittelpunktslage hin und her. Man nennt solche Hinundherbewegungen um einen Mittelpunkt Schwingungen. Trotz ihres Hinundherschwingens können die Moleküle den Platz, den sie im Gefüge des Stoffes einnehmen, nicht verlassen. Sie sind mit Turnern auf einem Sportfeld vergleichbar, die ständig ihre Arme hin und her schwingen, ohne den ihnen zugewiesenen Platz zu verlassen.

In Flüssigkeiten und Gasen haben die Moleküle mehr Bewegungsfreiheit. Sie sind mit den Fußball- oder Handballspielern auf einem Sportplatz zu vergleichen, die in die verschiedensten Richtungen laufen.

Jeder Kubikzentimeter Luft von normalem Druck enthält 26 850 000 000 000 000 000 Moleküle. Infolge dieses dichten Gedränges kann sich ein Molekül nur ein unvorstellbar kurzes Stückchen geradeaus bewegen. Dann stößt es mit einem anderen Molekül zusammen und prallt in eine neue Richtung zurück. In festen und







Dabei bedeutet

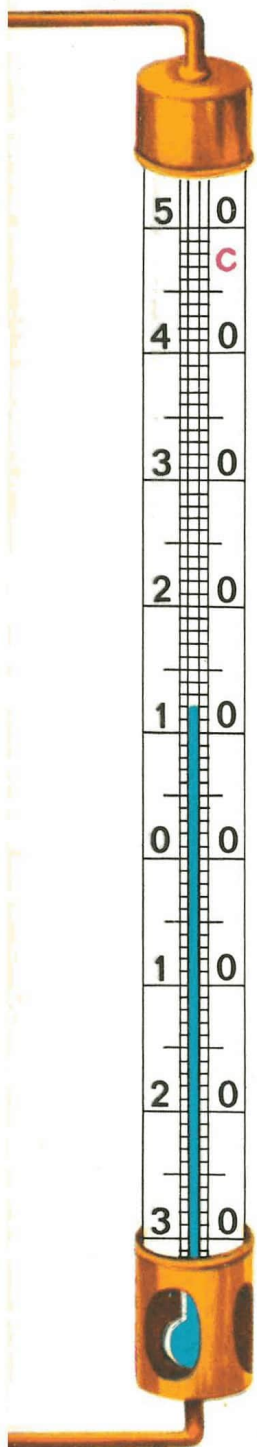
-  wolkenlos
-  heiter
-  wolkig
-  stark bewölkt
-  bedeckt

Die Striche an den Kreisen geben die Windrichtung an. Der Wind weht aus der Richtung, in welche der unmittelbar mit dem Kreis verbundene Strich zeigt. An diesen größeren Strich sind senkrecht dazu noch ein oder mehrere kleine Striche angehängt. Sie symbolisieren die Größe der Windgeschwindigkeit. Die neben dem Kreis stehende Zahl gibt die Lufttemperatur an.

H = Kern eines Hochdruckgebiets, T = Kern eines Tiefs.

Eine dicke schwarze Linie mit Zacken kennzeichnet die Grenze einer Front mit kalter Luft, eine dicke Linie mit angesetzten Halbkreisen eine Front mit wärmerer Luft. Die Bedeutung weiterer Symbole:

-  Nebel
-  Niederschlagsgebiet
-  Sprühregen
-  Regen
-  Schnee
-  Gewitter



flüssigen Stoffen sind noch weit mehr Moleküle enthalten, weil sie dort viel dichter „gepackt“ liegen.

Je schneller sich die Moleküle bewegen, desto höher ist die Temperatur des Stoffes. Je träger sich die Moleküle bewegen, desto niedriger ist sie. Kämen die Moleküle völlig zur Ruhe, dann wäre die tiefstmögliche Temperatur erreicht, die es überhaupt geben kann. Man nennt sie den absoluten Nullpunkt. In der Skale unseres Thermometers ausgedrückt, liegt der absolute Nullpunkt bei minus 273,15 Grad Celsius.

Es ist nicht möglich, einen Stoff genau bis auf diese Temperatur abzukühlen und so seine Moleküle völlig unbeweglich zu machen. Auch hierin bestätigt die Naturwissenschaft die Lehre Lenins, daß sich die Materie in unaufhörlicher Bewegung befindet. Mit komplizierten Vorrichtungen kann man Stoffe bis sehr dicht über dem absoluten Nullpunkt abkühlen. Man kann ihn aber niemals ganz erreichen.

Im physikalischen Sinne gibt es also überhaupt keine Kälte, sondern nur Wärme. Denn da sich bei jeder Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunkts von minus 273,15 Grad Celsius die Moleküle in Bewegung befinden, haben sie auch Wärme. Allerdings ist die Wärme bei sehr tiefen Temperaturen nur gering. Es gibt also ein Mehr oder Weniger von Wärme, aber keine Kälte. In der Umgangssprache und auch in der Technik wird jedoch das Wort Kälte als Bezeichnung für niedrigere Temperaturen, also für geringe Wärme, trotzdem weiterbenutzt.

In der Physik werden die Temperaturgrade nicht von 0 Grad Celsius aufwärts und abwärts gezählt, sondern vom absoluten Nullpunkt an, also nur aufwärts. Diese Temperaturskala ist nach dem britischen Physiker Lord Kelvin (1824 bis 1907) benannt. Die Bezeichnung Grad ($^{\circ}$) wird bei Temperaturangaben nach der Kelvin-Skala weggelassen. Es heißt also zum Beispiel nur 100 Kelvin. Die Abkürzung für Kelvin ist K.

Da die Kelvin-Skala vom absoluten Nullpunkt ausgeht, gibt es in ihr keine Minustemperaturen wie in der Celsius-Skala. Aber alle Temperaturen unterhalb

273 Kelvin entsprechen, wenn man sie in die Celsius-Skala umrechnet, Minusgraden. 10 Kelvin sind beispielsweise gleich minus 263 Grad Celsius. Wollen wir die Plustemperaturen der Celsius-Skala in die Kelvin-Skala umrechnen, so ist zu den Celsiusgraden die Zahl 273 zu addieren. So sind 10 Grad Celsius = 283 Kelvin.

– Die Celsius-Skala ist gleichfalls nach einem Naturforscher benannt, dem Schweden Anders Celsius (1701 bis 1744).

Das Thermometer soll so aufgehängt werden, daß die Sonne nicht darauf scheint. Bei Sonnenbestrahlung zeigt es eine höhere Temperatur als die der Luft an

Wie funktioniert das Thermometer?

Führen wir einen einfachen Versuch durch! Wir stellen drei Schüsseln nebeneinander. Die linke füllen wir mit kaltem Leitungswasser, die mittlere mit lauwarmem und die rechte mit Wasser, das so warm ist, daß wir gerade noch hineinfassen können. Wir halten gleichzeitig ein oder zwei Minuten lang die linke Hand in das kalte, die rechte in das heiße Wasser. Dann tauchen wir beide Hände in die mittlere Schüssel mit dem lauwarmen Wasser. Der rechten Hand erscheint das lauwarme Wasser kalt, der linken Hand dagegen warm.

Der Versuch lehrt, daß wir uns auf unseren Temperatursinn nicht verlassen können, um zu beurteilen, wie warm oder kalt Wasser, Luft oder irgendein anderer Gegenstand ist. Wir brauchen einen Temperaturmesser, der objektiv und unabhängig von unserem persönlichen Empfinden die Temperatur anzeigt. Ein solcher Temperaturmesser ist das Thermometer. Die Funktion unserer gebräuchlichen Thermometer beruht darauf, daß sich die meisten Stoffe bei Erwärmung ausdehnen und bei Abkühlung wieder zusammenziehen. Im wärmeren Zustand nimmt ein Körper also einen größeren Raum, ein größeres Volumen, ein als in einem weniger warmen Zustand.

Gase dehnen sich bei Erwärmung besonders stark aus, Flüssigkeiten und feste Körper in geringerem Maße. Jedes Gas vergrößert bei Erwärmung um je 1 Grad sein Volumen um $\frac{1}{273}$ des Volumens, das es bei 0 Grad Cel-

sus = 273 Kelvin einnimmt. Wird Gas auf 273 Grad Celsius = 546 Kelvin erwärmt, nimmt es folglich den doppelten Raum ein, falls es nicht in einem Behälter eingeschlossen ist, der seine Ausdehnung verhindert. Aber auch in diesem Falle tritt durch die Erwärmung des Gases eine Veränderung ein: Der Druck steigt, weil sich die Moleküle jetzt schneller bewegen. Sie stoßen sich dabei gegenseitig heftiger an und stoßen auch kräftiger gegen die Wand des Behälters, in dem das Gas eingeschlossen ist.

In festen Stoffen werden die Wärmebewegungen der Moleküle bei Erhöhung der Temperatur gleichfalls heftiger. Infolgedessen dehnen sich die Körper aus, wenn auch weit weniger als Gas. So dehnt sich ein Stahlrohr von 1 Meter Länge bei Erwärmung von 0 auf 20 Grad Celsius nur um 0,2 Millimeter aus, ein Aluminiumrohr um 0,5 Millimeter. Verschiedene Stoffe dehnen sich bei Erwärmung unterschiedlich stark aus.

Auf der Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten beruht die Funktion unserer gebräuchlichen Thermometer. Ein Thermometer enthält ein Glasröhrchen, das innen sehr eng und oben zugeschmolzen ist. Unten mündet das Röhrchen in eine größere Hohlkugel oder einen Hohlzylinder. Darin befindet sich entweder Alkohol, der zur deutlichen Sichtbarkeit rot oder blau gefärbt ist, oder Quecksilber, ein silberweiß glänzendes Metall, das schon bei minus 38,84 Grad Celsius schmilzt und daher bei den gewohnten Temperaturen flüssig ist.

Der freie Raum über dem Quecksilber oder Alkohol in dem engen Röhrchen ist luftleer. Deshalb können sich das Quecksilber oder der Alkohol bei Erwärmung ungehindert ausdehnen und in dem engen Röhrchen emporsteigen. Die Flüssigkeitssäule steigt um so höher, je wärmer es ist, und sinkt um so tiefer, je kälter es ist. Befindet sich hinter dem engen Röhrchen eine geeichte Gradskale, so kann man die Temperaturen ablesen.

Warum sprengt gefrorenes Wasser eine Flasche?

Fast alle Stoffe dehnen sich um so mehr aus, je wärmer sie werden, und ziehen sich um so stärker zusammen, je kälter sie werden. Aber auch hier gilt die Regel nicht ohne Ausnahme. Eine wichtige Ausnahme bildet das Wasser. Es nimmt den kleinsten Raum bei einer Temperatur von 4 Grad Celsius ein. Erwärmt es sich über 4 Grad Celsius, so dehnt es sich aus. Doch auch bei Abkühlung unter 4 Grad Celsius nimmt es an Volumen zu. Bei 0 Grad Celsius tritt noch eine andere Veränderung des Wassers ein. Es gefriert zu Eis, geht also vom flüssigen in den festen Zustand über.

Füllen wir im Winter eine Flasche randvoll mit Wasser und stellen sie bei Frost ins Freie, so platzt sie, sobald das Wasser zu Eis gefriert. Denn im festen Zustand nimmt Wasser ein größeres Volumen ein als im flüssigen.

Nicht nur Flaschen aus Glas, sogar eiserne Wandungen kann Wasser durch seine Ausdehnung beim Gefrieren zersprengen. Mit Ausnahme des Trabant haben fast alle bei uns gefahrenen Autos wassergekühlte Motoren. Die Motoren enthalten Hohlräume, die durch Gummischläuche mit dem Kühler verbunden sind. Zwischen den Hohlräumen des Motors und dem Kühler strömt, wenn der Motor läuft, Wasser hin und her. Der Motor gibt einen Teil seiner Wärme an das Wasser ab. Das erhitzte Wasser strömt in den Kühler, wird dort durch den vorüberstreichenden Fahrtwind abgekühlt und fließt erneut in die Hohlräume des Motors. Auf diese Weise wird der Motor laufend gekühlt, denn er darf nicht zu heiß werden.

Sobald der Winter naht, muß man dem Kühlwasser ein Mittel hinzufügen, das den Gefrierpunkt der Kühlflüssigkeit von 0 Grad Celsius auf minus 20 oder minus 30 Grad Celsius herabsetzt. Wird das vergessen, sprengt das in den Hohlräumen des Motors befindliche Wasser in der ersten Nacht mit kräftigem Frost den Motor auseinander. So gewaltig ist die Ausdehnungs-

Je höher wir auf einen Berg steigen, desto niedriger liegt der Siedepunkt des Wassers

kraft des Wassers beim Gefrieren. Auch Wasserleitungsrohre, die außen an der Hauswand entlang verlaufen, müssen bei nahendem Frost entleert werden. Sonst kann das Wasser in den Rohren einfrieren und die Leitung aufreißen.

Eine andere markante Veränderung des Wassers tritt bei der Erhitzung auf 100 Grad Celsius ein. Unter normalen Luftdruckverhältnissen beginnt das Wasser bei dieser Temperatur zu kochen. 0 Grad Celsius bezeichnet man als den Schmelzpunkt, 100 Grad Celsius als den Siedepunkt des Wassers. Bei weiterer Wärmezufuhr geht kochendes Wasser aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand über.

Bei Siedetemperatur verdampfen in kurzer Zeit große Mengen Wasser. Geringe Mengen verdampfen aber auch bei Temperaturen unterhalb des Siedepunktes. Wenn wir Wasser in einem offenen Glas wochenlang stehenlassen, können wir beobachten, daß es immer weniger wird. Markieren wir den jeweiligen Wasserstand durch einen um das Glas gespannten Gummi, so können wir kontrollieren, wieviel Wasser in welcher Zeit verdunstet.

Der Siedepunkt des Wassers beträgt nicht an jedem Ort 100 Grad Celsius. Auf hohen Bergen kocht Wasser schon bei tieferer Temperatur, in 3000 Meter Höhe über dem Meeresspiegel zum Beispiel bei 89,8 Grad Celsius. Der Siedepunkt des Wassers ist von der Größe des Luftdrucks abhängig. Je geringer der Luftdruck, desto niedriger der Siedepunkt. Da der Luftdruck in großen Höhen geringer ist, liegt dort auch der Siedepunkt des Wassers niedriger.

Warum schwimmt Eis auf dem Wasser?

Wenn im Winter die Flüsse und Seen fest zugefroren sind und man Löcher in die Eisdecke schlägt, kann man sehen, daß das Wasser nicht bis zum Grund gefroren ist. Unter dem Eis befindet sich Wasser. Warum friert Wasser von oben her zu?

Höhe über NN
in m

Siede-
temperatur
in °C

0

Meeresspiegel

100

1142

Brocken

96

2963

Zugspitze

90

4478

Matterhorn

84

6958

Aconcagua

77

8846

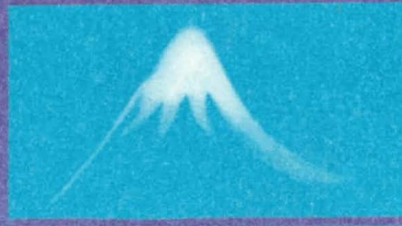
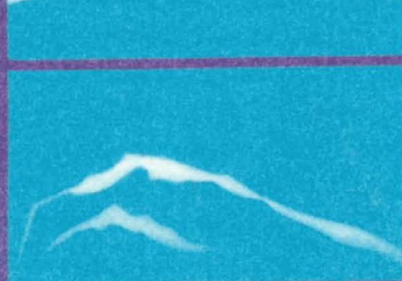
Tschomolungma

69

25000

Stratosphäre

~33

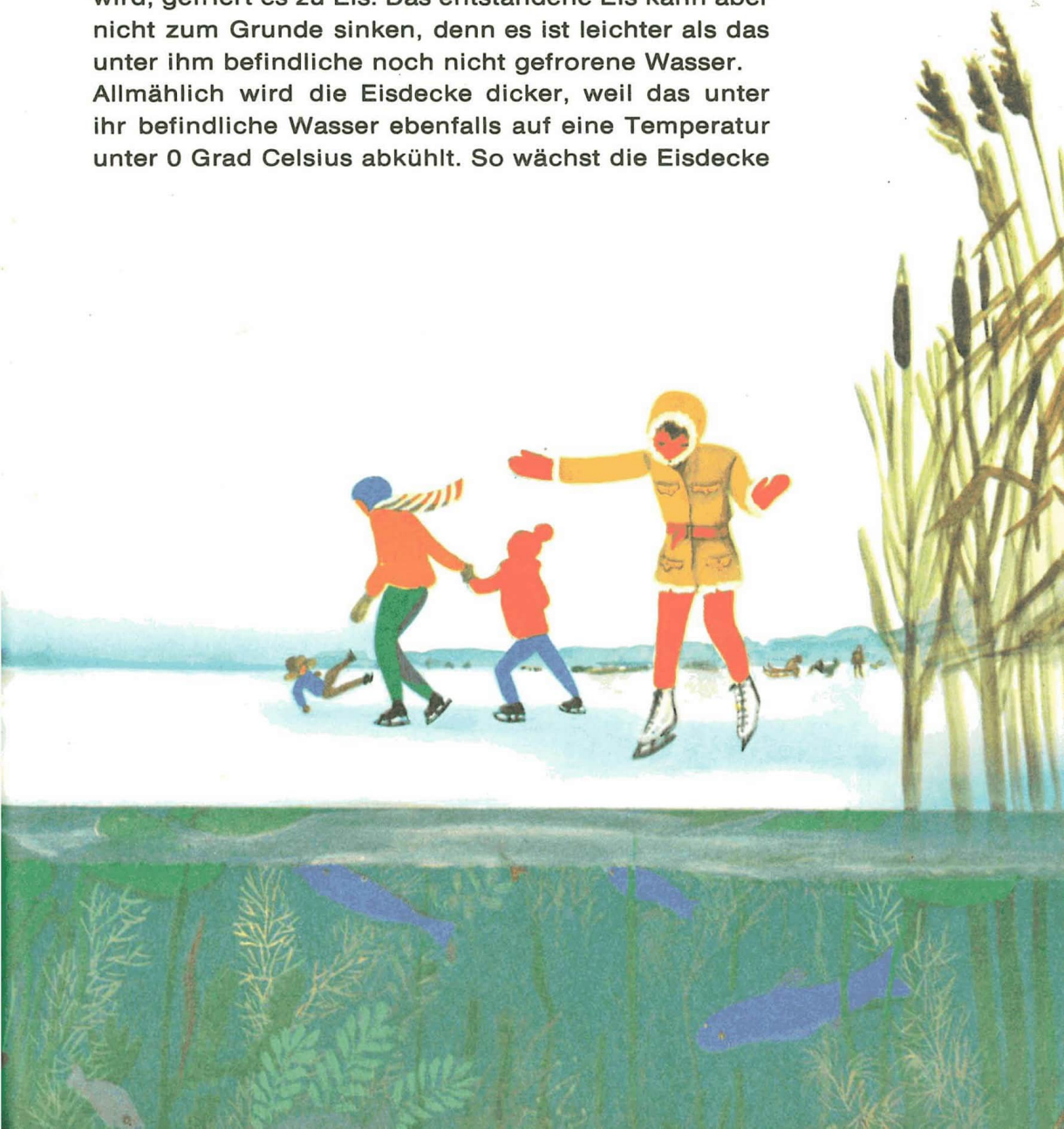


Auch diese Erscheinung hängt mit der Tatsache zusammen, daß Wasser bei 4 Grad Celsius den kleinsten Raum einnimmt, sich am stärksten zusammengezogen hat. Denn je kleiner der Raum ist, den eine bestimmte Menge eines bestimmten Stoffes einnimmt, desto größer ist seine Dichte. Erinnern wir uns an einen Vergleich!

Wir veranschaulichten uns die unterschiedliche Dichte der Luft durch einen Sack voll Herbstlaub. Je mehr Blätter wir in den Sack pressen, desto größer ist die Dichte des Laubs. Da sich bei größerer Dichte in einem gleich großen Sack mehr Blätter befinden, wiegt der Sack Laub dann auch mehr. Ebenso wiegt ein Faß voll Wasser von genau 4 Grad Celsius mehr als dasselbe Faß voll Wasser oder Eis bei allen anderen Temperaturen.



Wenn die Luft winterliche Temperaturen annimmt, kühlt sich zuerst das oberflächennahe Wasser, das der Luft am nächsten ist, ab. Hat es die Temperatur von 4 Grad Celsius erreicht, sinkt es nach unten, weil es jetzt schwerer ist als das übrige, noch wärmere Wasser. Erst wenn auf diese Weise immer mehr Wasser von 4 Grad Celsius abgesunken ist und das Wasser bis zum Grunde eine Temperatur von 4 Grad Celsius angenommen hat, kann die Frostluft das oberflächennahe Wasser noch stärker abkühlen. Wenn es kälter als 0 Grad Celsius wird, gefriert es zu Eis. Das entstandene Eis kann aber nicht zum Grunde sinken, denn es ist leichter als das unter ihm befindliche noch nicht gefrorene Wasser. Allmählich wird die Eisdecke dicker, weil das unter ihr befindliche Wasser ebenfalls auf eine Temperatur unter 0 Grad Celsius abkühlt. So wächst die Eisdecke



von oben nach unten. Eine Schüssel Wasser gefriert bei strengem Frost schnell bis auf den Boden. Flüsse und Seen sind jedoch meist so tief, daß das Wasser im Verlaufe eines Winters nicht bis zum Boden gefrieren kann – zum Glück, denn sonst müßten alle Fische sterben.

Warum kühlt ein Silberlöffel heißen Tee?

Führen wir wieder ein einfaches Experiment durch! Wir füllen Wasser in eine Schüssel oder in ein Konservenglas und lassen es mehrere Stunden im Zimmer stehen. Dabei erwärmt sich das ursprünglich kältere Leitungswasser auf die Temperatur der Zimmerluft. Mit einem Thermometer vergewissern wir uns, daß Wasser und Luft dieselbe Temperatur haben. Dann halten wir die Hand ins Wasser.

Die Frage, die wir klären wollen, lautet: Fühlt sich Wasser, das dieselbe Temperatur wie Luft hat, ebenso warm oder kalt wie Luft an?



Die Antwort ist eindeutig: Das Wasser fühlt sich wesentlich kälter an als die Luft. Wie kommt das?

Wenn sich zwei verschieden warme Körper berühren, geht Wärme von dem wärmeren auf den kälteren über. Das nennt man Wärmeleitung. Unsere Hand ist wärmer als die Luft und das Wasser. Folglich wird von der Hand Wärme auf das Wasser oder in die Luft abgeleitet.

Die Fähigkeit, Wärme zu leiten, ist aber bei den verschiedenen Stoffen unterschiedlich groß. Wasser hat eine größere Wärmeleitfähigkeit als die Luft. Daher leitet Wasser in gleicher Zeit mehr Wärme aus unserer Haut ab als Luft.

Wir sind daran gewöhnt, daß die Haut unserer Hände ständig eine gewisse Wärmemenge an die sie umgebende Luft normaler Temperatur verliert. Eine bestimmte Wärmeableitung empfinden wir deshalb als normal. Sobald wir jedoch einen Gegenstand berühren, der eine höhere Wärmeleitfähigkeit als die Luft besitzt, empfinden wir diesen Gegenstand als kalt, weil er in derselben Zeit mehr Wärme aus unserer Haut ableitet als Luft von gleicher Temperatur.



Darum fühlt sich zum Beispiel Eisen kälter an als Holz, Glas kälter als Wolle. Einen Stoff mit hoher Wärmeleitfähigkeit bezeichnet man als guten Wärmeleiter, einen Stoff mit geringer Wärmeleitfähigkeit als schlechten Wärmeleiter.

Die Wärmeleitfähigkeit jedes Materials kann in einer Wärmeleitzahl angegeben werden. Besonders gute Wärmeleiter sind die Metalle. Obenan steht das Silber. Setzen wir die Wärmeleitzahl des Silbers gleich 100, so beträgt die des Kupfers 92, die des Stahls 11,8. Glas hat eine Wärmeleitzahl von nur 0,22, Holz von 0,003, Wasser von 0,14, Luft (0 Grad Celsius) von nur 0,006. Wasser leitet Wärme folglich rund 23mal besser, Silber sogar 16 666mal besser als Luft.

Das erklärt, warum heißer Tee oder Kaffee schnell abkühlt, wenn wir einen Silberlöffel hineinstellen. Dieser leitet in kurzer Zeit viel Wärme ab. Wenn die Mutter auf der Gasflamme etwas sehr schonend erhitzen will, damit es nicht anbrennt, legt sie ein Drahtnetz über den Brenner. Der Metalldraht leitet die Wärme so gut ab, daß die Flamme nicht durch das Netz schlagen und auf den Boden des Topfes oder der Pfanne einwirken kann.

Lassen wir, während die Pfanne auf dem Herd über der Flamme steht, eine Gabel auf dem Rand liegen, so können wir sie schon nach kurzer Zeit nicht mehr anfassen, weil sie durch die hohe Wärmeleitfähigkeit des Metalls der Pfanne heiß geworden ist. Auch die Henkel der Töpfe erwärmen sich durch Wärmeleitung. Um sie anfassen zu können, benutzen wir Topflappen. Diese bestehen aus Materialien, die schlechte Wärmeleiter sind.

Der Griff von Töpfen, Topfdeckeln, Pfannen, Bügeleisen und anderen Haushaltgegenständen, die bei ihrem Gebrauch heiß werden, besteht deshalb häufig aus einem Plastwerkstoff, der die Wärme schlecht leitet. Einen sehr schlechten Wärmeleiter nennt man auch Wärmeisolator. Der beste Wärmeisolator ist das Vakuum, der luftleere Raum.

Warum hält Kleidung warm?

Wir sahen, daß Luft ein recht schlechter Wärmeleiter ist. Diesen Umstand nützen wir bei der Kleidung aus. Man sagt manchmal: Kleidung wärmt. Physikalisch betrachtet ist das falsch. Die Kleidung erzeugt keine Wärme. Sie verhindert nur, daß zuviel von der ständig in unserem Körper erzeugten Wärme an die Umgebung abgegeben wird.

Die stark verringerte Wärmeableitung beruht darauf, daß sich in den Stoffen, aus denen die Kleidungsstücke bestehen, unzählige winzige, mit unbewegter Luft gefüllte Hohlräume befinden. Ein Kleidungsstück hält um so wärmer, vermindert den Verlust von Wärme aus unserem Körper an die Umgebung um so stärker, je mehr unbewegte Luft es enthält.

Die Materialien unserer Kleidung dienen hauptsächlich als Gerüst, das die winzigen Hohlräume umschließt, in denen sich der schlechte Wärmeleiter Luft befindet.

Den höchsten Luftgehalt hat Pelz, nämlich 98 Prozent. Könnten wir einen Pelz von 1 Zentimeter Dicke so zusammendrücken, daß er keinerlei mit Luft gefüllte Hohlräume mehr enthält, dann würde er zu einer Folie von 0,2 Millimeter Stärke, also etwa auf die Dicke einer Rasierklinge zusammenschrumpfen. Wollflanell hat 89, Baumwoll-Trikot 85, Sommer-Kammgarn 72 und Leinen nur 49 Prozent Luftgehalt. Leinen wird deshalb auf der Haut bereits als kühl empfunden.

Auch die Wärmeverluste unserer Wohnung schränken wir mit Hilfe der Luft ein. Alle neueren Gebäude haben deshalb Fenster mit zwei Glasscheiben. Die zwischen den inneren und äußeren Scheiben befindliche Luft vermindert die Wärmeausbreitung von der Wohnung an die kältere Außenluft.

Wenn wir Kleidung wegen der darin befindlichen Luft tragen, warum gehen wir dann nicht einfach nackt? Wenn wir nichts anhaben, ist unsere Haut doch auch überall von dem schlechten Wärmeleiter Luft umgeben?

Bisher haben wir nur **eine** Form der Wärmeausbreitung kennengelernt, die Wärmeleitung. Sie beruht darauf, daß die schneller bewegten Moleküle des wärmeren Stoffes die langsamer bewegten Moleküle des angrenzenden kälteren Stoffes gleichfalls zu schnellerer Bewegung anstoßen.

Eine zweite Form der Wärmeausbreitung ist die Wärmeströmung. Durch sie gelangt Wärme von einem Ort zum anderen, indem ein erwärmter Stoff von einem Ort zum anderen strömt. Wenn im Keller eines zentral-geheizten Hauses das Wasser im Kessel erhitzt wird, strömt das heiße Wasser nach oben in die Heizkörper



der einzelnen Stockwerke. Durch Wärmeleitung breitet sich die Wärme vom Wasser auf die Heizkörper aus. Diese erwärmen schließlich die Luft in der Nähe der Heizkörper. Die erwärmte Luft strömt von hier aus in die anderen Teile des Raumes. Es wird allmählich im ganzen Raum warm.

Luft ist dauernd in strömender Bewegung. Im Zimmer ist die Luftströmung zwar nicht so stark wie im Freien, aber unbewegt bleibt die Luft auch hier nicht. Was würde nun geschehen, wenn wir keine Kleidung trügen? Durch Wärmeleitung und noch eine weitere Form der Wärmeausbreitung, die wir später kennenlernen, erwärmt sich ständig die unmittelbar an unsere Haut grenzende Luft. Die so erwärmte Luft bleibt aber nicht an der Haut, sondern strömt ab. An ihre Stelle strömt kältere Luft nach. Sie wird von unserer Haut ebenfalls erwärmt, strömt wieder fort und so weiter. Durch diesen ständigen Wärmeverlust würden wir schnell anfangen zu frieren.

Die meisten Menschen erkälten sich viel häufiger, als es unvermeidlich wäre. Schuld daran ist die Gewohnheit. Wenn es viele Tage lang warm war, haben wir eine geeignete Kleidung von geringer Wärmeisolation



angezogen. Wenn aber plötzlich von einem Tag zum anderen eine starke Abkühlung eintritt, tragen wir die leichte Kleidung aus Gewohnheit trotzdem weiter – und schon haben wir einen Schnupfen oder noch etwas Schlimmeres.

Bevor wir uns morgens ankleiden, sollten wir daher aufs Thermometer schauen. Noch besser ist es, schon am Abend des Vortages den Wetterbericht zu hören und die für die angekündigte Temperatur des folgenden Tages passende Kleidung zurechtzulegen. Ein Blick aufs Thermometer am nächsten Morgen ist freilich trotzdem angebracht. Denn manchmal irren sich die Meteorologen.

Dabei können wir noch einen Fehler begehen, nämlich den, sich **ausschließlich** nach dem Thermometer zu richten. Da Wärme nicht nur durch Wärmeleitung, sondern, wie wir jetzt wissen, auch durch Wärme-strömung „transportiert“ wird, entzieht starker Wind unserem Körper ebenfalls viel Wärme. Bei 15 Grad Celsius und starkem Wind müssen wir uns daher wärmer anziehen als bei 15 Grad Celsius und nur



schwacher Luftbewegung. Schauen wir deshalb nicht nur aufs Thermometer, sondern auch auf die Bäume, an deren Blättern und Zweigen wir die Stärke des Windes abschätzen können.

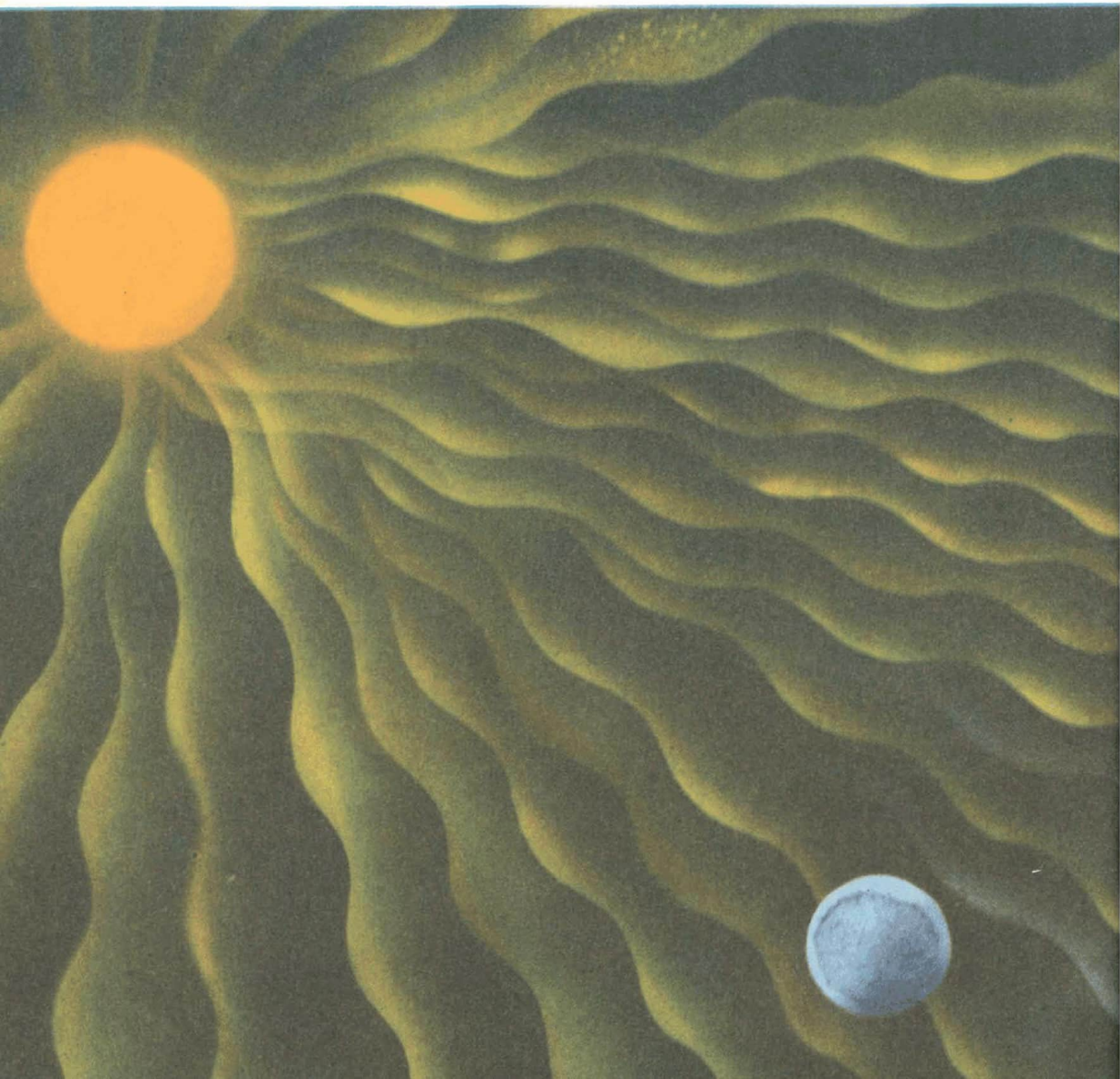
Warum kühlt ein Ventilator?

Diese Frage zu beantworten ist jetzt nicht mehr schwer. Je heftiger die Luftströmung, desto mehr Wärme wird in gleicher Zeit durch die Luftströmung von unserer Haut abtransportiert. Setzen wir uns in den Luftstrom eines Ventilators, so streicht die von ihm in Bewegung gesetzte Luft mit hoher Geschwindigkeit an unserer Haut vorüber und entzieht ihr große Wärmemengen. Falls wir einen Ventilator zu Hause haben, können wir ein interessantes Experiment durchführen! Es wird gesagt: Der Ventilator kühlt. Was bedeutet das physikalisch? Senkt der Ventilator die Temperatur der Luft, kühlt er sie also im buchstäblichen Sinne? Viele Leute meinen das.



Wir stellen etwa in der Mitte des Raumes den Ventilator auf und in seinen Luftstrom ein Thermometer. Nach einigen Minuten lesen wir die Temperatur ab. Zur Kontrolle stellen wir danach dasselbe oder – besser – ein zweites Thermometer gleichzeitig in derselben Höhe über dem Fußboden an einem anderen Punkt des Raumes auf. Das zweite Thermometer darf sich nicht am Ofen, am Fenster oder an der Wand befinden, denn dort können Temperaturen herrschen, die von denen an anderen Punkten des Raumes abweichen. Auch die Sonne darf auf keines der beiden Thermometer scheinen.

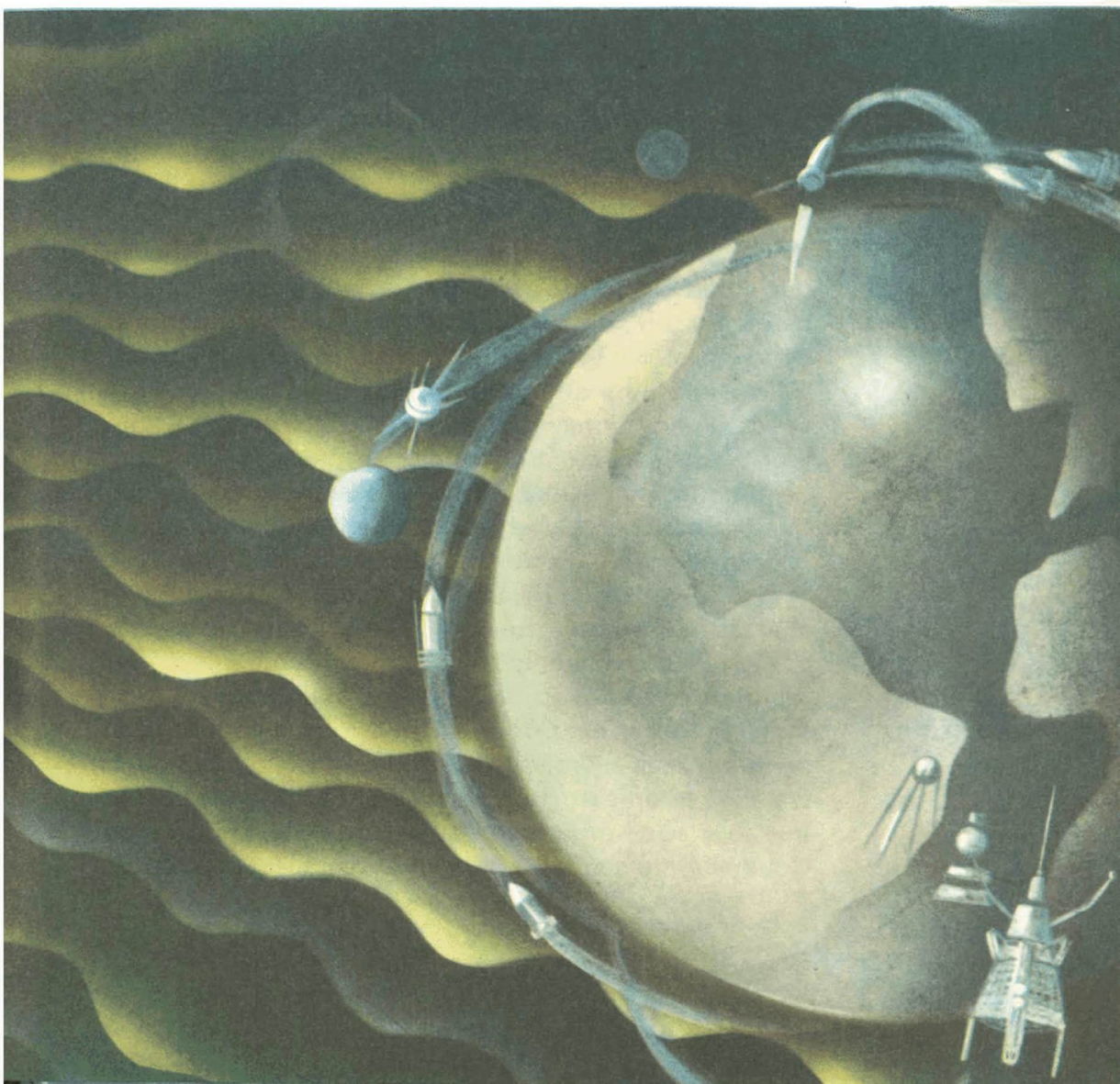
Wir stellen fest: Beide Messungen ergeben die gleiche



Temperatur. Die Luft, die uns der Ventilator zuströmt, ist also gar nicht kälter als die übrige Luft im Zimmer. Wir empfinden sie nur deshalb als kühl, weil mit der heftigen Luftströmung unserer Haut viel Wärme entzogen wird.

Stellen wir an einem warmen Sommertag, an dem es draußen wesentlich wärmer als im Zimmer ist, den Ventilator so vor das Fenster, daß er warme Außenluft ins Zimmer befördert, dann kann die Temperatur im Luftstrom des Ventilators sogar höher als die der Zimmerluft sein. Trotzdem empfinden wir sie als kühl. So stark wirkt sich der „Abtransport“ von Wärme aus unserer Haut durch die Wärmeströmung aus.

Fast sämtliche an der Erdoberfläche vorhandene Wärme stammt von der Sonne und wird über 150 Millionen Kilometer Entfernung durch den Weltraum zu uns gestrahlt



Warum wärmt die Sonne?

Die Sonne ist von der Erde rund 150 Millionen Kilometer entfernt. Das ist etwa 375mal weiter als von der Erde zum Mond. Der Weltraum zwischen Erde und Sonne ist luftleer. Es befinden sich dort auch keine anderen nennenswerten Mengen Stoff. Deshalb kann sich Wärme von der Sonne weder durch Wärmeleitung noch durch Wärmeströmung zur Erde ausbreiten. Trotzdem erwärmt die Sonne die Erde. An jedem Sommertag spüren wir das deutlich, wenn die Sonne auf unsere Haut scheint, das Pflaster der Straße und andere Gegenstände erwärmt. Wie ist das zu erklären?

Es gibt noch eine dritte Art der Wärmeausbreitung, die Wärmestrahlung. Sämtliche Wärme, die von der Sonne zur Erde gelangt, wird auf diese Weise „transportiert“. Wärmestrahlung durchdringt auch den luftleeren Weltraum. Damit kennen wir jetzt alle drei Arten der Wärmeausbreitung: Wärmeleitung, Wärmeströmung, Wärmestrahlung.

Die Sonne strahlt riesige Wärmemengen zur Erde. In der Kohle, dem Erdöl, dem Erdgas und anderen brennbaren Stoffen, die im Ofen oder im Kraftwerk verheizt werden, ist die Wärmestrahlungsenergie gespeichert, welche die Sonne in vielen Millionen Jahren zur Erde sandte. Die damaligen Pflanzen haben die Strahlungswärme der Sonne dafür ausgenutzt, um bestimmte chemische Stoffe aufzubauen, aus denen die Blätter, Zweige und Stämme der Bäume und Sträucher bestehen. Die abgestorbenen und in die Erde versunkenen Baumstämme und anderen Pflanzenteile sind zu Kohle geworden. Wird die Kohle verbrannt, vollziehen sich chemische Vorgänge, bei denen wieder Wärme frei wird.

Aber nicht nur die Sonne sendet Wärmestrahlen aus, sondern jeder Körper. Wir erfuhren bereits, daß auch die Erde Wärmestrahlen in den Weltraum sendet. Nicht nur so große Körper wie Sonne und Erde, auch kleine Gegenstände senden Wärmestrahlen aus. Die Wärme,

die unsere Haut ausstrahlt, können wir spüren, wenn wir die flache Hand sehr dicht neben unsere Wange halten.

Wärmestrahlen nennt man auch Infrarotstrahlen. Sie sind von gleicher Natur wie Lichtstrahlen, nur haben Wärmestrahlen eine größere Wellenlänge als Licht. Lichtstrahlen können wir sehen, Wärmestrahlen sind für unser Auge unsichtbar. Es gibt aber spezielle Filme und -platten, die für Wärmestrahlen empfindlich sind. Mit ihrer Hilfe kann man Gegenstände bei völliger Dunkelheit fotografieren. Der Ofen, die Zentralheizung und die im Raum befindlichen Menschen sind auf einem solchen Foto deutlich zu erkennen. Die verschiedenen Körperteile des Menschen senden eine unterschiedlich starke Wärmestrahlung aus, die Gesichtshaut zum Beispiel mehr als die Augäpfel. Deshalb ist auf einem Infrarotfoto das Gesicht kalkweiß abgebildet, während die Augen als schwarze Punkte gespenstisch aus dem Gesicht starren.

Es gibt Nachtsichtgeräte, welche die auftreffenden unsichtbaren Wärmestrahlen in sichtbare Lichtstrahlen umwandeln. Solche Geräte werden unter anderem in der Landesverteidigung verwendet. Auf dem Bildschirm des Nachtsichtgeräts erkennt man die im Dunkeln heranschleichenden Feinde.

Warum wärmt der Ofen?

Ein Ofen wärmt unser Zimmer durch alle drei Arten der Wärmeausbreitung: Wärmeleitung, -strömung und -strahlung. Infolge Wärmeleitung wird die unmittelbar an den Ofen angrenzende Luft erwärmt. Sie dehnt sich aus, ihre Dichte nimmt ab, sie wird daher leichter als die sie umgebende kühlere Luft und steigt nach oben. Von unten und von den weiter vom Ofen entfernten Stellen strömt kalte Luft nach, die jetzt ebenfalls erwärmt wird, aufsteigt, so daß kalte Luft nachströmt und so fort. Ein guter und zweckmäßig aufgestellter Ofen setzt im Zimmer eine Luftströmung in Gang.



Erwärmte Luft steigt nach oben. Durch diese Luftströmung wird die Weihnachtspyramide in Drehung versetzt

Wenn wir eine Weihnachtspyramide auf den warmen Ofen oder Heizkörper stellen, können wir den von der Heizung nach oben gerichteten Luftstrom mittelbar sehen. Denn der Luftstrom versetzt die Pyramide in Drehung.

Eine besonders wirksame Luftströmung, welche die Wärme überall im Raum verteilt, entsteht, wenn sich die Heizkörper unter dem Fenster befinden. Man setzt sie also nicht deshalb unter die Fenster, weil sie dort am wenigsten stören, sondern weil sie von dort aus die beste Wirksamkeit entfalten.

Befände sich der Heizkörper zum Beispiel an der dem Fenster gegenüberliegenden Wand, so würde dort die erwärmte Luft aufsteigen, an der Decke entlangströmen, sich an der Fensterseite abkühlen und somit dort nach unten sinken. Von hier aus würde sie als stark abgekühlte Luft am Boden entlang wieder zum Heizkörper strömen.

Steht der Heizkörper unter dem Fenster, so erwärmt er die am Fenster befindliche kühle Luft. Sie steigt zur Decke auf, kühlt sich dabei etwas ab und sinkt – noch hinreichend warm – zu Boden. Von hier aus gelangt sie schließlich erneut zum Heizkörper, und der Kreislauf beginnt von vorn.

In einem geheizten Zimmer ist die Luft in verschiedenen Höhen unterschiedlich warm. Das können wir mit einem Thermometer nachprüfen. Am Boden ist die Temperatur am niedrigsten, mit zunehmender Höhe steigt sie an.

Die Wärmestrahlung, die von einem Kachelofen ausgeht, ist nicht groß. Besonders gering ist sie bei weißen und glatten Kacheln. Ob eine Fläche hell oder dunkel, glatt oder rau ist, beeinflusst sowohl die Aufnahme als auch die Ausstrahlung von Wärme. Die Aufnahme von Wärmestrahlung nennt man Absorption. Das Verb dazu heißt absorbieren. Dunkle und raue Oberflächen absorbieren Wärmestrahlen stark und strahlen umgekehrt auch Wärme besser aus als helle und glatte Flächen. Am zweckmäßigsten sind daher dunkle und raue Ofenkacheln.

Für die Heizkörper gilt das gleiche. Im Experiment konnte man feststellen, daß eine mattschwarze Oberfläche der Heizkörper fast 2,5mal so stark Wärme ausstrahlt als eine weißglänzende. Nun sehen schwarze Heizkörper freilich nicht schön aus. Eine Kompromißlösung zwischen Schönheit und Zweckmäßigkeit sind dunkelbraune Heizkörper mit rauhem Farbanstrich. Farbe und Rauigkeit der Oberfläche spielen auch bei der Kleidung eine große Rolle. Im Sommer tragen wir weiße oder helle Garderobe, weil sie die Wärmestrahlen der Sonne wenig absorbiert und stark reflektiert, zurückwirft. Bei schwarzer oder dunkler Kleidung ist es umgekehrt. Messungen ergaben, daß ein schwarzer Anzug, an einem sonnigen und windstillen Hochsommerstag getragen, die Temperatur der menschlichen Haut bis auf 55 Grad Celsius steigern kann. Der Organismus muß dann alle Anstrengungen aufbieten, um bei diesem Übermaß von Wärmezufuhr die normale Körpertemperatur von 37 Grad Celsius zu halten. Wir sind „in Schweiß gebadet“.

Ein Kachelofen erwärmt sich nur langsam und gibt auch die Wärme nur langsam nacheinander an die Luft des Raumes ab. Die Wärme bleibt in den Kacheln lange Zeit gespeichert. Mit einem Kachelofen können wir daher die Luft im Raum zwar nicht schnell, aber nachhaltig erwärmen. Dagegen heizt ein eiserner Ofen sehr schnell. Doch wenn sein Feuer erloschen ist, wird er ebenso schnell wieder kalt, und auch die Luft im Zimmer kühlt sich rasch ab, weil der Ofen keine Wärme mehr nachliefert. Ein weiterer Unterschied: Der eiserne Ofen sendet starke, ein Kachelofen nur schwache Wärmestrahlen aus. Wärmestrahlung wirkt sofort, aber sie wirkt nicht nach. Es gibt auch Heizgeräte, die nur durch Wärmestrahlung heizen, die Infrarotstrahler. Sie werden häufig im Badezimmer benutzt.

Sobald wir den Infrarotstrahler, der elektrische Energie in Wärmestrahlung umwandelt, einschalten, spüren wir die Wärme auf der Haut. Da sich Infrarotstrahlen wie Licht ausbreiten, müssen wir uns dabei im Strahlenkegel befinden. Außerhalb davon bleibt es kalt. Selbst

im Strahlenkegel wird die Luft durch den Strahler erst nach langer Zeit erwärmt, weil sie nur wenig Infrarotstrahlen absorbiert. Unsere Haut und viele andere Gegenstände absorbieren dagegen Wärmestrahlen sehr gut. Mit einem Infrarotstrahler erwärmen wir deshalb unsere Haut direkt, ohne die uns umgebende Luft merklich mit zu erwärmen.

Warum hält die Isolierflasche warm?

Beim Heizen sind wir daran interessiert, daß sich die Wärme vom Ofen oder Heizkörper möglichst gut ausbreitet und im ganzen Raum verteilt. Eine Isolierflasche soll den genau umgekehrten Zweck erfüllen, nämlich die Ausbreitung von Wärme aus dem Innern der Flasche an die Umgebung verhindern. Denn alle Wärme, die nach außen abgegeben wird, geht dem Kaffee oder dem Tee verloren, der sich in der Flasche befindet. Eine Isolierflasche muß alle drei Arten der Wärmeausbreitung so stark wie möglich einschränken.

Die Wärmeleitung wird dadurch vermindert, daß die Isolierflasche aus einem Material von geringer Wärmeleitfähigkeit besteht, beispielsweise aus Glas. Zum Schutz gegen Schlag oder Stoß wird das Glasgefäß mit einer Metall- oder Plasthülle ummantelt. Wenn Glas auch ein schlechter Wärmeleiter ist, so würde nach geraumer Zeit die Wärme trotzdem an die Ummantelung der Flasche und von hier aus an die sie umgebende Luft abgeleitet.

Um das zu verhindern, ist das Glasgefäß doppelwandig. Zwischen den beiden Wänden befindet sich ein Hohlraum. Aus ihm ist die Luft abgesaugt und danach die Absaugöffnung luftdicht zugeschmolzen. Ein luftleerer Raum, ein Vakuum, ist der beste Wärmeisolator, den es gibt. Das Vakuum unterbricht die Wärmeleitung nach außen und die Wärmeströmung.

Nun könnte dennoch Wärme durch Strahlung verlorengehen. Das wird bei der Isolierflasche stark eingeschränkt, indem man die Glasoberfläche, die an den

Hohlraum grenzt, wie einen Spiegel mit einem Stoff beschichtet, der Wärmestrahlen (und Lichtstrahlen) reflektiert. Die Wärmestrahlen, die von dem Inhalt der Flasche ausgesandt werden, treffen auf diese Schicht und werden immer wieder in das Innere der Isolierflasche zurückgeworfen.

Durch die Einschränkung aller dieser Wärmeverluste bleiben die Speisen und Getränke in der Isolierflasche mehrere Stunden lang warm, aber nicht unbegrenzte Zeit. Denn ganz lassen sich die Wärmeverluste schon deshalb nicht verhindern, weil die Isolierflasche zum Ein- und Ausgießen eine Öffnung haben muß, die nicht von einem Vakuum umschlossen werden kann. Durch die Öffnung entweicht, auch wenn sie zugedreht ist, laufend etwas Wärme.

Die Isolierflasche vermag Getränke nicht nur warm, sondern auch kühl zu halten, denn die Wärmeausbreitung wird sowohl nach außen als auch nach innen eingeschränkt.

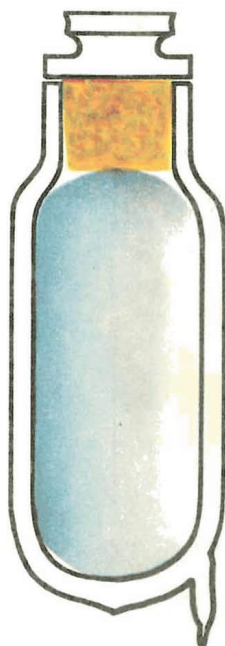


Warum schwitzt der Mensch?

Um Wasser zu verdampfen, also aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand zu überführen, müssen ihm große Mengen Wärme zugeführt werden. Das gilt nicht nur für das schnelle Verdampfen, bei dem man Wasser auf Siedetemperatur erhitzt, sondern auch für das langsame Verdunsten bei normalen Temperaturen.

Umgekehrt: Wenn Wasserdampf kondensiert, aus dem gasförmigen in den flüssigen Zustand zurückkehrt, wird sogenannte Kondensationswärme frei. Doch sie soll uns hier nicht weiter beschäftigen.

Wenn es sehr warm ist und wir uns etwas abkühlen möchten, sind wir nicht an der Erzeugung, sondern am Verbrauch von Wärme interessiert. Ein solcher Wärmeverbrauch findet statt, wenn Schweiß – er besteht zu 99 Prozent aus Wasser – auf unserer Haut verdunstet. Die zur Verdunstung notwendige Wärme wird der Haut entzogen, die dadurch etwas abkühlt.



Je mehr Schweiß in einer bestimmten Zeit auf der Haut verdunsten kann, desto mehr Wärme wird verbraucht und der Haut entzogen. Wieviel Schweiß verdunstet, das hängt vor allem von der Temperatur und der Stärke der Luftströmung ab. Je höher die Temperatur und je schneller die Luft an unserer Haut vorüberströmt, desto mehr Schweiß verdunstet in gleicher Zeit.

Das gilt für alle Flüssigkeiten. Eine Wasserpfütze auf der Straße trocknet schneller ein, wenn es warm und windig ist, und die Wäsche auf der Leine trocknet rascher bei Sonnenschein und Wind.

Wenn wir im Sommer nach dem Baden aus dem Wasser steigen und nicht sofort das an der Haut haftende Wasser mit dem Handtuch abtrocknen, können wir uns erkälten, falls ein heftiger Wind weht. Denn durch die schnelle Wasserverdunstung werden dem Körper in kurzer Zeit große Wärmemengen entzogen.

Hunde haben keine Schweißdrüsen auf der Oberhaut. Sie verdunsten das Wasser auf ihrer Zunge und auf den Schleimhäuten ihres Mauls. Darum hecheln sie bei großer Hitze. Um die Verdunstung zu steigern, lassen die Tiere durch sehr schnelles abwechselndes Ein- und Ausatmen viel Luft über die Zunge und durch das Maul hin- und herströmen.

Enthält die Luft bereits viel Wasserdampf, herrscht also hohe relative Luftfeuchtigkeit, so verlangsamt sich die Verdunstung. Das Kühlen der Haut, das Trocknen der Wäsche gehen dann langsam vonstatten.

Ist die Luft dagegen sehr trocken, so daß sie das verdunstende Wasser begierig aufnimmt, trocknet die Wäsche schneller, und das Abkühlen des Körpers durch Schwitzen verläuft wirkungsvoller. Darum empfinden wir 30 Grad Celsius in trockener Luft als weniger unangenehm gegenüber 25 Grad Celsius bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit.



Die Wasserverdunstung hängt also von vielen Faktoren ab: von der Temperatur, der Luftströmung und auch von der relativen Luftfeuchtigkeit.

Welch große Mengen Schweiß bei hoher Temperatur und trockener Luft auf der Haut verdunsten, geht aus einem Bericht von DDR-Wissenschaftlern hervor, die an einer internationalen Rettungsaktion von Altertümern im Sudan teilnahmen. Sie arbeiteten in der Wüste bei Temperaturen bis zu 50 Grad Celsius. Um die großen Wasserverluste, die durch das Schwitzen eintraten, wieder auszugleichen, mußten die Wissenschaftler täglich bis zu 7 Liter Wasser oder Tee trinken.



Inhaltsverzeichnis

Wie entstehen die Wolken?	5
Wann bilden sich Kondensstreifen am Himmel?	13
Woher kommen Tau und Reif?	15
Warum schweben die Wolken?	17
Wie entstehen Regen und Schnee?	27
Warum bringt ein Hoch Schönwetter?	31
Wodurch entstehen Schönwetter-Wolken?	34
Warum ist es auf Bergen kühler als im Tal?	38
Wie entstehen Gewitter?	44
Was sind Blitz und Donner?	49
Warum bringt ein Hoch im Winter kaltes, im Sommer warmes Wetter?	50
Warum kann man das Wetter vorhersagen?	56
Was ist Wärme?	60
Wie funktioniert das Thermometer?	63
Warum sprengt gefrorenes Wasser eine Flasche?	65
Warum schwimmt Eis auf dem Wasser?	66
Warum kühlt ein Silberlöffel heißen Tee?	70
Warum hält Kleidung warm?	73
Warum kühlt ein Ventilator?	77
Warum wärmt die Sonne?	80
Warum wärmt der Ofen?	81
Warum hält die Isolierflasche warm?	84
Warum schwitzt der Mensch?	85

Warum entstehen Wolken, und warum schweben sie in der Luft? Wie kommt es, daß Regen, Schnee und Hagel fallen, daß es beim Gewitter blitzt und donnert? Warum kann man das Wetter vorhersagen? Woher stammt die Wärme auf unserer Erde, und warum hält die Kleidung warm? – Auf die Frage nach den Ursachen solcher und vieler anderer Naturerscheinungen gibt dieses Buch Antwort.

