

Stefan Rahmstorf

# **Wolken, Wind & Wetter**

**Alles, was man über Wetter  
und Klima wissen muss**

Illustriert von Klaus Ensikat

Deutsche Verlags-Anstalt

*Für Laia und Milan*



**Stefan Rahmstorf,**

geboren 1960, ist Klimaforscher und Professor für Physik der Ozeane am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Nach dem Physikstudium in Konstanz und Ulm verbrachte er vier Jahre in Neuseeland und nahm an Forschungsfahrten im Südpazifik teil. Er ist Mitglied im Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltänderungen der Bundesregierung.

**Klaus Ensikat,**

geboren 1937 in Berlin, studierte an der Berliner Hochschule für angewandte Kunst und gilt als »ungekrönter König der Buchillustratoren«. Er hat bereits mehrere Kinder-Uni-Bände illustriert. 2010 wurde er für sein Lebenswerk mit dem Großen Preis der Deutschen Akademie für Kinder- und Jugendliteratur e.V. ausgezeichnet.

## Inhalt

Kapitel 1

**8 Wer hat Angst vor Gewittern?**

*In diesem Kapitel geht es um die Extreme des Wetters, von heftigen Sommergewittern bis zu eisigen Schneestürmen.*

Kapitel 2

**36 Wieso ist die Erde nicht tiefgefroren?**

*Im zweiten Kapitel wird die Wärmebilanz unserer Erde erklärt – was bestimmt die globalen Temperaturen?*

Kapitel 3

**62 Ruht der Wind sich jemals aus?**

*Hier lernen wir die Atmosphäre und den Ozean mit ihren Winden und Strömungen kennen.*

Kapitel 4

**94 Warum sind die Wolken flauschig?**

*Im vierten Kapitel dreht sich alles um den Wasserkreislauf: um Wolken, Regen und Schnee.*



#### Kapitel 5

### 130 Können am Nordpol Bäume wachsen?

*In diesem Kapitel erfahren wir, wie Pflanzen und Tiere mit dem Klima zurechtkommen, und wir machen eine Zeitreise durch Eiszeiten und Heißzeiten in der Erdgeschichte.*

#### Kapitel 6

### 158 Wieso wird es immer wärmer?

*Im sechsten Kapitel geht es um die globale Erwärmung der letzten hundert Jahre und ihre Ursachen.*

#### Kapitel 7

### 184 Die nächsten hundert Jahre

*Dieses Kapitel verrät uns, welche Klimaänderungen wir in diesem Jahrhundert zu erwarten haben – und was wir tun können, um die globale Erwärmung zu stoppen.*

#### Anhang

### 220 Das Meteorologische Observatorium in Potsdam

### 221 Wetter und Klima im Internet



Kapitel I

## Wer hat Angst vor Gewittern?

Wer fürchtet sich nicht, wenn draußen Blitze zucken und Donner krachen? Wahrscheinlich ist das eine im Menschen angelegte Urangst, die schon die Neandertaler kannten. Auch Hunde verkriechen sich bei Gewitter gern mal unter dem Sofa. Psychologen haben sogar einen Namen für diese Angst: Brontophobie.

Andererseits: Sind Gewitter nicht ein wundervolles Naturschauspiel, das wir – vom sicheren Haus oder Auto aus – staunend genießen können? Mit einem Kribbeln im Bauch und dem Gefühl, auf einem tollen Planeten zu leben?

Die Lufthülle unserer Erde hat ein ganzes Arsenal von spektakulären Tricks auf Lager, mit denen sie uns in ehrfürchtiges Staunen versetzen oder das Fürchten lehren kann. Einige der wildesten Sachen lernen wir in diesem Kapitel kennen!



**Graue Wolken ballen sich** jenseits des Sees am Horizont zusammen. An ihrer Oberseite sind sie noch hell von der Sonne beschienen, doch nach unten werden sie immer dunkler. Schaut man eine Weile zu, dann sieht man, wie der obere, helle Teil nach oben steigt, wie sich immer neue Wolkengebilde auftürmen. Es brodeln fast wie in einem Kochtopf – allerdings in Zeitlupe. Allmählich kommt die düstere Wolkenwand immer näher, die Sonne verfinstert sich, und die Stimmung des heiteren Sommernachmittags kippt plötzlich ins Bedrohliche. Erstes Donnern erklingt, zunächst noch von fern. Auf einmal fegen starke Windböen über den See, wühlen das Wasser auf und färben es dunkel. Die Sturmwarnleuchten blinken. Blitze zucken aus dem Himmel, der Donnerschlag folgt fast sofort. Der Wind hat wieder nachgelassen, aber nun fängt es an, heftig zu regnen oder gar zu hageln.

Oft habe ich vom Balkon meiner Eltern aus die Entwicklung eines Gewitters beobachtet; dort hat man einen Logenplatz und kann einen großen Teil des Bodensees überblicken. Ein heftiges Gewitter aus der Nähe zu erleben ist ein eindrucksvolles Naturschauspiel. Man fühlt sich als Mensch ganz klein angesichts der zuckenden Blitze und der gewaltigen Donnerschläge um einen herum. Viele Menschen, aber auch Haustiere haben Angst bei Gewittern. Früher wurden Gewitter als Zeichen von Gottes Zorn gedeutet. Die Germanen glaubten, der Gott Thor habe seinen Hammer zur Erde herabgeschleudert.

Die Bauern freuen sich nicht unbedingt über Gewitter, schließlich kann es ihnen den Salat oder die Tomaten verhageln. Aber manche Windsurfer nutzen die

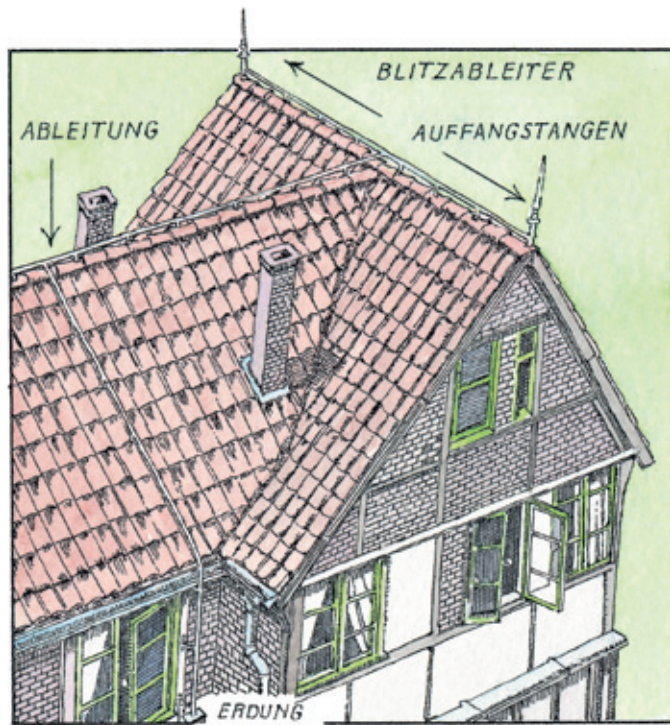
Böen vor dem Gewitter umso lieber, um in rasender Fahrt über das Wasser zu jagen. Das ist allerdings nicht ungefährlich: Wenn Blitz und Donner näher kommen, sollte man schleunigst die Wasserfläche verlassen. Über die Gefahren eines Gewitters werden wir noch sprechen. Zunächst wollen wir aber verstehen, was ein Gewitter ist und wie es überhaupt dazu kommt.

### Wieso blitzt und donnert es bei Gewitter?

Jedes Kind weiß, was ein Gewitter ist: Gewitter ist, wenn es in der Luft blitzt und donnert. Ein Blitz ist eine elektrische Entladung – ein Funkenprung zwischen einer Wolke und dem Erdboden oder zwischen zwei Wolken. Der berühmte Naturforscher Benjamin Franklin konnte das im Jahr 1752 beweisen, indem er zusammen mit seinem Sohn einen Drachen in heraufziehende Gewitterwolken steigen ließ. Über die Drachenschnur konnte er einen daran befestigten metallenen Schlüssel elektrisch aufladen, sodass der dann Funken schlug. Ein gefährliches Experiment! Wäre ein Blitz in den Drachen eingeschlagen, hätte Franklin das wohl mit seinem Leben bezahlt. Als praktische Anwendung erfand Franklin sogleich den Blitzableiter, den man heute in verbesserter Form an vielen Gebäuden findet. Ein Blitzableiter ist aus Metall und ragt über das Dach eines Hauses hinaus. So zieht er einen Blitz an, der sonst am und im Haus großen Schaden angerichtet hätte, und leitet ihn sicher in den Boden.

Strom besteht aus Elektronen – das sind winzige Teilchen, die negative elektrische Ladung tragen und in allen Atomen um den positiv geladenen Atomkern herumsausen. Also auch in den Wolken. Bei Gewittern trennen sich die positiven und negativen Ladungen: Die





### Blitze selbst gemacht

Blast einen Luftballon auf und reibt einen Wollpullover daran. Auf diese Weise wird der Ballon elektrisch geladen. Jetzt setzt den Ballon in ein Salatsieb aus Edelstahl, das auf einem trockenen Glas steht (zur Isolierung). Wenn man nun langsam einen Finger dem Griff des Salatsiebs nähert, springt ein kleiner Funke über – ein Mini-Blitz! Im Dunkeln kann man ihn sehen.

Oberseite der Wolken lädt sich meist positiv auf, die Unterseite dagegen negativ. So entsteht eine elektrische Spannung: eine Art Anziehungskraft auf die Elektronen, die umso größer wird, je größer der Unterschied in der Ladung ist. Wenn die Spannung unerträglich groß wird, entlädt sie sich ganz plötzlich in einem Blitz. So ähnlich wie sich manchmal Spannungen zwischen zwei Geschwistern aufbauen, die sich dann in einem heftigen Streit entladen! Na ja, eigentlich doch ganz anders. Die Spannung zwischen dem Erdboden und einer Gewitterwolke kann hundert Millionen Volt betragen – dagegen ist die Spannung an einer Steckdose mit 220 Volt nur ein Mückenschiss.

Wie die Ladungen in einer Gewitterwolke getrennt werden, weiß man noch nicht so genau – aber es hat etwas mit den heftigen Luftbewegungen und der damit verbundenen Reibung in einer solchen Wolke zu tun.

Wie Reibung zu elektrischer Aufladung führen kann, kann jeder selbst ausprobieren: Wenn man einen Wollpullover an einem Stück Plastik reibt, kann man winzige Funken erzeugen. Deshalb knistert es auch manchmal, wenn man einen Pullover auszieht.

Bei einem Gewitterblitz fließt der Strom durch einen sogenannten Blitzkanal, der etwa einen Zentimeter dick ist. Der Blitzkanal bahnt sich einen zackigen, verzweigten Weg von der Wolke zur Erde oder zwischen den Wolken. Die Luft wird dort unvorstellbar heiß: 30 000 Grad Celsius. Das ist fünfmal so heiß wie die Oberfläche der Sonne! Derart heiße Gase leuchten – so entsteht der helle Lichtblitz. Der Stromstoß dauert nur einen Sekundenbruchteil an. Meist gibt es kurz hintereinander mehrere Entladungen durch denselben Blitzkanal, daher sieht man Blitze flackern.

Der Donner kommt auch von der plötzlichen Erhitzung der Luft. Sie dehnt sich dabei explosionsartig aus und fängt an zu schwingen, so wie eine Glocke schwingt, wenn man dagegen schlägt. Schallwellen sind ja einfach nur Luftschwingungen.

Der Schall saust mit einem Tempo von 330 Metern pro Sekunde durch die Luft – er braucht also ziemlich genau drei Sekunden für einen Kilometer. Das klingt schnell, aber Licht ist noch viel schneller: In einer Sekunde kann Licht gleich siebenmal um die ganze Erde fliegen! Den Blitz sehen wir deshalb praktisch sofort, aber den Donner dazu hören wir erst später. Wenn man die Sekunden zwischen Blitz und Donner zählt und durch drei teilt, dann weiß man, wie viele Kilometer entfernt der Blitz war. Dauert es weniger als 15 Sekunden, dann ist das Gewitter keine 5 Kilometer mehr entfernt und man ist schon in der Gefahrenzone, in der der nächste Blitz einschlagen könnte.



### Wie die Wetterküche ein Gewitter kocht

Um ein richtiges Gewitter zu machen, braucht die Natur drei Zutaten. Die erste Zutat ist Wasserdampf (also feuchte Luft) in Bodennähe. Der Wasserdampf ist der Sprit, aus dem das Gewitter Energie bezieht. Zweitens muss die Luft nach oben hin rasch kälter werden, das heißt, in Bodennähe muss sie viel wärmer sein als in einigen Kilometern Höhe. Als dritte Zutat muss etwas die feuchte Luft vom Boden hochheben.

Was dann passiert, ist eine spannende Kettenreaktion: Eine Blase feuchter Luft steigt auf. Dabei kühlt sie sich ab, denn nach oben hin nimmt der Druck ab und die Luft dehnt sich aus. Ihr kennt den umgekehrten Effekt von der Luftpumpe: Drückt man darin Luft zusammen, wird sie warm. Kalte Luft kann aber weniger Wasserdampf halten – ein Teil des Wasserdampfes wird deshalb flüchtig, und es bilden sich Wassertröpfchen. Das sind die Wolken, die wir vom Boden aus sehen. Wenn Wasserdampf flüchtig wird, wird Wärme frei – umgekehrt muss man Wärme hineinstecken, um flüssiges Wasser zu verdunsten, also in Wasserdampf umzuwandeln. Wärme ist eine Form von Energie, und Energie bleibt insgesamt immer erhalten, sie verschwindet niemals, sie verwandelt sich nur – darüber reden wir noch im nächsten Kapitel.

Zurück zur aufsteigenden Luft: Die freigesetzte Wärme aus dem Wasserdampf macht die aufsteigende Luftblase wärmer als die Luft drum herum und damit auch leichter. Nun steigt sie erst recht auf, so wie ein Heißluftballon, nur ohne die Stoffhülle. Dabei wird noch mehr Wasserdampf in Tröpfchen umgewandelt und es wird noch mehr Wärme frei, die Luft steigt noch schneller – bis aller Wasserdampf verbraucht ist. Jetzt ist klar, weshalb wir den Wasserdampf den Sprit genannt

haben, dessen Energie die Gewitterküche befeuert. Es brodeln nun richtig in der Luft, Luftblasen und Wolken steigen heftig nach oben.

Außer Blitz und Donner entsteht dabei auch starker Regen, denn die vielen entstandenen Wassertröpfchen fallen irgendwann herunter. Die rasch aufsteigende Luft hebt die Wassertröpfchen aber vorher manchmal in so große Höhen, dass sie gefrieren, weil es dort oben so kalt ist. Wenn die gefrorenen Tröpfchen schließlich herunterfallen, dann hagelt es bei uns unten am Erdboden. In seltenen Fällen können Hagelkörner gefährlich groß werden. Das schwerste, das je gefunden wurde, wog 759 Gramm und hatte einen Durchmesser von 14 Zentimetern – so etwa wie eine Honigmelone. Im Sommer 2006 berichteten Zeitungen sogar, dass in Kroatien eine ganze Schafherde vom Hagel erschlagen wurde. Manchmal fallen auch riesengroße, eiskalte Regentropfen. Das waren dann Hagelkörner, die auf dem Weg zum Boden wieder geschmolzen sind.

Die Meteorologen – so nennt man die Wissenschaftler, die sich mit dem Wetter beschäftigen – unterscheiden verschiedene Arten von Gewittern, je nachdem, wieso die Luft aufzusteigen beginnt. Wärmegewitter gibt's im Sommer meist am Nachmittag oder Abend. Sie entstehen, weil die Sonne die Luft in Bodennähe stark aufheizt und außerdem durch Verdunstung von Wasser mit Feuchtigkeit sättigt. Ab einem bestimmten Punkt steigen dann Warmluftblasen nach oben. Die selteneren Wintergewitter laufen im Grunde ähnlich ab, nur entsteht der nötige starke Temperaturunterschied nicht durch Heizen am Boden (dazu ist die Sonne im Winter zu schwach), sondern durch Abkühlung der hohen Luftschichten, zum Beispiel, wenn in großer Höhe eisige Polarluft heranströmt. Eine weitere Art sind die Frontgewitter, die oft vor einer Kaltfront auftreten und daher

#### Donner-Versuch

Füll mit einem Trichter Mehl in einen Luftballon und blas ihn auf. Jetzt stell dich im Abstand von mindestens 200 Schritten von einem Freund auf der Straße auf. Dann lass den Ballon mit einer Nadel zerplatzen. Dein Freund sieht jetzt das Mehlwölkchen – aber den Knall hört er erst etwas später.



### Der teuerste Hagel

Am 12. Juli 1984 prasselte abends ein schwerer Hagelsturm auf München nieder. Aus den bis zu 12 Kilometer hoch aufgetürmten Gewitterwolken donnerten Eisbrocken so groß wie Walnüsse oder gar Tennisbälle herunter. Nach einer Viertelstunde war der Spuk vorbei – und 70 000 Häuser, 150 Flugzeuge und mehr als 200 000 Autos waren kaputt. Für die deutschen Versicherungen war das bis dahin der größte Schadensfall in ihrer Geschichte.

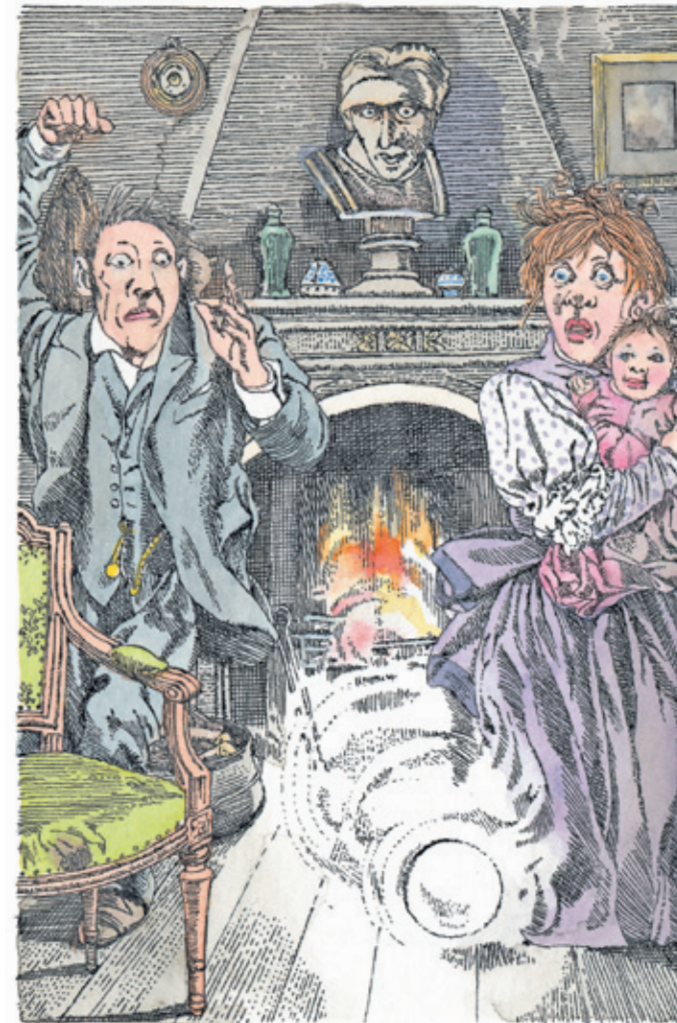
einen Wetterwechsel ankündigen. Dabei schiebt sich die herannahende kalte (und daher schwere) Luft wie ein Keil unter die vorhandenen feuchtwarmen Luftmassen und drückt sie nach oben, was wiederum die oben geschilderte Kettenreaktion auslösen kann. Eine letzte Art sind die Gebirgsgewitter. Wenn die Luft ein Gebirge überströmt, wird sie zwangsläufig dabei nach oben gehoben, und auch dies kann ein Gewitter auslösen.

### Wie viele Blitze gibt es auf der Welt?

In jeder Sekunde entladen sich auf der Erde rund 100 Blitze, denn zu jedem beliebigen Zeitpunkt gibt es zwischen 2000 und 3000 Gewitter irgendwo auf der Erde. In einem Jahr macht das über drei Milliarden Blitze! In Deutschland sind es immerhin über zwei Millionen. Wer die alle gezählt hat? – Tausende von Wetterforschern haben ein Jahr lang Tag und Nacht Ausschau gehalten und alles notiert. – Nun ja, das ist geschwindelt. In Wahrheit haben zwei Satelliten von ihrer Umlaufbahn aus diese Daten gesammelt; sie hatten Spezialgeräte an Bord, mit denen sie automatisch Blitze erkennen konnten.

Diese Satelliten zeigen auch, wo es die meisten Blitze gibt: nämlich in der Nähe des Äquators, und die allermeisten im afrikanischen Kongobecken. Dort kann man an jedem beliebigen Ort fast täglich Hitzegewitter erleben. Durch aufsteigende Warmluftblasen lüftet die Atmosphäre in den Tropen jeden Abend die tagsüber aufgestaute Hitze einfach weg. Deutschland sieht im Vergleich ziemlich langweilig aus. Wer bei uns viele Blitze sehen will, muss möglichst nach Süden fahren, am besten in den Schwarzwald, und außerdem im Sommer, denn im Sommer gibt es viel mehr Gewitter als im Winter.

Übrigens: Nur jeder zehnte Blitz sieht aus, wie wir uns einen Blitz vorstellen, und erreicht den Erdboden. Die meisten Blitze springen zwischen Wolken über. Oft sieht man diese Blitze nicht direkt, nur ihren Widerschein in den Wolken. Bei Gewittern in großer Entfernung ist das auch so. Man spricht dann von Wetterleuchten.



### Kugelblitze

Wissenschaftlich noch nicht richtig erklärbar ist der selten auftretende Kugelblitz. Es gibt zahlreiche Berichte über diese etwa fußballgroßen, schwebenden Lichtkugeln, die auf einmal in Gewitternähe auftauchen und nach einigen Sekunden wieder verschwinden. Mein Schwiegervater hat einmal in einem heftigen Gewitter in Potsdam einen Kugelblitz die Straße entlangrollen sehen, der schließlich eine Hauswand bis zum Dach hinaufstieg. Erst kürzlich ist es Forschern gelungen, etwas Ähnliches wie einen Kugelblitz im Labor zu erzeugen.