



DER WEISSE FLECK
Manchmal bringen sie schlechtes Wetter.
Das ist so gut wie alles, was wir über die Wolken wissen.
Porträt eines unbeachteten Naturwunders.



*Die Menschheit hat die Wolken mit ihren ABGASEN massiv verändert.
Mit der Konsequenz, dass es weniger regnet. Oder mehr.*

gen drückte voller Euphorie auf den Auslöser seiner Digitalkamera. Nach 400 Aufnahmen war der Speicherchip voll. »Sie sind offensichtlich der Einzige, der Freude an diesem Flug hatte«, meinte die aufgelöste Stewardess beim Aussteigen.

Aber als Wissenschaftler will Borrmann die Wolken nicht nur bewundern, sondern vor allem verstehen. Und zwar gut genug, »um auch Vorhersagen zu treffen: über die Wolkenbildung am nächsten Morgen, über die nächsten Jahrzehnte«. Bisher können die führenden Experten nicht einmal vorhersagen, wann der erste Tropfen die zweidimensionale Wolke aus Borrmanns Sprühpistole verlässt und die Scheibe seines Bürofensters hinunterläuft. »Mathematisch einfach nicht in den Griff zu kriegen«, klagt der Professor.

Erst recht scheitern die Forscher an der dreidimensionalen Wirklichkeit. Die meisten Wolken bestehen nämlich nicht nur aus Wasser, sondern einem Gemisch aus Eis, Schnee, Wasser, Graupelkörnchen und Hagelsteinchen. Dazu kommen tausende Teilchen, die ohnehin in der Luft herumschwirren: Salzkristalle aus dem Meer, Sand aus der Wüste, Pollen und Sporen von Pflanzen, Kohlepartikel von Waldbränden und Kraftwerken und sonstiger Dreck. All das vermischt sich in der Wolke und reagiert in irgendeiner Weise. Mit der Folge, dass es nieselt, regnet, hagelt, schneit oder überhaupt nichts passiert. »Jede ziehende Wolke und jeder fallende Regenschauer verletzen den Stolz des Naturforschers und zeigen ihm verborgene Eigenschaften in Luft und Wasser, die zu erklären ihm schwer fällt«, spottete der irische Dramatiker Oliver Goldsmith vor 250 Jahren. Das stimmt nach wie vor, wenngleich die Forscher heute auf hohem Niveau rätseln, was in den Wolken vor sich gehen könnte.

Im Grundsatz sind die Abläufe klar: Voraussetzung jeder Wolke ist genügend feuchte Luft, die beispielsweise entsteht, wenn Wasser über dem Meer verdunstet. Diese feuchte und relativ warme Luft steigt in die kühleren Schichten der Atmosphäre auf. Dabei kondensiert sie zu winzigen Tropfen. Man kann diesen Vorgang auch zu Hause in der Küche beobachten: Wenn vom kochenden Teekessel heißer Dampf aufsteigt und dann abkühlt, bilden sich Tröpfchen am Küchenregal. Die Funktion des Küchenregals übernehmen in freier Natur die unzähligen Teilchen, die in der Luft herumschwirren, auch Aerosole genannt. Sie sind der Kern jedes Regentropfens, Hagelsteins oder Graupelkorns und jeder Schneeflocke. An ihnen kondensiert die feuchte Luft. Weil in jeder Wolke mehr oder weniger starke Turbulenzen herrschen, wirbeln die Tröpfchen umher, treffen mit anderen Tröpfchen zusammen, verfließen miteinander und wachsen so zu größeren Tropfen heran. Irgendwann sind die Tropfen so schwer, dass der Wind nicht mehr reicht, um sie in der Wolke zu halten. Die Folge: Es regnet auf der Erde. In den meisten Wolken verläuft der Prozess noch komplizierter, weil in ihrem Inneren Temperaturen von weit unter null Grad herrschen. Viele Tröpfchen frieren dann zu Eiskristallen oder Schneeflocken. Ob der Niederschlag als Regen oder Schnee bei uns ankommt, entscheiden allerdings weniger die Vorgänge innerhalb als vielmehr die Temperatur unter der Wolke.

Je stärker die Aufwinde in einer Wolke, desto schwerer muss ein Eisteilchen sein, um aus der Wolke zu fallen. Gerade im Sommer entstehen Wolkentürme, die bis zu zwölf Kilometer in den Himmel reichen. Eisteilchen, die einige Male in solchen Gebilden auf- und

von RAINER STADLER Fotos: CLEMENS ZAHN

Wenn der Mainzer Meteorologieprofessor Stephan Borrmann beschreiben soll, wo die Forschung zum Thema Wolken heute steht, kramt er aus seinem hellbraunen Büroschrank eine Plastiksprühflasche hervor, wie sie in jedem Friseurladen oder Gartencenter herumsteht. Er spritzt ein paar Mal kurz gegen die Fensterscheibe und mustert das Ergebnis: hunderte Tröpfchen, von denen manche nach kurzer Zeit zu größeren Tropfen verschmelzen. »Das ist die einfachste Wolke, die man sich vorstellen kann: zweidimensional, nichts als Wasser«, erklärt Borrmann und blinzelt verlegen durch seine Brille. »Selbst damit haben wir schon Schwierigkeiten.«

Wäre er Dichter, dann könnte er wie Goethe vor zweihundert Jahren einfach schwärmen über die »Wolke hoch, zum herrlichsten geballt / verkündet, festgebildet, Machtgewalt«. Er könnte sich wie Hans Magnus Enzensberger »an einem Sommertag auf eine Wiese« legen, um die »Wolken an sich vorbeiziehen« zu lassen und festzustellen, wie »der Blick zum Himmel uns Gelassenheit und Bescheidenheit lehrt«. Natürlich teilt auch Borrmann diese Faszination. Im Flugzeug sitzt er deshalb immer am Fenster. Als er voriges Jahr in Brasilien von Fortaleza nach São Paulo flog, drehte der Pilot gefährlich nah an eine Gewitterwolke heran: Die Tassen flogen, die Passagiere suchten hektisch nach den Spucktüten. Borrmann dage-

Anzeige 1/1



In den Wolken entscheidet sich, wie viel Sonnenlicht auf die Erde fällt. Sie sind die große UNBEKANNTE in allen Klimamodellen.

zu spät zu regnen an, regnen zu heftig und zu kurz«, sagt Borrmann. So bleiben viele Fragen offen, nicht nur zu den Aerosolen, nicht nur zu den Regenwolken. Ein völliges Rätsel sind den Forschern die Schleierwolken. Sie bilden sich acht bis zwölf Kilometer über der Erdoberfläche und bestehen nur aus Eis. Man hat herausgefunden, dass eines von 10 000 Aerosolen in dieser Höhe zu einem Eisteilchen mutiert. Warum gerade dieses eine? Kein Mensch weiß es.

Es grenzt fast schon an ein Wunder, dass die Meteorologen in dieser Welt voller Fragezeichen halbwegs passable Wettervorhersagen zustande bringen. Wie sie das schaffen, kann Axel Seifert, der Wolkenexperte beim Deutschen Wetterdienst, einfach erklären: »durch radikales Vereinfachen«. Die Wetterforscher interessieren sich für das große Bild, nicht für die einzelne Wolke. Aerosole zum Beispiel ignorieren sie bei ihren Vorhersagen komplett. In die Prognosen fließen schon genug Daten zur Windgeschwindigkeit, Temperatur, Luftfeuchtigkeit im Zielgebiet und in der Umgebung ein, um die Computer zum Glühen zu bringen. Außerdem regne es früher oder später aus jeder größeren Wolke, sagt Seifert. »Wenn sie aus kleineren Tröpfchen besteht, fällt der Regen vielleicht 30 Minuten später.« Ein durchschnittliches Regengebiet legt in 30 Minuten 18 Kilometer zurück. Mit 18 Kilometern Toleranz können die Mitarbeiter des DWD gut leben – bei manchen Wetterlagen sind sie schon zufrieden, wenn sie aus ihrem Plattenbau in Offenbach richtig vorhersagen, ob es im nördlichen oder südlichen Hessen regnet. Genauere Prognosen lassen die Computerprogramme oft einfach nicht zu.

Noch schwerer haben es die Klimaforscher: Sie sollen vorhersagen, wie sich die Wolkenbedeckung der ganzen Erde in den nächsten Jahrzehnten entwickelt. Die Wolken sind die große Unbekannte in allen Klimamodellen. Während kaum noch Zweifel besteht, dass die Temperatur auf der Erde steigt, rätseln die Forscher, welche Rolle die Wolken dabei einnehmen. Eine gängige Hypothese lautet: Mehr Wärme bedeutet mehr Wolken, weil mehr Wasser verdunstet. Australische Forscher, die während der vergangenen dreißig Jahre große Pfannen mit Wasser in die Landschaft stellten, um die These zu prüfen, kamen zu einem überraschenden Ergebnis: Es verdunstet heute weniger Wasser. Die Atmosphäre und damit auch die Wolken seien wohl so verdreckt, dass immer weniger Sonnenlicht auf die Erde gelange, argumentierten die Forscher. Eine Forschergruppe aus der Schweiz und den USA wies allerdings nach, dass seit dem Zusammenbruch des Ostblocks die Luft wieder sauberer geworden sei und deshalb immer mehr Sonnenstrahlen auf die Erde trafen. Dies würde die derzeit am heißesten diskutierte Theorie bestätigen, wonach die vom Menschen erzeugten Aerosole die Erwärmung der Erde eher kompensieren, weil sie Sonnenstrahlen von der Erde abhalten. Wäre die Luft sauberer, hat der Atmosphärenforscher und Nobelpreisträger Paul Crutzen errechnet, könnten die Temperaturen weltweit um sieben bis zehn Grad ansteigen – das ist doppelt so viel, wie die gängigen Klimamodelle vorhersehen. Doch auch diese Theorie ist vorerst schwer zu beweisen.

So geht das nun seit Jahren: In den Fachmagazinen *Science* und *Nature* erscheint eine bahnbrechende Studie nach der anderen. Ein Gesamtbild ist daraus nicht entstanden, im Gegenteil: Viele Aussagen widersprechen sich grundsätzlich. Außerdem haben alle Forscher

abwirbeln, können gewaltige Dimensionen erreichen. Das bisher größte offiziell gemessene Hagelkorn entstand 1986 bei einem Sturm in Bangladesch. Es wog ein Kilo.

So viel ist also klar. Doch wehe, man geht in die Details, bei den Aerosolen zum Beispiel: Vor gut acht Jahren fiel dem israelischen Wolkenphysiker Daniel Rosenfeld auf, dass Wolken windabwärts von Städten, Kraftwerken oder Raffinerien vergleichsweise selten Regen produzieren. Der Grund: Sie enthalten zwar genauso viel Feuchtigkeit wie saubere Wolken, wie sie beispielsweise über dem Meer entstehen, aber viel mehr Aerosole. Somit bleibt pro Aerosol weniger Wasser, weshalb sich nur sehr kleine Tropfen bilden – oft sind sie zu klein, um den Turbulenzen der Wolke zu entkommen. Fazit: Nicht jeder Dreck fördert den Niederschlag auf der Erde. Das erleben neuerdings auch die industriellen Boomregionen Asiens – der Monsunregen hat dort in den letzten Jahren deutlich nachgelassen. Um die Entwicklung von Wolken vorherzusagen, müssten Wissenschaftler also genau wissen, wie viel von dem fliegenden Feinstaub eine Wolke verträgt, wenn sie auch noch regnen soll. Bloß wie? Für die Satellitenbeobachtung sind die Aerosole einfach zu klein. Mit Flugzeugen lassen sich Wolken nur begrenzt ausspähen, wegen der heftigen Winde, die in Gewittern mehr als 250 Stundenkilometer erreichen. Und die Computersimulationen stimmen nicht so recht mit der Wirklichkeit überein: »Die meisten Modellwolken fangen

Anzeige 1/1



Wolken bedecken 60 PROZENT DER ERDOBERFLÄCHE. Tendenz fallend, sagen manche Forscher. Andere behaupten das Gegenteil.

mit lückenhaften Daten zu kämpfen. Für eine vollständige Wolkenbilanz der Erde wäre es gut zu wissen, in welcher Höhe sich welche Art von Wolken gerade befindet – und wie viele davon. Niedrig hängende Regenwolken halten nämlich Sonnenlicht ab und wirken deshalb eher kühlend. Schleierwolken in acht bis zwölf Kilometer Höhe dagegen lassen Sonnenlicht fast ungehindert durch, verhindern aber, dass ein großer Teil der Wärmestrahlung von der Erde zurück ins Weltall gelangt. Sie heizen also das Klima an. Leider sind die Satelliten und andere Messgeräte nicht fähig zu ermitteln, in welcher Höhe sich wie viele Wolken befinden. Man weiß nur, dass im Durchschnitt etwa sechzig Prozent der Erdoberfläche bedeckt werden.

Die allgemeine Unkenntnis hält die Menschheit erstaunlicherweise nicht davon ab, Wolken manipulieren zu wollen. Vor sechzig Jahren sprühte der Wissenschaftler Vincent Schaefer, Mitarbeiter des US-Konzerns General Electric, zum ersten Mal 1,5 Kilo Trockeneis in Wolken über Massachusetts, um sie zum Regnen zu bringen. Ohne Erfolg. Trotzdem griffen andere Wissenschaftler die Methode auf. Heute verfügen Länder wie die USA, Israel, Südafrika, China und Indien über so genannte Wolkensaatprogramme. Im Skiort Vail, der US-Variante von Kitzbühel, schießen Spezialisten von Bergen aus seit Jahrzehnten Silberiodid in die Wolken, um ihnen Schnee zu entlocken. Das Programm kostet Millionen und

bringt laut Auskunft der Verantwortlichen 18 Prozent mehr Schnee. Wissenschaftlich haltbar ist das kaum. Es liegt nun mal in der Natur, dass es in einem Jahr mehr schneit als in anderen. Außerdem zeigte sich, dass solche Programme nicht immer den gewünschten Effekt erzielen: Mehrere Versuche in Thailand und in Texas, Niederschläge künstlich zu forcieren, brachten zwar mehr Regen – aber an einem anderen Ort und zu einer anderen Zeit als vorgesehen.

Im Sommer 2004 eskalierte der Kampf um mehr Regen in China. Nach einer langen Trockenperiode, in der immer wieder Wolken an der Stadt Pingdingshan vorbeizogen, ohne Regen abzugeben, beschlossen die Verantwortlichen, die Wolken westlich der Stadt mit Silberiodid zu bearbeiten. Wenige Stunden später brachte der Westwind dunkle Wolken in die Stadt und es regnete tatsächlich – und zwar viermal so viel wie im weiter östlich gelegenen Zhoukou. Es brach ein wütender Streit zwischen den beiden Städten aus.

Man kann schon sehr froh sein, in einem Land zu leben, wo es viele Wolken gibt. Wolken, die nicht nur hübsch anzuschauen sind, sondern auch Regen bringen. Warum auch immer.

Alle Aufnahmen haben wir dem Bildband »Wolken – Landschaften am Himmel« des Fotografen Clemens Zahn entnommen, der soeben im Elisabeth Sandmann Verlag erschienen ist.

Anzeige 1/1