

Jens Soentgen

DIE NEBELSPUR

**Wie Charles Wilson den Weg
zu den Atomen fand**

Dies ist eine Vorab-Version des
gedruckten Buches. Abbildungen sind
aus urheberrechtlichen Gründen nicht
enthalten.

illustriert von
Vitali Konstantinov

Peter Hammer Verlag

Wir leben in einer Welt der Dinge: der Stühle, der Tische, der Smartphones, der Kochlöffel und Kochtöpfe. Neben dieser wohlbekannten Welt gibt es noch die Welt der Atome – was dort geschieht, können wir vielleicht erahnen, aber nie erblicken. Beide Welten scheinen streng voneinander getrennt. Doch es gibt eine Kontaktzone. Die Nebelkammer, erfunden von einem Wolkenliebhaber, ist ein Instrument, mit dem fliegende Atombruchstücke sichtbar gemacht werden können. Sie wurde als das »wunderbarste und originellste Instrument in der Geschichte der Naturwissenschaften« bezeichnet – mit gutem Grund, denn sie hat unser Bild von der Materie revolutioniert. Mehr als 15 Nobelpreise sind für Entdeckungen aus der Nebelkammer verliehen worden.

Der erste dieser Nobelpreise ging 1927 an einen Schotten. Charles Rees Thomson Wilson, Sohn eines Schafzüchters, erhielt die weltweit wichtigste Auszeichnung für die Erfindung der Cloud Method, der Wolkenmethode. Diese Methode ist nicht nur deshalb schottisch, weil sie mit hochprozentigem Alkohol am besten funktioniert. Sie ist auch die einfachste und preiswerteste Methode, um das Leben der Atome zu beobachten. Und last but not least spielt bei dieser Methode der Nebel die entscheidende Rolle.

Für Henrik und Merle

Inhalt

Mit Whisky zum Atom 11

Dressed like numpties:
Die Underdogs im Norden 13

Molehills of achievement:
Das schottische Gespür für den Nebel 22

We reach out for the stars and come up with clouds:
Charles Wilson auf dem Ben Nevis 34

Our best have scaled mountains:
Charles Wilson entdeckt das Fenster zu den Atomen 42

We'll smile. We'll sing:
Wilsons Wolkenmethode wird weltweit angewandt 59

But dream we do:
Zurück in den Highlands 71

Aye, no bad to that:
Der Nebel lichtet sich 78

Wolkenexperimente 83

Literatur 111

Dank 115

Oh proud land

*We may take more weesteps than giant leaps
But that is what makes our mettle
We may reach for the stars and come up with clouds
But it is in the reaching that we find joy
We may be scared to dream, for losing is a very real option
But dream we do
We'll smile. We'll sing
We will dress like numpties
For though we walk in the molehills of achievement
Our best have scaled mountains
Why? Because we are underdogs with the heart of lions
And we say: Aye, no bad to that.*

Oh stolzes Land

Mag sein, dass wir eher kleine Schritte machen als Riesensprünge,
aber genau das ist unsere Art.
Mag sein, dass wir nach den Sternen greifen, aber nur bis zu den
Wolken kommen, aber genau das macht uns Spaß.
Mag sein, dass wir Angst haben zu träumen, weil Verlieren für uns
immer eine sehr reale Möglichkeit ist.
Und doch träumen wir ...
Wir lächeln. Wir singen.
Wir kleiden uns wie Idioten.
Und wenn unsere Errungenschaften normalerweise nur Maul-
wurfshügel sind:
Unsere besten Leute haben Berge erklommen.
Warum?
Weil wir Underdogs sind, aber mit Löwenherzen.
Und wir sagen: »Das geht in Ordnung.«

THE WHISKY ZUM
AUM

Dressed like numpties: Die Underdogs im Norden

O*h proud land* – die ironische Hymne auf Schottland und die Schotten haben sich Werber für die Firma *Irn Bru* ausgedacht, einen schottischen Getränkehersteller. Anlässlich der *Commonwealth Games* 2014 sollte sie den Schottischen Genius besingen. Auf den Helden unserer Geschichte, den schottischen Naturwissenschaftler Charles Wilson, waren die Worte nicht gemünzt. Und doch passen sie: Wilson griff nach den Sternen, blieb dann aber in den Wolken hängen. Das störte ihn nicht, vielmehr wurden Wolken seine Passion und sein Schicksal, er begann, sie zu erforschen, und

entwickelte die Kunst, im Labor immer neue Wolken hervorzubringen; es gelang ihm sogar, rötlich schimmernde Abendwolken zu imitieren, so täuschend echt, dass seine Kollegen meinten, er habe da eine farbige Flüssigkeit im Glas.

So eindrucksvoll dies war – die Regenwolken im Glaskolben wären allenfalls als Spleen berühmt geworden. Dann jedoch entdeckte Wilson etwas Außerordentliches. Sein Auge hatte durch die jahrelangen Nebelstudien gelernt, allerfeinste Nuancen zu unterscheiden; wo andere nur eine trübe Suppe erblickt hätten, da erkannte er Unterschiede. Er sah so genau hin, dass er bemerkte, wie für winzige Momente in seiner Nebelkammer Bahnen von Elementarteilchen sichtbar wurden. Blitzartig wurde ihm klar: Es war möglich, in seinem Nebelglas Vorgänge zu beobachten – mit bloßem Auge! –, die sich auf der winzigsten Skala der Natur abspielten, Bewegungen von Teilchen, die winziger sind als Bakterien und selbst Viren, winziger sogar als Gene! Vorgänge und Ereignisse in der Atomwelt wurden für Sekundenbruchteile wahrnehmbar, die zuvor nie ein Mensch erblickt hatte und von denen jeder Naturwissenschaftler vor Wilson geschworen hätte, dass sie zwar berechnet, aber prinzipiell nicht beobachtet werden können.

Wilson entdeckte eine Kontaktzone zwischen der Welt der sichtbaren Dinge und der Welt der Atome, er erfand die Nebelkammer, eine Methode, die für die Erforschung der subatomaren Teilchen, der sogenannten Bausteine der Materie, so wichtig wurde, dass er 1927 dafür den Nobelpreis erhielt. Und nicht nur er wurde mit dem Nobelpreis ausgezeichnet, sondern im Laufe der Jahre auch rund 14 weitere Physiker und Physikerinnen, alle für Entdeckungen, die seiner geheimnisvollen Wolkenmethode zu verdanken sind. Die Welt der atomaren und subatomaren Teilchen, der letzten Bausteine der Materie, hätte man ohne Wilson nur errechnen und erschließen, aber nicht sehen können. Mit seiner Methode konnte man erkennen, wie sich die winzigsten Teilchen verhalten, aus denen die uns bekannte Materie aufgebaut ist, wie sie miteinander reagieren, wie sie sich bewegen; was geschieht, wenn sie zusammenstoßen. Einige

neue Elementarteilchen – so nennt man jene winzigen Gegenstände – hat man mit seiner Methode überhaupt erst entdeckt.

Ein erheblicher Teil unseres Wissens über das Innere der Materie verdankt sich Experimenten, die mit der Nebelkammer, der schottischsten unter allen naturwissenschaftlichen Erfindungen, gemacht wurden. Ohne diese Erfindung hätten wir heute eine andere Physik. Doch der Reihe nach. Weil unsere Geschichte viel mit Schottland und den Schotten zu tun hat, sehen wir uns zunächst einmal auf dem Schauplatz um.

Schottland, gelegen im Norden der britischen Insel, besteht aus den Highlands, einer gebirgigen Gegend, und den Lowlands, die den flacheren, südlichen Teil des Landes einnehmen. Schon immer war Schottland etwas Besonderes. Erstmals besiedelt wurde es von keltischen Stämmen, die sich in Clans organisierten. Eine Gesellschaftsordnung, die sich bis heute erhalten hat und die ihren Ausdruck auch in den berühmten schottischen Karomustern findet. Denn jeder Clan hat sein eigenes typisches Muster, das auch offiziell registriert ist.

Anders als England, das von Julius Cäsar erobert wurde, haben die Römer Schottland nie dauerhaft besetzen können. Sie wollten es auch nicht. Als ein römisches Heer unter dem Feldherrn Agricola in den Norden marschierte, plagte die sonnengewohnten Italiener auf dem strapaziösen Anmarsch der Anblick des ewigen Nebels und auch der häufige Regen. Eine keltische Streitmacht unter einem gewissen Calgacus, dem ersten namentlich bekannten Schotten, stellte sich den Eroberern entgegen. Um seine Krieger aufzustacheln, schwärmte Calgacus, so überliefert es jedenfalls der römische Geschichtsschreiber Tacitus, vom großartigen Land, das man bewohne, und dass nach diesem Land schier gar nichts mehr komme, nur noch die Wellen des Ozeans und nackte Felsen. Sich und seine Landsleute nannte Calgacus die »Edelsten von ganz Britannien«, und eben deshalb lebe man frei im Innersten beziehungsweise Äußersten der Insel.

Der römische Feldherr Agricola sah das anders, er bezeichnete

in seiner Gegenrede die Leute, die sich da vor einem Berg zusammengeschart hatten, als einen Haufen Angsthasen, der sich von allen Britanniern am besten auf die Flucht verstünde und nur deshalb so lange überlebt hätte. Jetzt habe man dieses feige Pack endlich aufgestöbert und werde kurzen Prozess machen. Die Schlacht ging siegreich für die Römer aus, 10.000 Krieger fielen, aber nur 360 Römer, behauptet Tacitus, man muss dabei allerdings im Auge behalten, dass jener Feldherr Agricola sein Schwiegervater war. Übrigens erlag Agricola als wohl erster Nichtschotte dem Zauber der feuchten Landschaft, von der er nicht mehr lassen wollte. Als ihn der Kaiser abberief und zum Dank für seine Verdienste ins sonnige und reiche Syrien versetzte, zeigte er keinerlei Begeisterung.

Etwa 30 Jahre danach inspizierte ein späterer römischer Kaiser, es war Hadrian, persönlich die nasskalte Gegend. Hadrian ließ sich von seinem örtlichen Statthalter über die wilden und kriegerischen Stämme informieren, die dort in den Bergen hausten und den Römern von Zeit zu Zeit auflauerten. Er hörte sich die Geschichten an, schwieg lange und erklärte dann, dass es keinen Sinn habe, die Reichsgrenze weiter auszudehnen. Was wollen wir da oben, mag er gedacht haben, es ist nichts zu holen auf diesen Felsen, in diesen Sümpfen, in diesem armen, verregneten Land. Er verfügte, ziemlich genau an der heutigen Grenze von Schottland und England, eine befestigte Grenze zu errichten, den heute noch erkennbaren sogenannten Hadrianswall. So blieben die Schotten unter sich, mussten sich an nichts und niemanden anpassen und pflegten ihre althergebrachten Sitten und ihre Muttersprache, das heute noch gesprochene Gälisch, das sich vom Keltischen herleitet.

Die schottische Nationalpflanze ist die Distel, sie ziert auch das schottische Wappen. Es ist eine anspruchslose, zähe Pflanze, die sich mit Dornen zur Wehr setzt, es nicht leidet, wenn man sie pflücken will, und die es deshalb meist schafft, an ihrem Standort zu bleiben und trotzig weiterzuwachsen. Man findet Disteln oft auf den Wiesen oder Weiden in den Highlands, wenn man nicht ohnehin direkt hineintritt.

Neben der eigenwilligen Nationalpflanze gibt es das Nationaltier der Schotten, das Einhorn. Auch das Einhorn ist wehrhaft, seine bemerkenswerteste Eigenschaft allerdings ist, dass es nur in der Fantasie und sonst nirgends existiert. Was die Schotten nicht weiter stört; sie setzten sogar durch, dass das Einhorn in das Wappen des neu geschaffenen Großbritanniens aufgenommen wurde, an der Seite des englischen Löwen. Es steht seither für die Neigung der Schotten zum Träumen.

Mit dem Eigensinn, den die Distel symbolisiert, und der Neigung zum Träumen könnte die bedeutende Rolle der Schotten in der Literatur, in der Philosophie und auch in den Naturwissenschaften zusammenhängen.

Heute leben die meisten Schotten in den sogenannten Lowlands. Dort liegen die größeren Städte, Glasgow, Aberdeen, Edinburgh und Dundee. Diese waren im 19. Jahrhundert bedeutende Industriestädte, hier wurde gewebt und gesponnen, aber auch geschmiedet und gehämmert, überall liefen Dampfmaschinen auf Hochtouren.

Ganz anders die wilden Highlands, deren Klima nicht mild ist wie das der Lowlands, sondern rau und veränderlich. Der Boden ist karg; Torfmoore ziehen sich oft kilometerlang hin. Nur hier und da finden sich kleinere Dörfer und wenige Städte. Hier leben die Highlander, hier wird vielfach noch Gälisch gesprochen, die Sitten sind rau, aber herzlich. Früher als hinterwäldlerische Provinz verspottet, in der arme Hirten Schafe hüteten oder Schnaps brannten, sind heute gerade die Highlands berühmt als urtümliche Gegend. Hier liegt das Loch Ness, ein lang gestreckter See, umgeben von Bergriesen, die sich aus Moor und Sumpf erheben. Oft fällt im September bereits der erste Schnee und der letzte im April, erst im Mai sprießt das Gras. Die Landschaft sieht aus wie aus einer anderen Epoche der Erdgeschichte. Kein Wunder, dass sich bis heute der Glaube hält, genau hier, in den Tiefen des Sees, habe sich der letzte lebende Dinosaurier versteckt, Nessie genannt, das Ungeheuer von Loch Ness.

Nur eine einzige schottische Sache ist ähnlich bekannt wie Nessie oder der Schottenrock, und das ist der schottische Whisky. Das

Wort leitet sich vom gälisch-keltischen *uisge beatha* (gesprochen ungefähr *uschke beha*) ab, was »Lebenswasser« bedeutet. Manche glauben, dass schon die Kelten sich auf das Destillieren verstanden und sich gern mit ihrem Lebenswasser stärkten, das würde erklären, weshalb die Römer unter Agricola so leichtes Spiel mit ihren Gegnern hatten. Wahrscheinlicher ist aber, dass die Kunst der Destillation erst von christlichen Mönchen nach Schottland gebracht wurde. Wie auch immer: Das duftende Getränk verbreitete sich rasch. Und wie jeder schottische Clan sein eigenes Karomuster besitzt, so stellt auch jeder Clan seinen eigenen Whisky her, für den Eigenverbrauch wie für den Verkauf. Der Geschmack variiert, schon allein aufgrund der Wasserqualität. Tausende unterschiedliche Wässer rinnen über die Felsen der Highlands, die für ein immer wieder anderes Aroma

*Company of Scotland Trading to
Africa and the Indies (1698)*

sorgen. Hergestellt wird Whisky aus Gerste, die man keimen lässt und dann vergärt; der Sud wird anschließend destilliert und in Fässer gefüllt, wo er mindestens zwei Jahre lagert. Dabei verdunstet ein nicht geringer Teil der Flüssigkeit, was die Schotten nicht stört, vielmehr halten sie dies für ein Trankopfer, den Angel's share.

Die Schotten exportieren ihr Nationalgetränk, denn weltweit finden sich Liebhaber des feinen Getränks, das wie eine Essenz der rauen Gegend ist. Aber sie konsumieren ihren Whisky auch selbst gern in größeren Mengen, sei es, um zu genießen, sei es, um sich zu trösten, sei es, um Elend und Pech zu vergessen.

Mit Elend und Pech waren die Schotten in ihrer Geschichte häufig konfrontiert. Bereits die sagenumwobene Schlacht gegen die Römer endete in einer Katastrophe. Später setzten sie sich immer wieder mit ihren englischen Nachbarn auseinander, aber auch dabei hatten sie wenig Glück. Zwischenzeitlich verbot London ihnen sogar das Tragen ihrer Karos.

Sie gründeten ein Scottish Empire, ein schottisches Weltreich, das über einige kleinere Inseln am Rande Nordamerikas und im heutigen Panama nicht hinauskam. Die schottischen Siedlungen in Übersee waren eine leichte Beute für die konkurrierenden Mächte, für die Engländer, Spanier und Franzosen, und so zerfiel das schottische Weltreich, ehe es auch nur halbwegs etabliert war. Von ihm zeugen nur noch ein paar Ortsnamen am Rande Nordamerikas und Siedlungsspuren im Regenwald von Panama. Die erfolglosen transatlantischen Unternehmungen hatten das schottische Vermögen derart dezimiert, dass das schottische Königshaus anschließend bereit war, sich mit dem englischen zusammenzutun. Seit 1707 besteht Großbritannien, das Vereinigte Königreich, das England, Schottland, Wales und Nordirland umfasst, allerdings von den Engländern dominiert wird, deren Imperium sich wesentlich erfolgreicher behauptete.

Die Schotten empfinden ihre Geschichte denn auch als eine jahrhundertewährende Leidenszeit, in der sie immer wieder Opfer ihrer grausamen südlichen Nachbarn geworden sind. Was auch immer Großes und Bedeutendes auf der Insel geschieht, es wird als englisch angesehen, während die Schotten im Norden allenfalls als lächerlich gekleidete Hinterwäldler betrachtet werden. Sie spielen Dudelsack, sprechen unverständliche halb keltische Dialekte, tragen Röcke und treffen sich bei den Highland Games, die im Sommer an verschiedenen Orten ausgetragen werden. Dort werfen die einen schwere Steine, die anderen schleudern Baumstämme. Wieder andere werfen mit Heusäcken oder kämpfen beim Tauziehen um jeden Zentimeter. Wenn der Regen das Wettkampffeld befeuchtet, was häufig geschieht, spritzt der Schlamm.

Molehills of achievement: Das schottische Gespür für den Nebel

Und doch: Gemessen an der geringen Zahl der Schotten – es gibt 5,4 Millionen Schotten, nicht viele, verglichen mit 54 Millionen Engländern – stellt sich ihr Beitrag zur Philosophie und zu den Naturwissenschaften äußerst eindrucksvoll dar. Es ist nicht übertrieben, von einer großartigen Kulturleistung zu sprechen. Die Schotten haben unser modernes Selbstverständnis und unser Bild von der Natur entscheidend mitgeformt – und das stets mit spielerischer Eleganz, einem Minimum an Aufwand und einem Maximum an experimenteller und theoretischer Fantasie.

Aber wozu haben denn schottische Wissenschaftler auf weittragende Weise geforscht? Nun, die Welt der Pflanzen kann es kaum

sein, denn in Schottlands regenreichen, sonnenarmen Gegenden gedeihen die höheren Pflanzen eher nicht, nur Moose und Flechten sowie Schimmelpilze (aus einem davon isolierte der Schotte Alexander Fleming das Penicillin) wachsen reichlich und in vielen Arten. Die Vegetation beschränkt sich auf das Nötigste; vielerorts gibt es gar keine Bäume, kaum Sträucher, und wenn, dann nur vereinzelt, von wuchtigen Winden gepeitscht. Zoologische Sensationen weist das Land der Schafe ebenfalls keine auf, von Nessie abgesehen. In der Astronomie vermögen die Schotten auch nicht zu glänzen, denn sie sehen die Sonne, den Mond und die Sterne nicht an allzu vielen Tagen beziehungsweise Nächten im Jahr. Was die Schotten meist sehen, ist bedeckter Himmel, Dunst und Wolken, die der Wind vor sich hertreibt; und so kommt es, dass die bedeutendsten naturwissenschaftlichen Arbeiten der Schotten genau davon handeln.

Wir können die schottischen Wissenschaftler in zwei Gruppen einteilen, je nachdem, wie sie sich zum Nebel stellen.

Da sind zum einen diejenigen, die *gegen* den Nebel forschen – man nennt sie treffend die schottischen Aufklärer, zu ihnen gehören berühmte Denker wie David Hume oder Adam Smith, der Begründer der Volkswirtschaftslehre. Nebel und Gewölk sind gerade das, was sie vertreiben wollen, damit die Sonne der Vernunft scheint. Diese Gruppe von Wissenschaftlern war vor allem im 18. Jahrhundert tätig, sie begründete den Ruf der Schotten als Forscher und Denker. Hume forderte eine Reform der Philosophie, die metaphysischen Ideen und langwierigen Schlussfolgerungen seien nebulös und daher abzuschaffen, stattdessen sei alles, was man im Kopf habe und was man denke, auf Beobachtungen, letztlich auf Sinneseindrücke zurückzuführen. Damit begründete er eine philosophische Schule, die bis heute in der englischsprachigen Welt dominant ist. Und nicht nur dort.

Der deutsche Denker Immanuel Kant, auch er ein Aufklärer und zugleich Begründer der modernen Philosophie, wurde durch Humes Schriften aus seinem »dogmatischen Schlummer« aufgescheucht. Doch Humes Bedeutung geht weit über die Philosophie

hinaus. Viele moderne Zeitgenossen halten sich an das, was dieser Schotte gelehrt hat, selbst wenn sie ihn nie gelesen haben. So richten sich zum Beispiel auch die deutschen Krankenkassen nach der Philosophie Humes, denn sie erstatten Behandlungen nur dann, wenn ihre Wirksamkeit durch empirische Studien, durch Beobachtung also, nachgewiesen worden ist.

Ein guter Freund Humes, der Schotte Adam Smith, schrieb im Jahr 1776 das Werk »The Wealth of Nations« (»Der Wohlstand der Nationen«). Smith war damals emeritierter Professor der Moralphilosophie an der Universität Glasgow. Dieses Werk war eine fulminante, wenn auch oft kurzsichtige Verteidigung der freien Marktwirtschaft und hatte für die Begründung der modernen Volkswirtschaftslehre eine ähnliche Bedeutung wie Kants Werke für die moderne Philosophie. Es setzte die Ökonomie auf jene solide Grundlage, auf der sie von da an fortschritt. Ein Freund von Adam Smith war übrigens James Watt, ein bedeutender Erfinder und Techniker, auch er ein Schotte. Watt war der Erfinder der Dampfmaschine; ihm gelang es, Dampf zu zähmen und ihn zur Verrichtung nützlicher Arbeit zu bringen. Der Dampf wird zuvor in Kesseln über großen Feuern erzeugt, die ihrerseits zu der Zeit meist mit Steinkohle befeuert wurden. Watt läutete damit das Industriezeitalter ein, dessen Kennzeichen es ist, dass man Kohle oder später Erdöl und Erdgas verbrennt, um Maschinen, seien es nun Lokomotiven oder große Hammerwerke, in Gang zu setzen und in Gang zu halten. Zuvor wurden Maschinen, zum Beispiel Mühlen, entweder von Menschen, von Tieren oder auch von Wind und Wasser bewegt. Seit James Watt sind es Feuer, die unsere Technik bewegen, Feuer, die in aller Regel mit fossilen Rohstoffen gespeist werden. Deshalb ist auch die Einheit, mit der wir heute jene unsere Welt bewegenden Energieströme messen, nach ihm benannt: das Watt. Übrigens hatte die Dampfmaschine auch maßgeblichen Anteil an der Entwicklung der Thermodynamik, einer der wichtigsten Theorien der Physik, die, vereinfacht gesagt, der Frage nachgeht, welche Art von Dampfmaschine man bauen kann und welche nicht.

So viel zur schottischen Aufklärung. Sie hat die Welt verändert – durch ihre neuen Ideen und ihre Erfindungen. Doch die Gegenreaktion ließ nicht lange auf sich warten, die Aufklärung wurde abgelöst von der Romantik, nicht nur in Schottland, sondern in ganz Europa. Wollte jene die Wolken vertreiben, um klaren Sonnenschein in die Welt zu lassen, so fand die Romantik ihren Gefallen absichtlich und gezielt gerade an Nebel, Dunst und Zwielicht, und man schätzte die Gegenden, wo es ganz besonders neblig war, suchte sie eigens auf. Gedichte und Romane widmeten sich bevorzugt jenen ungreifbaren Gebilden, man schwelgte im Phänomen der Stimmung. Ein Schotte namens Macpherson erfand einen altschottischen Barden namens Ossian, dessen uralte Nebelanrufungen er angeblich entdeckt hatte, womit er in ganz Europa eine wahre Schottlandpassion auslöste. Mit dieser Passion hatte sich ganz besonders Johann Wolfgang Goethe infiziert, der dem Nebel zeitlebens Sympathie entgegenbrachte und in seinem Alterswerk »das Trübe« sogar zum Dreh- und Angelpunkt seiner Farbenlehre machte: »Du aber halte dich mit Liebe / an das Durchscheinende, das Trübe«, empfahl er.

Den schottischen Naturwissenschaftlern musste er das nicht sagen, die hatten sich längst dem Nebel und den Dünsten zugewandt. Tatsächlich stoßen wir hier auf die zweite Gruppe schottischer Wissenschaftler, jene Schotten, die nicht gegen, sondern *mit* dem Nebel forschten, sich im Dunst geradezu ergingen. So etwa William Charles Wells, ein schottischer Gentleman, der sich monatelang in kalten Nächten mit dem Tau befasste, dieser stillsten und poetischsten Form des Wassers. Es gelang ihm erstmals zu erklären, wie, wo und warum Tau entsteht. Tau ist nämlich kein »astrales Wasser«, das von dem Mond oder den Sternen herabtröpft, wie man in der Antike und noch zu Zeiten von Wells glaubte. Er bildet sich vielmehr, so zeigte Wells, aus dem Wasserdampf der Luft in Erdnähe, und zwar vorzugsweise dann, wenn der Nachthimmel klar ist, weil dann die Abkühlung der Erde besonders stark ist. An jenen Orten, an denen die am Tag gesammelte Wärme ungehindert ausstrahlen, sich ins Weltall verlieren kann, etwa an den Spitzen der Blätter oder

Grashalme, findet sich die stärkste Tau- oder Raureifbildung. Je mehr freier Nachthimmel von einem bestimmten Punkt aus sichtbar ist, desto reichlicher bildet sich dort Tau, lehrte Wells. Und dieses Prinzip wird jeder, der einmal zelten war, als wahr bestätigen. Diejenigen nämlich, die mitten auf der Wiese zelten, werden viel stärker durchnässt als die erfahreneren Camper, die am Waldrand übernachten.

Der Tauforscher ging seiner Frage mit einfachsten, echt schottischen Mitteln auf den Grund, indem er mit zuvor genau gewogener Schafwolle, die er nachts an verschiedenen Orten auslegte, die niedergehende Taumenge erstmals exakt bestimmte. Er publizierte seine Forschungsergebnisse in einem Buch mit dem schönen Titel »An Essay on Dew«, wobei er sich entschuldigte, dass er die Versuche nicht so umfassend wie eigentlich beabsichtigt habe durchführen können, da er bei seinen nächtlichen Forschungen sich eine Erkältung zugezogen habe. Bis heute ist seine Untersuchung eines der klarsten Beispiele für eine empirische naturwissenschaftliche Studie, die aus klug kombinierten und gezielt herbeigeführten Beobachtungen auf Ursachen schließt.

Es spricht übrigens unbedingt für das Understatement des schottischen Tauforschers, dass er dieser Veröffentlichung als Anhang eine zweite hinterherschob, in der er erstmals das Prinzip der

natürlichen Selektion formulierte, 50 Jahre vor Charles Darwin. Er befasste sich mit der Frage, weshalb hellhäutige Menschen wesentlich empfindlicher auf tropische Krankheiten reagieren als dunkelhäutige, und erklärte dieses Phänomen durch natürliche Selektion.

Beim Thema Wolken und Nebel denken viele an Luke Howard, der als Erster die heute noch gültige Typologie der Wolkenformen ersann. Dieser Luke Howard war kein Schotte, sondern Engländer. Allerdings wäre seine Abhandlung nie bekannt geworden, wenn nicht wiederum ein Schotte, nämlich Alexander Tilloch, sich ihrer angenommen und sie im Philosophical Magazine, der ältesten heute noch bestehenden wissenschaftlichen Zeitschrift, veröffentlicht hätte.

Ein weiterer schottischer Nebelforscher war John Aitken, der als Erster den Smog in großen Städten erforschte und insgesamt der wichtigste Wolken- und Nebelforscher des 19. Jahrhunderts war. Aitken war an keiner Universität beschäftigt, sondern forschte in seinem Privatlabor in Falkirk, einer kleinen Stadt in den Lowlands. Er zeigte, dass der in der Luft verteilte Wasserdampf kleine Partikel benötigt, um kondensieren zu können. Diese Tatsache machte er sich für sein Staubmessgerät zunutze, ein Apparat, dessen Grundgedanke auch für den Bau moderner Staubmessgeräte oft leitend ist. Aitken vergrößerte die Staubpartikel, indem er sie in eine Wasserdampf- oder auch Alkoholatmosphäre gab. Dabei bilden sich Nebeltröpfchen, deren Anzahl man abschätzen kann, wenn man die entstehende Wolke beleuchtet: Je mehr Licht zurückgestrahlt wird, desto mehr Partikel.

Ganz ohne Staub, so schloss er, gibt es keine Wolken. Und umgekehrt: Je mehr Staub in der Luft ist, umso leichter bildet sich Nebel, was besonders in Städten spürbar wird. Aitken befasste sich auch als einer der Ersten mit den Ursachen des berüchtigten Smogs, des von Rauch verstärkten Stadtnebels, und schlug Maßnahmen zu seiner Bekämpfung vor. Er zeigte nämlich, dass der Stadtnebel vor allem ein Produkt der Verbrennung von Steinkohle ist. Denn dabei entstehen Ruß sowie Schwefeldioxid, beides Substanzen, die Wasser

anziehen. Daher rührt, wie Aitken erklärte, zum einen die oft merkwürdige Farbe der Stadtnebel – manche sind braun-gelblich, andere fast violett. Zum anderen aber ist die Affinität zum Wasser auch der Grund für die Zähigkeit des Stadtnebels, der sich oft erst am Nachmittag lichtet.

Aitken wurde mit seinen Untersuchungen zum Smog zu einem Pionier der Umweltforschung. Aber sein Interesse am Nebel war breiter gefächert, er kümmerte sich nicht nur um gesundheitliche Aspekte. Aitken hatte auch Sinn für die Ästhetik des Nebels. Und seine wissenschaftlichen Erkenntnisse sollten die Welt nicht entzaubern, sondern ganz im Gegenteil unsere Sensibilität für ihren Zauber vertiefen. So erklärte er, dass die wunderbaren Farben der untergehenden Sonne auf die feinen Dunstpartikel in der Luft zurückgehen, und er lobte die Trübe der Luft als genau dasjenige, was die Welt farbig und schön macht; gerade die Farben der stimmungsvollen Momente beim Sonnenaufgang und beim Sonnenuntergang sind von den Partikeln der Luft beeinflusst.

Und schließlich wurde seine Nebelbegeisterung sogar metaphysisch, denn je intensiver er sich mit der Physik und Chemie des Dunstes befasste, umso deutlicher wurde, dass die Bedeutung seiner Untersuchungen weit über das Fach der Wetterkunde hinausreichte. Er führte die Aufklärung an ihre Grenzen, indem er nachwies, dass vollkommene Transparenz, wenn also das Licht ungehindert überall durchdringt, wie die Aufklärer es sich wünschten, zu einer Katastrophe führen würde. Denn dann wäre der Himmel auf Erden so, wie er auf dem Mond zu sehen ist: Alles ist schwarz, und eine böse strahlende Sonne erhitzt den Boden. Die totale Transparenz der Aufklärer würde, wie dieser schottische Romantiker zeigte, zu einer tiefschwarzen Nacht führen, die von einer überhellen Sonne weniger erleuchtet, als vielmehr verbrannt wird. Wo ihr unbarmherziges Licht nicht hingelangt, da ist ewige Kälte. Auf Erden aber ist es zum Glück milder und besser eingerichtet, die trübe Atmosphäre streut das Licht, lenkt es auch in entlegene Ecken, die vom direkten Sonnenlicht nicht erreicht werden. Weil es winzige Tröpf-

chen und Staub in der Luft gibt, empfangen auch die Lebewesen, die in Winkeln und im vermeintlichen Schatten leben, noch etwas Helligkeit. Die winzigen Staubpartikel sorgen zudem dafür, dass das Wasser tropfenweise als Regen niedergeht und nicht in Sturzbächen daherkommt, wie es ohne Staub der Fall wäre.

Aitken, der Freund des Nebels, konnte 1883 sogar ein historisches Staubereignis beobachten, nämlich den Ausbruch des Krakatau, eines Vulkans in Indonesien, bei dem ungeheure Staubmengen in die Atmosphäre geschleudert wurden, die weltweit zu merkwürdigen optischen Erscheinungen führten. So waren die Sonnenuntergänge tiefrot wie nie zuvor. Aitken gehörte einer wissenschaftlichen Kommission an, die diese Ereignisse erklären sollte, und brachte als Erster die Phänomene mit dem Vulkanstaub zusammen. Er schrieb eine lange, schöne Abhandlung über »außergewöhnliche Sonnenuntergänge«, in der er persönliche Erlebnisse auf eine reizvolle, poetische Weise mit physikalischen Reflexionen verband.

Der absolute Gipfel der schottischen Nebelforschung ist jedoch Charles Thomson Rees Wilson (1869–1959), der Held unserer Geschichte. Sein Name wird in der englischsprachigen Welt gern mit CTR (si-ti-ar) abgekürzt, wir werden ihn aber Wilson nennen. Wilson – das ist einer der häufigsten Nachnamen in Schottland, ähnlich wie Müller oder Schmidt in Deutschland. Unser Wilson begann als Wolken- und Nebelforscher, ursprünglich wollte er nur eine Methode finden, um Wolken besser zu studieren. Doch dann entdeckte er in seinem Wolkenglas eine der ganz wenigen unmittelbaren Kontaktzonen zwischen der Welt der Atome und der Welt der Dinge, in der wir leben. Er konnte einzelne Ereignisse in der atomaren Dimension sehen, nicht nur atomare Strukturen oder Gesetzmäßigkeiten, sondern tatsächlich einzelne Geschehnisse. Es war möglich, den Flug von Atombruchstücken zu sehen, das Explodieren von Atomkernen und den Zusammenprall einzelner Teilchen. Die Forscher hatten nun eine Möglichkeit, jene allerwinzigsten Ereignisse unmittelbar zu erblicken, die sie zuvor mit Hilfe von viel Mathematik nur indirekt erschließen konnten.

Im Anhang zu dieser Geschichte gebe ich übrigens eine Bauanleitung, damit der geneigte Leser, die geneigte Leserin, selbst einen Blick in diese seltene Kontaktzone werfen kann. Die dort vorgestellte Nebelkammer ist noch schottischer als die Nebelkammer Wilsons, weil sie zum einen noch billiger ist und noch schneller hingestellt und zum anderen, weil sie mit Whisky funktioniert. Man hat mit ihr das wahre schottische Feeling. Denn im Whisky sind die Atmosphären der Highlands gebannt, der Torf, die schwülen Vanilledüfte der Heiden und das Salz. Und dann sieht man in dieser schottisch duftenden Atmosphäre sogar noch die Kondensstreifen kosmischer Partikel! Als Nebelspur und Wolke ...

We reach out for stars and come up with clouds: Charles Wilson auf dem Ben Nevis

Aber zurück zu Wilson. Sein Weg zu den Atomen ist, wie gesagt, genuin schottisch, radikal eigensinnig, voller Fantasie und ohne Parallelen, ein Weg, der auf Nebel, Esprit und Sparsamkeit beruht. Sparsamkeit nicht als Geiz, sondern als Wille, mit möglichst wenig möglichst viel zu erreichen. Es ist ein bisschen wie bei dem Shortbread, jenem schottischen Keks, der nur aus Zucker, Mehl und Butter besteht und doch aromatischer ist als manch belgische Praline.

Charles Rees Thomson Wilson wurde 1869 in einem Bauernhaus in der Nähe der schottischen Stadt Edinburgh geboren. Sein Vater war Schafzüchter, ging also der wohl ältesten Profession der

Highlander nach. Er war ein unternehmungslustiger und gebildeter Mann, der hin und wieder über neue Methoden der Schafzucht schrieb und damit als Vorläufer jener Foschergruppe an der Universität von Edinburgh gelten kann, die 1996 das Schaf Dolly klonete.

Die Namen Rees und Thomson waren merkwürdigerweise die Vornamen zweier Schafhirten, die im Betrieb von Wilsons Vater arbeiteten. Warum sie in Wilsons Namen hineinrutschten, konnte ich nicht ermitteln. Wilsons Mutter entstammte einer ehemals wohlhabenden Familie von Textilfabrikanten, die auch literarische Ambitionen hatte. Der Haushalt war groß: Wilson hatte noch zwei Geschwister sowie vier Stiefgeschwister, die der Vater aus einer ersten Ehe eingebracht hatte.

Doch eine Tragödie brach über die Wilsons herein, denn der Vater starb mit nur 53 Jahren, als der kleine Charles erst vier Jahre alt war. Daraufhin zog die tatkräftige Mutter ihn und die weiteren sechs Kinder allein groß. Obwohl der Haushalt arm war, konnte Charles eine höhere Schule besuchen und sogar in Cambridge studieren, weil ihn William Wilson, einer seiner älteren Halbbrüder, der in Indien tätig war und dort ein kleines Vermögen erwirtschaftet hatte, großzügig unterstützte.

Charles Wilson war ein schmaler, recht großer, sehr hellhäutiger Junge. Zwei Dinge fielen allen, die ihn kannten, sofort auf: seine strahlend blauen Augen und sein Stottern. Jedes einzelne Wort bereite ihm sichtbare Qual. Doch vielleicht führte gerade dieses Handicap dazu, dass sein erfolgreicher Halbbruder William ihn ganz besonders ins Herz schloss.

William Wilson schrieb seinem jüngeren Bruder 1888 von Indien aus einen rührenden Brief, nachdem Charles ihm mitgeteilt hatte, dass er einen Studienplatz an der renommiertesten englischen Universität erhalten habe: »Es war einer der wunderbarsten Momente in meinem Leben, als ich am Sonntagvormittag erfuhr, dass du in Cambridge angenommen worden bist! Endlich setzt eine Glückssträhne ein, und ich habe das Gefühl, dass sie nicht aufhören wird ...« Diese Worte waren prophetisch, aber William erlebte

den sensationellen, weltweiten Ruhm seines Bruders leider nicht mehr. Nicht einmal über den erfolgreichen Studienabschluss in Cambridge konnte er sich freuen, da er wenige Wochen zuvor, am Karfreitag des Jahres 1892, mit nur 35 Jahren an einer Tuberkulose verstarb. »Seine Ermutigung und sein Glaube an mich«, so schrieb Charles Wilson viele Jahre später in seinen Erinnerungen, die er im 90. Lebensjahr, seinem letzten, verfasste, »zählen zu den stärksten Einflüssen in meinem Leben.«

Wilson interessierte sich, neben seinem Studium, das er mit großem Eifer betrieb, vor allem für das Wandern; sämtliche Aspekte der Natur bezauberten ihn, die großen wie die kleinen. Er beschäftigte sich mit Käfern ebenso wie mit dem Leben in Teichen. Ganz besonders faszinierten ihn der Himmel, die Wolken und die Farben der Atmosphäre: Natur von oben bis unten. Er liebte die Einsamkeit, und die fand er in den Highlands, in denen man stundenlang laufen konnte, ohne einem Menschen zu begegnen.

In den Highlands lösen Schafe, Heide und karge Hügel das reiche Farmland in den Lowlands ab. Der Wind zerrt Nebelschwaden über die Gipfel, Wasserfälle stürzen von den Felsen herab. Wilson liebte das immer wieder wechselnde Licht des Nordens, die Weite des Himmels, die zarten vom Dunst und der tief stehenden Sonne geschaffenen Farben, er fotografierte Wolken auf seinen ausgedehnten Wanderungen, bestimmte aber auch Pflanzen und sammelte Steine. Er wanderte auf schmalen Graten, während Wind und Regen die karge, moosig-braune Landschaft peitschten, stakste durch Schafherden, die den Weg blockierten, und lächelte, wenn er eines der zottigen rotbraunen Hochlandrinder sah, die stoisch das saure Gras von der Weide zupften. Mit 15 Jahren unternahm er eine Wanderung auf der schottischen Insel Arran und erklärte später mehrfach, dass ihn der Besuch dieser Insel und die dort erlebte Schönheit der Natur für die Naturwissenschaft begeistert habe. Die Wanderungen in seiner Heimat und ihre Wolken haben ihn etwas Wichtiges gelehrt: die Offenheit für den Augenblick. Denn Wolken beobachten kann man schlecht aufschieben. Zarte Schleierwolken,

die von der Sonne purpurrot gefärbt werden, können schon eine Minute später vollkommen grau sein. Ganz ähnlich braucht man auch für große naturwissenschaftliche Entdeckungen vor allem Geduld und Wachsamkeit – die Bereitschaft, den Moment zu nutzen und das Unerwartete wahrzunehmen.

Für seine epochale Entdeckung waren nicht lange Datenanalysen oder das Studium komplizierter mathematischer Gleichungen ausschlaggebend, sondern, wie er in seiner Nobelpreisrede 1927 erklärte, ein Aufenthalt auf dem Ben Nevis, dem höchsten Berg Schottlands, Wilson betonte, dass einzig und allein dieser eine Aufenthalt im »Wolkenhaupt« – das ist die Übersetzung des keltischen Namens Ben Nevis – alles entschieden habe. Auf dem sagenumwobenen schottischen Berg begann jener Weg, der ihn zur Erfindung der Wolkenmethode führte und damit zu dem Verfahren, das unser Bild von der Natur revolutioniert hat.

Der Ben Nevis liegt in den mittleren westlichen Highlands, nicht weit vom unaufhörlich tosenden Atlantik, der immer wieder wilde nasse Stürme über Schottland schickt. Diesen rasenden, feuchten Lüften stellt sich auf ihrem Weg in vorderster Front der Ben Nevis

diese hoch oben auf dem Berg nochmals vervielfacht und weitaus prächtiger als in der Ebene. Wunderbare, seltene Erscheinungen konnte er hier beobachten. Ab fünf Uhr in der früh ist Wilson auf seinem Posten, und so intensiv ist das, was er da sieht, dass er sich noch 60 Jahre später, in einer seiner letzten Publikationen, genauestens an die Eindrücke erinnert: »Oft sah ich unter mir eine endlose See von Wolken, aus denen nur die höchsten Bergspitzen wie Inseln herausragten. Dann wurde der Himmel im Osten farbig vom Morgenrot, und schließlich strahlte die Sonne über jenes Wolkenmeer und verursachte ein wunderbares Spektakel. Blickte ich in die andere Richtung, nach Westen, dann war da der Schatten des Ben Nevis, der zunächst bis zum Horizont reichte, dann aber rasch, mit der aufsteigenden Sonne, zurückwanderte, nach Osten eilte, und dabei erschien eine Glorie auf den Wolken unter dem Schatten ...« Das seltene Phänomen der Bergspitzenglorie ist eine Art regenbogenfarbener Heiligenschein, der manchmal den Schatten eines Berges oder auch den Schatten des Wanderers umgibt, wenn der

entgegen, der deshalb ein wahres Nebelheim ist, denn an 300 Tagen im Jahr ist sein Gipfel umwölkt. Wilson hatte Glück, da die Spitze an jenen Sommertagen gerade so weit über den Wolken lag, dass er direkt in die Grenzzone zwischen Wolken und Luft schauen konnte, in der die Sonne bezaubernde optische Phänomene aufscheinen ließ, wie er später erzählte: »Jeden Morgen sah ich, wie sich die Sonne über einem Wolkenmeer erhob, und betrachtete die Schatten des Berges auf den Wolken, umgeben von großartigen farbigen Ringen. Es war die Schönheit dessen, was ich sah, die dazu führte, dass ich mich in die Wolken verliebte, und ich entschloss mich, Experimente mit ihnen zu machen, damit ich sie besser verstehen könnte.«

Wilson bestieg den Ben Nevis im Sommer 1894. Und wenn das Licht im Norden ohnehin unzähliger Variationen fähig ist, so waren

Beobachter sich über dem Wolkenmeer befindet und die Sonne im Rücken hat.

Mehrfach wurde Wilson Zeuge heftigster Berggewitter und sah, dass die Blitze das Metall an den Telegrafmasten zum Schmelzen bringen konnten. Einmal kam er nur knapp mit dem Leben davon.

Das war am 26. Juni jenes selben Jahres 1894. Nach einigen Tagen glühender Sommerhitze wurde Wilson Zeuge eines plötzlichen Wetterwechsels: »In einer Schlucht zwischen dem Ben Nevis und dem Carn Dearg breitete sich plötzlich Nebel aus. Hörte in der Ferne unaufhörliches Donnerrollen. Ging auf dem Bergkamm hinüber zur Spitze des Carn Dearg. Nach einer Minute oder zwei, die ich dort verbrachte, spürte ich auf einmal das Elmsfeuer in meinem Haar und in meiner Hand, die ich in die Höhe hielt«, schrieb er in sein Notizbuch Nummer eins. Es war das erste von insgesamt 50, die er im Laufe seines langen Lebens mit Gedanken und Beobachtungen füllte. Und um ein Haar wäre dieses erste auch das letzte gewesen, denn das Elmsfeuer ist eine Lichterscheinung, die man beobachtet, kurz bevor der Blitz einschlägt. Wenn man es bemerkt, sollte man so schnell wie möglich weglaufen. Was Wilson auch tat: »Ich rannte hinab in eine Mulde. Heller Blitz & lauter Donner.«

Our best have scaled mountains: Charles Wilson entdeckt das Fenster zu den Atomen

Auf die Frage, wie er sich das höchste Glück eines Wissenschaftlers vorstelle, antwortete der Chemiker Alfred Hershey: »Ein Experiment haben, das funktioniert, und es immer wieder tun.« Dieser Ausspruch beschreibt Wilsons Art zu forschen perfekt. Nach seinem Aufenthalt in den Highlands beschloss er nämlich, die Nebel- und Wolkenphänomene, die er gesehen hatte, im Labor nachzuziehen, um sie genauer zu studieren. 1895 erhielt er eine Forscherstelle am Cavendish Laboratorium in London. Seine Stelle war befristet und schlecht bezahlt – andererseits war das Cavendish damals eine der weltweit führenden Stätten physikalischer Forschung.

Im Cavendish Labor forschte Wilson eifrig; er baute sich nach einem Bauplan, den John Aitken entwickelt hatte, einen Apparat zur Erzeugung künstlicher Wolken. Er wollte auch im Labor stets eine Wolke, ein bisschen Nebel in seiner Nähe haben, wie ein zahmes Haustier. Nachdem das Gerät einmal zusammengebaut war, tat Wilson tatsächlich tagaus, tagein, über Jahre hinweg nichts anderes, als wieder und wieder seine Kammer mit Nebel zu füllen und diesen zu beobachten. Seine Geduld war unerschöpflich. Er fand völliges Genügen an diesem einen Apparat, mit dem er immer wieder experimentierte. Er bestand im Wesentlichen aus einem Kolben, den er mit Wasserdampf oder, später, mit Alkoholdunst füllte. Dann veränderte Wilson den Druck in der Flasche, um den Wasserdampf einzuladen zu kondensieren. Es passiert dasselbe wie beim Öffnen einer Sekt- oder Bierflasche: Es bildet sich eine kleine Wolke, aufgrund des plötzlichen Druckabfalls.

Oft experimentierte er so lange, bis das Gerät den Geist aufgab und der Kolben zersprang. Wenn das passierte, sagte Wilson leise: »Dear, dear«, griff sich ein Glasrohr, schmolz es über dem Bunsenbrenner und blies sich einen neuen Kolben. Und fing wieder von vorn an. Sein Kollege Ernest Rutherford, auch er ein späterer Nobelpreisträger, der lange Jahre mit Wilson zusammenarbeitete, erinnerte sich später: »Mir wurde damals eine Forscherstelle in Montreal in Kanada angeboten. Ich ging zu Wilson, um mich zu verabschieden. Was tat er? Er war gerade dabei, ein Glasrohr zu schmelzen, um daraus ein Bauteil für seine Nebelkammer zu machen. Als ich drei Jahre später zurückkehrte, ging ich wieder zu ihm, um zu sagen: ›Hey! Ich bin wieder da.‹ Doch Wilson beachtete mich nicht. Er war gerade dabei, ein Glasrohr zu schmelzen, um daraus ein Bauteil für seine Nebelkammer zu machen ...«

Wilson hatte neben seiner Forschertätigkeit auch eine Lehrverpflichtung. Doch so begabt er als experimentierender Physiker war – der Unterricht fiel ihm aufgrund seines Stotterns sehr schwer. »Bevor er auch nur einen einzigen Satz herausbrachte«, so erinnert sich Eric Clifford Halliday, einer seiner wenigen Studenten, »ent-

stand eine sehr lange, quälende Pause, während er all seine Energie zusammennahm, um endlich zu sprechen. Und dann – dann schraubte er förmlich ein Wort nach dem anderen empor, mit einer sichtbaren, ungeheuren Mühe.«

Wer mit ihm in London spazieren ging und ihm eine Frage stellte, erzählt derselbe Halliday, der musste sich darauf einstellen, dass der Antwortsatz erst zwei Häuserblocks später kam. Wenn Wilson Vorlesungen hielt, stand er da, so Halliday weiter, und lächelte seine Studenten mit seinen strahlend blauen Augen an. Doch seine Beine sprachen eine andere Sprache, sie sagten überdeutlich, wie sehr ihn die Situation peinigte: Er schlang sein rechtes Bein um das linke, wickelte es förmlich darum, bis sich ein Knoten bildete. Dann sprach er zwei oder drei Sätze, ehe er wieder eine längere Pause einlegte. Durch diese Art des Vortrags schreckte er die allermeisten Studenten ab. Die wenigen aber, die blieben, wussten weshalb: weil nämlich das, was Wilson zu sagen hatte, bis zum Grund durchdacht war und es sich deshalb unbedingt lohnte, auf die Worte zu warten, die er äußern würde. Sie liebten auch seine Freundlichkeit und seinen feinen Humor.

Mit Gefühlen war er, vielleicht durch die strenge protestantische Erziehung seiner Mutter, ausgesprochen zurückhaltend. Er lächelte gern, lachte aber fast nie. »Na, na!« war das stärkste Schimpfwort, das man Zeit seines Lebens von ihm hörte. Kaum je beanspruchte Wilson Hilfe von anderen, er war ein Forscher, der am liebsten vollkommen unabhängig arbeitete. Er versuchte, mit einfachsten Mitteln auszukommen, und kaufte kaum jemals neue Ausrüstungsgegenstände oder Geräte. So zurückhaltend, ja geradezu geizig war er, wenn es um Geld ging, dass einer seiner Schüler sich später erinnerte, es habe ihn ein halbes Jahr Überredung gekostet, um Wilson zu bewegen, eine vergleichsweise winzige Ausgabe von 19 Pfund (ein Pfund entspricht heute etwa einem Euro) zu tätigen. Derselbe Schüler schrieb: »Auf diese Weise wurde ich berühmt, nun hieß es überall, ich sei der erste Mensch in vielen Jahren gewesen, der Wilson dazu bringen konnte, Geld auszugeben.«

Zunächst ging es Wilson darum, die Forschung von John Aitken fortzusetzen, zu erklären, wie sich Wolken bilden. Wolken entstehen, so viel wusste man, aus dem Wasserdampf der Luft. Dieser kondensiert, wenn die Luft sich ausdehnt oder abkühlt. Dann bilden sich feinste Tröpfchen, die so klein sind, dass sie nur ganz langsam hinabsinken. Damit Wasser kondensiert, sind winzigste Partikel in der Luft erforderlich – wie etwa Staubkörnchen. An diese klammert sich das Wasser an, wie der Schnee an einen heruntergefallenen Fichtenzapfen, der sich, den Berg weiter hinabpurzelnd, zur Lawine auswachsen kann. Doch Wilson entdeckte, dass sich sogar in vollständig reiner Luft, die keinerlei Partikel mehr enthält, eine Wolke bilden kann. Wie ist das möglich?

Keine sehr aufregende Frage, zumal es nur kleinste Nebelfetzen sind, für die hier eine Erklärung gesucht wurde. Und doch führte diese Frage, der er immer weiter nachging, unseren Forscher schließlich zu seiner epochalen Entdeckung. Wilhelm Conrad Röntgen hatte kurz zuvor die später nach ihm benannten Röntgenstrahlen, die er selbst X-Strahlen nannte, gefunden. Sie erregten weltweit Aufsehen, weil man mit diesen energiereichen Strahlen gewissermaßen ins Innere menschlicher und tierischer Körper bli-

cken konnte. Durchdrangen sie doch die Haut und das Fleisch und ermöglichten Anwendungen, die heute aus der Medizin nicht mehr wegzudenken sind. Und auch sonst waren sie für die Naturwissenschaft von größtem Interesse. Wilson begann sofort mit den neuen Strahlen zu experimentieren, denn er vermutete, dass die Röntgenstrahlen in der Lage seien, in seinem Wolkenapparat Nebel zu bilden, eine Einschätzung, die das Experiment bestätigte. Damit zeigte er, dass nicht nur, wie man bisher geglaubt hatte, Staub zur Kondensation von Nebel führen konnte, sondern eben auch Strahlung. Wenig später fand der französische Physiker Antoine-Henri Becquerel eine weitere neue Strahlungssorte, die »Uranstrahlen«. Sie fanden anfangs wenig Beachtung, denn im Gegensatz zu den Röntgenstrahlen ließen sie sich für fotografische Aufnahmen des Inneren von Körpern nicht verwenden. Alles, was diese Strahlen konnten, war, Fotopapier zu schwärzen – und das interessierte zunächst kaum jemanden, bis schließlich Marie Curie, eine junge französische Naturwissenschaftlerin polnischer Herkunft, nachwies, dass es sich um ein grundlegendes Phänomen handelte, das auf dem Zerfall von Atomen beruht. Marie Curie prägte den Begriff der Radioaktivität und erforschte sie. Sie entdeckte zwei neue chemische Elemente, die radioaktiv sind, nämlich das Polonium und das Radium. Mit dem Phänomen der Radioaktivität öffnete sich ein Fenster ins Innere der Atome, denn radioaktiv sind Stoffe dann, wenn ihre Atome zerfallen. Wilson legte auch die neue Strahlung an seine Nebelkammer an und konnte zeigen, dass sie ebenfalls Kondensation verursacht.

Schon diese Entdeckung, dass nämlich nicht nur Staub Wolken bildet, sondern dass Strahlung dies ebenso vollbringt, war von einiger Bedeutung. Denn in der Atmosphäre entstehen ja Wolken nicht nur in Bodennähe, wo viele Staubpartikel existieren, vielmehr auch in großen Höhen, in denen die Luft fast frei von Staubpartikeln ist. Dort oben können energiereiche Strahlen die Wolkenbildung verursachen. Diese Strahlung kommt aus dem Weltall, wird durch die Atmosphäre jedoch abgefangen, so dass ganz unten nur recht wenig ankommt. Steigt man mit einem Ballon aber in große Höhen auf –

das unternahm der österreichische Physiker Victor Hess in den Jahren 1911 und 1912 –, dann stellt sich heraus, dass ab 3.000 bis 5.000 Metern die Strahlung zunimmt, und zwar auch in der Nacht. Was heißt, dass sie nicht von der Sonne kommt, sondern irgendwo anders her: aus dem Weltall.

Wilson hatte einen Beitrag zur Physik der Wolken geleistet. Er hatte gezeigt, dass es neben den bekannten Auslösern von Wolken – feinen Staubpartikeln in der Luft – auch noch andere, bislang nicht beachtete Verursacher gibt. So weit wären wohl auch andere Physiker gekommen. Und sie hätten mit dieser Erkenntnis ihr Experiment beendet, ihre Forschungsfrage als gelöst betrachtet und sich anderen Themen zugewandt. Doch Wilson ging weiter. Seelenruhig experimentierte er immer wieder mit seinem Wolkenglas, verbesserte seinen Apparat immer weiter, bis er schließlich so sensibel war, dass Wilson ihm zutraute, auch bei feinsten Ereignissen mit Wolkenbildung zu reagieren.

Auf dem Weg zum fundamental Neuen leitete ihn sein feines Gespür für den Nebel. Weil Charles Wilson von Kind auf gewohnt war, Wolken zu beobachten, die immer wieder ganz individuelle Anblicke bieten, fiel ihm am 18. März 1911 etwas auf, was jedem anderen Beobachter entgangen wäre. Er schreibt in sein Notizbuch: »Wolkenkammer mit Röntgenstrahlen bestrahlt.« Wie immer sind es nur knappe Worte, mit denen er sein Experiment, es ist immer wieder dasselbe, dokumentiert. Er erzeugt in seinem Glas eine Luft, die übersättigt ist mit Dampf und kurz davor ist, Nebel zu bilden. Wieder und wieder schickt er Röntgenstrahlen durch den Kolben, verändert nur kleinste Details, um seine Luft noch sensibler zu machen. Und dann sieht er das Neue: »Wolke war diskontinuierlich, zeigte verschiedene Knoten. Sind das Kreuzungen der Bahnen von Strahlen?«

Er erkannte also, mit anderen Worten, ein bestimmtes Muster in seiner Wolke. Doch die »Knoten« verschwanden sofort wieder. Hatte er sie sich nur eingebildet? Was er sah, wirkte wie eine Spur. Aber eine Spur wovon? Von einzelnen Strahlen, von Strahlenbündeln?

Wilson verfolgte in den nächsten Tagen und Nächten hartnäckig die Idee, dass er mit seiner Nebelkammer Bahnen und Kreuzungspunkte von Strahlen wahrnehmbar machen könnte, er verbesserte seine Kammer, erhöhte die Strahlungsintensität – und hatte Erfolg. Am 29. März 1911 erblickte er als erster Mensch deutliche Bahnen von Elementarteilchen in seiner Nebelkammer: »Die Strahlen waren viel besser sichtbar. Sie waren außerordentlich scharf umgrenzt. ... in vielen Fällen als äußerst feine Linien, vor allem von der Öffnung (der Röntgenröhre) herrührend, aber manchmal auch in andere Richtung verlaufend.« Ihm muss klar gewesen sein, dass dies eine ganz große Entdeckung war, denn nie zuvor hatte ein Mensch Ereignisse auf subatomarer Ebene gewissermaßen live gesehen. Wilson hatte als Erster einen Blick in eine nie gesehene Welt getan. Er hatte in seinem Glas eine Zone erschaffen, in der Signale von den winzigsten Ereignissen, die es in der Natur gibt, über mehr als zehn Größenordnungen aufsteigen bis in unsere Welt.

Wir stellen uns gern vor, dass Wilson sich an diesem Abend ausnahmsweise einen Whisky genehmigte, vielleicht einen von der traditionsreichen Destillerie am Fuße des Ben Nevis. Doch damit liegen wir wahrscheinlich falsch, denn Wilson trank so gut wie nie: auch dies eine Folge seiner strengen Erziehung. Seine Mutter war eine der Gründerinnen der British Women's Temperance Association, einer Organisation, die sich vehement gegen den in Schottland sehr geschätzten Genuss hochprozentigen Alkohols und insbesondere von Whisky wandte. Aber ob Wilson nun am Abend des 29. März einen Whisky trank oder nicht, eines ist sicher: Hochprozentiger Alkohol spielte in der gesamten weiteren Geschichte der Nebelkammer eine entscheidende Rolle. Denn Nebelkammern funktionieren mit Alkohol besser als mit Wasser. Die Atome und ihre Bausteine sind in dieser Beziehung schottischer als der Erfinder der Nebelkammer – sie fühlen sich in einer alkoholgesättigten Atmosphäre wohler als in bloßem Wasserdampf und zeigen sich deutlich häufiger.

Wilson hatte als erster Mensch eine völlig neue Art von Nebel-

gebildet erblickt, die sich bald zum zentralen Hilfsmittel der Physik entwickeln sollten, wenn es darum ging, die Ereignisse auf der kleinsten Skala der Naturvorgänge zu erforschen. Wilson hatte schon auf den Wanderungen durch die schottischen Highlands gern Wolken fotografiert, und dieses Hobby erwies sich nun als wichtig für die Verbesserung seiner Methode. Denn die Nebelgebilde waren zart und vergänglich, sie versanken schon in dem Moment, in dem sie entstanden. Um sie genauer studieren zu können, entwickelte Wilson eine Methode, seine Wolken und ihre Formen zu fotografieren, was nicht einfach war und eine raffinierte Beleuchtungstechnik erforderte. Fotos sind schon seiner allerersten Veröffentlichung über die Wolkenmethode beigelegt: »Über eine Methode, die Bahnen von ionisierenden Partikeln in einem Gas sichtbar zu machen«, die sehr bald nach dem Tag der Entdeckung im Mai 1911 publiziert wurde. Schon in dieser ersten Publikation machte er auf den ästhetischen Reiz seiner Nebelspuren aufmerksam: »Die Fotografie vermittelt nur einen schwachen Abglanz der großen Schönheit jener Wolken.«

Wilson hatte mit seiner Wolkenmethode, wie er sie nannte, der Menschheit gewissermaßen ein neues Sinnesorgan gegeben, das zuvor Unsichtbare war durch seine Kunst sichtbar geworden. Das, was man zuvor nur hatte berechnen können, konnte man plötzlich beobachten. Man sah Bewegungsspuren von Atombruchstücken, und zwar mit bloßem Auge.

Warum ist das so außergewöhnlich? Es ist eine der Entdeckungen der modernen Naturwissenschaft, dass unsere Welt viele Welten enthält, die ineinander verschachtelt sind. Jede Erscheinung hat eine unendliche Tiefe, weil in ihr weitere Erscheinungen verborgen sind, die zunächst unsichtbar bleiben. In unserem Alltag haben wir es mit Dingen zu tun, mit festen, soliden Dingen, die im Licht stehen, die Seiten haben, eine Oberfläche, ein Inneres. Wir sehen Tische, Stühle, Smartphones, Häuser, Bäume und dann noch, als sehr ausgedehnte Dinge, Seen, Wolken und Landschaften. Wir wissen, sehen aber nicht, dass die Erde, auf der alle diese Dinge stehen

oder schweben, ein Planet ist, der um die Sonne kreist und seinerseits wiederum vom Mond umkreist wird. Und unterhalb der Ebene der alltäglichen Dinge existiert, auch das wissen wir, die Ebene der Mikroorganismen, der Bakterien, Amöben und Geißeltierchen, die wir mit dem Mikroskop erblicken können. Doch auch diese Welt ist nicht die kleinste, denn darunter gibt es die Viren und unterhalb der Ebene der Viren noch die Ebene der Atome. Und auch die sind nicht das Letzte, denn die Atome setzen sich aus Atombausteinen zusammen, aus Protonen, Neutronen und Elektronen.

Es ist eine tiefe Schachtelung, die schon den Philosophen Leibniz begeisterte, der lehrte, dass jedes noch so kleine Stückchen Materie für sich wiederum eine Welt sei, »ein Teich voller Fische und ein Garten voller Pflanzen«. Und die winzigen Welten, so lehrte der optimistische Philosoph, stehen der unseren an Vielfalt und Schönheit nicht nach. Sie haben ihre eigenen Gesetze – so bewegen sich Elementarteilchen nach anderen Regeln als Tennisbälle. Die verschiedenen ineinander verwobenen Ebenen haben normalerweise nicht viel miteinander zu tun. Zwar wissen wir, dass das Wasser im Glas aus Wassermolekülen zusammengesetzt ist. Und wenn wir es bewegen, bewegen wir auch die Wassermoleküle. Doch dabei werden stets ungeheure Zahlen dieser winzigen Einheiten gleichzeitig bewegt. Einzelne Ereignisse auf der Ebene der Atome dagegen haben fast nie Folgen für Ereignisse in der Welt der normalen Dinge. So ähnlich, wie auch eine einzelne politische Äußerung eines Pubbesuchers in Schottland etwa über den Brexit keine Auswirkungen auf die britische Politik hat, so bedauerlich das viele Schotten finden mögen.

Atome sind winzig. Sie sind so unglaublich klein, dass es schwerfällt, davon eine halbwegs zutreffende Vorstellung zu vermitteln. Eines der kleinsten Dinge, mit denen wir hantieren können, ist das Nadelöhr, das meist etwas weniger als einen Millimeter Durchmesser hat. Für sehr viele Menschen, besonders für Männer, ist es ein Ding der Unmöglichkeit, durch ein so winziges Loch einen Faden zu ziehen. Aber selbst die Spitze eines Nähgarns, das viel-

leicht einen Durchmesser von einem hundertstel Millimeter hat, ist immer noch riesengroß im Vergleich zu den Atomen. Der Durchmesser von Atomen liegt meist in der Größenordnung von einem zehnmillionstel Millimeter. Nehmen wir einmal an, wir würden das Nadelöhr und mit ihm die Atome ins Riesige vergrößern, bis die Lücke, das Ohr, so weit auseinandersteht wie die Felsen der Küste von Afrika auf der einen und der Küste Spaniens auf der anderen Seite der Meerenge von Gibraltar. In der Meerenge von Gibraltar kommen sich Afrika und Europa bis auf eine Distanz von etwa 14 Kilometern nahe, sie verbindet das Mittelmeer mit dem Atlantik. In einem so riesigen Nadelöhr wären die Atome nur etwa so groß wie die Mohnsamen auf den Mehrkornsemmeln, die in der Schiffskantine der Fähre verkauft werden, die von Tarifa in Spanien nach Tanger in Marokko fährt.

Es ist klar, dass ein einzelnes Atom oder gar ein Bruchstück davon, wenn es etwa gegen einen Tisch stößt, niemals etwas Sichtbares bewirkt. So wenig, wie der herunterkrümelnde Mohn von der Semmel, die der Matrose verzehrt, die Fähre in ihrer Fahrtrichtung oder ihrer Geschwindigkeit auch nur im Min-

desten beeinflusst. Wenn irgendwo etwa ein Glas Wasser umfällt, dann ist der Grund dafür nicht, dass es von einem umhersausenden Atom umgestoßen wurde, sondern, dass ich mit dem Ellbogen darangestoßen bin. Dinge in unserer Welt werden normalerweise nur von Dingen, die etwa gleich groß sind, beeinflusst. Es steigen nur in ganz seltenen Situationen Signale aus den winzigen Welten in die großen Welten. Deshalb ist es für unser Alltagsleben normalerweise gleichgültig, ob es Atome und Elementarteilchen gibt oder nicht. Und auch die moderne Naturwissenschaft kam sehr lange ohne den Begriff des Atoms aus. Das ist kein Zufall, niemand hat etwas übersehen. Unser Alltag bewegt sich in einer bestimmten Schicht, in der nur Dinge einer bestimmten Größenordnung miteinander zu tun haben. Wäre es anders, dann hätte es auch auf der Ebene der Tische, der Stühle und der Menschen seine Auswirkungen, wenn ein einzelnes Molekül darauf prallt.

Natürlich besteht auch die riesige Schraube, die das Schiff antreibt, am Ende aus Atomen. Aber hier haben wir es nicht mit einzelnen Atomen zu tun, sondern mit ungeheuren, fest verbundenen Massen davon, die sich in eine Richtung bewegen. So ähnlich, wie auch alles das, was die Menschen auf der Erde tun, deren Bewegung um sich selbst und um die Sonne in keiner Weise beeinflusst. Es wird keine Sekunde früher oder später Tag, ganz gleich, was die Menschheit auf der Erde anstellt. Selbst wenn wir ganze Gebirge abbaggern und im Meer versenken, nie wird es uns gelingen, in irgendeiner Weise die Drehung der Erde und ihren Weg um die Sonne zu beeinflussen. Nicht einmal große Kriege mit millionenfachen Einschlägen von Granaten, Bomben, Handgranaten und anderen Geschossen sind auf dieser Ebene messbar.

Umso außergewöhnlicher ist daher die Kontaktzone, die Wilson entdeckt hat. Er hat in den wenigen Kubikzentimetern seines Nebelglases, das er vermutlich intensiver beobachtet hat als irgendeine andere Gegend auf der Erde, die Highlands eingeschlossen, einen der ganz wenigen Orte entdeckt, wo einzelne, individuelle Ereignisse in der atomaren Größenordnung – etwa der Flug eines Atom-

kerns oder eines Elektrons, der Zusammenprall zweier Atomkerne oder die Explosion eines Atomkerns – in unserer Welt der großen Dinge Spuren hinterlassen, wenn auch nur ganz feine, nebelhafte, die so zart sind, dass sie, sobald sie entstehen, auch schon wieder vergehen. Dass es eine solche Zone überhaupt gibt, grenzt an ein Wunder.

Möglich ist diese Erscheinung, weil es Wilson gelungen war, in seiner Nebelkammer eine Luft entstehen zu lassen, die haarscharf davor ist, Nebel zu bilden. Sie ist mit Wasserdampf oder mit Alkohol übersättigt. Es fehlt nur ein ganz winziger Impuls – und den liefert das fliegende, elektrisch geladene Atombruchstück. Entlang seiner Bahn bilden sich Tröpfchen, die als feine Spur sichtbar werden. Und diese Spur verweht so rasch wieder, dass der ungeübte Beobachter sie oft gar nicht sieht.

Durch die Nebelkammer haben wir heute ein neues Bild von den subatomaren Prozessen: eben nicht jene starre Vorstellung von Atomen, die in Schulbüchern manchmal vermittelt wird, in denen die Atome als runde, schwarze Kügelchen dargestellt werden. Wilsons Methode liefert vielmehr das romantische Gegenmodell hierzu, ein Bild vom inneren, organischen Leben der Atome; die Kernprozesse zeigen sich hier wie ein Atem, nicht als unveränderliche tote Struktur. Man folgt den hellen, kurz aufleuchtenden Strahlen wie einer Gebärde: die plötzlich erscheinenden und wieder versinkenden Wolken fesseln unsere Aufmerksamkeit und ziehen uns hinein in ein stetes Werden und Vergehen. Wer heute in einem Science Center eine Nebelkammer betrachtet, versinkt schnell in einer faszinierenden Welt. Immer wieder kreuzen helle Bahnen die Kammer, die sich zunächst scharf abzeichnen, dann aber auseinanderlaufen und sich verlieren: Sie werden verursacht von kosmischen Strahlen, von kleinsten Teilchen aus den Tiefen des Alls, die auch Mauern durchdringen, das Glas der Nebelkammer kreuzen, als gebe es dort überhaupt kein Hindernis, und die so für die Besucher sichtbar machen, dass wir überall mit den Prozessen im Kosmos verbunden sind. Bisweilen werden schwach radioaktive Substanzen in die Kammer ge-

legt: Dann gehen lineare Nebelbahnen von den dunklen Erzen aus. Immer zeigt die Nebelkammer, dass in der Natur auch da, wo wir absolute Ruhe und Leblosigkeit zu sehen meinen, Wandlung sich vollzieht, weil zumindest auf atomarer Ebene ständig Ereignisse stattfinden; die festen und unwandelbaren Formen der Dinge sind eine Illusion, denn ständig kommen kleinste Partikel dazu oder entfernen sich, alles in der Natur ist unterwegs, ist Prozess, der den Blick mit sich fortzieht und uns selbst einbindet und mitreißt.

Aber weshalb war es erst mit Wilsons Methode möglich, Prozesse auf atomarer Ebene sichtbar zu machen? Warum hat man nicht einfach das Mikroskop immer weiter verfeinert, bis mit ihm schließlich auch Atome sichtbar geworden wären? Es gibt da eine fundamentale Grenze, und um diese zu verstehen, müssen wir etwas weiter ausholen. Lichtwellen haben ein Maß von etwa einem zehntausendstel Millimeter, und das, was durch sie sichtbar werden soll, darf nicht kleiner sein. Sonst kann es die Lichtwellen nicht reflektieren und bleibt unsichtbar. Warum ist das so? Um sich den Grund klarzumachen, hilft eine Analogie. Schall ist etwas, mit dem

wir uns auskennen, und bekanntlich pflanzt er sich in Wellen fort. Man kann Schall benutzen, um Dinge wahrzunehmen. Auf einer ganz einfachen Ebene ist uns das vertraut. Wenn wir mit geschlossenen Augen durch einen Raum gehen, können wir aufgrund des Widerhalls unserer Schritte hören, ob sich in dem Raum etwas befindet oder ob er leer ist. So weit kommen wir, wenn wir versuchen, mit Schall statt mit Licht etwas wahrzunehmen. Aber wir können nicht hören, ob das Etwas ein Tisch ist, ein Drehstuhl, mehrere Drehstühle oder ein Sofa oder ein Fernseher. Schall, den Menschen hören können, hat Wellenlängen in der Größenordnung von einigen Dutzend Zentimetern bis hin zu etwa 20 Metern. So große Wellen werden nur von sehr großen Gegenständen zurückgeworfen. Doch wenn wir von den für uns hörbaren Schallwellen zu kleineren übergehen, dann lässt sich die Wahrnehmung verfeinern. Fledermäuse können auch in absolut dunklen Zimmern umherfliegen, ohne an irgendein Möbelstück anzustoßen, ja, sie können sogar winzige Insekten orten und fangen: weil sie Ultraschallrufe mit sehr kleinen Wellenlängen aussenden. Diese Ultraschallrufe haben so kurze Wellenlängen, dass sie auch von Mücken reflektiert werden. Sie sind für uns nicht hörbar, wohl aber für die Fledermaus, und sie gestattet dem Tier, selbst winzige Objekte anhand ihres Echos präzise zu orten.

Beim Schall wie bei den Lichtwellen gilt: Die Wellen, mit denen man arbeitet, müssen kleiner sein als das, was man wahrnehmen will. Beim radioaktiven Zerfall zerplatzen Kerne, und sie schleudern dabei Bruchstücke von Materie aus. Das können Heliumkerne sein – dann spricht man von alpha-Strahlung – oder auch Elektronen beziehungsweise Positronen, dann spricht man von beta-Strahlung. Diese Teilchen sind, ebenso wie die Atome, deutlich kleiner als sogar Lichtwellen, die ihrerseits schon viel kürzere Wellenlängen haben als selbst die kürzesten Ultraschallwellen. Und deshalb kann man Atome mit dem gewöhnlichen Licht nicht sehen, selbst wenn man ein noch so raffiniertes Lichtmikroskop verwendet! Man müsste zu Strahlung mit noch kleineren Wellenlängen übergehen,

um hier weiterzukommen. Dieser Weg wurde in der Forschung später auch beschritten, mit dem sogenannten Transmissionselektronenmikroskop, das allerdings sehr teuer und, wie der lange Name schon befürchten lässt, auch sehr kompliziert zu bauen und zu handhaben ist.

Mit Lichtmikroskopen also ist es nicht möglich, den Atomen auf die Spur zu kommen. Doch etwas anderes funktioniert. Es ist ja denkbar, dass ein einzelnes Atom oder ein einzelnes Atombruchstück Wirkungen verursacht, die dann ihrerseits mit dem Auge wahrnehmbar sind. Das ist so ähnlich, wie man auch einen kleinen, geworfenen Kieselstein im Abstand von 100 Metern nicht sehen kann, sehr wohl aber die Wirkungen, wenn er auf eine Wasseroberfläche trifft. Selbst ein winziger Mohnsamen, der ins Wasser fällt, verursacht sichtbare Wellen, wenn auch nur für wenige Sekunden. Und damit sind wir bei Wilsons Methode. Man sieht mit ihr nicht die Elementarteilchen selbst. Aber man sieht ihre Wirkungen, man sieht ihre Kondensspur im Wasserdampf.

We'll smile. We'll sing:

Wilsons Wolkenmethode wird weltweit angewandt

Für mehr als 40 Jahre blieb die Nebelkammer das wichtigste Instrument der Forschung zu den Bausteinen der Materie. Und auch die in den darauffolgenden Jahrzehnten dominierende Blasen-kammer, die auf Englisch den schönen Namen Bubble Chamber trägt, ist nur eine aufwendigere Variante der Nebelkammer. In den großen Tagen der Kernphysik wurden vor allem durch Beobachtungen mit der Wilsonschen Nebelkammer oder mittels davon abgeleiteter Methoden die meisten Elementarteilchen entweder näher erforscht oder sogar erstmals beschrieben, so etwa das Neutron, das Positron und das Pion. Man konnte nun erforschen, wie die

Atome aufgebaut sind. Weltweit setzte man die Methode ein, immer auf der Suche nach seltsamen, bislang unbekannten Wölkchen im Nebel, die einen Hinweis boten auf ein bislang unbekanntes Elementarteilchen oder auf neue Phänomene auf der subatomaren Ebene. Zunächst hielt man radioaktive Substanzen in die Kammer, Stoffe, deren Atome zerfallen und die dabei Atombruchstücke ausschleudern, Elektronen, Protonen, ganze Atomkerne oder Neutronen. Man fotografierte die flüchtigen Erscheinungen, vermaß die Bahnen und erkundete so das Verhalten der kleinsten Bausteine der Materie. Manche Forscher zogen mit der Nebelkammer sogar auf die Berge, weil in großen Höhen hin und wieder kosmische Strahlung ankommt, winzige, aber ausgesprochen energiereiche Partikel aus dem Weltall, die in den tieferen Regionen selten sind, da sie von der Atmosphäre abgefangen werden. Bei diesen Höhenstudien lernte man neue Phänomene, auch neue Teilchensorten kennen. Nach und nach erhielt man einen Überblick über den sogenannten Elementarteilchenzoo der modernen Physik.

Ohne viel Übertreibung lässt sich sagen, dass ein großer Teil unseres Wissens über die innerste Struktur der Materie auf das Beobachten von Nebel, auf systematische und gezielte Vernebelung zurückzuführen ist. Rasch wuchs die Gemeinde der Nebelkammerforscher in der ganzen Welt, und abgesehen von der Spektroskopie hatte keine zweite experimentelle Methode für die kernphysikalische Forschung des 20. Jahrhunderts eine ähnliche Bedeutung. Weil sie elegant war, preiswert und doch ergiebig: Deshalb war das kleine künstliche Nebelmeer weltweit erfolgreich. Die Nebelkammer war auf der Seite der Experimentalphysiker das, was aufseiten der Theoretiker der mathematische Formalismus der Quantenmechanik wurde. Ja, sie ermöglichte es erst, experimentell und nicht bloß mathematisch an die wichtigen Fragen der Kernphysik heranzugehen, und sie begründete damit das, was wir heute als moderne Physik kennen.

Wilson hatte eine neue Form des Wolkenguckens erfunden – und zugleich eine neue kernphysikalische Methode, die etwas über-

raschend Meditatives hat, die zugleich eine Materie-Meditation ist, weil die Bahnen, indem sie entstehen, auch schon wieder vergehen, versinken. Und wenn Wilson in seiner Nobelpreisrede und auch sonst immer wieder auf die Tage auf dem Ben Nevis zurückkommt, als habe er dort eine göttliche Inspiration empfangen, so ist etwas Wahres daran, denn vom Berg kam Wilson mit tiefen, vielsagenden Eindrücken und vagen, aber fruchtbaren Ideen herab, aus denen sich später seine Methode herausbildete wie ein schimmernder Kristall aus der Mutterlauge.

Wilsons Methode wurde bald technisiert und professionalisiert; man erdachte Maschinen, die die Ereignisse in der Wolkenkammer kontinuierlich fotografierten, die Anwesenheit eines menschlichen Wolkenguckers wurde bald ersetzt durch einen automatisierten Beobachter, einen Fotoapparat, der in wenigen Wochen mehrere 10.000 Fotos aufnehmen konnte, die dann ausgewertet wurden, immer auf der Suche nach ungewöhnlichen, bisher nie gesehenen Wolkenformen. Man erfand auch neue Methoden, die Nebelkammer ins Werk zu setzen. So ersann der amerikanische Physiker Alexander Langsdorf 1935 die Diffusionsnebelkammer, die ohne Druck auskommt: Diese Kammer findet heute in sehr vielen Science Centern Verwendung, weil sie leichter zu betreiben ist als die sogenannte Expansionskammer, die Wilson erfunden hat. Gleichwohl ist ihr Prinzip dasselbe: Auch hier geht es darum, eine Kontaktzone zu schaffen, in der Wasserdampf oder – meistens – Alkoholdunst genau zwischen zwei Zuständen steht. Ganz genau zwischen dem Noch-Dunst und dem Schon-Tropfen, so fein ausbalanciert, dass ein elektrisch geladenes Teilchen, das diese Zone durchquert, eine sichtbare Spur feinsten Tröpfchen hinterlässt.

Und genauso, wie der Wolkenforscher Luke Howard in seinem berühmten Aufsatz Zeichnungen der typischsten Wolken vorlegte, damit sie leichter wiederzuerkennen wären, entstand bald als Orientierungshilfe für Nebelkammerforscher der von den deutschen Physikern Gentner, Maier-Leibnitz und Bothe herausgegebene »Atlas typischer Nebelkammerbilder«, der die häufigsten Wolkenformen

darstellt, die in der Wolkenkammer zu beobachten sind. Manche Wolken sind linear, wie Spuren von Düsenflugzeugen am Himmel, andere kraus, wieder andere ziehen lange Spiralen, von denen die einen nach rechts, die anderen nach links gedreht sind. Oft erinnern die Bilder an pflanzliche Prozesse, bisweilen meint man das Aufplatzen einer Samenschote zu sehen, einen rasch wachsenden Stängel oder auch eine spiralförmige Ranke, die sich im Zeitraffer einrollt und verschwindet.

Es ist wie eine Schrift aus der Tiefe, eine Rätselschrift, die der Physiker zu deuten versucht. Und er deutet sie, indem er die feinen Nebelwölkchen als ferne Signale atomarer Ereignisse liest. Er bezieht sie auf die kleinste Ebene der Natur, die wir kennen.

Die Lehre von den Atomen ist alt. Schon in der Antike hatte man sich überlegt, dass die sichtbaren Dinge trotz ihrer Vielfalt womöglich nur aus wenigen immergleichen Bausteinen, nämlich runden Atomen, aufgebaut sein könnten. Atome nannten die griechischen Philosophen die winzigen Dinger, denn sie gingen davon aus, dass sie unteilbar (a-tomos) seien. Auf die runde Form kamen sie, weil die Kugel nach antiker Auffassung die vollkommene Form darstellte. Ursprünglich sollte die Atomlehre nicht in erster Linie der Naturerkenntnis dienen, sondern vor allem therapeutische Wirkungen entfalten, so merkwürdig das auch klingt. Der Philosoph Epikur und seine Schule verfochten die Idee aus eben diesem Grund – könne doch so die Angst vor den Göttern und ihrem Walten gemindert werden. Die Angst vor Göttern störe die Ruhe des Weisen und stehe dem Genuss des Lebens entgegen. Als Rezept dagegen empfahl Epikur die Atomphysik, die er zwar nicht erfunden hat – ihr Erfinder ist vielmehr der Philosoph Demokrit, von dem Epikur die Idee übernahm –, die er aber wirksamer verbreitet hat als irgendein anderer Denker. Warum aber fördert die Atomidee den Seelenfrieden? Bei jedweder Naturerscheinung, wie überraschend oder erschreckend sie auch immer sein mag, könne man sich sagen, so erklärt die epikureische Schule, dass sie letztlich nur durch Atome und deren Kombinationen hervorgerufen werde – und nicht Ausdruck des

schwer erforschlichen, daher angsterregenden Willens eines Gottes sei. Wenn es also blitzt und donnert, dann stört das den Weisen nicht, er befürchtet nämlich nicht, dass Zeus ihm böse ist, vielmehr lehnt er sich zurück und sagt sich: Das alles ist eine zufällige Anordnung der Atome und der Leere. Kein Grund zur Panik. Die Atomlehre fanden die Philosophen auch wegen ihrer Einfachheit von Vorteil, weil alles, was in der Natur existiert, nach dieser Lehre letztlich nur auf zwei Dinge zurückgeführt werden kann – auf die Atome und deren Kombinationen. Zugleich lieferte die Lehre auch eine schlüssige Erklärung für das Werden und Vergehen – denn es handelte sich ja nur um Neukombinationen der Atome. Gemessen an diesen großen intellektuellen Vorzügen der Atomlehre war das kleine Detail, dass noch niemand Atome gesehen hatte, nebensächlich. Ließ sich doch mit ihnen *im Prinzip* alles wunderbar erläutern! Und darauf kam es an.

Die Atomlehre blieb bis ins 19. Jahrhundert reine Spekulation. Manche Philosophen befürworteten sie, andere wieder, wie beispielsweise Immanuel Kant, lehnten sie ab, sie glaubten nämlich, die Materie sei unendlich teilbar. Dann nahmen sich die Chemiker der Sache an, weil ihnen auffiel, dass eine etwas weiterentwickelte Atomtheorie etliche merkwürdige Erscheinungen, die sie in ihren Laboren entdeckt hatten, auffallend gut erklärte. Die Chemie des 19. Jahrhunderts war dahin gekommen, Elemente – Stoffe, die sich nicht mehr weiter zerlegen ließen – und Verbindungen zu unterscheiden. Die Tatsache, dass sich die Elemente aus bestimmten Stoffen wieder gewinnen ließen – so Eisen aus Eisenerz oder aus Rost – war mit der Atomlehre gut zu erklären. Der Rost bestand in dieser Perspektive zum Beispiel aus Eisenatomen, die sich mit Atomen eines anderen Elements verbunden hatten – und die man, wenn man es geschickt anstellte, wieder aus dem Rost herausholen konnte. Und mit solchen Erklärungsangeboten erschöpfte sich die Lehre noch lange nicht. Vielmehr erklärte die Atom-Idee auch, wie es möglich war, dass es Stoffzwillinge gab, die eigentlich aus genau gleichen Elementen bestanden, aber andere Eigenschaften aufwie-

sen. So kennen wir etwa roten Phosphor, doch auch weißen, violetten und auch schwarzen, die sich alle restlos ineinander umwandeln lassen, die aber jeweils ganz unterschiedliche Eigenschaften haben. So ist der weiße Phosphor hochgiftig, der rote, der violette und der schwarze aber nicht. Erklären konnte man dieses Phänomen, indem man annahm, dass alle vier Stoffe aus denselben Atomen – aus Phosphoratomen – bestehen, die in den drei verschiedenen Stoffen jedoch anders angeordnet sind. Es ist ähnlich wie bei den Bildern in einer Zeitung, die, wenn man sie mit der Lupe betrachtet, lediglich aus Punkten von vier Farben bestehen – diese sind aber unterschiedlich angeordnet und ergeben damit auch ein immer wieder anderes Bild. Besonders beliebt war die Atomhypothese in der organischen Chemie, die sich mit den Kohlenstoffverbindungen beschäftigte. Hier trat oft der Fall auf, dass verschiedene Verbindungen sich aus genau gleichen Massen bestimmter Elemente zusammensetzten, aus Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff, und trotzdem völlig andere Eigenschaften besaßen. Auch hier führte die Annahme weiter, dass die jeweiligen Atome sich in diesen Stoffen zu unterschiedlichen Strukturen zusammenschlossen. Der ehemalige Architekturstudent August Kekulé war der Erste, der sogenannte Strukturformeln aufstellte. Diese erklärten, warum bestimmte Stoffe sich unterschieden, obwohl sie aus gleichen Elementen in gleichem Verhältnis zusammengesetzt waren. Seine Strukturvorschläge ermöglichten es ihm vorherzusagen, welche Reaktionen ein bestimmter Stoff eingehen kann.

Andere Chemiker hielten das Gerede von Atomen für metaphysischen Unsinn, dem in der Realität nichts entspreche. So schrieb etwa der Chemiker Hermann Kolbe eine Rezension über das atomtheoretische Werk »Die Lagerung der Atome im Raum«, das ein gewisser Johann van't Hoff verfasst hatte. Nachdem Kolbe sich wortreich darüber verbreitet hatte, dass jener van't Hoff schon deshalb nichts taugen könne, weil er in einer »Tierarzneischule« angestellt sei und nicht an einer Universität, kam er zum Inhalt des Buches, das von Atomen und Molekülen handelte und mit deren Hilfe die Phänome-

ne der Chemie zu erklären versuchte. Alles das wischte Kolbe vom Tisch und meinte genervt, es handele sich um »Hallucinationen« und van't Hoff habe offenbar keinen Geschmack an »exakter chemischer Forschung«, sodass er es bequemer fände, seiner Fantasie die Zügel schießen zu lassen, ja, geradezu »den Pegasus zu besteigen«, um mit ihm ins Reich der Atome zu galoppieren. Er, Kolbe, könne vor derlei nur warnen und sehe darin »Zeichen der Zeit«, einer Zeit, die verkommen und verdorben sei. Das war 1877, Kolbe war damals 59 Jahre alt. Er war ein äußerst erfolgreicher Chemiker, der erstmals Salicylsäure, die Vorläuferin des Aspirins, künstlich hergestellt hatte, aus Phenol und Kohlendioxid. Kolbe brachte seine Entdeckung in die weltweit erste chemische Fabrik ein, die »Chemische Fabrik von Heyden« in Sachsen, die nach seinem Verfahren Salicylsäure, bald auch Acetylin herstellte, jenes Präparat, das später als Aspirin weltberühmt werden sollte. Mit seinem Medikament verdiente er ein kleines Vermögen, was ihn aber offensichtlich nicht freundlicher oder umgänglicher machte. Vielmehr bereitete ihm die Atomspekulation Kopfschmerzen, die er nicht einmal mit Salicylsäure bekämpfen konnte. Kolbe starb wenige Jahre später und erlebte daher ein Ereignis nicht mehr, das bei ihm noch viel heftigere Kopfschmerzattacken ausgelöst hätte, nämlich die Verleihung des Nobelpreises an eben jenen von ihm bekämpften Atomtheoretiker van't Hoff im Jahre 1901. Zu jener Zeit waren die Leugner der Atome schon in der Minderheit. Immer deutlicher zeichnete sich ab, dass die Atomlehre für die moderne Naturwissenschaft fundamentale Bedeutung hat, weil sie es gestattet, zahlreiche Phänomene einheitlich zu erklären.

Deshalb konnte schon 20 Jahre später der Physiker Edward Andrade schreiben: »Der Triumph der Atomhypothese ist der Inbegriff der modernen Physik.« Viele Physiker sind der Ansicht, dass die Erkenntnis, dass die Materie tatsächlich aus Atomen aufgebaut ist und die Entwicklung einer umfassenden Atomtheorie die größte Leistung der Physik überhaupt darstellt. Und sie gingen sogar einen Schritt weiter. Denn die Atome sind, wie nun entdeckt wurde, nicht unteilbar – a-tomos –, sondern bestehen aus noch kleineren

Bestandteilen, Protonen, Elektronen und Neutronen. Mit der Entdeckung der Radioaktivität hatte man herausgefunden, dass sich Atome nicht nur miteinander verbinden können – mit solchen Verbindungen beschäftigt sich die Chemie. –, Atome der einen Sorte können sich vielmehr in Atome der anderen Sorte umwandeln, so etwa Uranatome in Radon. Wie war das zu erklären? Und wie war zu erklären, dass Atome bestimmter Elemente nur mit Atomen ganz bestimmter anderer Elemente reagierten? Wie war zu erklären, dass es bestimmte Elemente gab, die Edelmetalle und besonders die Edelgase, die überhaupt nicht reagierten? Wie kann man den engen Zusammenhang von Chemie und Elektrizität erklären? Wie ließ sich verstehen, dass die Elemente nicht eine bunte Vielzahl sind, sondern sich zu Gruppen ordnen lassen, dem sogenannten Periodischen System der Elemente?

Auf solche Fragen antworteten die Physiker mit Modellen. Weil sie es nicht beobachten konnten, dachten sie sich eben aus, wie es im Inneren des Atoms wohl aussieht. Man stellte sich vor, dass Atome ihrerseits wiederum aus kleinsten Teilchen, gewissermaßen Atomen der Atome, zusammengesetzt seien. Zunächst nahm man zwei solcher Teilchensorten an, und zwar die Protonen, die positiv geladen sind, und die Elektronen, die negativ geladen sind. Zusammen bildeten sie das elektrisch neutrale Atom. Später erkannte man, dass es in vielen Atomkernen noch elektrisch neutrale Teilchen gibt, die Neutronen. Der Wasserstoff, das leichteste Element, setzt sich aus einem Proton und einem Elektron zusammen. Das Helium, der Nachbar des Wasserstoffs, besteht aus zwei Elektronen, zwei Protonen und (normalerweise) zwei Neutronen. Das Lithium, das nächstschwere Element, hat einen Atomkern, der aus drei Protonen und (normalerweise) vier Neutronen aufgebaut ist. Und so weiter bis zum Uran, dessen Atomkern 92 Protonen enthält und das schon recht instabil ist. Jedes chemische Element steht für eine bestimmte Atomsorte, die aus soundso vielen Protonen, Neutronen und Elektronen zusammengesetzt ist. Manche Elemente haben sogenannte Isotope, das sind Atomsorten, die sich aufgrund ihrer

unterschiedlichen Anzahl von Neutronen unterscheiden. Die Zahl der Protonen im Kern ist jedoch immer gleich und für das jeweilige Element typisch. Aus dem Aufbau der Atome kann man im Prinzip vorhersagen, was diese Elemente tun, wie sie sich chemisch verhalten. Denn alle Atome streben bestimmte stabile Zustände an, die sie meist nur erreichen können, wenn sie sich mit bestimmten anderen zusammentun. Hier sehen wir eine Brücke von der Atomtheorie zur Chemie, im Prinzip lässt sich nämlich nun erklären, weshalb sich bestimmte Elemente besonders gern mit bestimmten anderen verbinden. Auch deshalb hat die Kernphysik eine so fundamentale Bedeutung für die moderne Naturwissenschaft. Dass es Atome gibt und wie sie aufgebaut sind – wer dies weiß, besitzt den Schlüssel zur Erklärung sehr vieler Phänomene.

So weit, so eindrucksvoll weit waren die Physiker und Chemiker also zu der Zeit gelangt, als Charles Wilson mit seinem Wolkenglas experimentierte. Die Tragweite der atomaren und subatomaren Ebene war allen bewusst. Nur eines fehlte: eine Möglichkeit, experimentell zu beobachten, was in jenen winzigen Welten geschieht. Hier kommt die Nebelkammer ins Spiel: Mit ihr ließen sich die Teilchen, die man vorher nur indirekt erschließen konnte, erstmals beobachten, man sah ihre Spuren, ähnlich, wie man am Himmel den Kondensstreifen eines Flugzeugs sieht, das man selbst nicht erblickt, weil es zu fern ist. Wilsons Nebelspuren sind wie eine Regenbogenbrücke zu den fernsten und feinsten Dingen: Sie scheint nur einen Moment lang auf und verliert sich dann. Aber in diesem kurzen Moment entsteht ein Bild.

Auch für quantitative Experimente eignete sich das Verfahren: Mit einem der Nebelkammer sehr ähnlichem Gerät bestimmte Robert Millikan 1913 erstmals die Elementarladung von Elektronen. Auch die Neutronen wurden – indirekt jedenfalls – erstmals mit der Nebelkammer entdeckt, und zwar durch Experimente des französischen Forscherehepaars Frédéric und Irène Joliot-Curie. Aus deren Ergebnissen folgerte dann der Physiker James Chadwick, dass es neben Elektronen und Protonen noch einen neutralen dritten Bau-

stein der Atome geben müsse, die Neutronen. Diese drei Bausteine unserer Welt konnten mit der Nebelkammer erstmals genauer erforscht und direkt nachgewiesen werden. Und damit war ihre Bedeutung noch lange nicht erschöpft. Auch Reaktionen von Elementarteilchen wurden sichtbar, es war, etwas Geduld vorausgesetzt, möglich zu beobachten, wie ein fliegendes Alphateilchen auf ein Atom prallte und abgelenkt wurde wie eine Billardkugel. Und man konnte auch erstmals sehen, wie sich zwei Elementarteilchen begegneten und vereinigten. Zudem entdeckten die Physiker in der Nebelkammer neben den Elektronen, den Protonen und (indirekt) den Neutronen noch weitere Teilchen, etwa das Positron, gewissermaßen das positiv geladene Geschwister des Elektrons.

Wie bereits gesagt, wurde die Nebelkammer etwa seit den 1950er-Jahren allmählich abgelöst durch eine neue Methode, die aber nichts als eine Variante darstellt. In einem hermetisch abgeriegelten, unter hohem Druck stehenden Kessel, der oben erwähnten Blaskammer, beobachtet man ähnlich wie in der Nebelkammer Flugbahnen von Teilchen. Die Blaskammer ist mit einer Substanz gefüllt, die auf einer Temperatur ganz knapp unter ihrem Siedepunkt gehalten wird. Durchquert nun ein Teilchen diese Kammer, dann entstehen entlang der Bahn Bläschen, die sich beobachten lassen. Verglichen mit der ursprünglichen Nebelkammer ist die Blaskammer deutlich aufwendiger. So wird nicht irgendeine Flüssigkeit verwendet, sondern Wasserstoff, der auf minus 252 °C heruntergekühlt werden muss. Wasserstoff ist hochexplosiv, was entsprechende Vorsichtsmaßnahmen erfordert. Ein Forscher, der viele Jahre mit dieser Methode arbeitete, meinte später, die Beobachtung der Blaskammer sei ungefähr so, als schaue man in eine riesige, geladene Kanone, um Physik zu betreiben, lediglich durch ein kleines Fensterchen geschützt. Und die Teilchen, die man sehen will, erzeugt man mit großem Aufwand durch sogenannte Beschleuniger, riesige Maschinen, in denen ein möglichst absolutes Vakuum herrscht. In der Blaskammer fanden Carlo Rubbia und Simon van der Meer die sogenannten w- und z-Bosonen. Das Labor des Physikers, das bei Wilson noch eine ruhige Stätte der Meditation war, hat sich mehr und mehr zu einer riesigen Fabrik entwickelt, in der die Kompressoren zischen, in der gewaltige Magnetspulen aufgebaut sind und Hochleistungsoptik oder Fotodetektoren das menschliche Auge ersetzen.

But dream we do: Zurück in den Highlands

Wilson beobachtete die rasche Verbreitung und Transformation seiner stillen Wolkenmethode nur aus der Ferne. Leicht hätte er sich an die Spitze eines großen Forscherteams setzen können, doch er zog es vor, weiterhin allein zu arbeiten. Was ihn faszinierte, waren die Wolken. Wolken und Atome sind normalerweise um viele Dimensionen getrennt. Aber der unermüdliche, unendlich geduldige Wilson hatte die Kontaktzone, in der einzelne Ereignisse auf atomarer und subatomarer Ebene sich in Nebelspuren darstellen, als erster Mensch erblickt und entdeckt.

Im Jahre 1927 erhielt er, gemeinsam mit dem Physiker Arthur

Holly Compton, den Nobelpreis für Physik. Beim Festbankett stand der Erzbischof von Uppsala, Nathan Söderblom, dass er von Wilsons Forschungsfeld nicht das Mindeste verstehe. Aber so viel habe er begriffen, dass es Wilson gelungen sei, »die privaten Angelegenheiten der Atome zu beobachten und sie geneigt zu machen, einige ihrer Geheimnisse zu offenbaren wie in einem Blitzschlag oder in einem Kometenschweif.« Das war keine schlechte Zusammenfassung. Ein Kollege Wilsons, Lord Rutherford, schwärmte, die Nebelkammer sei das »originellste und wunderbarste Instrument in der Geschichte der Naturwissenschaften«. Das ist doppelt zutreffend. Zunächst, weil die bekanntesten und zu Recht berühmten Instrumente der Naturwissenschaften, das Mikroskop und das Fernrohr, mit einem möglichst durchsichtigen Medium, dem Glas, arbeiten. Gläsern sind auch die Instrumente der Chemiker, die Kolben und Reagenzgläser. Mit Glas arbeiten auch die Biologen gern, wenn sie Terrarien und Vivarien anlegen, um dort Tiere zu beobachten. Überall im naturwissenschaftlichen Labor findet man Glas, das Symbol der Transparenz.

Wilson, der Romantiker und Schotte, hat gezeigt, dass Durchsichtigkeit nicht alles ist. Auch mit dem Trüben und mit Trübungen kann man etwas erkennen. Aber noch in einer anderen Hinsicht ragt die Nebelkammer unter allen genialen Erfindungen der Menschheit heraus. Denn bei den meisten Erfindungen lag die Idee irgendwie in der Luft; oftmals entstand oder entsteht Streit über die Priorität. Nicht so bei der Nebelkammer. Niemand hat je die Priorität Wilsons angefochten. Denn niemand außer ihm hätte den ernsthaften Versuch gemacht, mit diesen paradoxen und außerdem lächerlich billigen Mitteln in die winzigste und unzugänglichste Ebene der Natur vorzudringen. Die Nebelkammer verdankt sich einer so außergewöhnlichen Kombination von Einflüssen – Wolken, schottische Sparsamkeit, Kernphysik und schottische Geduld –, dass man getrost davon ausgehen kann, sie wäre der Menschheit auf immer unbekannt geblieben, hätte Wilson sie nicht erfunden.

Wilson zog kurz nach der Verleihung des Nobelpreises mit sei-

ner Frau Jessie, einer Pfarrerstochter, und ihren drei gemeinsamen Kindern, von London nach Schottland zurück, in die Nähe seines Geburtsortes. Dort bezog er ein Landhaus und hielt sich schottlandtypische Tiere, darunter ein Highland-Pony, das er sehr liebte. Im Cottage lebte auch ein dickes Kaninchen namens Algernon. Wilson ließ es gern an seinem Haar knabbern, für das dieses Tier eine sonderbare Vorliebe hatte. Noch als alter Mann von 90 Jahren legte er sich hin und wieder flach auf den Boden und gönnte seinem kleinen Freund die Wonne, sich an den Haaren eines Nobelpreisträgers gütlich zu tun.

Sein privates Leben war still und zurückgezogen, wie man es bei einem Wolkengucker erwartet. Er blieb jedoch stets wissenschaftlich tätig und widmete sich nun dem zweiten großen Phänomen, das er auf dem Ben Nevis erlebt hatte: dem Blitz. Auf dem hohen Berg hatte er einmal, wir haben schon davon berichtet, das Elmsfeuer in seinen Haaren und in seinen Händen gespürt, jenes hochgefährliche, untrügliche Anzeichen, dass ein Blitzeinschlag unmittelbar bevorsteht. Wilson lief sofort bergab, der Blitz traf ihn nicht; er schlug direkt hinter ihm ein, aber der Einschlag war so machtvoll, dass er ihm für einen Moment die Besinnung raubte. Und wenn jene winzigen, für die Physik so wichtigen Nebelspuren, die er im Glas züchtete, in ihrem raschen Entstehen und Vergehen so ziemlich das zarteste und flüchtigste Naturphänomen sind, das man sich vorstellen kann, so ist der Blitz das drastischste und mächtigste, ein Ereignis. Beide zusammen, Nebelspur und Blitz, umspannen als Extreme die ganze Weite seines wahrhaft umfassenden Interesses an der Natur.

Der Blitz, dem Wilson auf dem Berg glücklich entkam, ereilte ihn eines Tages im Labor: Bei einem Versuch kam er, als er sich neugierig über sein Experiment beugte, zu nahe an die Hochspannungsquelle, die sich mit lautem Knall entlud, direkt in seine Stirn; Wilson schlug der Länge nach hin und erwachte erst am Abend wieder. Wir wissen nicht, ob er »Dear, dear« sagte. Bezeugt ist jedenfalls, dass er, ohne weiteres Aufheben von der Sache zu machen,

aufstand, seinen Schreibtisch ordnete, den Strom abstellte und wie immer zu Fuß nach Hause ging.

Als Blitzforscher war Wilson ähnlich innovativ wie als Wolkenbildner. Er studierte nach und nach das gesamte vorhandene Wissen über Blitze und machte sich daran, neue Wege zu gehen. Mit Erfolg: Wilson hatte schon in den 1920er-Jahren im Rahmen seiner Blitztheorie einen bis dato unbekannten Blitztyp vorhergesagt, den er drei Jahrzehnte später selbst beobachten konnte, einen orange-rötlichen Blitz, der nicht nach unten, sondern nach oben steigt, umgeben von zahlreichen Verzweigungen. Diese seltene Blitzsorte wird im Deutschen Koboldblitz, im Englischen Sprite genannt. Bis ins hohe Alter arbeitete Wilson an einer umfassenden Theorie zur Erklärung des Blitzes. Bis heute sind seine Veröffentlichungen Ausgangspunkt der Blitzforschung.

1955 bestieg er, zum ersten Mal in seinem Leben, ein Flugzeug, um Wolken von oben zu beobachten. Der Meteorologe James Pantton erinnerte sich später: »Als er 86 Jahre alt war, hörte er, dass die

Meteorologiestudenten in Edinburgh Studienflüge mit der Royal Air Force absolvieren durften, und er fragte mich: ›Würde ich als Meteorologiestudent durchgehen?‹ Mit dem Bus kam dieser etwas ältere Student zum Flughafen, die Taschen seiner Jacke voll mit Karten und Butterbroten. Während des Fluges wechselte er eifrig von einer Seite des Flugzeugs zur anderen, zeigte die Berge, die Seen und beobachtete die Wolken. Einmal flogen wir durch einen Gewittersturm und waren sehr besorgt um unseren Passagier. Aber das hätten wir uns sparen können! Da saß er, den Sicherheitsgurt festgezurr, und schaute mit höchster Intensität die Blitze an, die um uns herum zuckten, das heftige Schaukeln und Ruckeln des Flugzeugs war ihm gleichgültig. Er ging völlig in dem Erlebnis auf: ein Gewitter aus nächster Nähe zu sehen und zu fühlen, ein Gewitter!«

Wilsons letzte Arbeiten waren dem Ben Nevis gewidmet. Hier hatte er einst als junger Mann gestanden, versunken in die Betrachtung der Wolken. Und das ist er bis zuletzt geblieben, ein Wanderer über den Wolken, der ein Fenster zur Welt der Atome geöffnet hat.

Sein Schüler Patrick Blackett, der für Arbeiten mit der Nebelkammer ebenfalls den Nobelpreis für Physik erhielt, sagte in seiner Gedächtnisrede, Wilson sei von allen großen Wissenschaftlern seines Zeitalters vielleicht der heiterste und freundlichste gewesen, vollkommen gleichgültig gegenüber Prestige und Ehre. »Seine Hingabe an seine wissenschaftliche Arbeit speiste sich aus seiner Liebe zur Natur und seiner Freude an ihrer Schönheit.«

Deshalb sind Wilsons Beobachtungen nicht nur ein Schlüssel zu den Bausteinen der Materie und damit zu unserem modernen Wissen über die Natur. Sie zeigen auch anschaulich, dass in der Natur alles Prozess ist, dass selbst scheinbar feste Steine in immerwährender Umwandlung sind und auch die umgebende Luft nicht so ruhig ist, wie es scheint, sondern fortwährend von Strahlung durchkreuzt wird. Und diese Strahlung kommt nur zum Teil aus der Erde selbst, zum Teil auch aus den Tiefen des Alls, als Schauer ferner Sternexplosionen oder Sternkollisionen. Und damit zeigt seine Wolkenkammer zugleich, dass die Erde und der Kosmos in einer engen

Beziehung zueinanderstehen. Wir glauben zwar nicht mehr, dass die Sterne unser Schicksal steuern oder Kometen Krankheiten bringen. Durch die unsichtbaren Strahlen, die von Sternexplosionen auf die Erde niedersausen, könnten aber durchaus Ereignisse in der Atmosphäre, etwa die Wolkenbildung oder vielleicht sogar Blitze, ausgelöst werden. Und sogar die Welt der Lebewesen dürfte von diesen kosmischen Schauern beeinflusst werden, denn dann, wenn die Strahlungsdichte hoch ist, weil die Sonne und das Sonnensystem sich der strahlungsreichen Mitte der Milchstraße nähern, könnten durch die Wirkung der Strahlung auf das Erbgut in diesen Zeiten mehr Mutanten entstehen als sonst, evolutionäre Schübe können sich ereignen. So weit hat Wilson nicht gedacht. In der modernen Naturwissenschaft wird aber auch diese Idee geprüft.

Aye, no bad to that: Der Nebel lichtet sich

Echt schottisch ist Wilsons Nebelkammer, seine Wolkenmethode, wie er selbst sie nannte, nicht nur, weil sie die Freude an der Bewölkung lehrt und Nebel und stimmungsvolle Atmosphäre selbst in das trockenste Labor bringt. Schottisch ist sie auch, weil sie mit geringstem Aufwand die bedeutenden Ergebnisse zeitigt. 19 Pfund, wir haben es schon erwähnt, waren die einzige Extraausgabe, die Wilson je tätigte, ansonsten kam er bestens klar mit ein paar Glasrohren, einer Luftpumpe, einem Fotoapparat und einem Bunsenbrenner. Mit diesen einfachsten Dingen fand er den kürzesten Weg zu den Atomen.

Heute haben sich die Methoden der Kernphysik drastisch gewandelt. Der Große Teilchenbeschleuniger in Genf, der Large Hadron Collider, der im Wesentlichen demselben Ziel wie die Wolkenmethode gewidmet ist, nämlich der Entdeckung neuer Elementarteilchen und der Untersuchung kernphysikalischer Reaktionen, kostet jedes Jahr einige 100 Millionen Euro. Er ist gegenwärtig das wohl teuerste Wissenschaftsprojekt weltweit und damit insgesamt das bislang teuerste Wissenschaftsprojekt aller Zeiten. Der LHC, wie die riesige Anlage meist genannt wird, verbraucht jährlich etwa so viel Strom wie eine Großstadt mit 150.000 Haushalten. Eine eigene Stromleitung versorgt das Objekt mit Elektrizität von französischen Kernkraftwerken. Die Leitungen werden mit flüssigem Helium gekühlt, allein der Bau des 26 Kilometer langen Tunnels verschlang einige Milliarden Schweizer Franken. Auch hier gelangen nobelpreiswürdige Entdeckungen zur Struktur der Materie, doch mit einem unvergleichlich höheren Aufwand. Die Maschinen, die man baut, werden immer riesiger, doch die erzielten Ergebnisse sind nicht immer bedeutender und großartiger. Umgekehrt dürfte eher ein Schuh daraus werden: Je hochgerüsteter die Physiker der Natur auf den Leib rücken, desto spärlicher werden die Neuigkeiten, die sie zutage fördern. Hier wie überall gilt das Gesetz vom abnehmenden Nutzen. Mehr und mehr ist nötig, um immer weniger herauszubekommen. Die »technologische Eskalation«, die überall in der Naturwissenschaft festzustellen ist, lässt sich in Genf besonders gut beobachten.

Es ist in der Physik ähnlich wie in der Seefahrt. Wer die Nachbauten des Schiffes, mit dem Kolumbus Amerika erreichte, in Sevilla oder in Huelva im Südwesten Spaniens besichtigt, ist erstaunt, dass mit einem so winzigen Boot eine so epochale Entdeckung möglich war. Spätere Expeditionen zu neuen Ufern, etwa nach Australien, zum Südpol oder zur Arktis waren viel aufwendiger ausgerüstet, dauerten wesentlich länger und kosteten ganz andere Summen – und doch waren die dabei gemachten Entdeckungen in ihrer Tragweite nie zu vergleichen mit der Entdeckung Amerikas.

Ähnlich sind, Glück, Intelligenz und Beobachtungsgabe vorausgesetzt, auf neuen naturwissenschaftlichen Gebieten mit einfachsten Mitteln fundamentale Entdeckungen möglich. Wilsons Nebelkammer ist ein hervorragendes Beispiel dafür. Um dann aber weiterzukommen, müssen immer aufwendigere Geräte und Maschinen gebaut werden. Aus der Nebelkammer, die Wilson sich aus selbst geblasenem Glas baute und die er mit einfachsten Mitteln betrieb, kamen Erkenntnisse, die unser Bild der Materie revolutioniert haben. Dann wurden automatisierte Nebelkammern konstruiert, schließlich entwickelte man die Blasenkammer, die mit tiefgeköhltem, hochexplosivem Wasserstoff arbeitete, und am Ende baute man gewaltige Teilchenbeschleuniger. Immer noch gelingen durch diese riesigen Experimentanordnungen neue Entdeckungen, etwa des Higgs-Bosons, ein nach dem englischen Physiker Peter Higgs benanntes Elementarteilchen. Doch der Aufwand, der für diese Entdeckungen nötig ist, wird finanziell, technologisch und organisatorisch immer gewaltiger. Am Large Hadron Collider in Genf arbeiten über 10.000 Wissenschaftler aus aller Welt, selbstverständlich auch Schotten. Der schottische Genius aber, der mit einfachsten Mitteln den kürzesten Weg zu den Atomen fand, ist aus der modernen Physik, die mit riesigen Maschinen auf die Natur losgeht, wohl auf immer verschwunden.

Wolkenexperimente

Wolkenexperimente

Wolkenexperimente

Wolkenexperimente

Ein Spaziergang im Nebel

SITUATION: an Nebeltagen, zum Beispiel im späten Oktober
oder im November

AUSRÜSTUNG: keine

(1) Nebeltage schaffen eine stimmungsvolle Atmosphäre, die aus dem paradoxen Effekt des Nebels entsteht. Einerseits mindert er die Sicht, andererseits kann man bei Nebel oft besonders gut hören, weil die Luft sich nur langsam bewegt. Auch im Kleinen bieten Nebeltage Gelegenheit für interessante Beobachtungen. Hier einige Beispiele.

[2] Blätter auf einem Weg, den der Nebel einhüllt, sind oft nur an der Seite nass, über die der Wind streift. Hinter ihnen findet sich eine trockene Zone, wie eine Art Schatten. Ähnlich wie in dieser Miniaturlandschaft verhält es sich, wenn feuchte Seewinde das Land erreichen. Der Wind vom Meer ist nass. Wenn dieser Wind auf Berge trifft, bleibt die Feuchtigkeit an dem Hindernis hängen, es regnet. Auf der dem Wind abgewandten Bergseite ist es meist viel trockener. Am klarsten zu erkennen ist dieses Muster in den amerikanischen Rocky Mountains. Diese Gebirgskette erhält sehr viel Niederschlag auf der Meerseite, dort stehen auch die berühmten Wälder mit den Riesenbäumen, den Sequoias. Auf der Rückseite der Berge hingegen ist es trocken. Dort finden sich Gegenden wie das Death Valley – das »Todestal«, wo extreme Hitze und extreme Trockenheit herrschen.

[3] Vielleicht liegen auch Zigarettenskippen auf dem Weg. Hinter ihnen siehst du auf dem Asphalt meist eine lange feuchte »Straße«. Selbst wenn die Kippe nicht mehr glimmt, setzt sie noch eine ganze Weile Partikel frei. An diesen Partikeln kondensiert das Wasser. Auch das ist nicht nur im Kleinen, sondern ebenso im Großen zu beobachten: Überall wo Rauch ist und Feuchtigkeit in der Luft, bildet sich viel Nebel. Früher konnte man in Industriestädten wochenlang die Sonne kaum sehen, weil der dichte Smog sich nicht verzog. Heute ist die Luft zumindest in Mitteleuropa Gott sei Dank viel sauberer.

Der Tau

SITUATION: frühmorgens, nach einer sternklaren, windstillen Nacht

AUSRÜSTUNG: keine

[1] Je stärker die Abkühlung bei Nacht, desto mehr Tau bildet sich. Besonders viel Tau gibt es in sternklaren Nächten, jedenfalls dann, wenn es windstill ist. Der Grund ist, dass die Erde nachts auskühlt: Die von der Sonne gespendete und im Boden gespeicherte Wärme strahlt zurück ins Weltall. Je ungehinderter sie ausstrahlt, umso tiefer die Abkühlung. Ist der Himmel jedoch bewölkt, dann wirken die Wolken wie eine Decke, die die Ausstrahlung vermindert: Am Boden bleibt es relativ warm, oft so warm, dass kein Tau oder nur wenig Tau entsteht.

[2] Dagegen fröstelt man rasch, wenn Mond und Sterne gut zu sehen sind – dann trennt keine Wolkendecke die warme Erde vom kalten Weltall. In solchen Nächten bildet sich reichlich Tau oder, wenn es friert und die Luft nicht zu trocken ist, Raureif. Dieser Zusammenhang zwischen der Sichtbarkeit der Sterne und dem Auftauchen von Tau, dem poetischen Wasser, ließ viele Menschen jahrhundertlang glauben, der Tau komme direkt von den Sternen und sei ein ganz besonderes Wasser, das mancherorts für vielerlei Anwendungen aufwendig gesammelt wurde. So sollten die silbrig glitzernden Tautropfen auf dem Frauenmantel, einer in Deutschland recht häufigen Wildpflanze, gegen Sommersprossen helfen. Auch die Alchemisten sammelten gern das »himmlische Wasser«, indem sie morgens Tücher über taubedeckte Wiesen zogen, die sie anschließend auswringen.

[3] Dass aber der Tau nicht direkt von den Sternen herabfällt, sondern sich in Bodennähe bildet, ist unter anderem daran zu erkennen, dass er nicht überall gleichmäßig niedergeht. Er zeigt ein

ganz bestimmtes Verteilungsmuster. An den Spitzen der Grashalme zum Beispiel bilden sich oft dicke Tautropfen, was schwer erklärbar wäre, wenn man wirklich davon ausginge, dass der Tau als Wasser von den Sternen herabtröpft. Nehmen wir dagegen an, dass Tau sich dort am reichlichsten bildet, wo es am kältesten ist, und gehen wir außerdem davon aus, dass genau die Stellen sich am stärksten abkühlen, von denen die Wärme am ungehindertsten ausstrahlt, dann ist alles ganz leicht erklärlich: Von den Grasspitzen strahlt die Wärme frei in alle Richtungen. Grashalme speichern ohnehin nicht allzuviel Wärme, mangels Masse. So kühlen sie extrem schnell und stark aus, wie ja auch unsere Fingerspitzen und unsere Nasenspitze. Hier gilt, was der schottische Tauforscher Wells festgestellt hat: Je mehr Himmel von einem bestimmten Punkt aus sichtbar ist, desto kälter wird es dort und desto ungehinderter strömt von dort die Wärme ins Weltall. Wir können, wenn wir uns näher anschauen, wo und wie der Tau entsteht, die Temperatur und die Temperaturunterschiede sehr genau beobachten. Dasselbe gilt für Raureif, der sich im Winter bildet. Und schon einige Äste, die ein Gärtner an kalten Tagen über eine empfindliche Pflanze legt, schützen diese vor dem Erfrieren, weil sie die Wärmeausstrahlung aufhalten. Zwar scheint es kaum glaubhaft, dass wenige Äste, über eine Rose gebreitet, diese wirklich wärmen, und doch verhält es sich so. Schließlich ist es kein Zufall, dass Nebel sich meist zuerst auf offenen Wiesen bildet: Dort kühlen der Boden und die Luft besonders schnell ab, schneller als im Wald.

[4] Autos, die im Nebel stehen, sind mit Tau bedeckt. Aber nicht überall gleichmäßig. Auf der Kühlerhaube ist oft ein seltsames Muster zu erblicken, wenn sich dort Tau niederschlägt. Wo es kälter ist, da setzt sich mehr Wasser ab. Je dünner das Blech, desto schneller wird es kalt, desto reichlicher taut es darauf. Wo das Blech verstärkt wurde, da bildet sich hingegen wenig oder gar kein Tau, denn das Metall speichert, wie der Boden auch, die Wärme: Diese Stellen kühlen langsamer ab. Unter Kühlerhauben befinden sich

meist kreuzförmige Verstärkungen, die man nach Nächten, in denen Tau fällt, deutlich sehen kann. Es zeigt sich: Tau macht Unsichtbares sichtbar, wie eine Wärmekamera. Je kälter, desto mehr Tau. Dieses Prinzip gilt nicht nur für Kühlerhauben, sondern auch in der Landschaft. Ab und zu entdecken Archäologen, die von Flugzeugen aus Äcker beobachten, auf diese Weise historische Siedlungsreste: Über den längst eingeebneten Mauern setzt sich mehr Tau ab.

[5] Nicht nur für Naturforscher und Flaneure ist es interessant, den Tau zu beobachten, auch Autofahrer sollten auf ihn achten. Eine Brücke ist zum Beispiel kälter als die übrige Straße. Denn sie kühlt nach oben und nach unten aus. Wenn es friert, sind Brücken für Autofahrer gefährlicher als die anderen Straßenabschnitte, denn auf Brücken bildet sich leichter Glatteis. Bei den Schweizern gibt's deswegen Brückenheizungen!

Licht + Trübe = Farbe

SITUATION: zu Hause, abends.

AUSRÜSTUNG: ein Parkettreiniger auf Wachsbasis sowie ein hohes Glas, zum Beispiel ein Bierglas, Wasser, eine Taschenlampe.

(1) Die schottischen Nebelforscher haben gezeigt, dass die Trübe in der Atmosphäre, der Staub beziehungsweise die Aerosole, wie die modernen Physiker eher sagen, nicht nur eine negative Wirkung haben. Zwar mindern sie die Durchsichtigkeit der Luft, sind aber von entscheidender Bedeutung für alle Lebewesen, so minimal ihre Masse auch sein mag.

(2) Denn hätte die Erde keine trübe Atmosphäre, dann würden wir am Tage nur einen schwarzen Himmel mit einer unbarmherzig herabstrahlenden Sonne sehen. Nachts würde es sofort eiskalt werden, da keine Lufthülle, kein Dunst und keine Wolken die Wärmeabstrahlung vermindern.

(3) Es sind die Gase, und es sind die feinen Partikel, die Tröpfchen und Staubkörnchen in der Luft, denen wir verdanken, dass uns ein solch brutaler Himmel, der zugleich nachtschwarz und überhell ist, erspart bleibt. Denn durch die feinen Partikelchen wird das

Licht auch in diejenigen Zonen gelenkt, die eigentlich im Schatten liegen. So mildert die Trübe nicht nur die direkte Strahlung, sie sorgt auch für eine gerechtere Verteilung des Lichts und ermöglicht damit, dass auch Orte, die an sich schattig wären, bewohnbar sind. Doch das ist noch nicht alles. Auch die stimmungsmächtige Farbenpracht des Himmels, ganz besonders beim Auf- und Untergang der Sonne, ist das Werk jener feinen Partikel.

(4) Denn erst jene dünne Schicht, die zwischen Erde und Weltraum eingewachsen ist wie eine Haut, dieses feine, trübe Etwas, bringt die Färbungen des Himmelslichtes hervor, das tiefe Blau, das Abendrot und die ungezählt vielen Nuancen dazwischen. Genau diese eindrucksvollen Erscheinungen wollte Charles Wilson ursprünglich untersuchen – in der Nachfolge des schottischen Nebelforschers John Aitken. Er arbeitete mit Wasserdampf, es ist aber einfacher, die entsprechenden Versuche mit einer Aufschwemmung feinsten Partikel in Wasser durchzuführen, mit einer sogenannten Emulsion beziehungsweise Suspension.

(5) Füll ein hohes Bierglas mit Wasser, gib dann etwas von der Reinigungsemulsion hinzu. Beleuchte das trübe Glas seitlich und blicke auf einen dunklen Hintergrund: Es schimmert bläulich. Wenn du die Taschenlampe an den Grund des Glases hältst und das Ganze von oben betrachtest, erscheint das Licht orange bis rötlich. Durch Zugabe weiteren Reinigungsmittels, weiterer Trübung also, kannst du das Rot vertiefen.

(6) Diese Erscheinung nannte Goethe das »Erste Urphänomen der Farbenlehre«: ein trübes, aber durchsichtiges Medium, das von der Seite her beleuchtet wird, erscheint vor dunklem Hintergrund blau, wie der Himmel vor dem Schwarz des Weltalls. Angeblich soll auch die Iris der Blauäugigen ihr Blau eben diesem Effekt verdanken, denn ihr Farbpigment ist das fein verteilte Melanin, ein eigentlich schwarzer Stoff.

(7) Das »Zweite Urphänomen« ist die Umkehrung des ersten: Schaut man durch ein trübes Medium auf eine Lichtquelle, dann erscheint sie rot bis orange. Auch dieses Urphänomen kann man unter freiem Himmel am besten beobachten: Abends sehen wir durch dicke Luftschichten auf die rot untergehende Sonne. Und je mehr Trübe in der Luft ist, desto ausgeprägter das Rot. Nach Vulkanausbrüchen, aber auch nach großen Waldbränden und selbst in Städten mit hoher Luftverschmutzung ist das Abendrot besonders intensiv. Experimentell hat Goethe die Erscheinungen nicht mit Parkettreiner, sondern gern mit milchigem, durchscheinendem Glas untersucht, das er vor einen dunklen Hintergrund hielt – dann erschien es blau, oder vor eine Kerze, die dann rot aussah. In seinem Wohnhaus in Weimar kann man die Gläser, die er verwendet hat, heute noch sehen. Goethe hat seine Urphänomene auch in einem Gedicht gefeiert:

Denn steht das Trübste vor der Sonne,
Da siehst die herrlichste Purpurwonne.
Und will das Licht sich dem Trübsten entwinden,
So wird es glühend Rot entzünden.
Und wie das Trübe verdunstet und weicht,
Das Rote zum hellsten Gelb erbleicht.
Ist endlich der Äther rein und klar,
Ist das Licht weiß, wie es anfangs war.
Steht vor dem Finstern milchig Grau,
Die Sonne bescheint's, da wird es Blau.

(8) Auch wenn Goethes Farbenlehre aus der Sicht der Atmosphärenphysiker nicht der beste Ausgangspunkt für eine mathematische Beschreibung ist, muss man ihr lassen, dass sie das, was wir unmittelbar sehen können, am treffendsten zusammenfasst.

Kaffeedunst

SITUATION: abends

AUSRÜSTUNG: ein Kännchen sehr heißen Filterkaffees, eine leistungsstarke Taschenlampe, ein Suppenteller oder eine flache Schale

(1) In Luft, die feine Partikel enthält – Partikel, die so winzig sind, dass man sie nur als leichte Trübung sieht –, bildet sich viel schneller Nebel als in reiner Luft. Diese Feststellung war eine der Entdeckungen des schottischen Nebelforschers John Aitken. Aitken ging aus vom Smog in London und beobachtete, dass sich dieser dichte, giftige Nebel meist frühmorgens bildete, wenn die Kohleöfen entfacht wurden und Rauch entstand. In der Regel hielt dieser Rauch sich bis weit in den Nachmittag, weil die Dunstglocke die Sonnenstrahlen daran hinderte, bis zum Boden durchzudringen. Die kalte, dunstige Luft lastete dann auf der Stadt und plagte die Einwohner, die die Sonne, wenn überhaupt, nur als roten Fleck sahen. In vielen Städten Asiens bildet sich ein solcher Smog auch heute noch. In London dagegen ist er Geschichte, dort wurde die Verwendung von Kohle, die stark raucht, drastisch reglementiert, nachdem feststand, dass sie für den Smog verantwortlich war. Mit dem folgenden Experiment kannst du die Zusammenhänge leicht erkennen.

(2) Füll den heißen Kaffee in den Suppenteller. Kaffee verwenden wir, damit wir eine dunkle Fläche haben, auf deren Hintergrund die Phänomene besser sichtbar sind. Halte die Taschenlampe so, dass der Teller zwischen dir und der Lichtquelle steht und der Strahl der Lampe flach über die Oberfläche des dampfenden Kaffees streift. Das Dampfen des Kaffees, das man sich meist so vorstellt, als erhöhen sich dicke Wölkchen über der Tasse, zeigt sich hier als äußerst komplizierter und rätselhafter Prozess. Zunächst lagern sich unmittelbar über der Kaffeeoberfläche Nebelschichten ab, die dann plötzlich, bestimmten Bahnen folgend, hochgerissen werden. Oft siehst du ein spiralisches Muster, das sich dann, wenn du über den Kaffee bläst, wobei der Dunst in alle Richtungen zerstäubt, wieder erneuert.

(3) Und nun erzeugen wir Nebel: Zünde ein Streichholz an, puste es aus und blas den Rauch in Richtung Kaffeeoberfläche. Sofort entstehen Unmengen von Dampf. Die Rauchpartikel wirken auf den Wasserdampf als Kondensationskeime, sie sorgen dafür, dass sich viel mehr Dunst bildet als zuvor. Dieser Effekt ist für den Smog verantwortlich. Das Wort ist zusammengesetzt aus Smoke und Fog, es lässt sich mit Rauchnebel übersetzen.

Die Wolke in der Wasserflasche

SITUATION: in der Küche

AUSRÜSTUNG: eine Plastikwasserflasche
(klein oder groß), Streichhölzer

(1) Schwenke etwas Wasser in der Flasche, zünde ein Streichholz an, lösche es aus und wirf es sofort in die Flasche. Schraub den Deckel wieder zu. (Du kannst das Streichholz auch brennend in die Flasche werfen, sofern sichergestellt ist, dass es im Wasser sofort verlöscht.)

(2) Drück die Flasche kräftig und lass wieder los: Es bildet sich ansehnlicher Nebel.

(3) Probier das Ganze ohne Streichholz: Der Nebel zeigt sich auch, aber wesentlich schwächer.

(4) Das Wasserschwenken hat den Sinn, Wasserdampf in die Luft zu bringen. Der ist zunächst unsichtbar. Durch das Pressen der Flasche steigt dann der Druck im Inneren. Lässt du los, sinkt der Druck plötzlich wieder – und der Wasserdampf kondensiert. Aus demselben Grund bilden sich an Bergspitzen häufig Wolken: Was-

serreiche Luft wird nach oben geschoben; oben ist der Druck aber viel niedriger, also kondensiert der Wasserdampf und bildet Wolken.

(5) Die Plastikflasche ist die Urform der allerersten Nebelkammer, die Charles Wilson baute. Darin sah er 1911 als erster Mensch die Spuren subatomarer Ereignisse. Wilson nutzte keine Plastikflaschen, sondern Glasgefäße, arbeitete aber mit demselben Prinzip, der sogenannten adiabatischen Expansion. Dabei wird einer mit Wasserdampf gesättigten Luft plötzlich die Gelegenheit gegeben sich auszudehnen, zu expandieren, und es bildet sich (meist) Nebel. Wilsons Nebelkammer heißt daher Expansionsnebelkammer. Sie kommt ohne Kühlung aus, das ist ihr Vorteil. Dafür ist sie nur für einen kurzen Moment sensibel. Die Nebelkammer, die wir gleich konstruieren werden, ist eine Diffusionsnebelkammer. Sie kann kontinuierlich betrieben werden.

Eine echt schottische Nebelkammer

SITUATION: abends oder nachts

AUSRÜSTUNG:

★ **Wassersprudler** (der zur Herstellung von Sprudel aus Leitungswasser verwandt wird; die CO₂-Patrone muss frisch sein). Den Sprudler brauchst du zum Bereiten von Trockeneis. Dieses ist für den Versuch unerlässlich, weil nur mit Trockeneis, das minus 79 °C kalt ist, die nötigen Temperaturverhältnisse zu erzielen sind. Trockeneis kannst du vielerorts kaufen oder über das Internet bestellen (du brauchst etwa 200 Gramm), dann benötigst du den Sprudler nicht. Trockeneis hält sich ein bis zwei Tage, wenn es in einer Styroporbox aufbewahrt wird. Vorsicht: beim Umgang mit

Trockeneis immer gut lüften, bewahre es nicht in geschlossenen Räumen auf!! Den Stoff allenfalls nur ganz kurz anfassen, da man Frostblasen an den Fingern bekommen kann, wenn man das Trockeneis zu lange in den Händen hält.

★ **ein kleines Stück (würfelzuckergroß) Columbit**, der meist aufgrund von Beimischungen radioaktiver Nuklide schwach radioaktiv ist. Du erhältst Columbit im Mineralienhandel, auch im Internet. Columbit wird in Schulen gern als schwach radioaktive Probe verwandt. Die Anschaffung und Verwendung ist nach der derzeitigen Strahlenschutzverordnung nicht »umgangsgenehmigungspflichtig«, weil die Strahlung zu schwach ist. Alternativ kannst du Uranglasmurmeln (mit etwas Uranoxid grün gefärbte Glasmurmeln) verwenden. Sie fluoreszieren in UV-Licht, daran kannst du sie gut erkennen. Sowohl die Uranglasmurmeln wie auch den Columbit vorsichtshalber nur mit Latexhandschuhen anfassen, die anschließend weggeworfen werden.

★ **schwarze Plastikfolie**, zum Beispiel einen Hundekotbeutel oder einen schwarzen Müllbeutel. Es eignen sich auch andere Plastikfolien, sofern sie schwarz sind. Nicht geeignet sind Metallflächen oder Karton oder Papier.

★ **Whisky** (möglichst hochprozentig). Normalerweise hat Whisky eine Konzentration von 40 Prozent. Es wird aber zunehmend auch Whisky mit höheren Konzentrationen angeboten, sogenannter Cask-Strength (Fass-Stärke) Whisky. Solch ein Whisky kommt direkt aus dem Fass und wird nicht weiter mit Wasser verdünnt. Er hat ungefähr 60 bis 79 Prozent Alkohol, je nach Marke. Wenn kein Whisky zur Hand ist, funktioniert das Experiment auch mit Brennspiritus oder Isopropylalkohol – etwa aus Handdesinfektionsmitteln. Vorsicht, hochprozentiger Alkohol ist brennbar, damit darfst du keinesfalls in der Nähe offener Flammen hantieren!

★ **eine etwa tellergroße Styroporplatte**. Das Styropor kann von einer beliebigen Verpackung stammen. Ohne Styropor verschwindet das Trockeneis schneller, und die Atome beenden ihre Vorstellung eher.

★ ein hohes, gut durchsichtiges Whiskyglas oder ein hohes Bierglas. Oder auch ein Weinglas.

★ Geschirrtuch aus grobem Leinen oder Synthetikgewebe

★ Taschenlampe (LED)

★ Latex-Einweghandschuhe

SITUATION: in einem abgedunkelten, aber gelüfteten Raum

(1) Leg dir die Ausrüstung vorher komplett zurecht, auch die radioaktiven Materialien, damit alles sofort gebrauchsbereit ist.

(2) Die Nebelkammer funktioniert an vielen Orten auch ohne radioaktive Materialien. Sie zeigt Spuren radioaktiven Zerfalls, die von natürlicherweise vorkommenden Stoffen herrühren. Relativ viel Radioaktivität gibt es etwa in wenig gelüfteten Kellerräumen, besonders dann, wenn sie keinen betonierten Boden aufweisen: In solchen Räumen reichert sich natürliches Radon an, ein radioaktives Gas. So geeignet diese Keller für Nebelkammerexperimente auch sind, weil man darin garantiert ein Ergebnis sieht, so problematisch sind sie in anderer Hinsicht. Radon ist gesundheitsschädlich. Da hilft auch nicht, dass es rein natürlichen Ursprungs ist.

(3) Einfacher und sicherer ist deshalb das Arbeiten mit einer geringen Menge leicht radioaktiven Materials. Hier bieten sich bestimmte natürliche Mineralien an. Gut funktioniert ein kleines Stück Columbit oder eine Uranglasmurmel. Diese Substanzen sind fest, krümeln also nicht, und ihre Radioaktivität ist sehr gering. Trotzdem: Latexhandschuhe anziehen, um den Hautkontakt mit dem Material zu vermeiden! Die Handschuhe hinterher in den Restmüll geben, genau wie alles, was direkt mit dem Mineral in Berührung kommt.

(4) Wenn du die Ausrüstung beisammenhast, ist der Aufbau der Nebelkammer nicht schwer. Gieß einen Schwung Whisky ins

Glas, schwenke um und schütte den Whisky in ein anderes Glas oder zurück in die Flasche.

(5) Nun nimmst du den Wassersprudler, hältst ihn kopfüber und drückst auf die Taste – nebeliges Gas kommt aus der Spitze heraus. Aus dem Geschirrtuch formst du einen kleinen Sack, den du mit der Hand fest um die Düse hältst, und lässt etwa eine halbe bis eine Minute Kohlendioxid einströmen. Es dampft und nebelt beträchtlich, und wenn du das Säckchen behutsam – damit nichts herausfällt! – öffnest, befindet sich darin etwas Kohlensäureschnee. Du solltest mit diesem Schnee vorsichtig hantieren: Du darfst ihn nicht länger in der Hand halten, da sonst Brand- beziehungsweise Frostblasen entstehen können. Das merkst du aber. Den Schnee auf dem Geschirrtuch legst du mit dem Tuch auf die Styroporplatte. (Falls du eine Portion Trockeneis gekauft hast, solltest du sie zu Schnee zerstampfen, indem du sie in ein Geschirrtuch schlägst und dann vorsichtig mit leichten Hammerschlägen zerkleinerst, bis eine Art Schnee daraus geworden ist.) Stoß den Schnee auf dem Tuch so zurecht, dass er eine flache, möglichst ebene Fläche ergibt, die nicht zu dünn sein sollte. Darauf kommt die schwarze Plastikfolie und auf diese wiederum das umgestülpte Bierglas. Halt es fest, falls es wackelt. Raum abdunkeln! Leuchte mit der Taschenlampe parallel zur Folie in die Kammer.

(6) Schon jetzt kannst du, wenn du etwas Geduld aufbringst, hin und wieder gerade Linien sehen, die über den schwarzen Boden huschen und rasch wieder verschwinden: Meist handelt es sich um Spuren aus dem Zerfall von Radon. Zeigt aber die Nebelkammer wenig oder nichts Richtiges, dann hilf nach. Leg dazu den Columbit (oder die Uranglasmurmelt) auf die Folie und deck wieder das Glas darüber. Leuchte mit der Taschenlampe parallel zur Folie hinein.

(7) Nach einigen Minuten Kühlung erkennst du deutliche Nebelbahnen, die von dem Columbit ausgehen und durch die Kammer

sausen. Diese Geschossbahnen sind Spuren des radioaktiven Zerfalls, in unserem Fall sind es sogenannte alpha-Teilchen. Du siehst die Bahnen einzelner Elementarteilchen und die Spuren einzelner Atome, die zerfallen. Elementarteilchen sind Teilchen, die noch kleiner sind als Atome. Sie bauen die Atome auf. Oft tragen sie eine Ladung, daher bringen sie, während sie dahinsausen, die Wassermoleküle, an denen sie vorbeikommen, gewissermaßen aus dem Gleichgewicht. So kommt es, dass diese sich zu feinen, sichtbaren Tröpfchen zusammenballen.

(8) Natürlich ist auch zu sehen, dass diese ganz primitive Kammer ihre Probleme hat. So dringt oft Luft zwischen Glasrand und Folie ins Innere und verschlechtert dort die Sicht. Unsere Nebelkammer dient dem Zweck, mit einfachsten Mitteln den Effekt sichtbar zu machen. Klar, dass mit höherem Aufwand viel präzisere Bahnen beobachtet werden können.

(9) Zum Schluss: Die schwarze Folie wirfst du nach dem Versuch weg, das Bierglas wird gründlich gereinigt und kann wiederverwendet werden. Es ist nicht verseucht. Vorausgesetzt, du hast eine Berührung mit dem Columbit vermieden. Den Columbit selbst möglichst nicht anfassen, nur mit dem Aufbewahrungskästchen bewegen oder mit Latexhandschuhen. Du solltest ihn, wenn du ihn nicht mehr benötigst, nicht in den Restmüll geben, obwohl das nicht verboten ist. Der Chemie- oder Physiklehrer deiner Schule wird froh sein, wenn du ihm die Probe überlässt.

Diesen Versuch kannst du dir auch im Internet ansehen, er ist Teil der Serie *Das Periodensystem des Alltags* und auf Youtube zu sehen unter: <https://www.youtube.com/watch?v=uAoKB2-64Ig>

Das Prinzip der Blasenkammer

SITUATION: am Küchentisch

AUSRÜSTUNG: ein Glas Sprudel, etwas Salz

(1) Die Nebelkammer wurde in der Forschung seit den 1950er-Jahren zunehmend von der Blasenkammer, der Bubble Chamber, abgelöst. Hier lösen die winzigen Ereignisse auf der atomaren und subatomaren Skala keine Nebelbahnen aus. In einer Flüssigkeit, die kurz vor dem Siedepunkt steht, entstehen vielmehr feine Blasen.

(2) Das Prinzip kannst du dir an einem einfachen Beispiel klarmachen. Gibst du in ein Glas Sprudel etwas Salz, schäumt das Ganze heftig auf. Denn in dem Sprudel ist Kohlensäure gelöst, die entweicht, sowie die Flasche geöffnet wird. Wird Salz hinzugegeben, dann bilden sich viel mehr Bläschen, weil schon eine leichte Störung – hier die Salzkristalle – reicht, um dem Kohlendioxid den Weg aus der Flasche zu erleichtern. Einen ähnlichen Effekt beobachtest du, wenn du Salz in fast kochendes Wasser gibst – auch dann sprudelt das Wasser auf.

(3) Es findet übrigens keine chemische Reaktion statt. Es kommt nur auf die kleine Störung an – was du daran siehst, dass du mit Sand, der sich ganz bestimmt nicht in dem Wasser löst, denselben Effekt erzielst.

(4) Ähnlich wie die kleinen Salzkristalle funktionieren die fliegenden subatomaren Partikel. In den Blasenkammern bringen sie sichtbare Bläschenbahnen hervor, die sich fotografieren lassen.

Glorien

SITUATION: im Gebirge, im Flugzeug

AUSRÜSTUNG: keine

Glorien sind regenbogenartige, aber kreisrunde Lichterscheinungen, die sich manchmal zeigen, wenn ein Schatten auf Nebel oder Wolken fällt. Man erblickt sie bisweilen im Gebirge, wenn man über einer Wolkendecke steht, auf die der eigene Schatten oder der Schatten eines Berges fällt. Eine weniger bekannte Situation, in der Glorien zu sehen sind, sind Flüge: Da lohnt es sich, auf den Schatten des Flugzeugs zu achten. Fällt er auf eine Wolkendecke, ist er oft von einem Glorienschein umgeben.

Das Auge und die Mikrowelten: die Ein-Cent-Münze

SITUATION: an einem Tisch oder im Freien

AUSRÜSTUNG: eine Ein-Cent-Münze

(1) Ein Tausendstel Meter ist ein Millimeter (mm), ein Tausendstel Millimeter ist ein Mikrometer – und ein Tausendstel Mikrometer ist ein Nanometer (nm). Atome haben meist Größen von circa 0,1 Nanometer. Im Alltag haben wir allenfalls mit Millimetern zu tun, aber niemals mit Mikrometern und mit Nanometern nur dann, wenn wir in Werbeprospekten von Nanopartikeln oder überhaupt von Nano als Fortschrittssymbol lesen. Ist also ein Millimeter das kleinste Maß, das wir noch halbwegs erkennen können? Wir unterschätzen unsere Sinne, ihre Reichweite ist größer. Denn auch der Mikrometerbereich ist noch sichtbar.

(2) Nimm eine Ein-Cent-Münze. Sie hat einen Durchmesser von 1,6 Zentimetern. Auf der Vorderseite, also da, wo die Zahl eins steht, zeigt das Cent-Stück einen Globus, auf dem Europa zu sehen ist.

(3) An beiden Seiten dieses Globus finden sich sechs Sternchen jeweils mit einem Durchmesser von einem halben Millimeter, also von 500 Mikrometern. Unterhalb eines jeden Sternchens ist ein winziger Buckel, den du spätestens dann siehst, wenn du die Münze im Licht ein wenig hin- und herdrehst. Diesen Buckel kannst du auch erfühlen. Ich habe ihn mit einem Präzisionsmikroskop vermessen – er hat einen Durchmesser von genau 54 Mikrometern. Fünf Hundertstel Millimeter! Ist es nicht erstaunlich, dass wir etwas so Kleines noch so gut wahrnehmen können? Und wir können sogar noch kleinere Dinge sehen ...

Das Auge und die Mikrowelten: Blutkörperchen ohne Mikroskop

SITUATION: bei blauem Himmel

(1) Stühle, Tische, Bildschirme, Teller, Messer und Gabel: Mit dem Auge sehen wir die Welt der Dinge, auf die Wahrnehmung von Dingen ist das Auge spezialisiert. Noch mehr als auf Dinge achten wir auf Lebewesen, bewegliche Gegenstände und auf Personen, einfach, weil es diese Objekte sind, die in der Welt für Veränderungen sorgen.

(2) Und doch können wir in ganz bestimmten Situationen mit dem Auge auch unglaublich winzige Dinge wahrnehmen. Es ist zum Beispiel möglich, die durch die Adern im Auge wandernden einzelnen Blutkörperchen zu sehen. Im Grunde haben wohl die meisten Menschen diese Blutkörperchen schon gesehen, ohne allerdings der Sache weitere Beachtung zu schenken.

(3) Entdeckt wurden diese besonderen Phänomene von dem österreichischen Naturforscher Johann Purkinje, dem Begründer der modernen medizinischen Physiologie. Im Jahre 1819 schrieb er in seiner Doktorarbeit erstmals darüber. Purkinje tat es in seiner wissenschaftlichen Arbeit, wie er erläutert, den Kindern nach, die noch nicht einzementiert sind in bestimmte Sehroutrinen und noch nicht genau wissen, was von dem, das sie erblicken, wichtig ist und was nicht. Ein Kind experimentiert gern, wie Purkinje ausführte: »Jeder Augenblick zählt einen neuen Fund, offenbart neue und reichere Welten von Erscheinungen. Vor allem verfolgt [das Kind] gern die Spur des heiteren Lichtes und vertieft sich in der Farben reizende Gegenwart.« Auf gleiche Weise ging Purkinje selbst vor, er achtete mit wachem Sinn auf das, was so alles sichtbar ist, auch auf die vermeintlich unnützen Nebenphänomene.

(4) Und deshalb entdeckte er das nach ihm benannte Purkinje-Phänomen. Es besteht in Folgendem: Wenn man etwa länger gerannt ist und dann in den blauen Himmel sieht oder auf eine hellweiße Fläche, etwa eine Schneefläche, dann erkennt man leuchtende Punkte, die plötzlich auftauchen, sich wurmartig winden und verschwinden, im Takt des Pulses. Auch bei Grippe nimmt man diese Punkte oft deutlich wahr, ebenso bei starkem Husten oder plötzlichem Aufstehen. Purkinje gab den Tipp, man sehe das Ganze am besten, wenn man »mit gesenktem Haupte etwas Schweres gehoben oder einige heftige Sprünge gemacht hat«. Er erklärte das Phänomen damit, dass man hier das pulsierende Blut im Auge sehen würde, und sprach auch von »Blutkügelchen«. Außerdem fiel ihm eine Art Schatten der Kügelchen auf, was darauf hinweist, dass es sich um echte Körper handelt.

(5) Es sind, wie man heute glaubt, wohl vor allem die weißen Blutkörperchen, die man auf ihrem Weg durch die winzigen Äderchen im Auge sieht. Blicken wir in den blauen Himmel, dann absorbieren die roten Blutkörperchen das blaue Licht. Durchgelassen wird dieses Licht nur von den weißen Blutkörperchen, daher sehen wir besonders leuchtende Punkte. Das Phänomen wird heute gern Blue Field Entoptic Phenomenon genannt. Doch wie auch immer es genannt wird: Was wir sehen, ist noch kleiner als der winzige Punkt auf der Ein-Cent-Münze, denn die Blutkörperchen haben einen Durchmesser von etwa zehn Mikrometern (zur Erinnerung: Ein Mikrometer ist ein Tausendstel Millimeter).

(6) Das Auge ist also selbst eine Kontaktzone zur Mikrowelt, wir können bei besonderen Bedingungen sogar einzelne Blutkörperchen und ihre Bewegung sehen. Dies ist eine großartige Erscheinung, weil wir gleichzeitig »etwas da draußen« erblicken und das Leben des Auges.

Das Auge und die Mikrowelten: Tscherenkows Leuchten

SITUATION: im Weltall

AUSRÜSTUNG: Raumstation, Space Shuttle

(1) Und es geht noch weiter! Der Mensch kann mit bloßem Auge, genauer gesagt *im* Auge auch fliegende Atombruchstücke sehen. Allerdings nur unter ganz besonderen Bedingungen. Es ist bekanntlich so, dass im Weltall sehr viel mehr Strahlung unterwegs ist, als auf Erden ankommt. Dort fliegen auch große Mengen extrem energiereicher Atomkerne umher. Diese werden normalerweise abgefangen, sowie sie auf die Erdatmosphäre auftreffen. Nur in großen Höhen wie auf Berggipfeln kommt hin und wieder ein solches Teilchen an. Solche Teilchen können, wenn sie durch Wasser oder wässrige Gewebe sausen, Leuchterscheinungen hervorrufen, die nach dem russischen Physiker Pawel Tscherenkow als Tscherenkow-Effekt oder Tscherenkow-Leuchten bezeichnet werden.

(2) Schon 1952, vor den ersten Mondflügen, hatte der ungarisch-amerikanische Physiker Cornelius Tobias vorhergesagt, dass Astronauten wahrscheinlich einzelne Lichtblitze sehen könnten, wenn extrem energiereiche Strahlen und subatomare Teilchen durch ihren Kopf sausen. Tatsächlich berichteten die Astro-

nauten Neil Armstrong und Buss Aldrin, die am 21. Juli 1969 auf dem Mond landeten, von solchen Wahrnehmungen. Auch viele spätere Astronauten erzählten, dass sie immer wieder Lichtblitze gesehen hätten, besonders in der sonst dunklen Raumfähre, Lichtblitze, die häufig als Streifen durch das Gesichtsfeld schossen und bisweilen so aufdringlich gewesen seien, dass sie sie am Schlafen hinderten. Daraufhin beschäftigten sich auch Physiker auf der Erde mit diesem Phänomen. Sie steckten zum Beispiel den Kopf in den Strahl eines Teilchenbeschleunigers und erfreuten sich an den Lichtblitzen, bis ihnen ihre Vorgesetzten diese Tätigkeit verboten. Man kann es mit dem Spieltrieb und der kindlichen Neugier, die jeden Forscher anspornt, auch zu weit treiben ...

(3) Auch in der modernen Raumfahrt wird das Phänomen regelmäßig beobachtet, so berichten auch die Astronauten der internationalen Raumstation ISS, dass sie regelmäßig vor dem Einschlafen solche Lichtphänomene sehen, die oft auch als recht störend empfunden werden. Je nachdem, wo sich die Raumstation auf ihrem Flug gerade befindet, kann das Tscherenkowsche Leuchten häufiger oder seltener auftreten, denn über bestimmten Zonen der Erde sausen mehr Teilchen umher als über anderen. Gefährlich aber sind sie alle. Die Astronauten können noch froh sein, dass sie innerhalb der ISS schlafen, müssten sie draußen im Weltall biwakieren, dann wären sie in weit höherem Maße dem hochenergetischen und schädlichen Teilchenhagel ausgesetzt. Vor diesen subatomaren Teilchen würde sie nur ein Weltraumanzug aus Blei halbwegs schützen, aber der ist natürlich für die Raumfahrt aus anderen Gründen nicht sinnvoll, denn er müsste ja erstmal hochtransportiert werden und dafür ist er zu schwer, zumal er auch die Beweglichkeit der Astronauten sehr behindern würde. Und das Tscherenkowsche Phänomen ist nur die harmloseste Wirkung des Teilchenhagels. Diese können auch Zellen und Zellkerne beschädigen und damit zum Beispiel Krebs auslösen. Auch andere Erkrankungen wie zum Beispiel Trübungen der Augen haben bei längerem Aufenthalt im All eine erhöhte Wahrscheinlichkeit.

Im Weltall sausen, ich sagte es schon, mit Hochgeschwindigkeit Atomkerne aller Sorten umher, das gesamte Periodensystem der Elemente ist unterwegs. Beziehungsweise die Kerne der Elemente des Periodensystems. Die meisten davon klein und leicht, Wasserstoff- und Heliumkerne sind mit Abstand am häufigsten vertreten. Doch gibt es dort oben, anders als unten auf der Erde, immer wieder auch richtig dicke und schwere Brummer, Kerne schwerer Elemente wie Eisen oder sogar Uran, die heransausen, durch die Körper hindurchsauen und besonders viel Schwung und daher besonders heftige Auswirkungen haben. Diese Partikel kommen von weit her, aus dem Inneren der Milchstraße, vielleicht auch von anderen Galaxien. So exotisch ihre Herkunft ist, so gefährlich sind sie doch. Von den dünnen Raumanzügen werden sie kaum abgeschirmt, sogar die gepanzerte Hülle der Raumstation hält nur einen Teil dieser Strahlung auf.

Hinzu kommt noch, dass es auch auf der Sonne, die uns eigentlich vor der Weltraumstrahlung schützt, hin und wieder zu größeren Eruptionen kommt, die riesige Mengen an Strahlung und energiereichen Partikeln in den Weltraum schießen. Es ist auf der Raumstation wichtig, solche Ereignisse rechtzeitig zu erkennen, damit die Astronauten sich vorsehen können. Würden sie sich während einer Sonneneruption draußen aufhalten, dann würden sie nicht nur ein Tscherenkowsches Leuchten erleben wie nie zuvor, sie würden einen solchen Weltraumspaziergang vermutlich *nicht* überleben. Zuletzt fand eine solche Eruption im September 2017 statt und lösten einen Alarm in der ISS aus: die Astronauten mussten sich rasch in den dafür vorgesehenen Schutzraum zurückziehen. Über Nordamerika waren zu dieser Zeit besonders prächtige Nordlichter zu sehen, denn die werden ebenfalls durch die solaren Teilchenstürme ausgelöst.

Träume von einem Auswandern der Menschheit auf andere Planeten, wenn die Erde einmal dank Umweltverschmutzung und Raubbau unbewohnbar geworden sein sollte, sind vor diesem Hintergrund recht unrealistisch. Zwar hat auch der Mars eine Art At-

mosphäre, die gegen die Teilchen aus dem Kosmos schützt, aber die- se Atmosphäre ist dünn und ihr Schutz ist nicht viel besser als der der Außenhülle der ISS. Nur das Magnetfeld unseres Heimatplane- ten und seine Atmosphäre sind wirksame Schutzschilder gegen die heftigen Teilchenstürme aus dem All.

Und auch dies ist ein Ergebnis der kernphysikalischen For- schung: sie zeigt uns erneut, wie einzigartig und kostbar unsere Erde ist.

Literatur

- John Aitken: *On Dust, Fogs and Clouds*. In: Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. 1880, Heft 1, S. 122-126.
- John Aitken: *Collected Scientific Papers*. Edited for the Royal Society of Edinburgh by Cargill G. Knott. Cambridge: University Press 1923.
- John Aitken: *The Remarkable Sunsets*. In: Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. 1883-1884, S. 448-450, 647-660.
- Edward N. da C. Andrade: *The Structure of the Atom*. London: Bell 1927.
- Craig F. Bohren: *What Light Through Yonder Window Breaks? More Experiments in Atmospheric Physics*. Mineola, N.Y.: Dover Publications 2006 (1st edition 1991).
- Joseph Braunbeck: *Der strahlende Doppeladler. Nukleares aus Österreich-Ungarn*. Graz: Leykam 1996.
- Michael Fry: *The Scottish Empire*. Edinburgh: Birlinn 2001.

Manfred Gläser: *Die Nebelkammer im experimentellen Unterricht*. Köln: Deubner 1976.

Peter Galison, Alexi Assmus: *Artificial Clouds, Real Particles*. In: David Gooding, *The Uses of Experiment. Studies in the Natural Sciences*. Cambridge: University Press 1989, S. 225-274.

Peter Galison: *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*. Chicago: The University of Chicago Press 1997.

Hans Geitel: *Die Bestätigung der Atomlehre durch die Radioaktivität*. Braunschweig: Vieweg 1913.

Wofgang Gentner, Heinz Maier-Leibnitz, Walther Bothe: *An Atlas of Typical Expansion Chamber Photographs*. London: Pergamon 1954.

E.C. Halliday: *Some Memories of Prof. C.T.R. Wilson, English Pioneer in Work on Thunderstorms and Lightning*. In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 51 (1970), S. 1133-1135.

William T. Kilgour: *Twenty Years on Ben Nevis. Being a Brief Account of the Life, Work, and Experiences of the Observers at the Highest Meteorological Station in the British Isles*. Cambridge: University Press 1905.

Johannes Kühl: *Höfe, Regenbögen, Dämmerung. Die atmosphärischen Farben und Goethes Farbenlehre*. Stuttgart: Freies Geistesleben 2011.

Hubert Mania: *Kettenreaktion. Die Geschichte der Atombombe*. Reinbek: Rowohlt 2010.

Slobodan Perovic: *Missing Experimental Challenges to the Standard Model of Particle Physics*. In: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 42 (2011), S. 32-42.

Josef Podzimek: *John Aitken's Contribution to Atmospheric and Aerosol Sciences – One Hundred Years of Condensation Nuclei Counting*. In:

Bulletin of the American Meteorological Society 70, No 12 (December 1989), S. 1538-1545.

Johann Purkinje: *Beiträge zur Kenntniß des Sehens in subjectiver Hinsicht*. Prag: Calve 1819.

Alfred de Quervain: *Aus der Wolkenwelt*. Zürich: Beer 1912. (Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. 114. Stück.)

Gregor Schiemann: *Philosophie der Teilchenphysik*. In: *BUW.OUTPUT. Forschungsmagazin der Bergischen Universität Wuppertal* 17 (2017), S. 12-17.

Nicolas Rescher: *Scientific Progress*. Oxford: Blackwell 1978.

Marjory Roy: *The Weathermen of Ben Nevis, 1883-1904*. Fort William: Royal Meteorological Society 2004.

Jens Soentgen: *Eine Hands-on-Nebelkammer in 5 Minuten*. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 62 (2013), Heft 2, S. 46-48. Online unter: <https://www.wzu.uni-augsburg.de/download/presse-13/Nebelkammer.pdf>

Frederick Soddy: *Die Natur des Radiums*. Leipzig: Barth 1909.

Henrik Svensmark, Nigel Calder: *Sterne steuern unser Klima. Eine neue Theorie zur Erderwärmung*. Düsseldorf: Patmos 2008.

Tacitus: *Agricola*. Lateinisch/Deutsch. Übersetzt, erläutert und mit einem Nachwort hrsg. von Robert Feger. Stuttgart: Reclam 1980.

Chris Townsend: *Ben Nevis & Glen Coe*. London: Harper/Collins 2000.

William Charles Wells: *Versuch über den Thau und einige damit verbundene Erscheinungen*. Zürich: Geßnersche Buchhandlung 1821.

Andrew Wilson: *CTR Wilson: Reminiscences of a Grandson*. In: *CTR Wilson: a Great Scottish Physicist*. Conference of the Royal Society of Edinburgh. Reported by Sue Bowler. Online unter:

https://www.rse.org.uk/cms/files/events/reports/2012-2013/CTRWilson_Conference.pdf (zuletzt aufgerufen am 3.5.2019).

Charles T.R. Wilson: *On a Method of Making Visible the Paths of Ionising Particles through a Gas*. In: Proceedings of the Royal Society 85 (1911), Issue 578, S. 285-288.

Charles T.R. Wilson: *On the Cloud Method of Making Visible Ions and the Tracks of Ionising Particles* (1927). In: Nobel Lectures Including Presentation Speeches and Laureates' Biographies. Amsterdam: Elsevier 1965, S. 194-214. Online unter: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/wilson-lecture.pdf> (zuletzt aufgerufen am 3.5.2019).

Charles T.R. Wilson: *Reminiscences of My Early Years*. In: Notes and Records of the Royal Society of London 14 (1960), S. 163-173. Online unter: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsnr.1960.0029> (zuletzt aufgerufen am 3.5.2019).

Charles T.R. Wilson: *Ben Nevis Sixty Years Ago*. In: Weather 9 (1954), S. 309-311.

Dank

Die Nebel der Atomphysik haben sich nur allmählich gelichtet, und auch nur deshalb, weil einige Experten mir halfen. Herzlich Danke! sage ich den Physikern Ulrich Eckern (Augsburg), Thomas Wilhelm (Frankfurt am Main), Christian Zeitnitz (Wuppertal/Genf), den Philosophen Peter Galison (Harvard) und Gregor Schiemann (Wuppertal).

Gudrun Honke danke ich für das feine Lektorat, das den Text überall verbessert hat. Auch dem Medienlabor der Universität Augsburg, ganz besonders Toni Bihler und Lena Griesßhammer, danke ich für Unterstützung, und zwar bei unserem kleinen Experimentalfilm mit dem Titel »Die einfachste Nebelkammer der Welt«, der auf Youtube in unserer Serie *Das Periodensystem des Alltags* zu sehen ist.

Anna hat mich auch bei diesem Projekt liebevoll und wunderbar unterstützt. So hat sie, nachdem sie den ersten Entwurf gelesen hatte, mir eine einzige, aber treffende Frage gestellt; die rührte an einen entscheidenden Punkt und führte dazu, dass ich den schon geschriebenen Text beiseitelegte und nochmals von vorn anfang. Das hat der Sache gutgetan! Ohne Anna wäre aus der Idee keine Geschichte geworden.

Gewidmet ist das Buch meinen Kindern Henrik und Merle, und ein Bild verbindet sich damit: Die beiden entdecken an einem Abend im September, dass sich in der »Eulenwiese« am Waldrand ein schimmernder Nebelsee förmlich vor unseren Augen bildet, sie rennen hin, laufen hinein, immer weiter, bis ich sie nicht mehr sehe, aber umso deutlicher höre, wie sie einander rufen und lachen ...



© Peter Hammer Verlag GmbH, Wuppertal 2019

Alle Rechte ausdrücklich vorbehalten

Lektorat: Gudrun Honke

Umschlagmotiv: Vitali Konstantinov

Gestaltung und Satz: Magdalene Krumbeck

Lithos: PPP Pre Print Partner GmbH & Co. KG, Köln

Druck: Livonia Print, Lettland

ISBN 978-3-7795-0624-9

www.peter-hammer-verlag.de