



Andrew Blum

DIE WETTERMACHER

Wie Wetterberichte entstehen
und was sie vorhersagen können

*Aus dem Englischen
von Stephan Gebauer*



PENGUIN VERLAG

Für Micah und Phoebe

»Vielleicht wird es irgendwann in ferner Zukunft
möglich sein, die Berechnungen schneller anzustellen,
als sich das Wetter entwickelt, und zwar zu Kosten,
die geringer sind als die von der Information ermöglichten
Einsparungen. Aber das ist ein Traum.«

Lewis Fry Richardson, 1922

Inhalt

Vorwort 11

Teil I **Berechnung** 19

- 1 Die Berechnung des Wetters 21
- 2 Die Vorhersagefabriken 45

Teil II **Beobachtung** 59

- 3 Das Wetter am Boden 61
- 4 Der Blick von oben 81
- 5 Umläufe 105
- 6 Abgehoben 119

Teil III **Simulation** 137

- 7 Vom Gipfel des Berges 139
- 8 Euro 149
- 9 Die App 179
- 10 Die gute Vorhersage 193

Teil IV **Bewahrung** 199

- 11 Die Wetterdiplomaten 201

Dank 221

Anmerkungen 223

Ausgewählte Literatur 233

Register 235

Vorwort

Im Oktober 2012 war mein Sohn ein Krabbelkind. Ich wusste genau, wie alt er war, hatte die Wochen und Tage sorgfältig gezählt. Ich verbrachte viel Zeit auf Twitter. Ich saß mit meinem Sohn im Arm in einem Schaukelstuhl und ließ die Welt unter meinem Daumen durchlaufen. So saßen wir an einem Samstagnachmittag da, als ich Zeuge wurde, wie die Meteorologen in helle Aufregung gerieten. Das neueste Ergebnis eines »europäischen Modells« war gerade eingetroffen und hatte die Wetterforscher alarmiert. »In Anbetracht der Tatsache, dass sich in der Karibik noch nicht einmal ein organisiertes Tiefdrucksystem gebildet hat, kann VIELES geschehen«, schrieb Bryan Norcross, einer der angesehensten Hurrikan-Experten der Welt. »Aber da das Szenario so dramatisch ist, müssen wir es aufmerksam beobachten.« Ich sah aus dem Fenster: Die Sonne schien, und das Wetter würde die ganze Woche schön sein. Der Himmel auf dem Bildschirm hingegen war von einem Sturm ausgefüllt, den es noch nicht gab.

In den folgenden acht Tagen überzog der Supersturm Sandy die Karibik mit sintflutartigen Regenfällen, zog danach in nördlicher Richtung ab, saugte sich über dem aufgewärmten Ozean mit Energie voll und machte dann einen verblüffenden Linksschwenk

auf die amerikanische Ostküste zu. Er kam auf New York zu, er kam auf uns zu. Wir ließen die Jalousien herunter und füllten die Badewanne mit Wasser.

Der Sturm brach mit Wucht über die Stadt herein, ließ die Wände erzittern und drückte Fensterscheiben ein. Die Lampen begannen zu flackern, und auf meinem Bildschirm tauchten sonderbare Bilder auf: Das Karussell am Hafen von Brooklyn trieb im Fluss wie ein zauberhafter Kahn, Innenstadtstraßen verwandelten sich in Kanäle, Laternen explodierten funkensprühend. Nicht weit entfernt erhob sich der Ozean und brandete über das Land, strömte in Wohnzimmer, überflutete Kraftwerke und zerstörte die empfindliche Elektronik von U-Bahn-Netzen. Ganze Stadtviertel an der Küste wurden verwüstet, und in Lower Manhattan fiel das Licht aus.

Ein Katastrophenfilm war Wirklichkeit geworden. In dem Krankenhaus, in dem mein Sohn zur Welt gekommen war, trugen Krankenschwestern und Ärzte 21 Kleinkinder und batteriebetriebene Monitore über unbeleuchtete Treppen hinab, um sie in Sicherheit zu bringen.¹ In der Region starben 147 Menschen, 650 000 Häuser wurden beschädigt oder zerstört, die Schäden beliefen sich auf mehr als 50 Milliarden Dollar.² Die Stadt wirkte plötzlich fragil. Mich beschlich das Gefühl, dass wir unser Glück verbraucht hatten.

New York war nicht die erste Stadt, die von einem solchen Sturm getroffen wurde, und sie würde nicht die letzte sein. Der Hurrikan Katrina, der im Jahr 2005 New Orleans heimsuchte, war nicht nur wegen seiner Zerstörungsgewalt schockierend, sondern auch, weil er die soziale Ungleichheit verstärkte und sich auf die gesamte amerikanische Gesellschaft auswirkte. Im Jahr 2011 machte der Nordosten der Vereinigten Staaten erstmals die Bekanntschaft

mit einer neuen Art von Sturm: Der Hurrikan Irene verdankte seine Zerstörungskraft weniger dem Wind als dem Regen, denn die Niederschläge waren heftiger und dauerten länger als in der Vergangenheit und ließen die Pegelstände auf ein bis dahin unbekanntes Niveau steigen.

Derartige Stürme häuften sich örtlich und weltweit, und es war unmöglich, sie zu ignorieren. Es begann eine wissenschaftliche Debatte über den Zusammenhang zwischen diesen Katastrophen und dem Klimawandel, aber da war auch die greifbare Realität der persönlichen Erfahrung. Mir wurde zunehmend klar, dass dies jetzt das wirkliche Leben war, eine neue Zeit im Leben der Erde: immer neue Hitze- und Kälterekorde, verschobene Jahreszeiten, Wetterphänomene, die in jeder Hinsicht extremer waren als in der Vergangenheit. Alles wie vorhergesehen.

Und alles wie vorhergesagt. Nicht nur die Stürme waren anders als früher, sondern auch die Art und Weise, wie sie angekündigt wurden. In der Wettervorhersage hatte sich etwas verändert. Die Warnungen waren besser zu hören als in der Vergangenheit und erfolgten so rechtzeitig, dass genug Zeit blieb, die Brotregale leerzuräumen und die Schulen zu schließen, bevor die ersten Wolken am Himmel aufzogen. Fernsehsender und bald auch die sozialen Medien berichteten in einem neuen Stakkato. Aber nicht nur der mediale Lärm wurde größer: Die Stürme wurden wirklich stärker, und wir erfuhren zweifelsfrei viel früher von ihrer Ankunft.

Es überraschte mich, welches Ausmaß die Berichterstattung im Fall von Sandy annahm. Die erste Warnung, die Norcross aussprach, unterschied sich nicht nur im Tonfall von dem, was wir gewohnt waren, sondern hatte auch einen anderen Charakter. »Wir müssen es aufmerksam beobachten«, schrieb er nicht weniger als acht Tage vor der Ankunft des Sturms. Es klang wie eine

Vorhersage seiner Vorhersage. Seine größte Sorge galt wie üblich vor allem dem Weg des Sturms und seinen möglichen Auswirkungen. Aber sein unmittelbares Augenmerk richtete sich auf die Simulationen der Computermodelle.

»Die Ergebnisse der präzisesten computergestützten Vorhersagemodelle stimmen verblüffend genau überein«, erklärte er am Sonntag. »Es passiert nicht oft, dass die Vorhersagen aller glaubwürdigen Modelle zu einem historischen Ereignis vollkommen übereinstimmen«, schrieb er am Dienstag. Am Donnerstag empfahl Norcross, die Ostküste in den höchsten Alarmzustand zu versetzen, und er war keineswegs der Einzige. »Den deutlichsten Hinweis darauf, dass wir damit rechnen müssen, dass ein gewaltiger Sturm von möglicherweise historischen Ausmaßen die Ostküste treffen wird, liefert die Tatsache, dass mittlerweile SÄMTLICHE zuverlässigen Computerprognosemodelle sagen, dass es geschehen wird.«

Norcross und seine Kollegen konnten die Entwicklung der Atmosphäre im räumlichen Maßstab der Hemisphären und im zeitlichen Maßstab von Tagen verfolgen. Sie taten sehr viel mehr, als die Entwicklung von Sandy lediglich durch das Auge einer an Bord eines Satelliten durch den Weltraum fliegenden Kamera zu betrachten und vom bisherigen Verlauf auf die weiteren Bewegungen des Sturms zu schließen. Sie verfügten über eine Simulation der globalen Atmosphäre, die der Zeit vorauslaufen konnte. Inmitten einer Wetterlage summierte sich alles zu einer unwahrscheinlichen, beinahe unvorstellbaren Vorhersage. Mir war klar, dass das Wetter mithilfe von Computersimulationen vorhergesagt wurde. Aber seit wann waren diese Simulationen so gut?

In den Wochen nach Sandy waren die Wettermodelle für kurze Zeit in aller Munde. Sie waren nicht neu, aber sie hatten neuen

Einfluss erlangt. Die Meteorologen verwenden das Wort »skillful« zur Beurteilung der Genauigkeit ihrer Vorhersagen, und es hat eine spezifische Definition: Es ist das Maß ihrer Fähigkeit, das Wetter besser als die Klimatologie vorauszusagen, das heißt besser als anhand der historischen Durchschnittswerte für einen Ort an einem gegebenen Tag im Jahr. Wenn die durchschnittliche Höchsttemperatur in New York am 1. März bei 7 Grad Celsius liegt, muss eine Vorhersage öfter als dieser klimatologische Durchschnittswert zutreffen, um als »skillful« eingestuft zu werden.

Im Großen und Ganzen ist es den Meteorologen in den letzten Jahrzehnten gelungen, den Anspruch, zu einer genauen Vorhersage fähig zu sein, um einen Tag weiter in die Zukunft zu verschieben. Das bedeutet, dass eine Vorhersage für das Wetter in sechs Tagen heute so zuverlässig ist wie eine Vorhersage für das Wetter in fünf Tagen vor einem Jahrzehnt. Eine fünftägige Vorhersage ist heute so gut wie eine dreitägige Vorhersage vor zwei Jahrzehnten. Noch bemerkenswerter ist, dass die heutige Sechstage-Vorhersage ebenso zuverlässig ist wie eine Vorhersage für zwei Tage in den Siebzigerjahren.³

All diese Verbesserungen verdanken wir den Wettermodellen. Diese Fortschritte werden oft »schnelleren Supercomputern« oder »besseren Satelliten« zugeschrieben. Aber ich hatte den Verdacht, dass es nicht ganz so einfach war (als wären Supercomputer und Satelliten jemals einfach gewesen ...). Die Modelle waren geheimnisvoll: Wie funktionierten sie? Warum lieferten manche Modelle zuverlässige Vorhersagen und andere nicht? Wer arbeitete mit den Modellen, und wer entwickelte sie? Ich wollte sie mir genauer ansehen.

Bei der Arbeit an meinem ersten Buch, in dem ich mich mit der materiellen Infrastruktur des Internets befasst hatte – mit den

Datenzentren, den am Meeresboden verlaufenden Kabeln und den mit Licht gefüllten Röhren –, war mir bewusst geworden, dass sogar die komplexesten Systeme von Menschen gebaut werden. Sie existieren an realen Orten, und ihre Entwicklung hängt von der menschlichen Intuition ab. Ich lernte am meisten, wenn ich mich langsam bewegte, mir ein Objekt genau ansah und mit den Leuten sprach, die es gebaut hatten.

Mir wurde klar, dass die Quelle der heutigen Wettervorhersagen ähnlich ist: komplex, omnipräsent und dringlich. Ich wusste, dass ich, wenn ich die Wettervorhersagesysteme geduldig und sorgfältig studierte – wenn ich aufhörte, zum Himmel hinaufzuschauen, sondern mir stattdessen die Maschinen ansah, die ihn beobachteten –, würde verstehen können, wie diese neue Methode funktionierte, mit der tatsächlich in die Zukunft geschaut wurde. Ich wollte wissen, wie die vorzügliche Vorhersage für Sandy entstanden war und was sie mir über die perfekten Vorhersagen verraten konnte, die in Zukunft zu erwarten waren. Aber ich interessierte mich auch dafür, was hinter den banalen, alltäglichen Wettervorhersagen steckte, die ich mir jeden Tag ansah – für jene oft schockierend präzisen Prognosen, die besagten, in drei Tagen werde es um vier Uhr nachmittags regnen.

Sandy enthüllte einen Paradigmenwechsel in der Wettervorhersage, die mittlerweile weniger von den täglichen Erkenntnissen der Meteorologen, sondern vor allem von den Computersimulationen abhängt, die Jahr für Jahr besser werden. Diese tatsächlich vorausschauenden Wetterprognosen wurden nicht dadurch möglich, dass wir uns eine bemerkenswerte neue Fähigkeit aneigneten, sondern dadurch, dass wir ein bemerkenswertes neues Werkzeug entwickelten. Das morgige Wetter zu kennen, ist einer unserer ältesten Wünsche. Nachdem es Jahrtausende ein Wunsch-

traum blieb, gelang es uns schließlich, die Erde zu verdrahten: mit Satelliten und Wetterballons, mit Thermometern, Barometern und Anemometern, mit Supercomputern und einem sorgfältig konstruierten Fernmeldesystem, das all diese Bestandteile miteinander verband. Es gelang uns endlich, über die Gegenwart hinauszublicken.

Diese globale Infrastruktur für Beobachtung und Vorhersage, diese Wettermaschine, hat viele Komponenten. Sie wurde von einer Gruppe von Wissenschaftlern, von deren Existenz kaum jemand weiß, erdacht und stetig verbessert – nicht von den »Wettermännern« im Fernsehen, sondern von ihren weniger auffälligen Gegenstücken, den Atmosphärenforschern, Datentheoretikern, Satellitenbauern und Diplomaten. Vor allem ist sie nicht das Produkt einer einzelnen Regierungsbehörde oder eines Unternehmens, sondern eine wirklich internationale Konstruktion, ein sorgfältig gestaltetes und ununterbrochen funktionierendes System von Systemen, das dafür eingerichtet ist, in einer Endloschleife das Wetter zu beobachten, vorherzusagen und erneut zu beobachten.

In der Wettermaschine kommt fast jede wichtige Erfindung der letzten drei Jahrhunderte zum Einsatz, insbesondere aus der Newton'schen Physik, der Telekommunikation, der Raumfahrt und der Informatik. Sie ist auf das allgegenwärtige Kommunikationssystem angewiesen, in dem unser Leben stattfindet. Sie stützt sich auf die Rechenleistung von Supercomputern, um mehr Variablen zu berücksichtigen, als je ein Mensch verarbeiten könnte. Wir kommen täglich mit ihren technologischen Komponenten in Berührung: Sie steckt hinter dem Regenschirm-Emoji und den Hochdrucklinien in der Wetterprognose. Und wir fühlen ihre physische Analogie in der frischen Brise und dem Regenguss.

Die Wettermaschine ist ein Wunderwerk, das wir wie etwas Banales behandeln. Wir benutzen sie jeden Tag, führen Smalltalk über ihre Erzeugnisse und beurteilen ihre Leistung. Sie ist ein Höhepunkt der wissenschaftlichen und technologischen Bestrebungen der Gesellschaft, aber wie bei vielen Dingen in unserer Zeit sind die komplexen Vorgänge in ihrem Inneren nicht nur mysteriös, sondern hinter einer Fassade der Einfachheit verborgen. Die Wettervorhersage ist heute genauer und wird dringender gebraucht als je zuvor, aber ihre Herkunft ist schwerer zu erkennen denn je. Wir haben ein Werkzeug gebaut, dem wir noch nicht zu vertrauen gelernt haben.

Dieses Buch erzählt die Geschichte der Herkunft der Wettermaschine und beschreibt, wie sie zu dem geworden ist, was sie heute ist. Es ist eine Geschichte der Erfinder dieser gewaltigen Maschine, der Menschen, die ein Fenster in die Zukunft öffneten, die es uns ermöglichten, immer weiter vorauszublicken. Diese Menschen können uns helfen, die Komplexität der modernen Realität besser zu verstehen, einer Realität, in der Maschinen unentwegt die Welt untersuchen, miteinander kommunizieren und uns empfehlen, was wir tun sollen. Indem die Menschheit die Fähigkeit erlangte, das Wetter vorauszusagen, vollbrachte sie eine ihrer größten Leistungen in dem Bemühen, sich den Lebensbedingungen auf der Erde anzupassen.

Es gibt viel darüber zu lernen, wie diese Maschine funktioniert und wer die Menschen dahinter sind, die »Wettermacher«.

Teil I

Berechnung

Die Berechnung des Wetters

An einem Juninachmittag im Jahr 2015 stieg ich in den alten Saab von Anton Eliassen, dem Leiter des norwegischen Wetterdienstes, der unter dem Namen Meteorologisches Institut bekannt ist, und fuhr mit ihm auf einen Berg oberhalb von Oslo, wo wir in einem Restaurant, das in einem jahrhundertealten Holzhaus untergebracht war, zu Mittag essen wollten. Es war Frühling, und über den tiefblauen Himmel zogen Wolken, jede von ihnen ein Gebirge aus verdunstetem Wasser, jede von ihnen eine Gewitterdrohung. Das war ein Problem: Eliassen hatte einen Tisch auf der Terrasse reserviert, von wo aus man einen schönen Blick auf den Fjord und den Hafen hatte.

Mein Gastgeber war ein fast siebzig Jahre alter Mann mit rötlichem Gesicht und offenem Wesen. Er trug ein gestärktes Anzughemd und legte die aufmerksame, gelöste Eleganz eines Mannes an den Tag, der in dem Bewusstsein lebte, für die Wettervorhersagen seines Landes verantwortlich zu sein. Über die Bergkuppe schob sich eine dunkle Wolke heran. Eliassen runzelte die Stirn. »In einer Minute ist sie vorbeigezogen«, sagte er. Als die Wolke hinter dem Höhenzug verschwand und uns im warmen Sonnenlicht zurückließ, wandte er sich wieder Räucherlachs und Graubrot zu.

»Sehen Sie? Wir haben ausgezeichnete kurzfristige Vorhersagen in Norwegen.«

Es war ein billiger Scherz für den Leiter eines Wetterdienstes, aber er traf die Situation Norwegens gut. In Anbetracht der geringen Größe dieses Landes ist seine Wetterkunde ungewöhnlich hoch entwickelt. Die Gründe dafür liegen auf der Hand: Erstens ist Norwegen ein reiches Land, und zweitens ist es mehr als die meisten Länder dem Erbarmen von Kälte und Stürmen ausgeliefert. Während die meisten nationalen Wetterdienste als Abteilung der Kriegsmarine entstanden, konzentrierte sich der norwegische von Anfang an auf die Entwicklung neuer wissenschaftlicher Methoden.

Eliassen ist beruflich und persönlich ein Erbe dieser Tradition. Sein Vater Arnt leistete wichtige Beiträge zum grundlegenden Verständnis der Vorgänge in der Atmosphäre und war an der Entwicklung der ersten computergestützten Wettermodelle beteiligt. In Antons Elternhaus in Oslo versammelten sich oft berühmte Wissenschaftler, die beim Abendessen oder draußen auf See auf der Segeljacht der Familie über die Forschung diskutierten. Sie wurden nicht vom beeindruckenden Himmel oder diesem »zerklüfteten und verwitterten Land über dem Wasser« angezogen, wie es in der norwegischen Nationalhymne heißt. Sie waren keine Wolkenbetrachter, sondern Theoretiker, die herauszufinden versuchten, wie man das Wetter gestützt auf Mathematik und Physik vorhersagen konnte. Ich sprach Eliassen darauf an, und er nickte: »Sie liebten die Gleichungen mehr als das Wetter.«

Mir wurde klar, dass dasselbe für mich galt. Ich war fasziniert von der Vorstellung, dass etwas derart Unbeherrschbares und Expansives wie die Erdatmosphäre systematisch verstanden werden und dass dieses Verständnis tatsächlich so absurd nützlich

sein konnte. Es war ein bemerkenswerter Sprung von der Ratlosigkeit angesichts eines großen Geheimnisses zur Aufdeckung dieses Geheimnisses. »Das Problem ist einfach die Anwendung der klassischen Physik auf die Atmosphäre, auf einen rotierenden Globus mit Anziehungskraft«, erklärte Eliassen. »Diese Leute liebten dieses wunderschöne Problem. Aber es ist ein schwer zu lösendes Problem.«

Wie kann man das Wetter berechnen? Wie gelang es diesen norwegischen Wissenschaftlern, uns zu einer Zeit, als es noch keine Computer, keine Wetterballons, keine Satelliten gab, den Weg zu den Computermodellen zu weisen, mit denen wir heute arbeiten?

Als Samuel Morse im Jahr 1844 die erste Telegrafienlinie zwischen Washington und Baltimore in Betrieb nahm, übermittelte er die berühmte Botschaft »What hath God wrought« (Was Gott gewirkt hat). Dieses Bibelzitat war nicht als Frage nach dem Wetter gemeint, aber die Telegrafisten schienen sie von Anfang an damit zu verbinden.⁴ Im Jahr 1848 erstreckte sich das Telegrafennetz in den Vereinigten Staaten bereits über fast 3500 Kilometer, aber es gab ein Problem: Wenn es regnete, funktionierten die Leitungen nicht richtig.⁵ Wenn die Telegrafisten am Morgen ins Büro kamen, erkundigten sie sich als Erstes bei ihren Kollegen in anderen Städten nach dem Wetter, um sich auf Störungen vorzubereiten.

Ein Telegrafist namens David Brooks erinnerte sich: »Wenn mir Cincinnati mitteilte, dass starke Regenfälle die Leitung nach St. Louis unterbrochen hatten, war ich einigermassen sicher, dass ein »Nordoststurm« nahte.«⁶ Ein Telegrafist namens Jephtha Homer Wade war bekannt dafür, dass er im Büro genaue Wettervorhersagen ans Schwarze Brett hängte, die »zahlreiche Kommentare und

große Verwunderung auslösten.«⁷ Als die Nachrichten erst einmal schneller als der Wind reisen konnten, musste der Wind nicht mehr überraschend kommen.

Wir neigen dazu, uns die Telegrafie als eine Technologie vorzustellen, welche die Welt zusammenrücken ließ und zur »Ver-nichtung des Raums durch die Zeit« führte, wie es Karl Marx ausdrückte. »Unsere Vorstellung von Entfernung und Zeit hat sich derart verändert, dass der Umfang des Erdballs praktisch ver-ringert worden ist«, schrieb Josiah Latimer Clark, der Präsident der Society of Telegraph Engineers, »und es kann keinen Zweifel daran geben, dass wir eine ganz andere Vorstellung von seinen Dimensionen haben als unsere Großeltern.«⁸ Diese Idee hat das moderne Leben geprägt.

Aber wenn es um das Wetter ging, hatte der Telegraf die gegen-teilige Wirkung: Er *schuf* Zeit und Raum. Sobald entsprechende Informationen über große Entfernungen hinweg ausgetauscht werden konnten, konnten die unterschiedlichen Stücke des Him-mels wie Puzzlesteine zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden. Bei »dem Wetter« handelte es sich nicht länger einfach um die Bedingungen an einem bestimmten Ort auf dem Planeten, sondern um *Wettermuster*, die Tausende Kilometer umspannten.

Das Wetter wuchs über die individuelle Erfahrung hinaus und wurde zu einem »weitläufigen und verbundenen Gebilde statt zu einer Ansammlung örtlicher Überraschungen«, wie James Gleick feststellt.⁹ Das Wetter war nicht mehr einfach Sonne oder Regen, sondern verwandelte sich in ein rational und fantasievoll gestal-tetes Bild, das sich über das Land erstreckte. Von nun an war das Wetter nicht mehr nur ein Lüftchen, sondern eine Karte.

Der Kunstkritiker und Essayist John Ruskin war einer der Ers-ten, die begriffen, was geschehen konnte, wenn es gelang, die