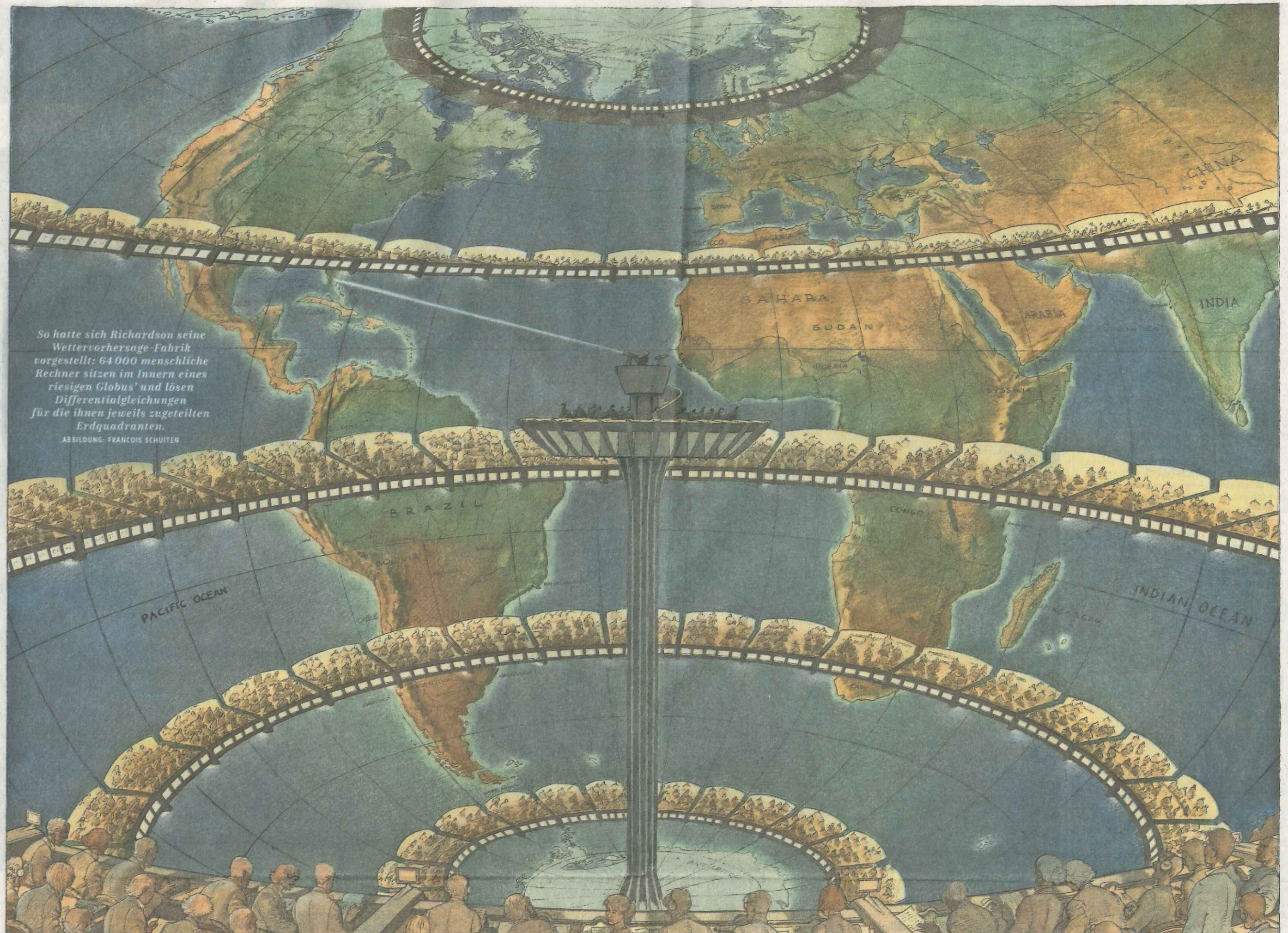




Heiter bis tödlich

Der Brite Lewis Fry Richardson berechnete zuerst das Wetter, später packte er Kriege in Formeln.
Sein Lebenswerk zeigt, wie vielfältig sich die Werkzeuge der Mathematik einsetzen lassen

VON CHRISTIAN ENDT

Champagne, Frankreich, April 1917: Es tobt eine der blutigsten Schlachten des Ersten Weltkriegs. Seit drei Jahren stehen sich Franzosen und Deutsche in Schützengräben gegenüber, kämpfen um jeden Meter Boden. Jetzt versucht Frankreich, die Front zu durchbrechen. Tagelanger Granathagel soll den deutschen Widerstand schwächen. Dann folgt der Sturmangriff. Mit dem Bajonett voran rennen in vier Tagen 20 000 französische Soldaten in den Tod. Wer mit Verletzungen davon kommt, den übergeben Kameraden an einen Sanitätstrupp. Unter Dauerbeschuss holpern Rettungswagen über die mit Bombenkratern übersäte Straße.

Am Steuer eines der Fahrzeuge sitzt Lewis Fry Richardson. Er ist kein Franzose, sondern Engländer. Kein Soldat, sondern Mathematiker. Wenn die Männer der *Section Sanitaire Anglaise* ein paar Tage frei haben, geht er in eine Baracke, setzt sich auf einen Heuballen und rechnet. Draußen fallen Granaten vom Himmel, drinnen arbeitet Richardson an der ersten rechnerischen Wettervorhersage der Geschichte. Jahrzehnte vor dem Bau des ersten Computers braucht er Jahre, um die komplizierten Gleichungen zu lösen. Aber Richardson schafft die Grundlage der modernen Meteorologie.

Als wäre das nicht genug für ein Forscherleben, verwendet Richardson seine mathematischen Methoden später, um die Entstehung von Konflikten zu erforschen. Geprägt von seinen Erlebnissen an der Front, hofft er zukünftige Kriege mit Hilfe der Wissenschaft verhindern zu können. Mit seinem Wechsel von der Meteorologie zur Konfliktforschung wendet sich Richardson einem völlig anderen Gebiet zu. Die Formeln, die er jeweils verwendet, sind sich jedoch verblüffend ähnlich.

Die Geschichte von Lewis Fry Richardson ist daher auch eine Geschichte über die

universelle Kraft der Mathematik. Heute ist es selbstverständlich, dass mathematische Modelle und Gleichungen die Welt bestimmen, vom Zugfahrplan über die Taktik einer Fußballmannschaft bis zur Partnersuche. Vor hundert Jahren war das eine ungewohnte Vorstellung. Doch Richardson erkannte schon damals in der Mathematik einen großen Werkzeugkasten. Und er verbrachte ein Forscherleben damit, auszuprobieren, was sich mit den Werkzeugen darin alles anstellen lässt.

Richardsons Biografie steckt voller Wendungen. Am 11. Oktober 1881 wird er in Newcastle upon Tyne im Nordosten Englands geboren. Seine Eltern erziehen ihn und sechs Geschwister nach dem Glauben der Quäker. Ohne die Religion lässt sich Richardson Biografie nicht erklären, wegen ihr kündigt er im Laufe seines Lebens dreimal eine lukrative Anstellung.

Wegen seiner Religion kündigt er dreimal eine lukrative Anstellung

Den Forscherdrang, der ihn sein ganzes Leben lang antreibt, zeigt Richardson schon als Kind. Als Vierjähriger vergräbt er Münzen auf einem Hügel (engl. *bank*) im Garten. Er hatte gehört, Geld würde auf der Bank wachsen. Als er den Schatz drei Tage später wieder ausgräbt, muss der kleine Lewis feststellen, dass er überhaupt nicht größer geworden ist: „Ich spürte, dass man den Worten von Erwachsenen nicht trauen kann.“

Das Vertrauen des jungen Richardson in die Erwachsenenwelt mag erschüttert sein; der Forscherdrang bleibt ihm. Ab 1898 geht er auf ein naturwissenschaftliches College in Newcastle, dann aufs King's College in Cambridge. Nach der Ausbildung weiß er nicht so recht wohin. Er nimmt Forschungs- und Industriebjobs an,

bleibt nirgendwo länger als zwei Jahre. 1909 heiratet er Dorothy Garnett. Die Richardsons adoptieren nach mehreren Fehlgeburten drei Kinder.

1913 fängt Richardson beim Met Office an, dem britischen Wetterdienst. Zuvor hatte er sich mit einem bestimmten Typ mathematischer Gleichungen beschäftigt, den partiellen Differentialgleichungen. In der Wettervorhersage sah er die Gelegenheit, seine Erkenntnisse auf ein praktisches Problem anzuwenden. Und auch Richardson Beiträge zur Konfliktforschung werden später auf Differentialgleichungen beruhen.

Als Richardson zum Met Office wechselt, sind Wetterberichte „mehr Kunst als Wissenschaft“, schreibt der irische Meteorologe Peter Lynch in seinem Buch über Richardson. Spärlich vorhandene Messdaten



Der Mathematiker Richardson zog einst als Sanitäter in den Ersten Weltkrieg. Später wollte er jedoch mit der Armee nichts mehr zu tun haben – und kündigte deswegen beim britischen Wetterdienst

werden auf Landkarten grafisch dargestellt. Die Wetterkundler versuchen, auf den Bildern wiederkehrende Muster zu erkennen. Nicht Formeln und Messungen zählen, sondern Augenmaß und Erfahrung des Vorhersagers.

Der Norweger Vilhelm Bjerknes diskutiert 1904 in einem Aufsatz erstmals, wie sich das Wetter berechnen ließe. Dazu müsse man zwei Dinge möglichst genau kennen: Den Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt und die physikalischen Gesetze, die das Verhalten der d bestimmen. In der Praxis setzt Bjerknes aber auf die herkömmliche grafische Methode.

Zu dieser Zeit leitet Richardson die Wetterstation in Eskdalemuir. Der winzige, regnerische Ort in einem schottischen Hochmoor wurde als Standort der Einrichtung ausgewählt, weil er völlig abgelegen liegt. So stört nichts die empfindliche Vermessung des Erdmagnetfelds. Richardson liebt die Einsamkeit, gab sie sogar in einem Fragebogen als Hobby an. In seiner Familie war er damit nicht der Einzige: Einmal schrieb er seiner Schwester, um einen Besuch anzukündigen. Er könne gerne kommen, antwortete diese, sie habe aber keine Lust, sich zu unterhalten. Richardson fährt hin; die Geschwister verbringen ein gemeinsames Wochenende in Schweigen – und haben eine gute Zeit.

Neben der Arbeit auf der Forschungsstation entwickelt Richardson in Eskdalemuir in wenigen Jahren sein Verfahren zur Wettervorhersage. Die Physik der Atmosphäre lässt sich mit recht einfachen Gleichungen beschreiben. Richardsons Modell arbeitet mit sieben Stück, die weitgehend von Bjerknes formuliert wurden. Sie beschreiben, wie Bewegung, Dichte, Druck, Temperatur und Feuchtigkeit der Luftpakete zusammenhängen und wie sich diese Größen mit der Zeit verändern. Exakt lassen sich die Gleichungen nicht lösen, Richardson

muss auf sein Wissen über Näherungsverfahren zurückgreifen. Statt unendlich kurzer Zeitspannen betrachtet er Abstände von wenigen Stunden. Als würde man anstatt eines Videofilms eine Abfolge von Einzelphotos ansehen. Je größer der zeitliche Abstand zwischen den Momentaufnahmen, desto weniger Bilder müssen ausgewertet werden – desto mehr Information geht aber auch verloren.

Für sein Buch „Wettervorhersage durch numerische Prozesse“ möchte Richardson ein praktisches Beispiel durchrechnen. Vom 20. Mai 1910 findet er geeignete Daten: Das war ein „Internationaler Ballontag“, in ganz Europa steigen Wetterballone in den Himmel und sammeln Daten der Atmosphäre. Richardson versucht, aus den Messungen von sieben Uhr morgens das Wetter sechs Stunden vorauszusagen. Bevor Richardson losrechnet, kommt ihm der Erste Weltkrieg dazwischen. Vom Kriegsdienst ist er befreit, meldet sich aber freiwillig für den Sanitätskorps der Quäker: „Ich war entschieden gegen das Töten von Menschen, fühlte aber zugleich Neugierde und Pflichtgefühl.“

Seine „Vorhersagefabrik“ hat Ähnlichkeit zu heutigen Großcomputern

Seine Daten und Formeln nimmt er mit nach Frankreich. Wie Richardson den Kriegseinsatz erlebt hat, ist kaum überliefert. Sein Biograf Oliver Ashford zitiert den Bericht eines beteiligten Generals, wonach 18 der 20 Sanitätsfahrzeuge im Laufe des Einsatzes von Granaten getroffen und beschädigt wurden. Später zeigt Richardson Anzeichen eines Traumas: „Wenn ich mich meinem Vater als Kind unerwartet genähert habe,“ schreibt sein Sohn Stephen, „wirkte er ängstlich und schrie manchmal vor Schreck.“

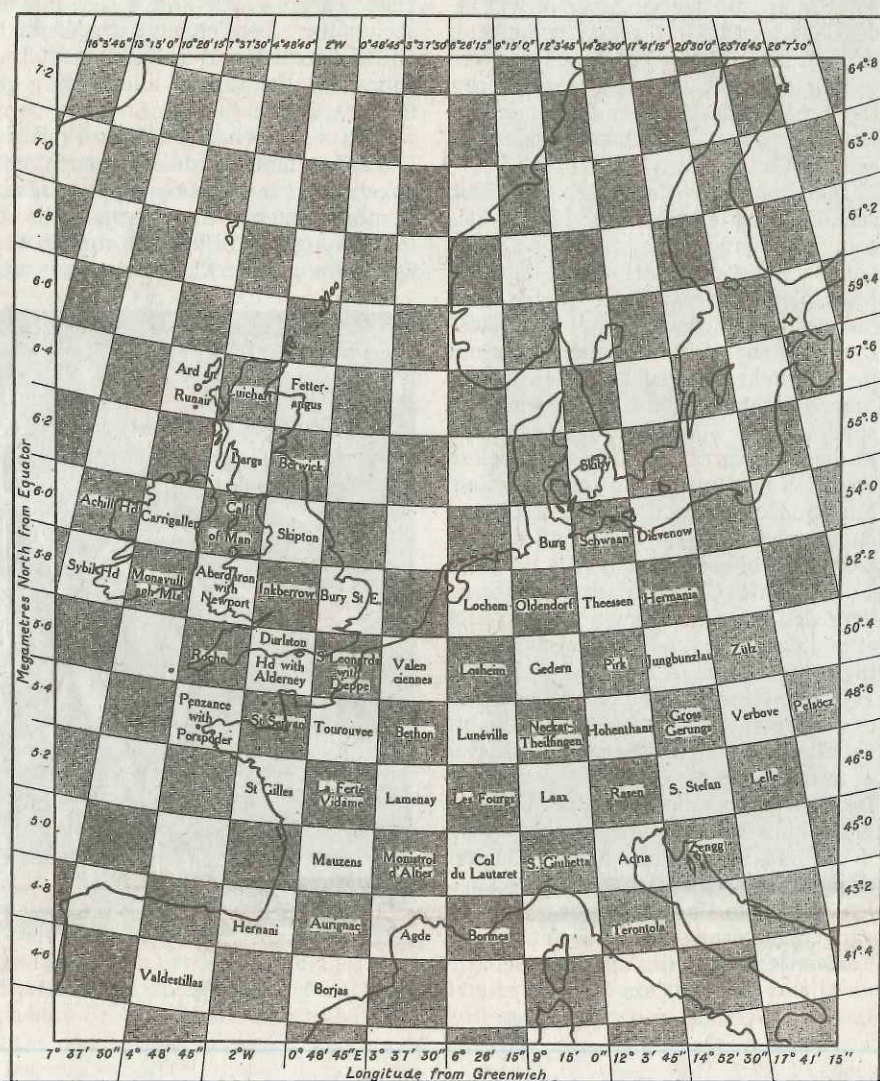
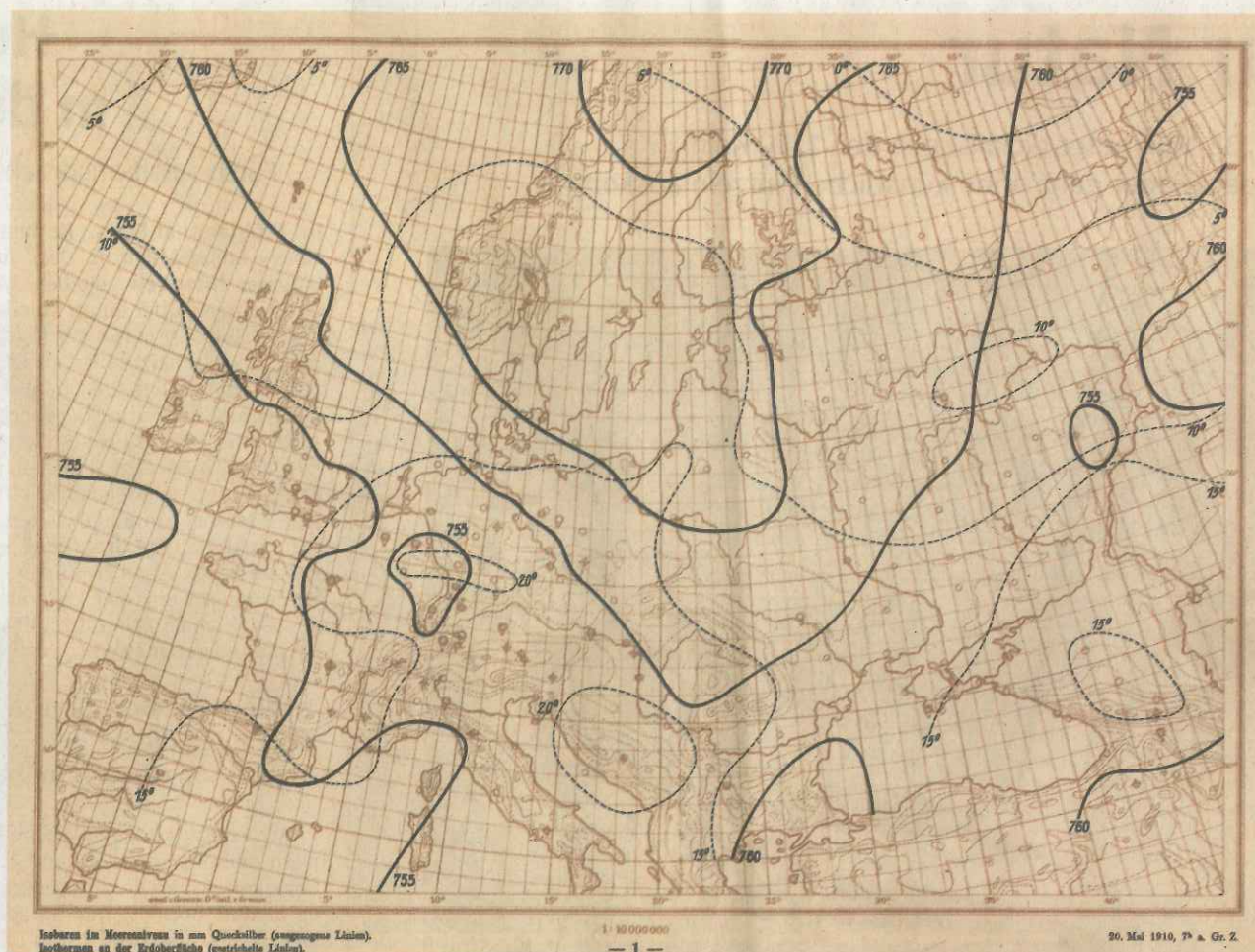
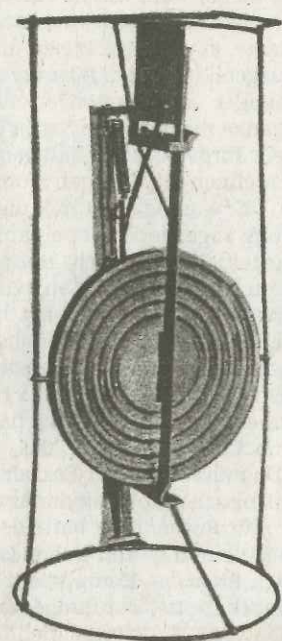
Zwischen den Einsätzen als Sanitäter arbeitet Richardson an seiner Vorhersage. Als im April 1917 die große französische Offensive beginnt und Richardson die brutalste Schlacht seines Einsatzes in der Champagne erlebt, bringt er sein Manuskript ins Hinterland. Dort gehen seine Aufzeichnungen verloren. Erst Monate später tauchen sie zufällig unter einem Kohlehauften wieder auf. In zwei nüchternen Sätzen erzählt Richardson diese Anekdote im Vorwort seines Buchs. Dabei hätte sie beinahe jahrelange Arbeit zunichte gemacht.

Der Rechenaufwand für seine Methode ist immens. Fast zwei Jahre braucht Richardson, um die Gleichungen zu lösen. Hätte er Tag und Nacht durchgerechnet, es wären immer noch sechs Wochen gewesen. Richardson erkennt, dass die Berechnung schneller gehen muss, um von praktischen Nutzen zu sein. Was bringt eine Prognose, die erst im Nachhinein fertig ist?

Heutzutage haben die Wetterdienste mächtige Rechenzentren, die Milliarden Rechenschritte pro Sekunde ausführen. Ein einzelner Mensch, der mit Rechenschieber auf einem Heuballen sitzt, kann nicht schnell genug sein. In seiner Fantasie löst Richardson das Problem mit einer „Vorhersagefabrik“, bestehend aus unzähligen Assistenten, jeder zuständig für die Berechnung des Wetters einer kleinen Weltregion. Wie in einem Theater sind die Gehilfen auf mehreren Rängen angeordnet. Eine Art Dirigent sorgt auf einem Podium in der Mitte dafür, dass überall gleich schnell gerechnet wird. Richardsons Vorhersagefabrik hat bemerkenswerte Ähnlichkeit zu heutigen Großcomputern, mit ihrer Architektur unzähliger, parallel geschalteter Prozessoren.

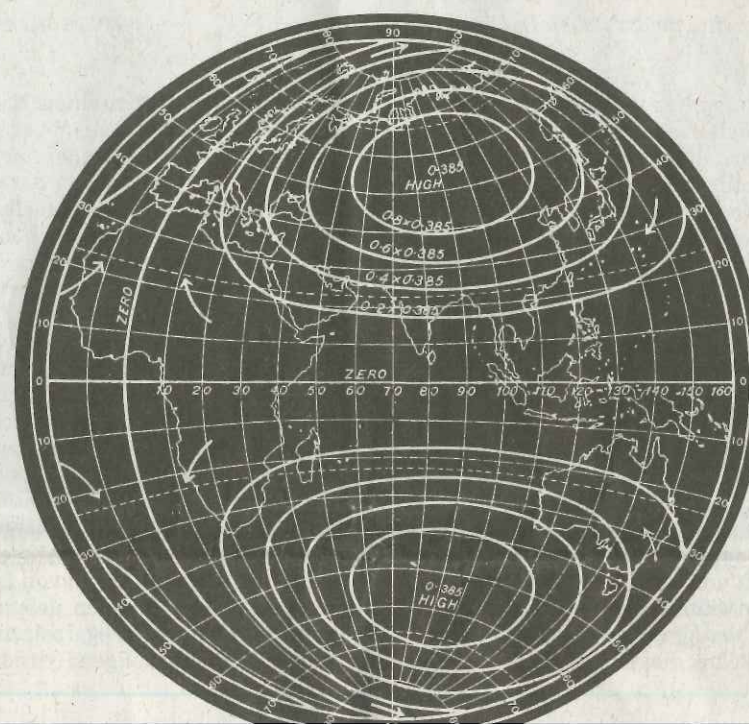
Als Vision ist Richardsons Wettervorhersage bahnbrechend. Auch wenn das unmittelbare Ergebnis der Berechnung falsch ist: Ein Vergleich mit den tatsächlichen Wetterbeobachtungen an jenem Tag er-

Vor Richardson entwarf der Brite William Henry Dines für die Royal Meteorological Society den Meteorographen, zur Messung des Höhenwetters (unten links). Sein norwegischer Kollege Vilhelm Bjerknes nutzte Daten des „Internationalen Ballontags“ am 20. Mai 1910 für seine Analysen (rechts).



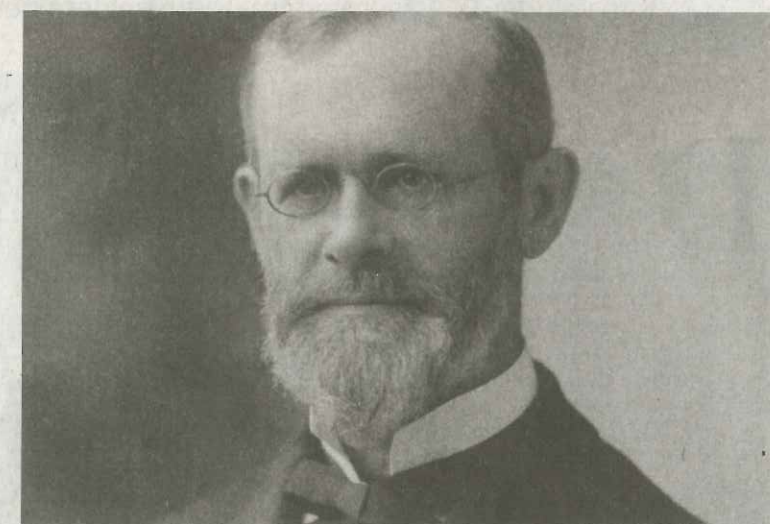
Der Mathematiker Richardson entwarf für seine Berechnungen ein idealisiertes Rechengitter (links), um Vorhersagen über das Wetter zu treffen. Für seine Kalkulationen des Luftdrucks fertigte er detaillierte Zeichnungen an (unten), sagte die Änderungen jedoch um etwa hundertmal zu groß vorher, wie sich bei späteren Messungen herausstellte.

ABBILDUNGEN: ENTNOMMEN DEM BUCH „THE EMERGENCE OF NUMERICAL WEATHER PREDICTION“, RICHARDSON'S DREAM, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

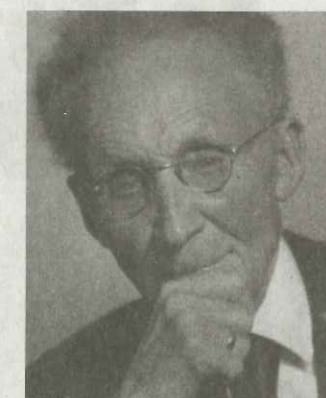


Und nun das Wetter

Der lange Weg zur präzisen Vorhersage



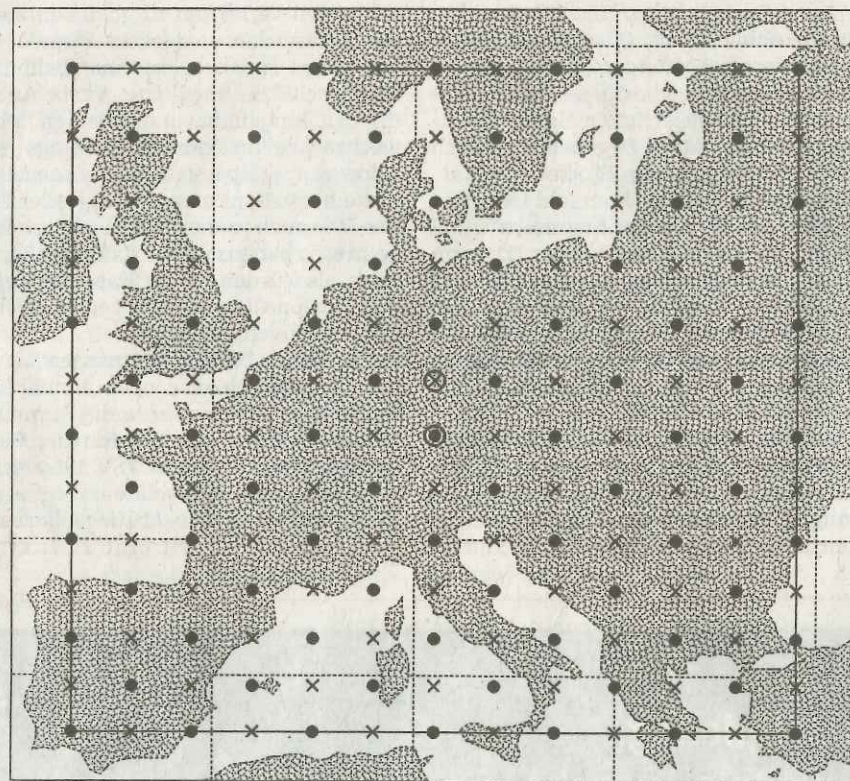
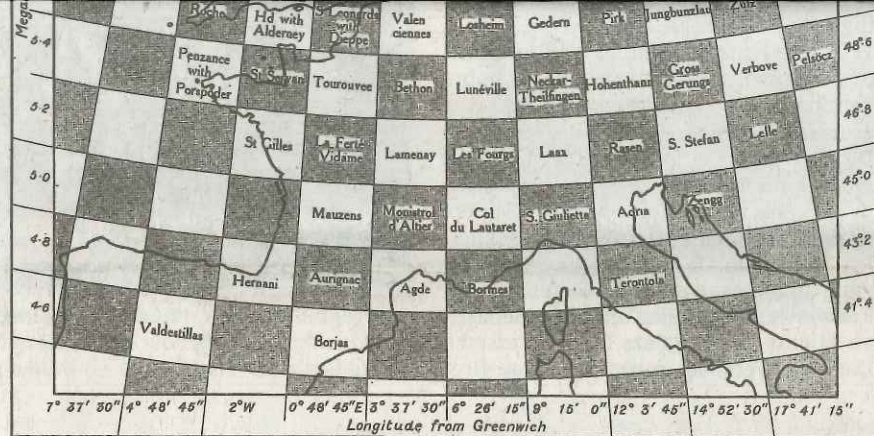
Grundlage für die Berechnung des Wetters war eine zentrale Einsicht des US-Meteorologen **Cleveland Abbe** (1838-1916): Meteorologie ist die Anwendung von Hydrodynamik und Thermodynamik auf die Atmosphäre. Abbe gab vom 1. September 1869 an Wetter-Bulletins für Cincinnati heraus.



Der norwegische Forscher **Vilhelm Bjerknes** (1862-1951) entwarf einen Zweistufenplan für die wissenschaftliche Meteorologie: In einem ersten Schritt müsse man mit Beobachtungen den initialen Zustand der Atmosphäre erfassen. Dann könne man in einem zweiten Schritt mithilfe der Mathematik und der Bewegungs-gesetze Prognosen zum Wettergeschehen erstellen. Theoretisch. Praktisch hielt er es aber wegen der hohen Komplexität der Prozesse für unmöglich. Optimistischer war da erst Lewis Fry Richardson (siehe Text links).



Im Jahr 1896 veranstaltete die Internationale Meteorologischen Organisation eine wichtige Konferenz in Paris. Dort wurde eine eigene Kommission für wissenschaftliche Aeronautik geschaffen. Sie sollte – vor allem mit Ballons – Daten aus höheren Luftschichten gewinnen, essenziell um das gesamte Wettergeschehen zu erfassen.



Für seine Wetterprognose legte Richardson über Europa ein Gitter mit P- und M-Punkten. An den P-Punkten berechnete er die Änderung des Luftdrucks (pressure; auf der Karte als Kreise eingezeichnet) und an den M-Punkten die Strömungen der Luft (movement; Kreuze auf der Karte).

gibt später, dass Richardson die Änderung des Luftdrucks etwa hundertmal zu groß vorhergesagt hat. „Nie wieder danach wurde mit so großem Aufwand und Mühe eine so falsche Prognose errechnet!“, schreibt der Meteorologe Konrad Balzer.

Peter Lynch hat den Fehler untersucht und stellte fest, dass Richardson den Eindruck der sogenannten Schwerewellen ignoriert hat. Sie sorgen in kurzer Zeit für einen rasanten Anstieg des Luftdrucks, der anschließend genauso schnell wieder abfällt. Der österreichische Meteorologe Max Margules und andere beschrieben das Problem bereits Jahre vor Richardson. Lynch hat recherchiert, dass ihre Artikel in der Bibliothek des Met Office vorhanden und Richardson zugänglich waren. Wie konnte er sie übersehen? Möglicherweise wurde ihm sein Hang zum Einzelgänger zum Verhängnis. „Wenn man mit anderen zusammenarbeitet, bekommt man eher mit, was los ist“, vermutet Lynch.

Die britische Regierung überträgt das Met Office 1920 in den Zuständigkeitsbereich des Luftwaffenministeriums. Richardson will mit der Armee nichts zu tun haben und kündigt. Kollegen bedauern seinen Rückzug. Charles Normand, damals Chef des indischen Wetterdienstes, spricht gegenüber Ashford später von einer „Schockwelle“ für die Meteorologen. Peter Lynch zweifelt dagegen, ob Richardson noch viel bewegt hätte. „Ohne Fortschritte in der Messtechnik und Telekommunikation, ohne Computer war seine Methode unbrauchbar. Richardson war seiner Zeit zu weit voraus.“

Um die Familie zu ernähren, unterrichtet Richardson einige Jahre angehende Lehrer in London. Nur gelegentlich veröffentlicht er in dieser Zeit noch Fachartikel oder nimmt an einer Konferenz teil. Zum Schwerpunkt wird dabei die Untersuchung von Turbulenzen, also Verwirbelungen der Luft. Auf diesem Gebiet hat er in

Form der nach ihm benannten Richardson-Zahl Spuren hinterlassen. Zugleich wendet sich der Mathematiker einem neuen Interessensgebiet zu: 1925, im Alter von 43 Jahren, macht Richardson einen Bachelor-Abschluss in Psychologie.

Für das Militär will er nicht arbeiten, das Thema Krieg beschäftigt ihn aber durchaus. Auch ihm nähert er sich quantitativ. „Zählen ist ein Gegengift gegen Vorurteile“, schreibt Richardson. In seinem Buch „Waffen und Unsicherheit“ untersucht Richardson das Wettrüsten zwischen Nationen. Drei Parameter bestimmen in seiner Theorie die Rüstungspolitik eines Staates: Wille und Fähigkeit zur Aufrüstung; Kriegsmüdigkeit und innenpolitischer Widerstand gegen hohe Militärausgaben; das emotionale Verhältnis zwischen den Bevölkerungen. Außerdem sei Handel zwischen Nationen kriegshemmend. All diese Faktoren packt Richardson in einen Satz von Differentialgleichungen. Mit ihnen untersucht er das Wettrüsten zwischen deutscher und britischer Flotte vor dem Ersten Weltkrieg. Das Ergebnis: Schon eine minimale Zurückhaltung auf beiden Seiten hätte den Krieg verhindern können.

1929 ziehen die Richardsons aus der hektischen Metropole London zurück ins beschauliche Schottland, und Lewis wird Leiter einer technischen Hochschule in der Textilindustriestadt Paisley. Das College hat kein Geld, sodass er selbst Vorlesungen halten muss. Während seiner wenigen Freizeit zieht sich Richardson in sein Studierzimmer zurück und betreibt Kriegsstatistik. 1940 tritt er in den Vorruhestand, nimmt eine geminderte Pension in Kauf, um, so sein Rücktrittsschreiben, „gründliche Forschung zur Instabilität des Friedens“ zu betreiben.

Für „Statistik tödlicher Streitigkeiten“, sein zweites Hauptwerk zur Konfliktforschung, trägt Richardson Daten zu allen Konflikten seit 1820 zusammen, die er finden kann. Er sucht und findet ein Muster: Die Anzahl der Toten ist nach einem Potenzgesetz verteilt. Ein solches tritt häufig bei hochkomplexen Systemen auf, etwa Aktienmärkten und Erdbeben. Es besagt, dass die Häufigkeit eines Ereignisses von dessen Größenordnung abhängt. Kleine Scharmützel mit ein paar Dutzend Toten passieren demnach viel öfter als eine Schlacht mit tausenden Gefallenen. Wie viel öfter, das lässt sich mit dem Potenzgesetz ausrechnen.

Jahrzehnte später führen Neil Johnson und Michael Spagat ebenfalls statistische Analysen von Konflikten durch. Sie verfü-

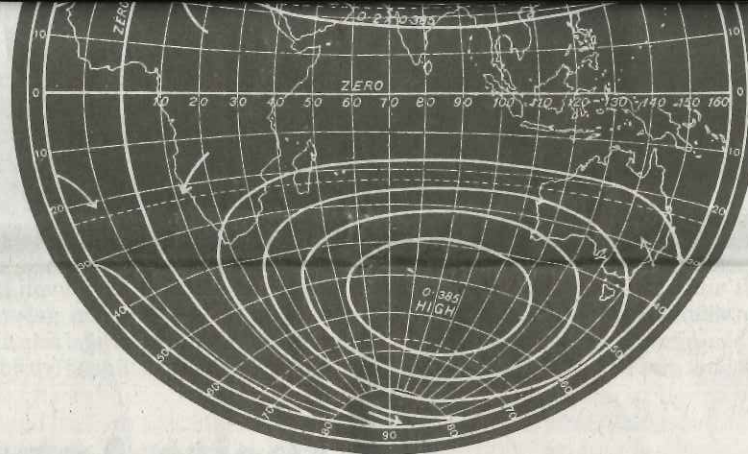
gen über wesentlich bessere Datensätze und können einzelne Vorfälle innerhalb eines Konflikts analysieren. Sie zoomen quasi näher heran als Richardson – und finden ebenfalls ein Potenzgesetz. „Erstens ist es überraschend, dass es da überhaupt ein Potenzgesetz gibt“, sagt Johnson. „Aber zweitens hat uns überrascht, dass wir für alle Kriege den gleichen Exponenten gefunden haben.“ So unterschiedliche Konflikte wie der durch eine US-Invasion ausgelöste Irakkrieg und der kolumbianische Bürgerkrieg haben mathematisch sehr ähnliche Eigenschaften. Sogar Terroranschläge und Cyber-Attacken scheinen den Gesetzen zu folgen, die Richardson vor siebzig Jahren gefunden hat. Da standen sich Europas Völker noch in Schützengräben gegenüber.

Die erste Vorhersage benötigte 33 Tage Rechenzeit. Doch der Durchbruch war geschafft

Am 30. September 1953 stirbt Lewis Fry Richardson mit fast 72 Jahren im Schlaf. Dreieinhalb Jahre vorher berechnen John von Neumann und Jules Charney in Princeton erstmals eine Wettervorhersage per Computer. Mit 33 Tagen Rechenzeit ist die zwar immer noch nicht praxistauglich. Doch den beiden Forschern gelingt es immerhin, die größten Fehler in Richardsons Modell zu korrigieren und eine halbwegs realistische Vorhersage zu bekommen. Der Durchbruch ist geschafft. Das Weitere ist eine Frage der Rechenpower. Ein technisches Problem, kein wissenschaftliches.

Unter Meteorologen ist Lewis Fry Richardson als Wegbereiter anerkannt. In Konfliktforschung kann man heute ohne Weiteres einen Master machen, ohne je seinen Namen zu hören. „Quantitative Analysen sind auf diesem Gebiet immer noch kontrovers“, sagt Neil Johnson. „Die meisten meiner Kollegen machen nur Einzelfallstudien. Natürlich ist jeder Konflikt anders. Aber Daten ermöglichen, ein größeres Bild zu betrachten.“

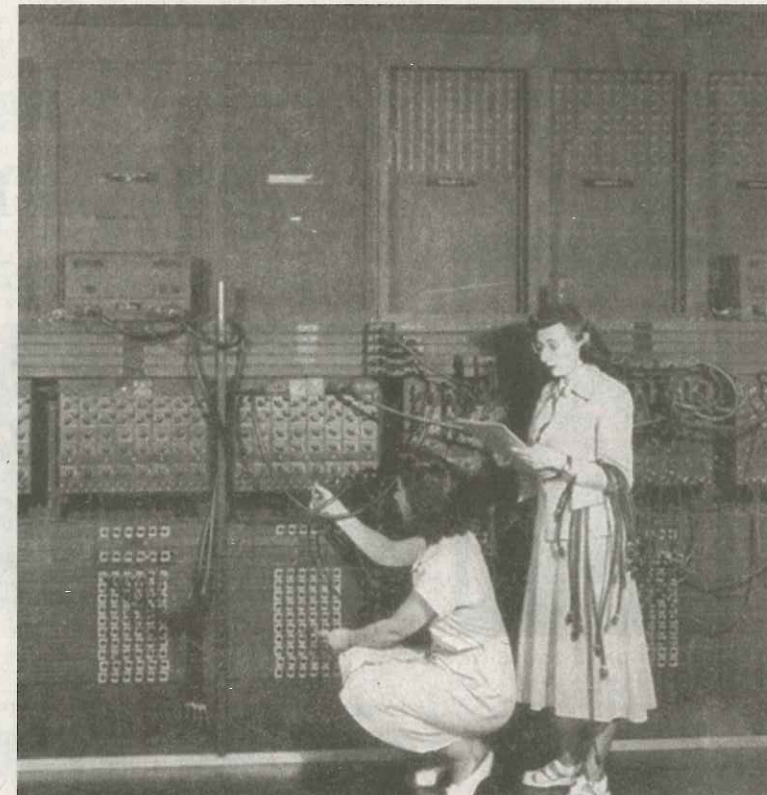
Richardsons Lebenswerk steht für die universell einsetzbare Stärke der Mathematik. Wetter und Krieg sind grundverschiedene Dinge. Richardson bearbeitet beide mit den gleichen mathematischen Werkzeugen. Seine Leistungen in der Meteorologie sehen wir täglich in den Abendnachrichten. Dagegen erscheinen uns Kriege weiterhin so unberechenbar wie unsere Vorfahren einst das Wetter.



Im Jahr 1896 veranstaltete die Internationale Meteorologische Organisation eine wichtige Konferenz in Paris. Dort wurde eine eigene Kommission für wissenschaftliche Aeronautik geschaffen. Sie sollte – vor allem mit Ballons – Daten aus höheren Luftschichten gewinnen, essenziell um das gesamte Wettergeschehen zu erfassen.



Es war dann der berühmte Mathematiker John von Neumann (1903-1957) der erkannte, dass man die komplexen Wettergleichungen nur mit den gerade neu entwickelten Computern lösen kann. Er verschaffte seinem Mitarbeiter, dem theoretischen Meteorologen Jules Charney (1917-1981, Bild links) Ende der 50er Jahre am Institute for Advanced Study in Princeton den Zugang zum ersten rein elektronischen Universalrechner, dem ENIAC-Rechner (Electronic Numerical Integrator and Computer). Mit ihm wurde sein atmosphärisches Wettermodell getestet, in dem auch planetenweite Strömungen berücksichtigt wurden. Charney war im Jahr 1954 bei der Einrichtung einer Abteilung zur Erstellung eines numerischen Wetterberichts für den Nationalen US-Wetterdienst beteiligt.



Der ENIAC-Rechner wog noch 27 Tonnen, verfügte über 17 468 Elektronenröhren und benötigte 24 Stunden um das Wetter der nächsten 24 Stunden zu berechnen. Das war noch wenig praktisch, zeigt aber erstmalig die Machbarkeit der numerischen Wetterprognose. Dank immer schnellerer Rechner, sehr viel mehr Daten und besseren Modellen hat sich seitdem die Vorhersage ständig verbessert. Heute können die Meteorologen das Wetter auf drei Tage hinaus mit 75-prozentiger Genauigkeit vorhersagen, die Prognose für den nächsten Tag ist sogar zu 90 Prozent sicher.