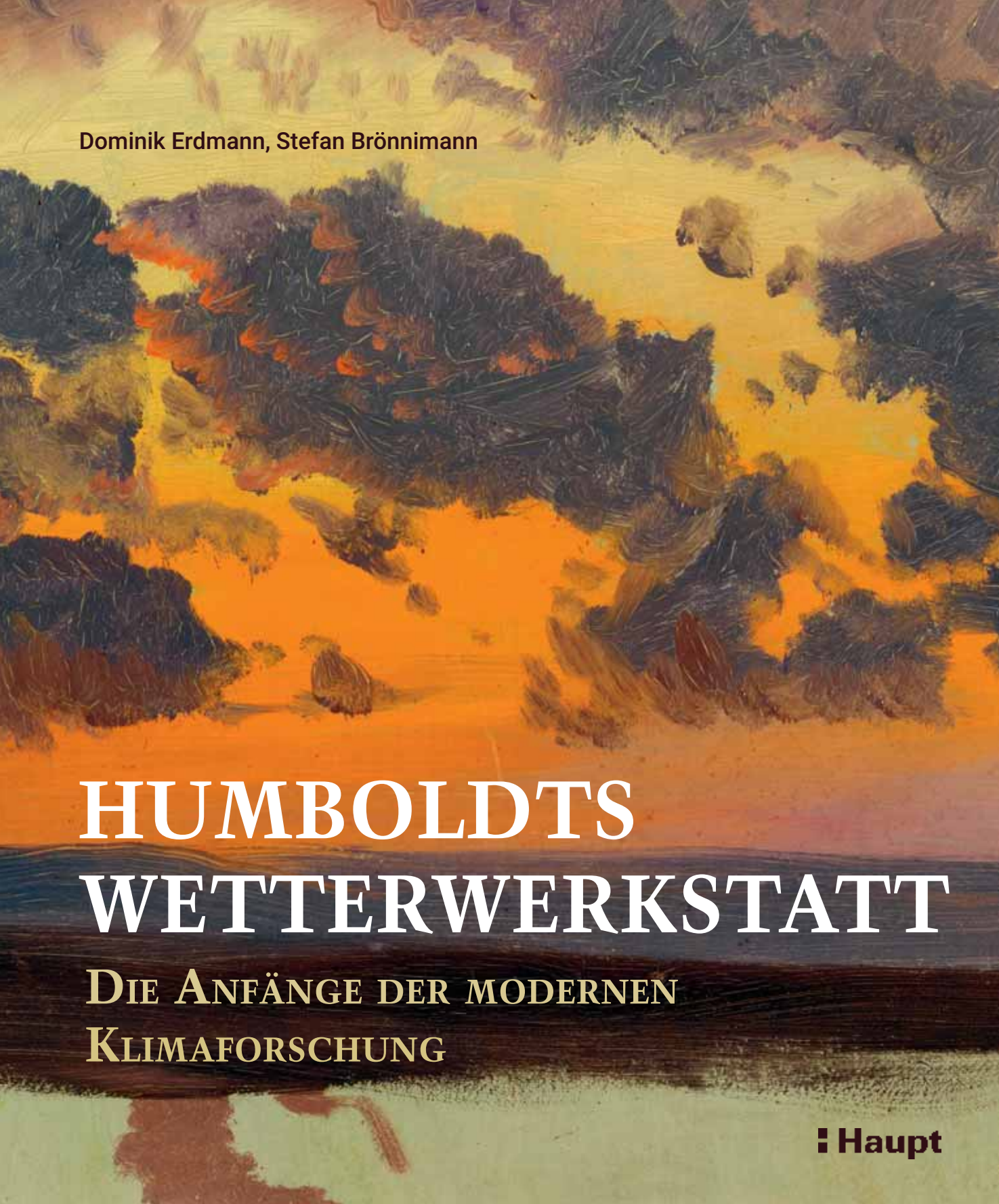
Dominik Erdmann, Stefan Brönnimann



HUMBOLDTS WETTERWERKSTATT

Die Anfänge der modernen Klimaforschung

Haupt

Dominik Erdmann, Stefan Brönnimann

Humboldts Wetterwerkstatt

Haupt
NATUR

Dominik Erdmann, Stefan Brönnimann

HUMBOLDTS WETTERWERKSTATT

Die Anfänge der modernen Klimaforschung

Haupt Verlag

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort: Das Klima an Humboldts Schreibtisch 9
Der Begründer der Klimatologie und sein Nachlass 10
Klimatologie als Papierarbeit 12
Zum Anliegen und Aufbau dieses Buches 15
Editorische Notiz 17

2. Klimareihen als Spiegel von Geschichte und Geschichten 19
Anfänge der Messungen 21
Temperaturskalen 23
Das Messnetz der Ökonomischen und Gemeinnützigen Gesellschaft von Bern 25
Der Höhepunkt der Messtätigkeit 26
Preussische Statistik 29
Die lange Berliner Messreihe 30

3. Über vormalige Tropenwärme 33
Klimaanzeiger und die Verzeitlichung der Naturforschung 36
Geochemie und Tropenwärme 37
Geologische Träume 38
Aus inneren Ursachen 41
Climate engineering um 1900 43
Eunice Foote, die vergessene Entdeckerin des Treibhauseffekts 46

4. Tropische Wirbelstürme 49
Neue und alte Sturmkarten 50
Hurrikane und Klima 52
Hurrikane im Berghaus-Atlas 56

5. Macht das Klima krank? Eine Klimareihe aus Veracruz 61
Vomito Negro und die Temperatur 63
Die Medizin und meteorologische Messungen 64
Stadthitze 66
Ein Fund 68

6. Ein Jahrhundertsommer in Rom 71
Der erste Jahrhundertsommer 73
Ein gefährliches Klima 76
Kometen und Temperaturen 79
Klimatologie auf dem Papier 80
Blut ist offenbar doch dicker als Wasser 82
Hitzewellen über Europa 83

7. 1816 (k)ein «Jahr ohne Sommer» 85
Eine Preisfrage 87
Mittelwertsklimatologie 88
Ein Vulkanausbruch 89
Ursachen des Jahres ohne Sommer 90
Vulkanausbrüche und Mensch-Umwelt-System 93

8. Wetterbeobachtungen und Geschützdonner 97
Die Schnelligkeit des Schalls 100
Die nächtliche Schallzunahme 103
Die Symphonie des Regenwaldes bei Nacht 106
Klanglandschaft und Klimawandel 109

9. Das Klima wird global 111
Globale Seefahrt 112
Herkunft der Klimamessreihen 114
Das Klima des frühen 19. Jahrhunderts 120
Klimarekonstruktion 121

10. Eine Wetternachhersage für Humboldts Zentralasienreise 123
Reisewetter 124
Wetterrekonstruktion 125
Datenassimilation 126
Zentralasien und das globale Klima 131

11. Der Entwurf des Klimas 133
Klimawissen als Tabelle 135
Klimawissen als Karte 136
Die visuelle Rhetorik der Linie 138
Der Entwurf des Klimas 141
Humboldt, ein Wegbereiter der modernen Klimagrafik? 144
Gebirge und die isothermen Linien 146

12. Ein eisiger Winter 149
Abweichungen vom Mittelwert 150
Kleine Eiszeit und die Klimaerwärmung 152
Anatomie des Winters 1829/1830 154
Wetter aus der Stratosphäre 157
Nordatlantische Oszillation 160
Plötzliche Stratosphärenerwärmung und Winterwetter 161

13. Klimavisionen 163
Kreisdiagramme über Krieg und Krankheiten 167

14. (Keine) Eiszeit 171
Die Alpen bedecken sich mit Schnee 174
Die Eiszeit erscheint 180
«une bonne dose de légèreté Neuchâteloise» 181
Eine langsame Bekehrung 184
«Diese ehrwürdigen Denkmäler […]» 185
Die Zukunft der Gletscher 187

15. Der Weg zur dritten Dimension 189
Mit Messinstrumenten ins Gebirge 191
Messungen in der freien Atmosphäre 194
Im Weltraum 196
Übung macht den Meister 197

16. Reisethermometer, Dampfschiffe und die Kolonisierung des Westens 199
Thermometer auf Reisen 201
Beschleunigung der Globalisierung 204
Die Kolonisierung des Westens 205
Wissenschaft und Genozid 209
Die Klimaschaukel El Niño 210

17. Schlusswort: Vielleicht noch zu Gebrauchen Humboldts klimatologischer Nachlass 213

Zeittafel zu Humboldts Leben und seinen klimatologischen Publikationen 219

Literaturverzeichnis 221
Werke und Schriften Alexander von Humboldts 221
Sonstige Quellen und Forschungsliteratur 222

Abbildungsverzeichnis 227
Dank 232
Endnoten 233
Register 238

1. Das Klima an Humboldts Schreibtisch

Mitten im Sommer, am 1. Juli 1842, zog Alexander von Humboldt «[u]nter allen Gräueln des Umziehens in eine entfernte, aber sehr gesunde und heitere Wohnung.»[1] Es war seine letzte Adresse. Sie lag in der Oranienburger Straße Nr. 67 im Nordwesten Berlins, unweit der Stadtmauer, in der Nähe des Oranienburger Tors. Bis zu seinem Tod am 6. Mai 1859 bewohnte Humboldt dort vier Zimmer im ersten Stock eines gewöhnlichen Stadthauses. Zur Gartenseite hin lag sein Arbeitszimmer, in das uns ein 1845 gemaltes Aquarell des königlich preußischen Hofmalers Eduard Hildebrand einen detailverliebten Einblick gibt (Abb. 1).

Abbildung 1 • Eduard Hildebrandt malte Alexander von Humboldt 1845 in seinem zur Gartenseite des Hauses hin gelegenen Arbeitszimmer.

In diesem Zimmer, an einem kleinen, geradezu unscheinbaren Schreibtisch aus Birkenholz, der nur 80 cm hoch, 78 cm tief und 145 cm breit ist (Abb. 2), schuf Humboldt die Grundlagen der modernen Klimaforschung. Die weiteren Schreibgeräte, die ihm zur Verfügung standen, waren nicht minder schlicht. Um das Klima zum Erscheinen zu bringen, benutzte Humboldt Gänsefedern, Eisengallustinte, gelegentlich einen Bleistift sowie Papier, Klebstoff und eine Schere. Neben diesen gab es nur noch zwei weitere, für Humboldts Arbeit jedoch unerlässliche, Hilfsmittel. Das erste war sein Kachelofen. «Tropische Wärme, immer an die 20° Réaumur»[2] (was 25 °C entspricht), waren ihm in seinen Zimmern ein stetes Bedürfnis. Das zweite war das weitaus wichtigste Arbeitsinstrument Humboldts, seine sogenannten Kollektaneen zum Kosmos. Dabei handelt es sich um eine spezielle Sammlung wissenschaftlicher Papiere, die er in 13 eigens für ihn angefertigten Pappkästen aufbewahrte. Drei dieser Kästen sind rechts unten auf dem Aquarell Hildebrandts abgebildet. Insgesamt enthielten die 13 Kästen an die 15 000 Briefe, Manuskripte, Zeitungsausschnitte, Listen, Tabellen, Zeichnungen und Notizzettel, die Humboldt in beschriftete Mappen und Umschläge sortierte. Mit ihnen hat Humboldt alle seine späten Bücher, Aufsätze, Artikel und Essays verfasst. Bis heute sind die Kollektaneen in der Berliner Staatsbibliothek in der von ihm angelegten Ordnung überliefert.[3] Um die Rolle, die diese Kollektaneen für Humboldts Klimaforschung spielen, wird es in dem vorliegenden Buch gehen.

Abbildung 2 • Alexander von Humboldts «Wetterwerkstatt» • Sein Schreibtisch, den er 1827 bei einem unbekannten Berliner Tischler in Auftrag gab, und an dem er das Klima zum Erscheinen brachte.

Der Begründer der Klimatologie und sein Nachlass

Humboldt gilt heute als der Begründer der modernen Klimatologie, da er der Erste war, der das Klima auf Grundlage mehrjähriger Messreihen statistisch bestimmte und eine genauere Definition des Begriffes «Klima» vorgelegt hat. Allerdings hatte auch er Vorläufer. So war in Johann Christian Adelungs *Grammatisch-kritischem Wörterbuch der hochdeutschen Mundart* bereits 1801 über die «Witterung» zu lesen, sie sei «[d]er merklich veränderliche Zustand der Atmosphäre, als ein Collectivum, […] wodurch es sich von Wetter unterscheidet, welches nur eine einzelne Beschaffenheit andeutet.»[4] Adelung und seine Zeitgenossen differenzierten also bereits genau zwischen momentanen Wetterereignissen und einem längerfristigen Klima, worauf Humboldt aufbauen konnte.

Neben der Dauer war für Humboldt die Komplexität des Klimas als ein multifaktoriell bedingtes Gebilde wechselwirksamer Ursachen entscheidend, was sich aus seiner ersten Klimadefinition erfahren lässt, die er im ersten Band seines Opus Magnum *Kosmos – Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*[5] 1845 publizierte:

> Das Wort Klima bezeichnet allerdings zuerst eine specifische Beschaffenheit des Luftkreises; aber diese Beschaffenheit ist abhängig von dem perpetuirlichen Zusammenwirken einer all- und tiefbewegten, durch Strömungen von ganz entgegengesetzter Temperatur durchfurchten Meeresfläche mit der wärmestrahlenden trocknen Erde, die mannigfaltig gegliedert, erhöht, gefärbt, nackt oder mit Wald und Kräutern bedeckt ist.[6]

Doch nicht nur als Theoretiker, auch als praktischer Klimaforscher war Humboldt tätig. Auf seinen Reisen erhob er selbst Klimadaten, maß Temperaturen, Luftdruck, Niederschläge, Schneegrenzen, Luftelektrizität, Himmelsbläue und mehr und brachte sie in Verbindung mit der Ausbreitung der Vegetation, der Tiere und des Menschen. Das Ergebnis dieser Forschungen war sein wohl berühmtestes Bild, die Datengrafik mit dem Titel *Géographie des plantes équinoxiales. Tableau physique des Andes et Pays voisins*, deren Vorzeichnung er 1803 in Guayaquil anfertigte (Abb. 3).

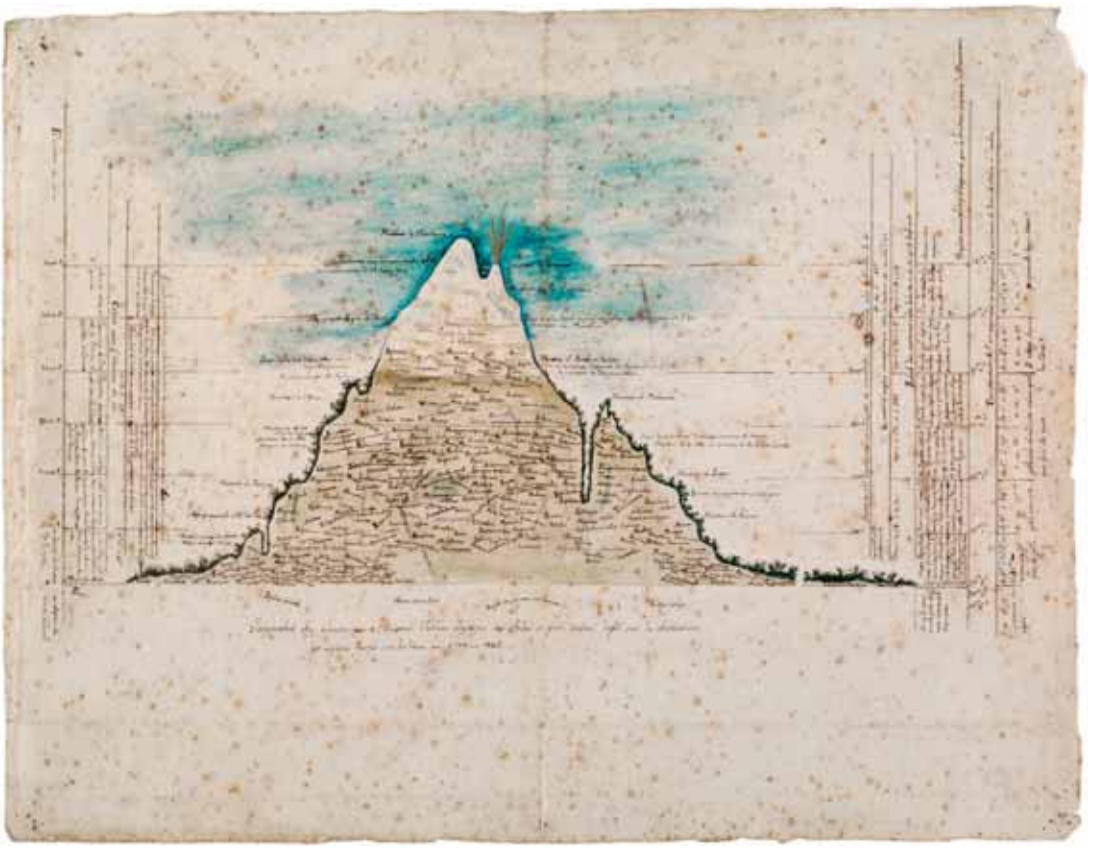


Abbildung 3 • Noch während sich Humboldt in Südamerika aufhielt, zeichnete er 1803 in Guayaquil die Vorlage für sein wahrscheinlich bekanntestes klimageographisches Bild, das 1807 publizierte *Tableau physique des Andes et Pays voisins*.

Während seiner Russlandreise im Jahr 1829 regte er erfolgreich die Einrichtung eines meteorologischen Messnetzes an. Im Oktober 1847 wurde auf Humboldts Betreiben das Preußische Meteorologische Institut gegründet, der erste staatlich organisierte Wetterdienst Deutschlands.

Dieser Weite und Vielfalt von Überlegungen und Aktivitäten entspricht das breite Themenspektrum seiner klimatologischen Schriften. Er befasste sich mit dem unterirdischen Klima in Höhlen und Bergwerken und war einer der ersten, der systematisch Hochgebirgsmeteorologie betrieb. Er untersuchte mittels Eudiometer die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre und studierte die Wärmeverteilung auf dem Erdkörper, indem er im großen Stil Luftdruck- und Temperaturmessungen zusammentrug, kritisch miteinander verglich und in Grafiken übersetzte. Er stellte Vermutungen über die Geschichte des Klimas an und beschrieb als einer der ersten Klimaveränderungen, die durch Umwelteingriffe des Menschen hervorgerufen wurden. Er war fasziniert von den Auswirkungen der Meeresströmungen auf das Klima und von exotisch anmutenden, klimatologischen Themen. So untersuchte er beispielsweise den Zusammenhang zwischen dem Mikroklima eines Ortes und der lokalen Verbreitung

von Infektionskrankheiten oder die Abhängigkeit der Ausbreitung von Schallwellen von der Beschaffenheit der Atmosphäre. Bei all diesen Studien war Humboldts Augenmerk stets auf die Erde als Ganzes gerichtet. Ihn interessierte der allgemeine Zusammenhang der Klima- und Geofaktoren und ihre Auswirkungen auf die Verbreitung von Pflanzen, Tieren und letztlich des Menschen und seiner Kultur. Humboldt war einer der Ersten, der die Erde und ihr Klima als ein Ökosystem begriff, noch bevor dieser Begriff gebräuchlich wurde. Nach einem eigenen Buch über das Klima sucht man bei Humboldt, der noch nicht einmal ein ausgebildeter Meteorologe war, allerdings vergebens. Seine klimatologischen Ansichten sind vielmehr über sein ganzes Werk in Buchkapiteln, Artikeln, Aufsätzen und Essays verstreut.[7] Und sie finden sich in seinem handschriftlichen Nachlass, seinen Kollektaneen zum Kosmos.

Dort gibt es ganze Kästen zur Klimatologie, beispielsweise den Kasten Nummer 1, in dem er seine Materialien für die von ihm in die Wissenschaft eingeführten isothermen Linien sammelte. Nahezu in jedem weiteren Kasten der Kollektaneen befinden sich Briefe, Manuskripte, Notizzettel, einzelne Dokumente oder ganze Mappen zu klimatologischen Themen: Temperaturtabellen und Daten zur barometrischen Höhenmessung in Kasten 2; ausgedehnte Sammlungen zu den Meeresströmungen in Kasten 4; Umrechnungstabellen für die unterschiedlichen Skalen von Barometern und Thermometern in den Kästen 1 und 5; umfangreiche Dossiers zum «Luftmeer», wie Humboldt die Atmosphäre nannte, in den Kästen 11–14. In den letzteren stellte er Materialien zusammen, die sich mit extremen Sommer- und Wintertemperaturen, Winden und Stürmen, der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre, der atmosphärischen Elektrizität, dem Luftdruck, den Niederschlägen, dem Paläoklima und weiteren Themen mehr beschäftigen. Alle klimatologischen Fakten, mit denen Humboldt sich befasste und zu denen er publizierte, sind in den Kollektaneen vertreten. An seinen Materialien zur Klimatologie lässt sich aber auch nachvollziehen, wie er das globale Klima mit Feder, Tinte, Schere und Klebstoff auf dem Papier zum Erscheinen gebracht hat.

Klimatologie als Papierarbeit

Bei Humboldt steht am Anfang seiner Klimaforschung die empirische Datenerhebung. Zum Teil sammelte er selbst Klimadaten. Der weitaus größere Teil wurde ihm jedoch in Form von Briefen, Tabellen, Manuskripten und Publikationen zugetragen. Sie mussten ausgewertet und überarbeitet werden, denn erst die Verarbeitung der Daten brachte das Klima als Wissensgegenstand in Erscheinung. Diese Arbeit fand bei Humboldt in erster Linie auf und mit dem Papier statt. Es ist

eine Besonderheit der Kollektaneen, dass sie es uns noch heute erlauben, Humboldt bei seinen Klimastudien «über die Schulter zu schauen». Exemplarisch soll dieser Blick im Folgenden anhand zweier Beispiele gewagt werden. Beim ersten sehen wir, wie Humboldt die Papiere seiner Kollektaneen nach Belieben sortierte. Beim zweiten, wie er mit Schere und Klebstoff die Zusammenhänge der Natur erkundete.

Die Kollektaneen sind eine große, nach Themengebieten sortierte Loseblattsammlung, die Humboldt in beschriftete Mappen ablegte. Dieses Arrangement erlaubte es ihm, zu jeder Zeit und an jeder beliebigen Stelle neue Informationen einzufügen oder veraltete zu entfernen. Auf diese Weise konnte Humboldt die Kollektaneen über einen langen Zeitraum hinweg auf dem aktuellen Stand des Wissens halten. Die Mobilität der Papiere erlaubte es ihm aber auch, sie entsprechend der Themen, an denen er gerade arbeitete, zu sortieren und sie so zu kombinieren, dass sie ihm neue Einblicke in Naturphänomene erlaubten. Das ist beispielsweise bei seinen Untersuchungen der globalen Wärmeverteilung der Fall, seinen berühmten Arbeiten zu den isothermen Linien. Die dazu notwendigen Materialien – Temperaturtabellen verschiedener Autoren, Umrechnungstabellen von Fahrenheit-, Réaumur- und Celsius-Temperaturskalen, Isothermenkarten und Notizzettel mit Literaturauszügen – sammelte er in dem bereits erwähnten Kasten Nummer 1. Er ordnete die Materialien in diesem Kasten in insgesamt acht Mappen ein, die er nach Ländern und Regionen unterteilte. Durch diese Organisation der Papiere erhielt er Einblicke in ein an sich unsichtbares Phänomen, der konkreten Verteilung der Wärme auf der Erde. In einem zweiten Schritt konnte er dann auf die Ursachen dieser Verteilung zu sprechen kommen oder seine Einsichten in eine eigene Temperaturtabelle oder eine Isothermenkarte überführen. Dies tat er, um seinen Leserinnen und Lesern die Gesetzmäßigkeiten der Wärmeverteilung auf der Erde vor Augen zu führen. Die Kollektaneen waren also keineswegs nur ein Ort der Speicherung von Wissen. Sie waren für Humboldt vor allem auch ein Werkzeug der Erkenntnisgewinnung und -vermittlung.

Abbildung 4 • Solche zusammengeklebte Notizzettelkonvolute sind typisch für Humboldts Kollektaneen. In ihnen vernetzte er Informationen, die er in seinen Schriften auswertete, oder stellte Daten zusammen, um sich Zusammenhänge in der Natur zu verdeutlichen.

Das Arrangieren von Papieren ist bei Humboldt insofern auch nicht nur ein Zusammenstellen, sondern immer auch ein Zusammendenken und damit Vernetzen von Informationen. Die Metapher des Netzes beziehungsweise des Netzwerks ist zur Charakterisierung der Welt- und Wissensauffassung Humboldts in den vergangenen zwei Jahrzehnten zugegebenermaßen reichlich strapaziert worden. Er selbst gab dazu den Anlass, da er die Natur im ersten Band seines *Kosmos* als eine «allgemeine Verkettung, nicht in einfacher linearer Richtung, sondern in netzartig verschlungenem Gewebe»[8] beschreibt. Dieses Netzwerk der Natur wollte Humboldt entschlüsseln und seinen Leserinnen und Lesern vermitteln. Er analysierte die Zusammenhänge der Erscheinungen allerdings nicht nur in Gedanken. Diese Arbeit fand vielmehr im praktischen Umgang mit den Papieren seiner Kollektaneen statt. Humboldt konnte die Natur deshalb als Netzwerk erkennen und seine netzwerkartigen Texte über sie schreiben, weil er seine Kollektaneen netzwerkartig verwaltete. Zwei Schreibutensilien halfen ihm dabei ganz wesentlich: seine Schere und der von ihm verwendete Klebstoff.

In allen Mappen der Kollektaneen lassen sich Dokumente finden, die Humboldt mit diesen beiden Schreibutensilien bearbeitete. Oft fügte er dabei Notizzettel zu umfangreichen Notizzettelgebilden zusammen, die sich gleich einem Leporello entfalten lassen. Das ist beispielsweise auch der Fall bei einem zusammengeklebten Notizzettelkonvolut,[9] in dem sich Humboldt mit dem Tagesgang des Luftdrucks befasste, den «stündlichen Schwankungen» des Barometers, wie er das Phänomen bezeichnete, das er als «eine Art Ebbe und Fluth der Atmosphäre» betrachtete und in dem er einen der «Hauptzüge eines allgemeinen Naturgemäldes der Atmosphäre»[10] sah (Abb. 4).

An diesem mit bunten Siegeloblaten zusammengeklebten Notizzettelkonvolut, das aus insgesamt acht zusammengeklebten Zetteln besteht, lässt sich beobachten, wie Humboldt bei der Vernetzung von Informationen konkret vorgegangen ist. Auf den zu unterschiedlicher Zeit geschriebenen Zetteln sammelte er Literaturhinweise und -auszüge verschiedener Autoren zum Tagesgang des Luftdrucks. Er klebte sie schrittweise zusammen, wobei sich die Zettel alle so entfalten lassen, dass sich die auf ihnen enthaltenen Informationen ohne Textverluste lesen lassen. Die meisten dieser Angaben wertete er in seiner 1828 erschienenen Abhandlung *Ueber die allgemeinen Gesetze der stündlichen Schwankungen des Barometers*[11] aus. Durch das Zusammenkleben der Zettel hob Humboldt also die ansonsten lose Verzettelung seiner Kollektaneen auf und stellte Informationsbündel her, mit denen er sich Übersichten zu einzelnen Themen verschaffte, Informationen aus verschiedenen Wissensgebieten zusammenstellte und die, wie im vorliegenden Fall, die Basis textueller Ausarbeitungen darstellen. Solche Zettelgebilde lassen einen anderen Blick auf Humboldts Netzwerkdenken zu, für das die von ihm begründete transdisziplinäre Wissenschaft der Klimatologie ein typisches Beispiel ist: Sie ist nicht das Resultat einer rein theoretischen Auseinandersetzung, sondern geht aus der praktischen, vernetzenden Schreibarbeit mit den Papieren seiner Kollektaneen unmittelbar hervor.

Zum Anliegen und Aufbau dieses Buches

Das Anliegen dieses Buches speist sich aus der Beobachtung, dass die greifbaren Überbleibsel von Humboldts realer klimatologischer Arbeit vertiefende Einblicke in seine Konzeption des globalen Klimas erlauben; tiefere Einblicke als sie aus seinen publizierten Schriften hervorgehen. Tatsächlich ist Humboldt mit seinen klimatologischen Studien in den Kollektaneen auch weitergekommen als in seinem publizierten Werk. In Letzterem wollte er dem Publikum nur gesichertes Wissen vorlegen, aber keine Hypothesen, die noch ungeklärt und umstritten waren. Um nur ein, wenn auch prominentes Beispiel zu nennen, werden in seinem publizierten Werk die Eiszeiten nicht behandelt. In seinen Aufsätzen und größeren eigenständigen Werken findet sich nicht mal der Begriff der Eiszeit. Daher wurde lange vermutet, dass Humboldt ein Gegner der kontrovers diskutierten Eiszeittheorie gewesen sei. Hanno Beck etwa behauptete in dem Zusammenhang: «Die Grenze, die Humboldt erlebte, war die Eiszeittheorie, die er nicht mehr verstand, obgleich er zu ihren Schrittmachern gerechnet werden kann.»[12] Tatsächlich finden sich in seinen Kollektaneen aber zahlreiche Zettel und Manuskripte zu dem Thema, an denen sich beobachten lässt, dass Humboldt sich mit der Eiszeit intensiv auseinandergesetzt hat und den Schlussfolgerungen der Eiszeittheoretiker gegenüber nicht unaufgeschlossen war. Anhand der Kollektaneen lässt sich also ein differenzierteres Bild seiner klimatologischen Leistungen und Kenntnisse zeichnen.

Das betrifft auch die in den vergangenen Jahren immer wieder zu hörende Behauptung, bereits Humboldt habe vor dem menschengemachten Klimawandel gewarnt. Es trifft zu, dass er auf seiner amerikanischen und asiatischen Reise Gegenden besuchte, in denen der Raubbau an der Natur zu lokalen Klimaveränderungen führte und er darauf hinwies.[13] Einen globalen, vom Menschen verursachten Klimawandel nahm er allerdings nicht an und er wusste auch nichts über die Klimawirkung von Treibhausgasen.[14] Humboldts Ansichten vom Klima unterscheiden sich von denen, die wir heute haben. Gleichwohl bestimmte bereits er das Klima als ein System aus wechselwirksamen Prozessen, was ihn dennoch zu einem der Vordenker unseres heutigen Klimaverständnisses macht.

Das vorliegende Buch beabsichtigt, Humboldts Klimadenken anhand seines handschriftlichen Nachlasses in Schlaglichtern zu beleuchten. Den Ausgangsunkt der 15 inhaltlichen Kapitel bildet jeweils ein einzelnes, für das in dem Kapitel behandelte Thema repräsentatives Dokument aus den Kollektaneen. Es kann sich um eine Tabelle mit Temperaturdaten handeln, die ihm von einem anderen Wissenschaftler zugetragen wurde, ein Manuskript mit Bemerkungen zu klimatologischen Themen oder um einen schlichten Notizzettel Humboldts, auf dem er Literatur ausgewertet hat. Diese Dokumente werden in ihren geschichtlichen Kontext eingebettet, wobei nicht nur Details erzählt werden, die sich auf ihre klimatologische Bedeutung

beziehen. Wir wollen Einblicke in die Zeit ihrer Entstehung geben, einzelne Details über die Biografien ihrer Autoren mitteilen, ihre Arbeiten und Ansichten – zuweilen kritisch – aus der Perspektive der Nachgeborenen beleuchten und so Einblicke in das Werden unserer eigenen Vorstellungen vom Klima gewinnen.

So verschieden wie Humboldts klimatologische Themen sind, so verschieden sind die Perspektiven der Kapitel dieses Buches. Mal stehen die Messmethoden zur Erfassung von Klimadaten im Zentrum, mal geht es um deren Übersetzung in Klimagrafiken, mal um die Schilderung von bedeutenden Naturereignissen, mal um Beobachtungen, die nicht auf den ersten Blick klimatologischer Natur sind, die aber dennoch mit Klimaereignissen zusammenhängen. In dieser Vielfalt spiegeln sich die verschiedenen Blickwinkel wider, unter denen Humboldts klimatologische Materialien betrachtet werden können. Zugleich weisen sie auf den Umstand hin, dass das Klima damals, als Humboldt darüber nachdachte, erst im Erscheinen war. Er und seine Zeitgenossen hatten schon deshalb eine von unserer heutigen Vorstellung verschiedene Auffassung vom Klima, da sie über sehr viel weniger Daten verfügten als wir. Aus diesem Sachverhalt erklärt sich auch der Titel des Buches: *Humboldts Wetterwerkstatt*. Die Messreihen, mit denen er arbeitete, um seine noch heute relevanten klimatologischen Ansichten zu entwickeln, waren oft so kurz, dass sie nach heutigem Maßstab gar nicht das Klima abgebildet haben, sondern weit eher das Wetter oder bestenfalls – wie Adelung schreibt – die Witterung. Als Klima wird heute üblicherweise das über dreißig Jahre gemittelte Wetter verstanden. Humboldt musste sich mit Messreihen begnügen, die nur wenige Jahre und in vielen Fällen nur ein einzelnes Jahr umfassen. Es ist umso bemerkenswerter, dass er und seine Zeitgenossen mit diesen Daten die Grundlagen unseres heutigen Klimaverständnisses formulieren konnten.

Die Texte in diesem Buch stehen jeweils für sich, sind aber durch Querverweise miteinander verbunden. Wir wollten nicht verbergen, dass ihre Autoren aus ganz unterschiedlichen Disziplinen kommen (Stefan Brönnimann aus der Klimatologie, Geographie und Geschichte; Dominik Erdmann aus der Literaturwissenschaft und Wissenschaftsgeschichte) und demgemäß eine ganz verschiedene Sicht auf die von ihnen beschriebenen Dokumente haben. Wir betrachten diese Vielfalt der Ansichten, die sich auch im Duktus der Texte ausdrückt, als Beleg dafür, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt, über das Klima und die Geschichte der Klimatologie nachzudenken und zu schreiben. Diese Mehrdimensionalität ist in Humboldts klimatologischem Denken bereist angelegt, in dem der Mensch als wahrnehmendes Subjekt ohnehin immer im Zentrum steht. In seiner zweiten Klimadefinition im ersten Band seines *Kosmos* schreibt er:

> Der Ausdruck Klima bezeichnet in seinem allgemeinsten Sinne alle Veränderungen in der Atmosphäre, die unsre Organe merklich afficiren: die Temperatur, die Feuchtigkeit, die Veränderungen des barometrischen Druckes, den ruhigen Luftzustand oder die Wirkungen ungleichnamiger Winde, die Größe der electrischen Spannung, die Reinheit der

> Atmosphäre oder ihre Vermengung mit mehr oder minder schädlichen gasförmigen Exhalationen, endlich den Grad habitueller Durchsichtigkeit und Heiterkeit des Himmels; welcher nicht bloß wichtig ist für die vermehrte Wärmestrahlung des Bodens, die organische Entwicklung der Gewächse und die Reifung der Früchte, sondern auch für die Gefühle und ganze Seelenstimmung des Menschen.[15]

Die Gliederung der Texte folgt, soweit ihr Entstehungszeitpunkt bekannt ist, der Zeitfolge ihrer Entstehung. Im Prinzip bilden sie damit die Chronologie von Humboldts Leben ab, doch nicht in einem strengen Sinn. In vielen Texten finden sich Vor- und Rückblenden, die die Entwicklung von Humboldts klimatologischem Denken veranschaulichen. Zur Orientierung findet sich am Ende des Bandes eine Zeittafel zu Humboldts Leben, in der neben allgemeinen Angaben zu seiner Biografie einige seiner wichtigsten Publikationen zur Klimatologie im Lebenslauf verankert sind.

Den Texten sind kurzgefasste Zusatzinformationen in Form von Kästen beigegeben. Sie beinhalten weiterführende Angaben zu einzelnen in ihnen behandelten Themen. Sie verstehen sich gewissermaßen als die Zettel, die heute auf Humboldts Schreibtisch liegen könnten: Notizen, die über den gegenwärtigen Stand der Klimaforschung informieren.

Editorische Notiz

Dem vorliegenden Buch liegen handschriftliche Quellen zugrunde, aus denen auszugsweise zitiert wird. In den Transkriptionen wird die ursprüngliche Schreibung beibehalten. Wo Zusätze zum besseren Verständnis nötig sind, werden diese in eckigen Klammern gegeben. Längere Zitate, die im Original fremdsprachig geschrieben sind (ausgenommen englischsprachige Zitate), wurden von uns ins Deutsche übertragen. Die fremdsprachigen Originaltexte sind zum Abgleich in den Endnoten angeführt. Kürzere fremdsprachige Zitate werden direkt im Text in eckigen Klammern übersetzt.

Zu Humboldts Zeit existierten verschiedene Temperatureinheiten. Diese werden wie folgt abgekürzt: Grad Fahrenheit: °F; Grad Celsius: °C; und Grad Réaumur: °Ré. Der Luftdruck in Hektopascal wird mit hPa abgekürzt.

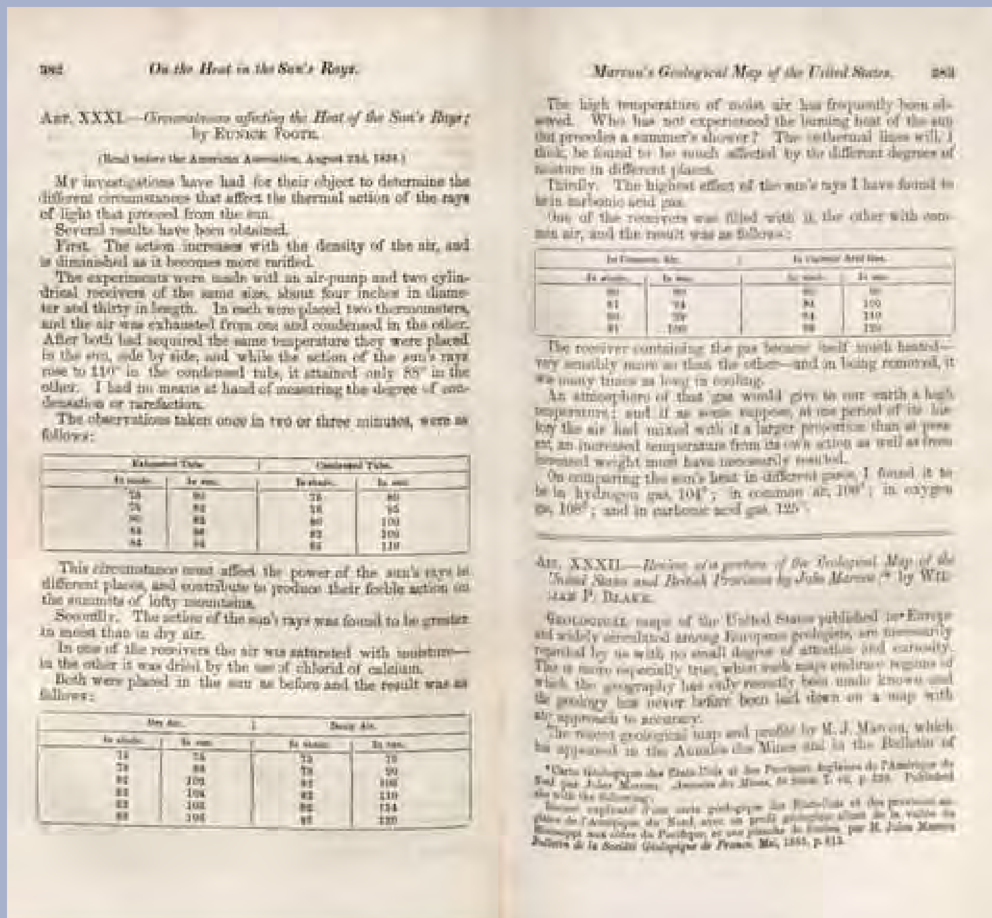
Eunice Foote, die vergessene Entdeckerin des Treibhauseffekts

Svante Arrhenius' Beschreibung des menschengemachten Klimawandels baute auf den Arbeiten des irischen Physikers und Bergsteigers John Tyndall auf. Ab 1859, dem Todesjahr Humboldts, führte Tyndall Experimente zur Wärmeaufnahme verschiedener Gase durch. Mit ihnen zeigte er, dass Gase wie Wasserdampf, Methan und Kohlendioxid Wärme in der Atmosphäre speichern können. Das Kohlendioxid identifizierte Tyndall dabei als ein besonders effektives Treibhausgas.

Inwiefern Tyndalls Arbeiten auf denjenigen der US-amerikanischen Frauenrechtsaktivistin, Erfinderin und Forscherin Eunice Foote aufbauen, ist umstritten. Foote entdeckte die Klimawirkung von Kohlendioxid und Wasserdampf allerdings drei Jahre vor Tyndall. Sie beschrieb sie in ihrem 1856 publizierten Aufsatz *Circumstances Affecting the Heat of the Sun's Rays*[62]. Darin schilderte sie eine Reihe von Experimenten, für die sie Glaskolben mit integrierten Thermometern mit verschiedenen Gasen befüllte, sie der Sonnenstrahlung aussetzte und die Temperaturzunahme in ihrem Inneren beobachtete. Foote stellte dabei fest, dass komprimierte und feuchte Luft sich stärker erwärmt als unkomprimierte und trockene. Sie zog daraus die Schlussfolgerung, dass die Luftfeuchte den Verlauf von isothermen Linien wesentlich beeinflussen würde. Die höchste Wärmezunahme stellte sie allerdings in einem mit Kohlendioxid befüllten Kolben fest. Dieser benötigte zudem länger, um sich im Schatten wieder abzukühlen. Aus dieser Beobachtung leitete Foote die These ab, dass ein höherer Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre notwendigerweise auch zu einem wärmeren Klima führe und übertrug diese Annahme auch auf das Paläoklima:

> An atmosphere of that gas would give to our earth a high temperature; and if as some suppose, at one period of its history the air had mixed with it a larger proportion than as present, an increased temperature from its own action as well as from increased weight must have necessarily resulted.[63]

Footes wegweisender Beitrag zur Klimatologie blieb lange ungewürdigt. Dies begann damit, dass sie ihn auf der 10. Jahrestagung der «American Association for the Advancement of Science» im Jahr 1856 nicht selbst vortragen durfte. Frauen waren als Rednerinnen nicht zugelassen, weshalb ihre Forschungsergebnisse von dem Physiker und ersten Sekretär der «Smithsonian Institution», Joseph Henry, präsentiert wurden. Er erkannte die Tragweite der Entdeckung von Foote nicht und wies sie kurz darauf öffentlich zurück. Noch im selben Jahr erschienen Footes Forschungsergebnisse im *American Journal of Science and Arts* und weiteren Zeitschriften. Anfang 1857 war ein Auszug der Arbeit im *Jahresbericht über die Fortschritte der reinen, pharmazeutischen und technischen Chemie, Physik, Mineralogie und Geologie*



282 *On the Heat in the Sun's Rays.*

ART. XXXI.—*Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays;* by EUNICE FOOTE.

(Read before the American Association, August 23d, 1856.)

MY investigations have had for their object to determine the different circumstances that affect the thermal action of the rays of light that proceed from the sun.

Several results have been obtained.

First. The action increases with the density of the air, and is diminished as it becomes more rarified.

The experiments were made with an air-pump and two cylindrical receivers of the same size, about four inches in diameter and thirty in length. In each were placed two thermometers, and the air was exhausted from one and condensed in the other. After both had acquired the same temperature they were placed in the sun, side by side, and while the action of the sun's rays rose to 110° in the condensed tube, it attained only 88° in the other. I had no means at hand of measuring the degree of condensation or rarefaction.

The observations taken once in two or three minutes, were as follows:

Exhausted Tube.		Condensed Tube.	
In shade.	In sun.	In shade.	In sun.
75	80	75	80
76	82	78	95
80	82	80	100
83	86	82	105
84	88	82	110

This circumstance must affect the power of the sun's rays in different places, and contribute to produce their feeble action on the summits of lofty mountains.

Secondly. The action of the sun's rays was found to be greater in moist than in dry air.

In one of the receivers the air was saturated with moisture—in the other it was dried by the use of chlorid of calcium.

Both were placed in the sun as before and the result was as follows:

Dry Air.		Damp Air.	
In shade.	In sun.	In shade.	In sun.
75	75	75	75
78	88	78	90
82	102	82	106
82	104	82	110
82	102	86	114
83	103	92	120

Marcou's Geological Map of the United States. 283

The high temperature of moist air has frequently been observed. Who has not experienced the burning heat of the sun that precedes a summer's shower? The isothermal lines will, I think, be found to be much affected by the different degrees of moisture in different places.

Thirdly. The highest effect of the sun's rays I have found to be in carbonic acid gas.

One of the receivers was filled with it, the other with common air, and the result was as follows:

In Common Air.		In Carbonic Acid Gas.	
In shade.	In sun.	In shade.	In sun.
80	90	80	90
81	94	84	100
80	99	84	110
81	100	85	120

The receiver containing the gas became itself much heated—very sensibly more so than the other—and on being removed, it was many times as long in cooling.

An atmosphere of that gas would give to our earth a high temperature; and if as some suppose, at one period of its history the air had mixed with it a larger proportion than at present, an increased temperature from its own action as well as from increased weight must have necessarily resulted.

On comparing the sun's heat in different gases, I found it to be in hydrogen gas, 104°; in common air, 106°; in oxygen gas, 108°; and in carbonic acid gas, 125°.

ART. XXXII.—*Review of a portion of the Geological Map of the United States and British Provinces by Jules Marcou;** by WILLIAM P. BLAKE.

GEOLOGICAL maps of the United States published in Europe and widely circulated among European geologists, are necessarily regarded by us with no small degree of attention and curiosity. This is more especially true, when such maps embrace regions of which the geography has only recently been made known and the geology has never before been laid down on a map with any approach to accuracy.

The recent geological map and profile by M. J. Marcou, which has appeared in the Annales des Mines and in the Bulletin of

*Carte Géologique des États-Unis et des Provinces Anglaises de l'Amérique du Nord par Jules Marcou. Annales des Mines, [illegible] Published [illegible] the following:

[illegible] explicatif d'une carte géologique des États-Unis et des provinces anglaises de l'Amérique du Nord, avec un profil géologique allant de la vallée du Mississippi aux côtes du Pacifique, et une planche de fossiles, par M. Jules Marcou. Bulletin de la Société Géologique de France. Mai, 1855, p. 813.

Abbildung 6 • Zwei Seiten genügten Eunice Foote, um den Treibhauseffekt zu beschreiben. Als Frau wurde sie aus der männlich dominierten Wissenschaft ausgegrenzt und ihre Arbeit erst im 21. Jahrhundert wiederentdeckt und anerkannt.

unter der Rubrik «Wärmelehre»[64] in deutscher Übersetzung zu lesen. Ihre Schlussfolgerungen über die Klimawirkung von Kohlendioxid wurden in dieser Zusammenfassung allerdings ausgelassen. Erst 2010 wurde Footes Arbeit wiederentdeckt und ihre Beschreibung der Klimawirkung von Kohlendioxid entsprechend gewürdigt.

[illegible]

Ort	Jahr	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	[illegible]
[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]
Calcutta	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2 J. [illegible]
Jamaica	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	5 J. [illegible] Kingston
Seringapatam	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2 J. [illegible]
Rom	14,84	3,8	8,2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	17 J. Calandrelli
Padua	11,89	2,9	4,9	7,0	12,0	16,5	21,8	24,5	23,1	19,5	[illegible]	6,0	2,3	8 J. [illegible]
Turin	11,08	0,2	2,8	6,7	11,4	16,2	20,2	22,4	22,0	18,2	[illegible]	5,9	1,1	18 J. Bovin [illegible] Candi
Ofen	10,50	–1,9	0,6	2,7	10,0	15,1	20,1	21,7	21,7	17,1	12,0	2,6	0,1	[illegible]
Lancaster, Engl.	9,22	2,2	3,8	4,9	8,8	12,0	14,9	16,1	15,9	12,7	9,8	4,9	2,8	6 J. Heaton
Middelburg	9,20	2,5	3,0	4,0	8,3	12,1	16,0	18,1	17,0	16,0	9,9	4,0	4,0	[illegible]
[illegible]	9,20	2,2	3,0	6,3	8,0	12,8	14,0	16,4	16,4	15,0	10,2	8,3	3,0	2 J. Foster [illegible]
[illegible]	9,00	4,0	4,1	4,2	6,8	9,5	12,8	14,8	13,8	12,0	8,0	5,0	4,9	2 J. [illegible] Phil. Magazine
Christiania	5,00	–4,1	–3,3	–5,1	4,1	8,9	14,3	17,1	15,9	11,2	4,2	0,1	–3,0	12 J. [illegible] Buch, Esmarck, Hansteen
St. Bernhard	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,4	4,0	7,0	7,7	4,1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	3 J. Bibliothèque universelle

[illegible] Padua [illegible]

[illegible]

9. Das Klima wird global

Vor uns liegt ein großes Blatt mit einer handschriftlichen Tabelle: Titel, Kopfzeile, 16 Zeilen mit jeweils 14 Spalten, eine Kommentarzeile. Tabelliert sind langjährige Mittelwerte der Temperatur für 16 Orte. Die Spalten enthalten die Stationsnamen, die Jahresmittelwerte sowie die Mittelwerte für jeden Kalendermonat. Die letzte Spalte enthält Kommentare zu den Datenquellen und den Beobachtern in knapper Form. So wie in diesem Beispiel wurden im 18. und 19. Jahrhundert Klimadaten ausgetauscht, als Tabellen in der persönlichen Korrespondenz oder in Fachzeitschriften. So landete auch das mit L. F. Kämtz unterzeichnete Blatt 1828 auf Humboldts Schreibtisch. Auffällig ist in dieser Tabelle, dass die 16 aufgelisteten Messreihen aus ganz verschiedenen Regionen der Erde stammen. Es sind Stationen aus tropischen und subtropischen Gegenden verzeichnet, aus Nordamerika und Europa. Hier wird das Klima global und trifft damit das Interesse Humboldts, der schon elf Jahre vorher, in seiner Schrift zu den isothermen Linien (vgl. Kapitel «Klimawissen im Entwurf»), die globale Sicht auf das Klima skizziert hatte. Aber wann und wie wurde das Klima global? Anhand der vorliegenden Tabelle kann dieses Thema erläutert werden.

Abbildung 1 • Kämtz, Ludwig Friedrich: «Mittlere Temperaturen in Graden des hunderttheiligen Thermometers» (1828).

Die Temperaturmessung ist eine europäische Erfindung. Zwar wurden bereits Ende des 17. Jahrhunderts Thermometer auch auf Überseereisen mitgenommen: nach Afrika, Jamaika, Kanada und China. Hier wurde dann ein paar Monate oder vielleicht ein Jahr gemessen. Von einer globalen Sicht war man aber noch sehr weit entfernt, ja es bestand noch nicht einmal eine europäische Sicht auf das Klima. Diese entwickelte sich erst langsam im Verlauf des 18. Jahrhunderts, indem Wissenschaftler Messungen von verschiedenen Orten zusammentrugen, verglichen und in Fachzeitschriften publizierten (vgl. Kapitel «Klimareihen als Spiegel von Geschichte und Geschichten»). Aber im Zeitalter des Kolonialismus war es nur eine Frage der Zeit, bis auch in entlegenen Regionen systematische Messungen begannen.

Globale Seefahrt

Vorerst war es aber bezeichnenderweise die Seefahrt, welche eine globale Sicht auf das Klima vorlegte. Die Karte der Passatwinde von Edmond Halley aus dem Jahr 1686 (Abb. 2) stellt die erste globale Klimakarte dar.[141] Interessant, wie hier die Innertropische Konvergenzzone und auch die Monsune gut zu erkennen sind. Winde waren selbstredend relevant für die Seefahrt und den Welthandel und damit für die aufstrebenden Kolonialmächte ebenso wie für die aufstrebenden Wissenschaften. Winde wurden beobachtet und aufgeschrieben. Etwas anderes als Winde konnte aber nicht global dargestellt werden, schon gar nicht über Land.

Im Bereich der koordinierten Wetterbeobachtung war die Welt der Seefahrt der landgestützten Beobachtung voraus, und das blieb auch durch das 19. Jahrhundert hindurch so. Doch wurden auch meteorologische Messreihen an Land immer zahlreicher. In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts kamen erste dauerhafte Reihen aus Nordamerika dazu, jedoch erst noch zögerlich und lückenhaft.

Messungen wurden im Übrigen auch von außereuropäischen Kulturen vorgenommen. Eine besonders lange Messreihe liegt beispielsweise aus Seoul (Südkorea) vor, sie umfasst tägliche Niederschlagsmessungen seit 1777. In China wurde sogar seit 1736 Schneehöhe sowie die Niederschlagsinfiltration in den Boden gemessen, da diese Information zur Bestimmung der Steuerabgaben verwendet wurde. In Europa waren diese Daten zu Humboldts Zeiten allerdings unbekannt oder wurden nicht zur Kenntnis genommen. Sie sind auch heute schwer greifbar.

Aus europäischer Sicht erfolgte ein erster Schritt zu einer globalen Sicht mit der Mannheimer Gesellschaft, der «Societas Meteorologica Palatina».[142] Diese 1780 durch Kurfürst Karl Theodor initiierte Gesellschaft betrieb von 1781 bis 1792 ein Messnetz mit weitgehend standardisierten Instrumenten und Beobachtungsvorschriften. Die Beobachter erhielten die Instrumente von der Gesellschaft, was ihre Motivation erhöhte. Die Gesellschaft sammelte und publizierte die Daten. Mit Stationen in Europa (eine Station in der Nähe von Jekaterinburg (Russland) lag auf der Grenzlinie zu Asien), einer Station in Grönland und einer in

Abbildung 2 • Karte der Passatwinde von Edmond Halley (1686).

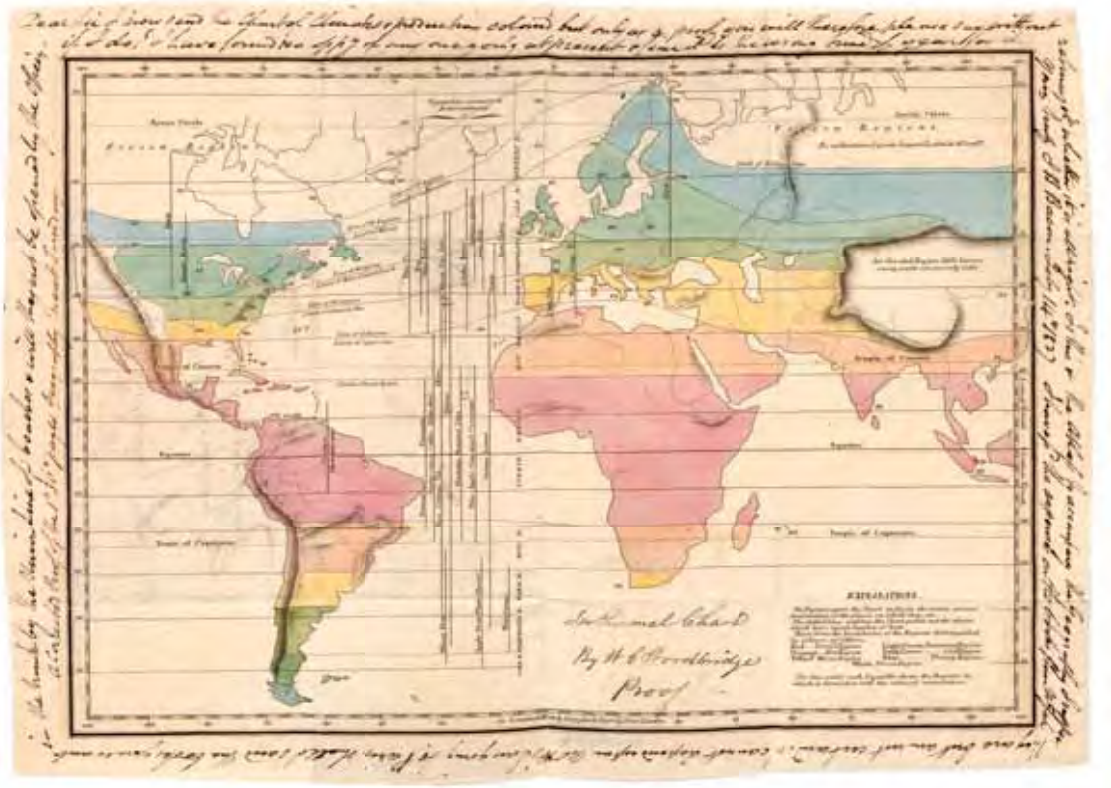


Abbildung 3 • Woodbridges Isothermenkarte, hier in einer Entwurfsfassung, die in Humboldts Kollektaneen zu finden ist. Umlaufend auf dem Rand findet sich ein Brief von Joshua Butters Bacon an William Channing Woodbridge vom 18. Februar 1827.

Nordamerika hatte das Netz sogar eine interkontinentale Erstreckung. Die Gesellschaft war mit dem Sammeln und Drucken der Daten allerdings bereits vollauf beschäftigt, sodass damals kaum Analysen der Daten publiziert wurden. Humboldt und andere Zeitgenossen stützten sich bei ihren Analysen dann aber stark auf die Daten der «Societas Meteorologica Palatina». Vier der in der Tabelle aufgelisteten Reihen waren Teil dieses Netzwerkes.

Im Palatina-Netzwerk fehlten immer noch die Tropen und Subtropen und die gesamte Südhalbkugel. Humboldt sammelte auch Daten aus diesen Regionen und versuchte, zu einem vollständigeren Bild zu gelangen, davon zeugt die Tabelle von Kämtz (Abb. 1). Diese 16 Reihen zeigen zwar nur einen kleinen Ausschnitt der verfügbaren Daten. Humboldt konnte auf vielleicht 100–200 weitere Reihen zurückgreifen. Aber das allein reicht nicht, um eine globale Temperaturkarte zu zeichnen. Es braucht dazu vor allem eine Idee, eine Vorstellung des globalen Klimas. Mit seiner skizzenhaften Karte der isothermen Linien zeigte Humboldt den Weg zu einer globalen Klimasicht über das Sammeln von Daten. Diese Intuition ebnete den Weg für andere, Klimadaten zusammenzutragen und in das nun skizzierte Gefüge (kartografisch erstmals 1823 durch den Amerikaner William Woodbridge ausgeführt, Abb. 3) einzuordnen. Weitere Sammler folgten bald auf Humboldts Pfad, so Heinrich Berghaus, der für Humboldts

Kosmos in den 1840er-Jahren einen Atlas anfertigte. Ein besonders eifriger Sammler war auch Kämtz, der Autor der dargestellten Tabelle. Schlüsselfiguren in den USA waren James Espy und Matthew Maury. Maurys Sammlung von Schifflogbüchern stellt einen Kernbestandteil des heutigen globalen marinen Wetterdatensatzes «International Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set» (ICOADS) dar, der weltweite Schiffswetterbeobachtungen zusammenfasst.

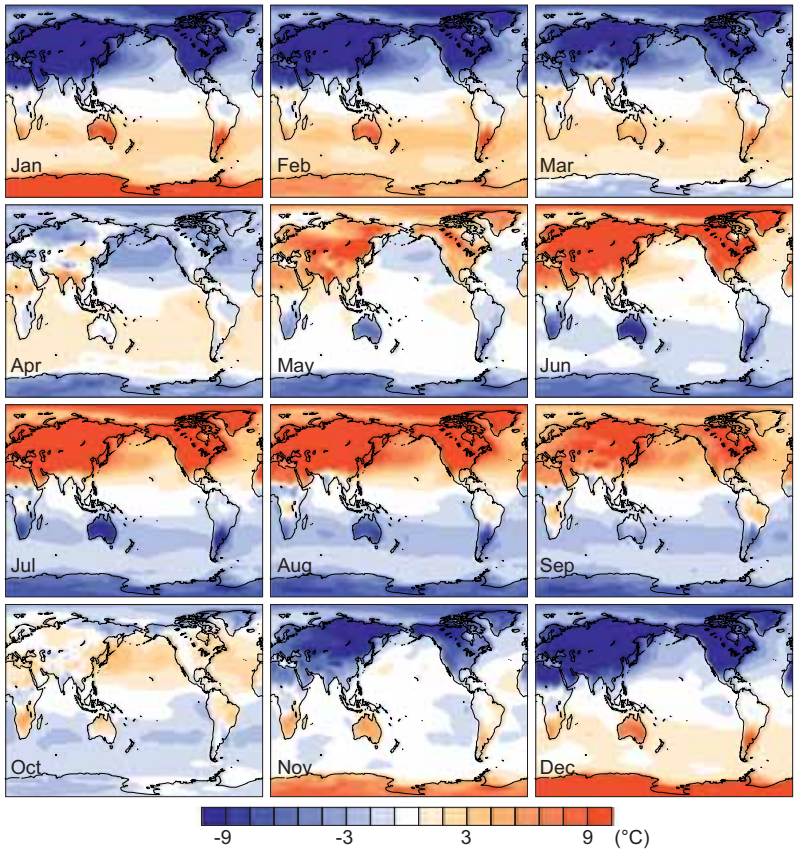
Trotz immer mehr Daten war das Ziel, eine globale Temperaturkarte zu erstellen, ein schier unmögliches Unterfangen. Sogar heute stellt uns die Aufgabe, aus wenigen Messpunkten eine globale Klimakarte zu zeichnen, vor große Herausforderungen. Außerhalb Europas gab es damals nur Bruchstücke von Messreihen, wie sie in der Tabelle gelistet sind. Man musste also mit sehr kurzen Reihen Vorlieb nehmen. Genau darin lag Humboldts Stärke. Bezeichnend dazu ist eine Bemerkung in seinem Beitrag zu isothermen Linien, in welchem er feststellt, dass die Temperatur des Monats Oktober der Jahresmitteltemperatur am nächsten komme und daher für Reihen, die kürzer sind als ein Jahr, als Schätzung des Jahresmittels herangezogen werden könne. Humboldt konnte das nur ahnen – heute können wir das anhand von meteorologischen Daten überprüfen und stellen fest, dass Humboldt recht hatte (Abb. 4).

Abbildung 4 • Differenz zwischen der langjährigen Monatsmitteltemperatur und der langjährigen Jahresmitteltemperatur. Am kleinsten sind die Unterschiede im Oktober.

Herkunft der Klimamessreihen

Das Zeichnen einer Temperaturkarte aufgrund von teils bruchstückhaften Stationsdaten, wie sie in der Tabelle gezeigt werden, ist nur ein Teil der Antwort auf die Frage, wie das Klima global wurde. Ebenso können wir, ausgehend von der Tabelle, den Blick zurückwenden und den darin tabellierten Daten nachspüren. Davon handelt die zweite Hälfte dieses Kapitels. Die Tabelle ist unterzeichnet mit L. F. Kämtz. Ludwig Friedrich Kämtz war damals außerordentlicher (später ordentlicher) Professor in Halle und bereits damals einer der führenden Klimatologen. Er sammelte Klimadaten und stellte sie unter anderem in seinem *Lehrbuch der Meteorologie* (Halle, ab 1831) zusammen. Aus dieser Zeit stammt die Tabelle. Auf seine Zusammenstellung griffen später viele Autoren wie Heinrich Wilhelm Dove zurück. Kämtz zog 1842 nach Dorpat (Tartu), später nach St. Petersburg.

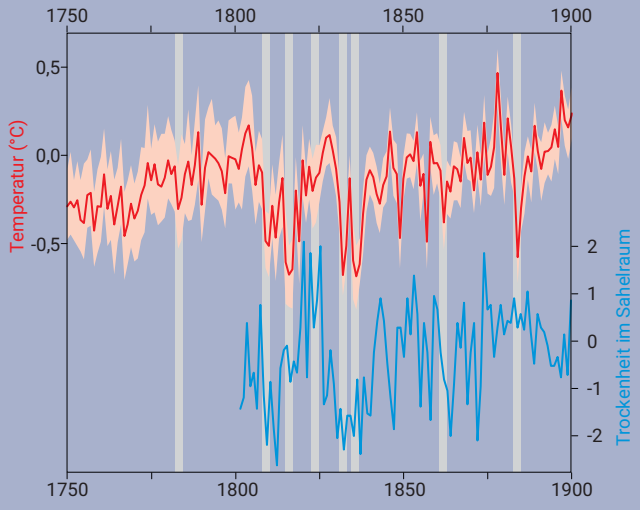
Die Zusammenstellung startet mit einer Reihe aus Kouka (Kukawa, Abb. 5) in der Nähe des Tschadsees (heute Nigeria). Die Stadt wurde 1814 als Residenzstadt des Bornu-Reichs gegründet, das später durch die Reisen von Heinrich Barth in Europa bekannt wurde.[143] Die hier abgedruckten Messungen wurden durch Dixon Denham angestellt, der mit Hugh Clapperton und



Walter Oudney im Auftrag der Britischen Regierung Zentralafrika bereiste.[144] Diese europäischen Expeditionen hatten neben wissenschaftlichen Zielen auch immer die Rolle des Wegbereiters. Denham wie Barth hatten den Auftrag, Handelsverträge abzuschließen und Handelsrouten zu erkunden. Auch Information über die politische Situation und Machtverhältnisse war wichtig. Auf diese Weise wurde die spätere Kolonisierung Afrikas vorbereitet, die um 1880 in den «Wettlauf um Afrika» mündete (während gleichzeitig die Bekämpfung des Sklavenhandels ein erklärtes Ziel mancher Expedition war). Zwischen Februar 1823 und September 1824 hielt sich Denhams Expedition in der Region um den Tschadsee auf. Denham publizierte die Messungen in seinen Reiseschilderungen. Meteorologische Messungen aus Afrika aus dieser Zeit sind generell selten. Die wenigen vorhandenen Messungen stammen aus europäischen Kolonien und Stützpunkten wie Sierra Leone (Portugal), Christiansborg/Accra (Dänemark), Südafrika (Niederlande, dann England), europäischen Handelsniederlassungen wie in Tripolis (Osmanisches Reich), von Missionaren (Malawi) oder Afrikareisenden (Uganda), aus den um Afrika

Das Klima des frühen 19. Jahrhunderts

Wie Humboldt war Kämtz an der mittleren Temperaturverteilung auf der Erde interessiert. An die Variabilität von Jahr zu Jahr oder von Jahrzehnt zu Jahrzehnt dachte damals kaum jemand. Heute steht genau das im Vordergrund, wenn Klimatologinnen die alten Messungen aufbereiten. Das mittlere Klima kennen wir aus heutigen Daten, aber die Schwankungen im frühen 19. Jahrhundert sind auch aus heutiger Sicht noch interessant. So begann das Jahrhundert in Europa sehr warm. Diese Phase gipfelte im Hitzejahr 1807 (vgl. Kapitel «Ein Jahrhundertsommer in Rom»). Danach begann eine Abkühlung (unterbrochen nochmals durch den Hitzesommer 1811), welche 1816, das als «Jahr ohne Sommer» in die Geschichte einging (vgl. Kapitel «(K)ein Jahr ohne Sommer») ihr Maximum erreichte. Weitere 20 Jahre blieben die Temperaturen niedrig, größtenteils als Folge von fünf Vulkanausbrüchen zwischen 1808 und 1835.[148] Dazu kamen zufällige Schwankungen im Klimasystem. Hier sind Kämtz respektive Humboldts Daten, insbesondere die tropischen, von großem Interesse. Denn während Europa unter Kälte litt, die Alpengletscher wieder vorstießen (Abb. 7) und Napoleon einen besonders kalten russischen Winter erlebte, wurden die Monsunregionen von Dürren heimgesucht. Indirekte Klimaindikatoren legen nahe, dass der westafrikanische Monsun über Jahrzehnte schwach war (Abb. 8). Bezeichnenderweise taucht nichts davon in Humboldts Arbeiten auf. Seine ganzen Anstrengungen galten dem mittleren Klima. Aber heute lernen wir anhand dieser Daten die Mechanismen im Klimasystem besser kennen. So kann die Abschwächung der Monsune auf die Vulkanausbrüche zurückgeführt werden, während die Monsune sich wiederum auf das Sommerklima in Europa auswirkten, indem sie den Tiefdruckgebieten südlichere Zugbahnen erlaubten. So führen diese alten Daten zu neuen Einsichten über die Funktionsweise des Klimasystems.



Klimarekonstruktion

Wie können wir das Klima räumlich rekonstruieren? Oft werden dazu statistische Verfahren verwendet. Als Eingabedaten dienen einerseits lange Zeitreihen von Jahrringen von Bäumen und anderen indirekten Klimaindikatoren, andererseits räumlich aufgelöste Klimadaten aus den letzten Jahrzehnten. Im überschneidenden Zeitintervall werden statistische «Transferfunktionen» optimiert, welche dann auf die vergangenen Daten angewendet werden. Dahinter stecken aber oft weitgehende Annahmen wie diejenige, dass sich die Klimamuster über die Zeit nicht verändert haben.

Die Rekonstruktionen im vorliegenden Buch verwenden neben Jahrringdaten auch Messungen wie aus Kämtz und Humboldts Tabellen sowie Dokumentendaten. Das sind Angaben aus historischen Quellen, beispielsweise zum Stand der Vegetation, dem Gefrieren von Seen oder auch Erntedaten. So kann eine monatliche Auflösung erreicht werden. Die Rekonstruktion erfolgt dann mithilfe von Klimamodellen. Dazu werden alle Angaben im Klimamodell dargestellt. Es muss also beispielsweise berechnet werden, wann im Modellklima der Wein geerntet würde. Dann werden modellierte und beobachtete Werte verglichen und das Modell statistisch an die Beobachtungen angepasst. Das Verfahren wird seit Langem für die Wettervorhersage verwendet, aber erst seit kurzer Zeit für die Klimarekonstruktion.

Auch bei der Klimarekonstruktion stellt sich aber die Frage der dahintersteckenden Daten. Genauso wie Humboldts Arbeiten beruhen diese Rekonstruktionen (unter anderem) auf kolonialen Daten. Im Kapitel «Reisethermometer, Dampfschiffe und die Kolonisierung des Westens» wird dieses Thema weiter vertieft.

Abbildung 7 • Der Rhonegletscher um 1856.

Abbildung 8 • Temperatur (mit 95 %-Vertrauensbereich) der nördlich-außertropischen Landfläche (20–90° N) im April bis September aus einer Klimarekonstruktion sowie Trockenheitsindex im Sahelraum aus historischen Quellen. Graue Balken bezeichnen Vulkanausbrüche.

Die Alpen bedecken sich mit Schnee

Auch die Forscher, die 1848 längst überzeugt waren, dass die mitunter gewaltigen erratischen Blöcke durch Gletscher von ihrem Herkunftsort in ihre heutige Lage versetzt worden waren, hatten mit dem Gedanken am Anfang mehrheitlich Mühe gehabt. Vermutungen über den Transport der Geschiebe durch Gletscher und den Zusammenhang zwischen Klimaschwankungen und Gletscherwachstum wurde von Geologen vereinzelt zwar schon um die Mitte des 18. Jahrhunderts diskutiert. Doch erst nach der Jahrhundertwende begannen die Forscher sich systematischer mit dem Thema zu befassen.

Ein Gutteil der Geschichte der Entdeckung der Eiszeit spielte sich in der Schweiz ab. Verständlicherweise, denn dort waren die Gletscher als Anschauungsmaterial im Gegensatz zu den längst abgeschmolzenen Inlandeisschilden Nordeuropas noch vorhanden. Es waren aber nicht die Forscher, die zuerst auf den Gedanken kamen, dass die Gletscher einst einen viel größeren Raum eingenommen und die erratischen Blöcke transportiert hatten. Den Bewohnern der Alpentäler war das Phänomen aus ihrem täglichen Anblick längst bekannt.[186]

Einer von ihnen, der Zimmermann und spätere Walliser Großrat Jean-Pierre Perraudin aus dem Val de Bagnes, gehörte zu denen, die die frühen Eiszeittheoretiker inspirierten, etwa den damaligen Salinendirektor von Bex, Jean de Charpentier. Auf einer Reise im Sommer 1815 verbrachte er eine Nacht in dem kleinen Gebirgsort Lourtier im Haus von Perraudin. Das Gespräch der Männer kreiste um die erratischen Blöcke, von denen Perraudin behauptete, sie seien von Gletschern transportiert worden, die ehemals das ganze Tal erfüllt hätten. Charpentier schenkte der Erzählung damals wenig Aufmerksamkeit und erinnert sich erst 40 Jahre später an das Gespräch, als er längst von der Existenz einer Eiszeit überzeugt war.

Ein Jahr später, im «Jahr ohne Sommer», fiel das Gletscherwachstum in der Schweiz ungewöhnlich stark aus (vgl. Kapitel «(K)ein Jahr ohne Sommer»). So wuchs der Untere Grindelwaldgletscher, der heute verschwunden ist, in den Jahren zwischen 1814 und 1822 um mehr als 500 Meter[187] (vgl. Kasten «Die Zukunft der Gletscher»). Offenbar stimulierte die globale Abkühlung infolge des Tambora-Vulkanausbruchs im fernen Indonesien auch die Eiszeitforschung in der Schweiz. Der Walliser Naturforscher Ignaz Venetz wurde jedenfalls durch die vorübergehende Klimaverschlechterung angeregt, sich mit glaziologischen und klimahistorischen Fragen zu beschäftigen, bevor er 1818 in seiner Funktion als Kantonsingenieur ins Val de Bagnes gerufen wurde.

Abbildung 3 • Der Schweizer Caspar Wolf, einer der Pioniere der Hochgebirgsmalerei, malte schon im ausgehenden 18. Jahrhundert Bilder, die die Vermutung nahelegen, dass erratische Blöcke durch Gletscher transportiert werden können. *La grosse Pierre sur le Glacier de Vorderaar* (posthum veröffentlicht 1785).

Dort war der Giétrozgletscher durch die anhaltende Kälte und den Niederschlag so stark gewachsen, dass er den Abfluss des Flusses Dranse blockierte (Abb. 4). Das Phänomen war

LA GROSSE PIERRE SUR LE GLACIER DE VORDERAAR

Canton de Berne Province d'Oberhasli

Dediée à M.r le Comte de Meuron *Chambellan de S.M.e Prussienne*

Colonel proprietaire d'un Regiment *Suisse au Service de Hollande*

Par son très humble Serviteur et Ami B. Wentzel

während der kleinen Eiszeit schon mehrmals vorgekommen. Diesmal war der Fluss durch den Eiskeil jedoch zu einem immensen, dreieinhalb Kilometer langen und 60 Meter tiefen See aufgestaut worden. Venetz beschloss, einen Stollen bohren zu lassen, um den Druck auf das Eis zu vermindern. Am 13. Juni 1818 war der Stollen fertiggestellt, ein Teil des Wassers konnte abfließen. Dennoch brach drei Tage später die Eisbarriere und löste eine Flutkatastrophe aus. Ludwig Wilhelm Gilbert berichtete in seinen *Annalen der Physik* 1819 darüber Folgendes:

> Das Wasser des Sees drängte sich durch die entstandne Oeffnung mit ungestümer Wuth, stieg in der engen Schlucht des Mauvoisin bis zu einer Höhe von 100 Fuß und zerstörte die Brücke über derselben, die es um 24 Fuß überstieg, ergoß sich über die Trift von *Mazeira*, deren auf einem Hügel stehende Alpenhütte davon überschwemmt wurde, und stürzte sich in die tiefe Schlucht von *Ceppi*, aus der es die ungeheuren Felsenstücke, die hier in dem Flußbette lagen, alle mit sich fortriß. In dem Thale von *Bonatschissa* erschien es wieder, überdeckte die Wiesen desselben mit Geröll und mit Felsblöcken und riß die 42 Alpenhütten mit sich fort. Mit ihren Trüm-

Abbildung 4 • Etwa einen Monat nach der Flutkatastrophe im Val de Bagnes im Jahr 1818 zeichnete der Universalgelehrte Hans Conrad Escher von der Linth den Eiskeil des Giétrozgletschers, der den Fluss Dranse zu einem See aufgestaut hatte.

mern beladen stürzte sich die Fluth aufs neue in eine Schlucht, in der sie verschwand, riß einige 30 Alpenhütten zu *Brecholai*, wo sie wieder zum Vorschein kam, mit fort, und dann den Wald von *Livounaire* mit seinen gewaltigen Tannen, stürzte eine Felsmasse ein, die sie unterhöhlte und zugleich die Heerstraße, und erschien wieder auf den Wiesengründen von *Fionain*, deren 57 Alpenhütten sie mitnahm. Hier ereilte die Fluth Hrn. Venetsch und seine beiden Arbeiter, doch hatten sie noch Zeit sich auf die Höhe zu retten.[188]

Um ein Haar hätte die Flutwelle Venetz das Leben gekostet, so wie etwa 40 Menschen aus den Dörfern des Val de Bagnes. Spätestens seit diesem Erlebnis suchte er den Alpenraum systematisch nach Spuren einst größerer Vergletscherung ab, obwohl die Katastrophe, deren Opfer er beinahe geworden war, eigentlich die herkömmlichere Annahme zu belegen schien, der auch Buch folgte, dass für die Verlagerung von erratischen Blöcken Schlammfluten verantwortlich waren.

Venetz wurde fündig und trat im Frühjahr 1829 an Jean de Charpentier heran, um ihm über seine Entdeckung zu berichten. Einst, so Venetz, sei das ganze Wallis von einem Gletscher bedeckt gewesen, der sich zwischen Genf und Solothurn bis zum Jura erstreckt habe. Er, und nicht irgendwelche Fluten, seien die Ursache der herumliegenden erratischen Blöcke. Im Juli trug Venetz seine Gletschertheorie auf der Tagung der «Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft» vor. Doch er erntete Spott und massive Kritik. Leopold von Buch, der ebenfalls anwesend war, soll heftig protestiert haben. Auch Charpentier schenkte Venetz Ausführungen keinen Glauben und machte ihm Vorwürfe, die wissenschaftlichen Autoritäten seiner Zeit, Leopold von Buch, Alexander von Humboldt und Élie de Beaumont, vor den Kopf zu stoßen. Anders als seine Kollegen ignorierte er Venetz aber nicht einfach, sondern machte sich daran, dessen Behauptung zu überprüfen und die Spuren früherer Vergletscherung, auf die dieser hingewiesen hatte, selbst in Augenschein zu nehmen. Fünf Jahre später kam er zu dem Schluss, dass Venetz mit seinen Annahmen Recht haben musste.

Abbildung 5 • Auch Humboldt hatte die Nachrichten über die Katastrophe von 1818 im Val de Bagnes gelesen. Auf einem Zettel in den Kollektaneen findet sich unter dem Titel «Wirkung der Gletscher» hierzu ein ausführlicher Literaturauszug. Welchem Bericht Humboldt sie entnahm, lässt sich aus der Notiz allerdings nicht erfahren.

Sie möchten nichts mehr verpassen?

Folgen Sie uns auf unseren Social-Media-Kanälen und bleiben Sie via Newsletter auf dem neuesten Stand.

www.haupt.ch/informiert

1. Auflage: 2023

ISBN 978-3-258-08324-7

Gestaltung und Satz: pooldesign, CH-Zürich
Umschlagbild: Frederic Erwin Church (1865): Sky at sunset, Jamaica, West Indies [Wikimedia commons]

Alle Rechte vorbehalten.
Copyright © 2023 Haupt Verlag, Bern
Jede Art der Vervielfältigung ohne Genehmigung des Verlags ist unzulässig.

Wir verwenden FSC®-zertifiziertes Papier. FSC® sichert die Nutzung der Wälder gemäß sozialen, ökonomischen und ökologischen Kriterien.
Gedruckt in Deutschland

MIX
Papier aus verantwortungsvollen Quellen
FSC® C004592

Die Druckvorstufe dieser Publikation wurde vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung unterstützt.

Diese Publikation ist in der Deutschen Nationalbibliografie verzeichnet.
Mehr Informationen dazu finden Sie unter http://dnb.dnb.de.

Der Haupt Verlag wird vom Bundesamt für Kultur für die Jahre 2021–2024 unterstützt.

Wir verlegen mit Freude und großem Engagement unsere Bücher. Daher freuen wir uns immer über Anregungen zum Programm und schätzen Hinweise auf Fehler im Buch, sollten uns welche unterlaufen sein.

www.haupt.ch

Auch wenn Alexander von Humboldt ein meteorologischer Autodidakt war, gilt er heute als Begründer der modernen Klimatologie. Seit seinen Jugendjahren untersuchte er die Zusammensetzung der Atmosphäre, maß Temperaturen und Luftdruck, beobachtete die Variation des Himmelsblaus, die Niederschläge, die Verteilung der Wärme auf dem Erdkörper und zahlreiche weitere meteorologische Phänomene. Die Wissenschaft verdankt ihm die Einführung der isothermen Linien, und in seinem Lebenswerk *Kosmos* formulierte er eine Klima-Definition, die bis heute Bestand hat. Vor über 200 Jahren warnte Humboldt, Umwelteingriffe könnten zu Klimaveränderungen führen und der Mensch sich so seiner Existenzgrundlage berauben.

Doch wie gelangte Humboldt zu seinen Anschauungen über das Weltklima und wer außer ihm war an dessen Entdeckung beteiligt? Antworten auf diese Fragen gibt ein Besuch in Humboldts «Wetterwerkstatt» in der Oranienburger Straße 67 in Berlin, wo er zuletzt wohnte. Werfen Sie mit uns einen Blick in Humboldts wissenschaftlichen Nachlass, in seine sogenannten Kollektaneen zum *Kosmos,* und sehen Sie, wie er mithilfe von Feder und Tinte, Schere und Klebstoff unsere Ansichten vom Weltklima erschuf.

ISBN 978-3-258-08324-7
9 783258 083247

Haupt
NATUR