



Alexander von Humboldt

**Schriften zum Klima**

Herausgegeben von  
Thomas Nehrlich und Michael Strobl

———— Wehrhahn Verlag ————

Schriften zum Klima





Alexander von Humboldt

Ueber die Hauptursachen  
der Temperatur-Verschiedenheit  
auf dem Erdkörper

Schriften zum Klima

Herausgegeben von  
Thomas Nehrlich und Michael Strobl

Mit einem Geleitwort von  
Stefan Brönnimann und Martin Claussen

Wehrhahn Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im  
Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

1. Auflage 2023  
Wehrhahn Verlag  
[www.wehrhahn-verlag.de](http://www.wehrhahn-verlag.de)  
Satz und Gestaltung: Wehrhahn Verlag  
Druck und Bindung: Mazowieckie Centrum Poligrafii, Warschau

Alle Rechte vorbehalten  
Printed in Europe  
© by Wehrhahn Verlag, Hannover  
ISBN 978-3-86525-990-5

## Inhaltsverzeichnis

Zur Aktualität von Humboldts Klimaforschung Geleitwort von Stefan Brönnimann und Martin Claussen	9
1. Ueber Grubenwetter und die Verbreitung des Kohlenstoffs in geognostischer Hinsicht	29
2. Ueber die Zersetzung der atmosphärischen Luft durch die reinen Erden, oder über die Oxydabilität der Erden	44
3. Versuche über die chemische Zerlegung des Luftkreises	69
4. Versuche über die eudiometrischen Mittel und das Verhältniß der Bestandtheile der Atmosphäre	83
5. Beobachtungen über das Gesetz der Wärmeabnahme in den höhern Regionen der Atmosphäre, und über die untern Gränzen des ewigen Schnees	123
6. Versuch über die astronomische Strahlenbrechung in der heißen Zone für Höhenwinkel unter 10°, insofern sie von der Wärmeabnahme abhängt	157
7. Ueber die Gesetze, welche man in der Vertheilung der Pflanzenformen beobachtet	199
8. Ueber die isothermischen Linien	211

9. Ueber den Einfluß der Abweichung der Sonne auf den Anfang der Aequatorial-Regen	224
10. Ueber die zunehmende Stärke des Schalls in der Nacht	234
11. Ueber die Gestalt und das Klima des Hochlandes in der iberischen Halbinsel	243
12. Von der in verschiedenen Theilen der heißen Zone am Spiegel des Meeres Statt findenden Temperatur	262
13. Beobachtung eines Nordlichts in Berlin	271
14. Ueber die Hauptursachen der Temperatur-Verschiedenheit auf dem Erdkörper	272
15. Ueber die allgemeinen Gesetze der stündlichen Schwankungen des Barometers	293
16. Betrachtungen über die Temperatur und den hygrometrischen Zustand der Luft in einigen Theilen von Asien	301
17. [Über Meeresströme]	334
18. The Temperature of Rain-Drops	366
19. On Climates Suitable for the Production of Wine	399
20. Bewegungen des Meeres	374

## Anhang

Emendationen	387
Klimatologie in Alexander von Humboldts Werk	
Nachwort von Michael Strobl	393
Editorische Notiz	437
Quellenverzeichnis	447
Dank	463



## Zur Aktualität von Humboldts Klimaforschung

Geleitwort von Stefan Brönnimann und Martin Claussen

»Ich hätte diese Betrachtungen [...] mit einer Untersuchung der Veränderungen schliessen können, welche der Mensch auf der Oberfläche des Festlandes durch das Fällen der Wälder, durch die Veränderung in der Vertheilung der Gewässer und durch die Entwicklung grosser Dampf- und Gasmassen an den Mittelpunkten der Industrie hervorbringt. Diese Veränderungen sind ohne Zweifel wichtiger, als man allgemein annimmt«, schreibt Humboldt in dem Bericht über seine Reise durch Zentralasien, die er im Auftrag des Zaren 1829 unternommen hatte (Humboldt 1844, S. 214). Allerdings, so fährt Humboldt fort, seien »unter den zahllos verschiedenen, zugleich wirksamen Ursachen, von denen der Typus der Klimate abhängt, [...] die bedeutsamsten nicht auf kleine Localitäten beschränkt, sondern von Verhältnissen der Stellung, Configuration und Höhe der Bodens und von den vorherrschenden Winden abhängig, auf welche die Civilisation keinen merklichen Einfluss ausübt.« (Ebd.) Dem weltreisenden Naturforscher und sorgfältigen Naturbeobachter war also schon am Anfang des 19. Jahrhundert bewusst, dass der Mensch seine Umwelt und damit auch das Klima beeinflusst. Aber er konnte sich noch nicht vorstellen, dass der Mensch zukünftig sogar die Klimazonen verschieben und das globale Klima ändern könnte.

Was wusste Humboldt bereits über die Physik und Chemie der Atmosphäre und das Klima? Wo führte er Ansätze seiner Zeitgenossen weiter und wo brachte er radikale, neue Sichtweisen ins Spiel? Wie hat Humboldt seine wissenschaftlichen Ideen strukturiert, und wie aktuell sind Humboldts Gedanken und Forschungsan-

satz heute? Die vorliegende Auswahl von klimatologischen und meteorologischen Schriften Humboldts aus den Jahren 1795 bis 1847 versucht darauf eine Antwort zu geben.

### Beschaffenheit des Luftkreises

In seinem vermutlich berühmtesten Werk, dem *Kosmos* (1845–1862), dem »Entwurf einer physischen Weltbeschreibung«, definiert Humboldt rückblickend auf sein bisheriges Schaffen das Klima in seiner ganzheitlichen Wirkung auf den Menschen: »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 electricischen Spannung, die Reinheit der Atmosphäre oder die Vermengung mit mehr oder minder schädlichen gasförmigen Exhalationen, endlich den Grad habituel-ler 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.« (Humboldt 1845–1862, Bd. 1, S. 340).

Diese einflussreiche Klimadefinition kann gleichsam als Humboldts Synthese zu seinen Klimaschriften gelesen werden. In seinen Arbeiten zeigt sich Humboldt als sorgfältiger Wissenschaftler mit dem Blick fürs Ganze, der stets den Menschen in den Mittelpunkt stellt, gleichzeitig immer nach den zugrundeliegenden physikalischen Vorgängen fragt (obwohl er diese nicht mathematisch fassen kann) und sich nie mit rein deskriptiven Aussagen zufriedengibt.

Klima wirkt, so Humboldt, nicht nur durch physikalische Eigenschaften wie Temperatur und Feuchtigkeit, sondern auch durch die chemische Zusammensetzung der Luft auf den Men-

schen. Diese Erkenntnis spiegelt sich bereits in seinen frühen Klimageschichten wider und markiert damit gleichzeitig Ausgangspunkt und Endpunkt für Humboldts Beschäftigung mit dem Thema.

In diesen frühen Jahren, als Oberbergmeister und wenig später als Oberberggrat im preußischen Staatsdienst in Freiberg, untersucht Humboldt die »unterirdische Meteorologie«, das Grubenwetter (siehe Text Nr. 1, »Ueber Grubenwetter und die Verbreitung des Kohlenstoffs in geognostischer Hinsicht«, 1795). Humboldt weiß, dass wir auf dem »Boden eines Luftmeers wohnen, dessen Tiefe wir nicht kennen«, womit er Evangelista Torricelli (1608–1647), den Erfinder des Barometers, fast wörtlich zitiert. Er begreift, dass die Zusammensetzung der Luft aus einem Zusammenwirken von Geosphäre – den Gesteinen und den Böden – und Atmosphäre entsteht. Kennzeichnend für Humboldt ist, dass er nicht nur die chemische Zusammensetzung der Grubenluft analysiert, sondern auch die Wirkung dieser Zusammensetzung auf den Menschen in zum Teil waghalsigen Selbstversuchen studiert. (Selbstversuche waren ein wichtiger Bestandteil von Humboldts empirischem Wissenschaftsverständnis, vgl. Heyl 2007 sowie Finger, Piccolino und Stahnisch 2013a und 2013b). Zudem gibt er sich nicht mit einer naturwissenschaftlichen Analyse des Grubenwetters zufrieden, sondern nutzt seine Erkenntnisse für praktische Maßnahmen zum Schutze der Bergleute, um neue Grubenlampen und Atemschutzgeräte zu konstruieren.

Die »unterirdische Meteorologie« führt Humboldt durch chemische Analysen der Atmosphäre fort. Zunächst konzentriert er sich auf Messungen des  $\text{CO}_2$ -Gehalts der Luft (siehe Text Nr. 3, »Versuche über die chemische Zerlegung des Luftkreises«, 1799), wofür er eigens ein Messinstrument entwickelt. Humboldt erkennt, dass »Kohlensäure [gemeint ist  $\text{CO}_2$ ] kein zufälliger, sondern ein allgemein verbreiteter Bestandtheil der Atmosphäre« ist. Zudem stellt er einen Jahresgang des Kohlendioxid-Gehalts fest, der »keinesweges in den hygrometrischen Verhältnissen des Luftkreises gegründet ist«, den er aber noch nicht erklären kann. Eben-

falls stellt Humboldt Abschätzungen der Sauerstoff-Konzentration der Atmosphäre an, die er allerdings für variabel hielt.

Zwei weitere bahnbrechende Aufsätze zur Chemie der Atmosphäre sind erwähnenswert. Humboldt untersucht die Änderung des Sauerstoffgehaltes durch »Absorbtion [...] vermittelt der Erden« auch im Hinblick auf »vielleicht interessante Entdeckungen in Ansehung des Ackerbaus« (siehe Text Nr. 2, »Ueber die Zersetzung der atmosphärischen Luft durch die reinen Erden, oder über die Oxydabilität der Erde«, 1799). Er erkennt, dass der Boden Sauerstoff aufnehmen und »ganz reinen Stickstoff [...] bilden« kann. Offenbar, so Humboldt, hängt die Absorptionsfähigkeit nicht nur von der Art des Bodens (der »Erden«) ab, sondern auch von der Landnutzung, dem Pflügen und dem Ausbringen von Pflanzen. Er sieht Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff als die wichtigsten Elemente aller Lebensformen und daher die damit verbundenen atmosphärenchemischen Vorgänge als einen wichtigen Teil der Meteorologie. Dies demonstriert wiederum seine umfassende Sicht des Klimas, die physikalische und chemische Prozesse umfasst und die Wirkung auf das Leben ins Zentrum stellt.

Noch fundamentaler ist die zweite Arbeit, welche sich nur mit Sauerstoff und Wasserstoff in der Atmosphäre auseinandersetzt. Zusammen mit Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850), mit dem ihn eine langjährige Freundschaft verband, entdeckte Humboldt, dass das gasförmige Wasser zu zwei Teilen aus Wasserstoff und einem Teil aus Sauerstoff besteht (siehe Text Nr. 4, »Versuche über die eudiometrischen Mittel und über das Verhältniß der Bestandtheile der Atmosphäre«, 1805). Damit hatten Gay-Lussac und Humboldt die volumetrische Zusammensetzung von Wasser gefunden, wahrlich eine weitreichende Entdeckung. (Dass die volumetrische Zusammensetzung gleichzeitig die chemische Formel  $H_2O$  ist, konnten die beiden nicht wissen, da der Molekülbegriff noch nicht existierte.) Außerdem bestimmten sie den Anteil des Sauerstoffs in der Atmosphäre auf konstant 21% (und gaben die Genauigkeit ihrer Messung mit 1‰ an).

## Vertikale Veränderungen der Atmosphäre

Humboldt hatte den bedeutenden französischen Chemiker und Physiker Gay-Lussac im Jahr 1804, gleich nach der Rückkehr von seinen Studienreisen durch Amerika (1799–1804) kennen gelernt; zwei gemeinsame Artikel wurden bereits im nächsten Jahr veröffentlicht. Vermutlich schon während seiner Exkursionen in das südamerikanische Hochgebirge muss Humboldt sich mit den »Veränderungen in der Atmosphäre«, insbesondere mit dem vertikalen Aufbau der Atmosphäre und der Wirkung der vertikalen Veränderung auf die Pflanzenwelt beschäftigt haben: »So stellt der Abhang des Gebirges gleichsam die umgekehrte Scale eines botanischen Thermometers dar«, erklärt Humboldt in einer Abhandlung zum Thema (siehe Text Nr. 5, »Beobachtungen über das Gesetz der Wärmeabnahme in den höhern Regionen der Atmosphäre, und über die untern Gränzen des ewigen Schnees«, 1806). Humboldt nähert sich dem Problem in seiner typischen Art, zuerst physikalisch induktiv, sodann empirisch deduktiv. Er bringt die Abnahme der Temperatur mit der Höhe in Verbindung mit der »Lichtverschluckung (*extinction de la lumière*)«, wobei er schon zwischen der Absorption von kurzwelliger solarer Strahlung und der vom Erdboden ausgehenden langwelligen Wärmestrahlung unterscheidet. Er erwähnt den »Strom erwärmter Gasarten«, die Konvektion, und die »Leitung der Wärme«, den Fluss fühlbarer Wärme. Der vergleichende Aspekt ist allgegenwärtig. Humboldt geht auf die Schneegrenze ein, auf Höhenstufen und er vergleicht die Veränderung der Atmosphäre in der Höhe mit der Veränderung nach der geografischen Breite: »Wenn man von den Ufern der Südsee aus die hohe Andeskette hinauf steigt [...], so findet man in einem engen Erdraume alle Klimate schichtenweise übereinander gelagert [...], als wenn man tausend geographische Meilen weit vom Äquator nordwärts [...] reisete«. Heute werden derartige Vergleiche oft herangezogen, um den stattfindenden Klimawandel besser vorstellbar zu machen.

Drei Jahre nach dem eben erwähnten Artikel greift Humboldt das Thema der Zusammensetzung der Atmosphäre und ihrer vertikalen Schichtung wieder auf (siehe Text Nr. 6, »Versuch über die astronomische Strahlenbrechung in der heißen Zone für Höhenwinkel unter 10°, insofern sie von der Wärmeabnahme abhängt«, 1808). Humboldt weist hier nach, dass die Gase der Atmosphäre sich nicht ihrem spezifischen Gewicht gemäß vertikal schichten, sondern dass die Atmosphäre (zumindest in der von Humboldt erfassbaren unteren wetterwirksamen Schicht) hinsichtlich ihrer chemischen Bestandteile gut gemischt ist – eine Tatsache, die noch heute manchem Laien nicht geläufig ist. Humboldt erläutert anschaulich, dass feuchte – also wasserdampfhaltige (nicht wasserhaltige!) – Luft leichter ist als trockene. Humboldt bestimmt die mittlere Temperaturabnahme mit der Höhe zu 5° C pro Kilometer – ein Wert, der etwas geringer ist als die Temperaturabnahme von etwa 6.5° C pro km in der heute für viele praktische Anwendungen genutzten »internationalen Standardatmosphäre« –, wobei die Abnahme bei kalter Luft in Bodennähe sowie gegen die Pole weit geringer sei. Interessant sind dabei auch seine messtechnischen Bemerkungen zur Wichtigkeit einer gut gewählten Exposition von Thermometern, da ansonsten die Messung verfälscht werden kann. Im selben Artikel erwähnt Humboldt auch, dass der Mensch durch Landnutzung das »ursprüngliche Gleichgewicht des Luft-oceans« stört. Naturbeobachtung, Analyse der Wechselwirkung Mensch–Natur und die Reflexion der Bedeutung der Forschung für den Menschen gehören für Humboldt zusammen – ein sehr aktueller inter- und transdisziplinärer Forschungsansatz.

## Pflanzengeographie

»Das Wort *Klima* bezeichnet allerdings zuerst eine spezifische Beschaffenheit des Luftkreises, aber diese Beschaffenheit ist abhängig von dem perpetuirlichen *Zusammenwirken* einer all- und tiefbewe-

gen, durch Strömungen von ganz entgegengesetzter Temperatur durchfurchten *Meeresfläche* mit der wärmestrahlenden *trockenen* Erde, die mannigfaltig gegliedert, erhöht, gefärbt, nackt oder mit Wald und Kräutern bedeckt ist.« (Humboldt 1845–1862, Bd. 1, S. 340) Mit diesem Satz aus dem *Kosmos* lässt sich auch die Entwicklung von Humboldts eigener Klimatologie beschreiben. Während er sich in seinen frühen Arbeiten eher der »spezifischen Beschaffenheit« der Atmosphäre gewidmet hat, öffnet sich sein Blick in seinen Aufsätzen ab 1816 auf das gesamte Klimasystem, oder »Klima im weiteren Sinne«, also Klima als Eigenschaft eines Systems bestehend aus Atmosphäre, Hydrosphäre (Ozean, Flüsse, Seen, ...), Kryosphäre (Eisschilde, Gletscher, Meereis, ...), Lithosphäre (obere und untere Erdkruste, ...) und der Biosphäre (Flora und Fauna an Land und im Wasser), wie es die moderne Klimaphysik seit den 1990er Jahren definiert (z. B. IPCC, 2001).

Basierend größtenteils auf den während seiner Gebirgstouren in Südamerika gesammelten Beobachtungen beschreibt Humboldt die geographische Verteilung der Pflanzen (siehe Text Nr. 7, »Ueber die Gesetze, welche man in der Vertheilung der Pflanzenformen beobachtet«, 1816). »Die Botanik, lange Zeit bloß auf die Beschreibung der äußeren Formen der Pflanzen und auf ihre künstliche Classification beschränkt, bietet gegenwärtig mehrere Arten von Studien dar, welche sie in innigere Berührung mit den andern Zweigen der Naturwissenschaft bringen«, beginnt er seinen Aufsatz, um dann die Wechselwirkung zwischen der Pflanzenwelt und dem Klima, die »Pflanzengeographie«, zu entwickeln. In einem 1820 erschienenen, ebenfalls ursprünglich auf Französisch geschriebenen Aufsatz ähnlichen Inhalts betrachtet Humboldt die Pflanzengeographie gar als mit den wichtigsten Fragen der Meteorologie und der »physique du globe en général«, also der »Physik der Erde im Allgemeinen«, verknüpft (vgl. Humboldt 1820). Mit dieser Auffassung war Humboldt seiner Zeit weit voraus und nahm zentrale Elemente der heutigen Sichtweise vorweg. Wladimir Köppen hat Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts Kli-

mazonen nach der globalen Verteilung der Pflanzen definiert (vgl. Köppen 1884, 1936). Wladimir Vernadsky begriff das Klimasystem als Biosphäre, also als ein vom Leben geprägten System (vgl. Vernadsky 1926/1997). In Lehrbüchern zur Klimaphysik wird die Biosphäre erst Ende des 20. Jahrhunderts als Teil des Klimasystems definiert (vgl. z. B. Peixoto und Oort 1992, vgl. auch Brönnimann 2021).

## Physik der Erde

Die globale Wärmeverteilung wird ab 1816 zunehmend zu Humboldts zentralem Thema. Humboldt entwickelt die Isolinien als graphisches Werkzeug zur Diagnose des globalen Klimasystems. Humboldt war nicht der erste, der aus Punktbeobachtungen Karten mit Isolinien zeichnete. Die Technik wurde beispielsweise zur kartographischen Darstellung der magnetischen Deklination verwendet (vgl. Kishimoto 1973). Auch Humboldt hatte bereits früher solche Karten gezeichnet. Die Ausweitung des Konzepts auf die Klimatologie war aber neu und gerade für Humboldts ökologische und pflanzengeographische Fragestellungen geeignet. Zu Recht bezeichnet Humboldt seine Arbeit »Ueber die isothermischen Linien« (siehe Text Nr. 8, 1817), in der er die Isothermen zur Kennzeichnung von Zonen gleicher Temperatur einführte, im Rückblick im *Kosmos* als »eine der Hauptgrundlagen der *vergleichenden Klimatologie*« (Humboldt 1845–1862, Bd. 1, S. 340). Erstaunlich, wie Humboldt aus spärlichen Informationen Dinge klar erkannt hat: Zunächst gelingt ihm die Berechnung der Tagesmitteltemperatur oder Jahresmitteltemperatur aus einem Minimum an Einzelmessungen; sodann sieht er die Asymmetrie der Wärmeverteilung der Hemisphären und erklärt, dass die Jahresmittelisothermen aufgrund des Einflusses der Ozeane und der Kontinente auf die Wärmebilanz der Atmosphäre »in der ganzen Ausdehnung einer jeden Erdparallele nicht gleich sind«, also nicht