

Frank Holl**Alexander von Humboldt und der Klimawandel:
Mythen und Fakten****ABSTRACT**

Did Alexander von Humboldt warn about the dramatic consequences of man-made climate change? Based on this question, the article deals with his climate studies and shows the enormous impact this had for many countries in the world. Numerous afforestation attempts were initiated in the 19th century by Humboldt's studies. In addition, Humboldt was the first to recognize the climate-changing effect of "large vapor and gas masses at the centers of industry", and also described the greenhouse effect in Volume 3 of the *Cosmos*. However, he could not foresee the threats of increasing anthropogenic climate change. His and also the findings of the other climate researchers of the 19th century fell into oblivion at the beginning of the 20th century. The ripped reception thread was then resumed with the environmental movement in the 1970s and Alexander von Humboldt was reassessed as climate researcher and "first ecologist".

RESUMEN

¿Advirtió Alexander von Humboldt sobre las dramáticas consecuencias del cambio climático provocado por el hombre? Con base en esta pregunta, el artículo trata sobre sus estudios climáticos y muestra el enorme impacto que esto tuvo en muchos países del mundo. Numerosas medidas de forestación se iniciaron en el siglo XIX gracias a los estudios de Humboldt. Además, Humboldt fue el primero en reconocer el efecto de cambio climático de las "grandes masas de vapor y gas en

los centros de la industria", y también describió el efecto invernadero en el Volumen 3 de su obra *Cosmos*. Sin embargo, él no podía prever las amenazas de un cambio climático antropogénico. Sus hallazgos y los de otros investigadores sobre el clima en el siglo XIX cayeron en el olvido a principios del siglo XX. El hilo roto de la recepción se reanudó con el movimiento ecologista en la década de 1970 y Alexander von Humboldt fue reevaluado como investigador del clima y "primer ecólogo".

ZUSAMMENFASSUNG

Hat Alexander von Humboldt vor den dramatischen Folgen des vom Menschen verursachten Klimawandels gewarnt? Ausgehend von dieser Frage befasst sich der Beitrag mit seinen Klimastudien und zeigt dabei, welche enorme Wirkung diese für viele Länder der Welt hatten. Zahlreiche Aufforstungsmaßnahmen wurden im 19. Jahrhundert durch Humboldts Studien angeregt. Humboldt hat zudem – wohl als erster – die klimaverändernde Wirkung von „großen Dampf- und Gasmassen an den Mittelpunkten der Industrie“ erkannt und außerdem im 3. Band des *Kosmos* auch den Treibhauseffekt beschrieben. Die Bedrohungen des stetig zunehmenden anthropogenen Klimawandels jedoch konnte er nicht ahnen. Seine und auch die Erkenntnisse der anderen Klimaforscher des 19. Jhds. gerieten Anfang des 20. Jhds. in Vergessenheit. Der gerissene Rezeptionsfaden wurde erst mit der Umweltbewegung in den 1970er Jahren wieder aufgenommen und Alexander von Humboldt als Klimaforscher und „erster Ökologe“ neu bewertet.



1. Einleitung¹

Alexander von Humboldt „warnte als erster vor den dramatischen Folgen des vom Menschen verursachten Klimawandels“ (Wulf 2016, S. 24)², schreibt Andrea Wulf in der weltweit mit fast 500.000 verkauften Exemplaren³ bislang erfolgreichsten und äußerst lesenswerten Alexander-von-Humboldt-Biografie. Das Buch erschien 2015 auf Englisch und im Jahr 2016 dann auf Deutsch. Andrea Wulf (Wulf 2016, S. 84) beruft sich in ihrer Aussage auf Humboldts Schriften und einen Aufsatz von mir (Holl 2007). Ihre Bemerkung gleicht den zahlreichen, noch heute im Netz nachzulesenden Hinweisen auf die ZDF-Dokumentation *Vorstoß am Orinoco – Humboldts Entdeckungen in Südamerika*, die erstmals 2007 ausgestrahlt wurde und seither noch immer ab und zu auf den Sendern ZDF neo und Phönix wiederholt wird. In dem Hinweistext auf die Sendung heißt es: „Vor dem heute heftig diskutierten Klimawandel, so Holl, warnte Humboldt bereits vor 200 Jahren.“⁴ Dieser Satz geht zurück auf einen damaligen Presstext der TV-Firma Colourfield, dem Produzenten des Dokumentarfilms.⁵

Allerdings findet sich die Behauptung, Humboldt habe vor dem vom Menschen verursachten Klimawandel gewarnt, weder in meinem Text von 2007, noch in meinen Statements in dem ZDF-Film aus dem selben Jahr. Humboldt hat, wie der folgende Beitrag zeigen wird, nicht vor dem Klimawandel, der heute die größte globale Bedrohung darstellt, gewarnt. Was also war der Ursprung für diese Fehlinterpretation? Ursache ist die eigenmächtige Änderung der Überschrift meines damaligen Beitrags durch die Redaktion der Zeitschrift *Die Gazette – Das politische Kulturmagazin*. Aus meinem im eingereichten Skript formulierten Titel „Alexander von Humboldt als Klimaforscher“, wie er sich zumindest noch im Inhaltsverzeichnis der Zeitschrift findet, wurde ohne mein Wissen und ohne meine Zustimmung die Überschrift: „Alexander von Humboldt – Wie der Klimawandel entdeckt wurde.“ Damit war ein Mythos geboren, der sich in den folgenden Jahren nicht mehr aus der Welt schaffen ließ.

Was aber hat Humboldt denn nun tatsächlich zur Erforschung des Klimas und dessen Veränderung durch den Menschen beigetragen? Diese Frage soll der folgende Text beantworten.

2. Humboldts Aussagen über den anthropogenen Einfluss auf das Klima

Mitten in einem relativ wenig gelesenen Werk, und dort auch noch an einer ziemlich versteckten Stelle, kommt Alexander von Humboldt zu einer verblüffenden Erkenntnis. Der Mensch verändere das Klima „durch Fällen der Wälder, durch Veränderung in der Vertheilung der Gewässer und durch die Entwicklung großer Dampf- und Gasmassen an den Mittelpunkten der

1 Der Kern dieses Beitrags beruht auf Holl 2007. Eine erweiterte spanisch-sprachige Version dieses Textes mit Fußnoten erschien dann als Holl 2009.

2 Siehe auch <https://www.welt.de/vermischtes/article159317616/Er-sprach-schon-vor-200-Jahren-vom-Klimawandel.html> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

3 Mitteilung von Andrea Wulf per E-Mail am 20. Juli 2018.

4 Z. B. <https://programm.ard.de/TV/Programm/Jetzt-im-TV/?sendung=2872514561798570> oder auch <http://plexdoo.com/info.php?id=118275827&channel=ZDFneo> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

5 <http://www.colourfield.de/de/filme/tropenfieber-2-2/> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

Industrie“ (Humboldt 1844, S. 214).⁶ Diese Feststellung findet sich in seinem 1843 auf Französisch und ein Jahr später auf Deutsch erschienenen Buch *Central-Asien. Untersuchungen über die Gebirgsketten und die vergleichende Klimatologie*. Wohl erstmalig in der Geschichte werden hier die verschiedenen anthropogenen Einflüsse auf das Klima korrekt beschrieben. Und zum ersten Mal nennt hier, soweit ich dies sehe, ein Mensch den anthropogenen Klimafaktor „Entwicklung großer Dampf- und Gasmassen“. Zwei Jahre später, im ersten Band seines *Kosmos* macht Humboldt erneut auf dieses Phänomen aufmerksam, indem er von der „Vermengung [der Atmosphäre] mit mehr oder minder schädlichen gasförmigen Exhalationen“ (Humboldt 1845, S. 340) als Klimafaktor spricht.

Die Industrialisierung und der technische Fortschritt in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts brachten Dampfmaschinen, Eisenbahnen und Fabriken. Auch Humboldt konnte deren „Exhalationen“ Tag für Tag in Berlin sehen, riechen und spüren, besonders in der Oranienburger Vorstadt, dem heutigen Ortsteil Mitte. Dort lag die industrielle Keimzelle Berlins – vom Volksmund als „Feuerland“ bezeichnet. Die dicksten und höchsten Rauchwolken stieß die 1837 gegründete Maschinenbau-Anstalt von August Borsig an der Ecke von Chaussee- und Torstraße aus.⁷

Es ist erstaunlich, wie wenig Bedeutung Humboldt seiner eigenen Aussage zum Klimafaktor „Dampf- und Gasmassen“ beimisst. In seinem Werk *Central-Asien* schreibt er:

Diese Veränderungen [durch den Menschen] sind ohne Zweifel wichtiger als man allgemein annimmt; aber unter den zahllos verschiedenen, zugleich wirksamen Ursachen, von denen der Typus der Klimate abhängt, sind die bedeutsamsten nicht auf kleine Localitäten beschränkt, sondern von Verhältnissen der Stellung, Configuration und Höhe des Bodens und von den vorherrschenden Winden abhängig, auf welche die Civilisation keinen merklichen Einfluss ausübt. (Humboldt 1844, S. 214)

Damit hatte Humboldt zu seiner Zeit zweifellos vollkommen recht: Im Jahr 1843 beeinflusste die Zivilisation in der Tat den „Typus der Klimate“ noch nicht merklich. Die Nutzung fossiler Brennstoffe seit der Industrialisierung, und vor allem der damit verbundene Ausstoß an CO₂ – dessen Wirkung als Treibhausgas Humboldt noch nicht kannte –, war damals noch kein bedrohlicher Klimafaktor. Mittlerweile allerdings ist die Gesamtkonzentration von CO₂ in der Atmosphäre von ca. 280 ppm seit der Mitte des 19. Jhds. auf heute über 400 ppm angestiegen (Rahmstorf und Schellnhuber 2012, S. 23).⁸ Im gleichen Zeitraum erhöhte sich die weltweite Durchschnittstemperatur um ca. 1° C (Rahmstorf und Schellnhuber 2012, S. 37). Zudem konnte Humboldt nicht ahnen, dass die Weltbevölkerung von damals 1,2 auf heute 7,5 Milliarden Menschen anwachsen, und dass diese die Oberfläche der Erde so sehr modellieren würden, dass man heute vom Anthropozän, dem menschengemachten Erdzeitalter, spricht.

Mit seinen Bemerkungen zum Einfluss des Menschen auf das Klima hatte Humboldt somit zwar den Klimafaktor Mensch, aber nicht die ganze Dimension seiner Wirkung erkannt. Trotzdem hat

6 Ich danke Ottmar Ette, der mich auf diese Textpassage und diejenige zu Kolumbus (s. u.) aufmerksam gemacht hat. Beide finden sich auch in Ette 2007.

7 [https://de.wikipedia.org/wiki/Borsig_\(Unternehmen\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Borsig_(Unternehmen)) (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

8 Mit Aktualisierung bis zum September 2018 nach den Messungen des Mauna Loa Observatoriums: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

wohl kein anderer Wissenschaftler bis zu diesem Zeitpunkt eine derartig scharfsinnige Analyse des anthropogenen Einflusses auf das Klima geliefert.

Woran lag es, dass die Humboldt'sche Erkenntnis vom Ausstoß „großer Dampf- und Gasmassen“ als Klimafaktor damals nicht aufgegriffen, und dass sie erst heute, vor wenigen Jahren, wiederentdeckt wurde? Was wurde damals von Humboldts Klimaforschungen überhaupt wahrgenommen?

3. Humboldts Klima-Definition

Humboldt selbst bezeichnet seine Wissenschaftskonzeption im Untertitel seines *Kosmos* als „Physische Weltbeschreibung“. Die Natur betrachtete er als „eine allgemeine Verkettung nicht in einfach linearer Richtung, sondern in netzartig verschlungenem Gewebe“ (Humboldt 1845, S. 33). In dieser Konzeption nimmt das Klima eine elementare Stellung ein. Die Atmosphäre sah er als einen „Luft-Ocean“, auf dessen Grund die Menschen und alle anderen Landbewohner leben (Humboldt 1845, S. 332 und 338). Bereits 1831 lieferte er in seinen *Fragmenten einer Geologie und Klimatologie Asiens*, und später 1845 in seinem weitaus prominenteren *Kosmos*, eine bis heute noch immer weitgehend akzeptierte Definition (vgl. Kortum 1999, S. 95 und Bernhardt 2003, S. 195–221) des Begriffs Klima:

Das Wort *Klima* bezeichnet [...] zuerst eine spezifische Beschaffenheit des Luftkreises; aber diese Beschaffenheit ist abhängig von dem perpetuirlichen [andauernden] *Zusammenwirken* einer all- und tiefbewegten, durch Strömungen von ganz entgegengesetzter Temperatur durchfurchten *Meeresfläche* mit der wärmestrahrenden *trocknen Erde*: die mannigfaltig gegliedert, erhöht, gefärbt, nackt oder mit Wald und Kräutern bedeckt ist. (Humboldt 1845, S. 304)⁹

Ebenfalls in ersten Band des *Kosmos* findet sich folgende Definition:

Der Ausdruck *Klima* bezeichnet in seinem allgemeinsten Sinne alle Veränderungen in der Atmosphäre, die unsre Organe merklich afficiren [beeinflussen]: 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 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. (Humboldt 1845, S. 340)¹⁰

Deutlich kommt in dieser Definition die Wechselwirkung zwischen Mensch und Umwelt zum Ausdruck: Humboldt beschreibt das Klima, wie auch heutige Lehrbücher, als einen Gesamtkomplex von Wechselwirkungen aus Atmosphäre, Ozean, Festlandoberfläche, Pflanzendecke und Schnee- und Eisbedeckung. Genauso definieren heutige Wissenschaftler das Klima (vgl. z. B. Claussen 2003 und 2015). Sie sehen es zudem

9 Hervorhebungen von Humboldt. Eine ähnliche Formulierung findet sich bereits 13 Jahre zuvor in Humboldt 1832, S. 194.

10 Fast gleichlautend hat Humboldt das Klima bereits in Humboldt 1832, S. 182 f. definiert.

[...] als das durchschnittliche Wetter, oder genauer: als die statistische Beschreibung in Bezug auf den Mittelwert und die Variabilität der relevanten Mengen über einen Zeitraum von Monaten bis zu Tausenden oder Millionen von Jahren. Die *World Meteorological Organization* definiert den klassischen Zeitraum für die Mittelung dieser Variablen auf 30 Jahre. Die relevanten Größen sind Temperatur, Niederschlag und Wind.¹¹

Im Zentrum der modernen Klimaforschung steht dabei, wie auch bereits bei Humboldt, die Statistik. Die „mathematische Betrachtung der Klimate“ (Humboldt 1845, S. 341) war es, für die er sich zeitlebens eingesetzt hat: das globale systematische Sammeln und Auswerten von Messdaten. Auf seine Initiative wurden, noch zu seinen Lebzeiten, in vielen Teilen der Welt meteorologische und erdmagnetische Messstationen eingeführt. Eine der wichtigsten kartographischen Umsetzungen sind die Isothermen. Humboldt entwickelte sie im Jahr 1817. Mit ihnen werden Orte gleicher mittlerer Jahrestemperatur dargestellt. Er hielt sie für einen seiner wichtigsten wissenschaftlichen Beiträge überhaupt und schrieb darüber, dieses System könnte „vielleicht, wenn es durch vereinte Bemühungen der Physiker [gemeint sind hier die Naturforscher allgemein] allmählig vervollkommen wird, eine der Hauptgrundlagen der *vergleichenden Klimatologie* abgeben“ (Humboldt 1845, S. 340). In der Tat sind die Isothermen bis heute die gängige kartographische Darstellung in der Klimageographie geblieben. Unbestritten war Humboldt einer der bedeutendsten und einflussreichsten Klimaforscher des 19. Jahrhunderts.

4. Die anthropogenen Klimafaktoren „Veränderung der Verteilung der Gewässer“ und „Fällen der Wälder“

Während seiner amerikanischen Forschungsreise (1799 bis 1804) waren es von den drei von ihm 1843 konstatierten anthropogenen Klimafaktoren notwendigerweise die ersten beiden, mit denen sich Humboldt befasste: „Veränderung der Verteilung der Gewässer“ und „Fällen der Wälder“. Der dritte, nämlich „die Entwicklung großer Dampf- und Gasmassen an den Mittelpunkten der Industrie“, existierte um 1800 – mangels Industrialisierung – schlichtweg noch nicht.

Ein Beispiel für seine Beobachtung des Klimafaktors „Veränderung der Verteilung der Gewässer“ sind die Entwässerungskanäle, die die spanischen Kolonialisten im Hochtal von Mexiko gezogen hatten. Die Kanäle dienten dazu, das Wasser des Texcoco-Sees abzuleiten. In der Mitte des Sees war auf einer Insel die aztekische Hauptstadt Tenochtitlán angelegt gewesen. Die spanischen Kolonialisten hatten die aztekischen Tempel und Gebäude von Tenochtitlán weitgehend zerstört und an deren Stelle die Stadt Mexiko errichtet. 1803 schreibt Humboldt in sein Tagebuch:

Die Spanier haben das Wasser als Feind behandelt. Sie wollen anscheinend, dass dieses Neu-Spanien genauso trocken wie die Innenbezirke ihres alten Spaniens ist. Sie wollen, dass die Natur ihrer Moral ähnlich wird, und das gelingt ihnen nicht schlecht. [...] Man hat nicht verstanden, die beiden Ziele zu vereinen: die Sicherheit von Mexiko-Stadt und die Bewässerung der Ländereien. Der Wassermangel macht das Tal unfruchtbar, ungesund, das Salz nimmt zu, die Lufttrockenheit vergrößert sich. (Humboldt 2003, S. 254)

11 Definition des IPCC. https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/annex1sglossary-a-d.html (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

Humboldt beschreibt hier den Wandel des lokalen Klimas, hervorgerufen durch menschliche Eingriffe in den Wasserhaushalt der Landschaft. Mitten in dieser Klimastudie zum Hochtal von Mexiko findet sich in seinem Reisetagebuch der programmatische Satz: „Alles ist Wechselwirkung“ (Humboldt 2003, S. 258).

Bereits kurz nach der Landung auf dem amerikanischen Kontinent, im Hinterland von Cumaná, in der Provinz Neu-Andalusien, hatte Humboldt begonnen, sich eingehend mit dem Wasserhaushalt der Tropenlandschaft zu befassen. So sah er im September 1799, auf dem Weg nach Caripe, in den dort von ihm beobachteten immensen Waldrodungen

[...] vielleicht einen Hauptgrund der seit fünf Jahren so zunehmenden Dürre und des Vertrocknens der Quellen in der Provinz Neu-Andalusien. Wälder (Pflanzen) bringen nicht nur Wasser hervor, geben eine große neu erzeugte Wassermasse durch ihre Ausdünstung in die Luft, sie schlagen nicht nur, da sie Kälte erregen [...], Wasser aus der Luft nieder und vermehren den Nebel, sondern sie werden vornehmlich wohltätig dadurch, dass sie schattengebend die Verdunstung der durch periodische Regenschauer gefallenen Wassermasse verhindern. Diese Verdunstung ist hier, wo die Sonne so hoch steht, unbegreiflich schnell. (Humboldt 2000, S. 140)

Humboldt erkannte, dass dort, wo keine Wälder mehr den Boden bedecken, die Landschaft austrocknet: „Je länger [...] ein Land urbar gemacht wird, desto baumloser wird es in der heißen Zone, desto dürre, desto mehr den Winden ausgesetzt. [...] Deshalb gehen die Kakaopflanzungen in der Provinz Caracas zurück und häufen sich dafür ostwärts auf unberührtem, erst kürzlich urbar gemachtem Boden“ (Humboldt 1999, S. 383). Diese Erkenntnisse weitete er am Valencia-See, den die Indianer *Tacarigua* nannten, und den er am 11. Februar 1800 erreichte, zu einer später viel beachteten Studie über den Zusammenhang zwischen Wald, Wasser und Klima aus. Die besorgten Anwohner des im Nordwesten von Venezuela gelegenen Sees hatten den Forscher darauf hingewiesen, dass dessen Wasserspiegel in den letzten Jahren merklich abgesunken war. Humboldt notierte dazu in sein Tagebuch:

Die Flüsse selbst sind jetzt wasserärmer. Die umliegenden Gebirge sind abgeholzt. Das Gebüsch (monte) fehlt, um die Wasserdünste anzuziehen und den Boden, der sich mit Wasser getränkt, vor schneller Verdampfung zu schützen. Wie die Sonne überall frei Verdampfung erregt, können sich nicht Quellen bilden. Unbegreiflich, daß man im heißen, im Winter wasserarmen Amerika so wüthig als in Franken abholzt (desmonta) und Holz- und Wassermangel zugleich erregt. (Humboldt 2000, S. 215)

Und er sprach vom „Menschenunfug [...], der die Naturordnung stört“ (Humboldt 2000, S. 216). In dem 1819 (vgl. Fiedler und Leitner 2000, S. 77) erschienenen Teil seiner *Reise in die Äquinoktial-Gegenden des Neuen Kontinents* schreibt Humboldt:

Die Bäume sind, vermöge des Wesens ihrer Transpiration und der Ausstrahlung ihrer Blätter gegen einen wolkenlosen Himmel fortwährend mit einer kühlen, dunstigen Lufthülle umgeben; sie üben einen wesentlichen Einfluss auf die Fülle der Quellen aus, nicht weil sie, wie man so lange geglaubt hat, die in der Luft verbreiteten Wasserdünste anziehen, sondern weil sie den Boden vor der unmittelbaren Wirkung der Sonnenstrahlen schützen und damit die Verdunstung des Regenwassers verringern. (Humboldt 1999, S. 683)

Zusammen mit dem Eintrag in sein Tagebuch aus dem Jahr 1799, wo er feststellt: „[Wälder] geben eine große neu erzeugte Wassermasse durch ihre Ausdünstung in die Luft“ (Humboldt

2000, S. 140), sind es vier elementare klimatische Funktionen des Waldes, die Humboldt erkennt und beschreibt:

- seine positive Wirkung auf die Niederschlagsmenge durch Verdunstung von Wasser
- seine thermische Wirkung
- seine Funktion als Wasserspeicher und
- seine Pufferwirkung gegen durch Sonneneinstrahlung verursachte Bodenverdunstung, also Austrocknung des Bodens.

Moderne Forschungen, z. B. diejenigen Peter Fabians (Fabian 2002), bestätigen diese Erkenntnisse. So weiß man heute, dass die Wälder die Atmosphäre mit mehr Wasserdampf anreichern als alle anderen Landflächen. Ein Teil des aufgenommenen Wassers verdunstet wieder und gelangt als Wasserdampf in die Atmosphäre. Wälder beeinflussen also auch den Wasserhaushalt der Atmosphäre. Hans Joachim Schellnhuber schreibt:

Die Tropenwälder sind vitale Organe des planetarischen Gefüges. Ein Zusammenbrechen der entsprechenden Regenwalzen und der damit verbundenen hohen pflanzlichen Produktivität, was sich als Übergang vom Regen- zum Trockenwald oder gar Savanne vollziehen könnte, hätte einen enormen Einfluss auf das Klima der Erde. (Schellnhuber 2015, S 495 f.)

Wie hoch allerdings der Klimafaktor Wald genau ist, kann bislang mit Daten kaum exakt beschrieben werden. Fest steht, dass Humboldt mit seiner Analyse vollkommen recht hatte. Pflanzen und Bäume nehmen zudem beim Prozess der Photosynthese das Treibhausgas CO₂ aus der Atmosphäre auf, wandeln es in pflanzliche Biomasse um und geben Sauerstoff an die Atmosphäre ab. Nachdem die Pflanzen absterben, verrottet die Biomasse. Dadurch wird wieder CO₂ an die Atmosphäre abgegeben. Wälder spielen somit auch eine große Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf (vgl. Fabian 2002, S. 83 ff.).

Humboldt beließ es allerdings nicht bei seiner Analyse, sondern er warnte in seiner Publikation vor Bodenerosion, Wasser- und Holzmangel:

Zerstört man die Wälder, wie die europäischen Ansiedler aller Orten in Amerika mit unvorsichtiger Hast tun, so versiegen die Quellen oder nehmen doch stark ab. Die Flussbetten liegen einen Teil des Jahres über trocken und werden zu reißenden Strömen, sooft im Gebirge starker Regen fällt. Da mit dem Holzwuchs auch Rasen und Moos auf den Bergkuppen verschwinden, wird das Regenwasser in seinem Lauf nicht mehr aufgehalten; statt langsam durch allmähliches Einsickern die Bäche zu speisen, zerfurcht es in der Jahreszeit der starken Regenniederschläge die Berghänge, schwemmt das losgerissene Erdreich fort und verursacht plötzliche Hochwässer, welche die Felder verwüsten. Daraus geht hervor, dass die Zerstörung der Wälder, der Mangel an fortwährend fließenden Quellen und die Existenz von Torrenten [Sturzbäche] drei Erscheinungen sind, die in ursächlichem Zusammenhang stehen. (Humboldt 1999, S. 638 f.)

Humboldt beschrieb hier das landschaftszerstörerische Potential, das die Menschen – in diesem Fall die europäischen Siedler – entfaltet hatten. Vor allem warnte er auch vor weiteren, gravierenden Auswirkungen auf spätere Generationen:

Fällt man die Bäume, welche Gipfel und Abhänge der Gebirge bedecken, so schafft man in allen Klimazonen kommenden Geschlechtern ein zwiefaches Ungemach: Mangel an Brennholz und Wasser. (Humboldt 1999, S. 638)

Hier also findet sich in der Tat eine Warnung Humboldts. Es ist die Warnung vor der Zerstörung der Wälder. In deren Folge kommt es zu Bodenerosion, der Wasserhaushalt der Landschaft ändert sich und damit das lokale Klima – ein Begriff, den er später, im Jahr 1831, in seinen *Frag- menten einer Geologie und Klimatologie Asiens* dann auch selbst verwendet. Darin heißt es:

Die Wälder sind als Kälte erzeugende Ursachen in dreifacher, sehr verschiedener Weise thätig, indem sie entweder den Boden gegen die Sonnenstrahlen schützen, oder durch die Lebensthätigkeit und Poren-Ausdünstung der Blätter eine grosse Ausdünstung von wässrigen Substanzen hervorbringen, oder indem sie die Ausbreitung dieser appendiculären [angehängten] Organe, die Oberflächen vergrössern, welche durch Ausstrahlung für die grössere Erkältung empfänglich sind. Diese dreifachen, gleichzeitig thätigen Ursachen (Schattenkühle, Ausdünstung und Strahlung) sind von so hoher Wichtigkeit, dass die Kenntniss von dem Umfange der Wälder, verglichen mit der kahlen oder gras- und krautbedeckten Oberfläche, eines der interessantesten numerischen Elemente der Klimatologie eines Landes ist. Die Seltenheit oder der Mangel der Wälder vermehrt zugleich die Temperatur und die Trockenheit der Luft, und diese Trockenheit übt, indem sie die ausdünstenden Wasserabläufe und die Kraft der Rasenvegetation vermindert, eine Rückwirkung auf das Lokal-Klima. (Humboldt 1832, S. 228 f.)¹²

Im Jahr 1858, kurz vor seinem Tod, wies Humboldt in einem Brief dann sogar darauf hin, dass der Mensch auch das überregionale Klima beeinflussen könnte, wenn er durch Rodungen massiv in die Landschaft eingreift: „Ich erinnere daran, dass der größere Teil des Klimas nicht in dem Orte selbst, wo die Entholzung vorgeht, sondern viele hundert Meilen davon entfernt gemacht wird.“¹³ Dass der Mensch allerdings schon in relativ naher Zukunft in der Lage sein könnte, das globale Klima zu ändern, und zwar weniger durch die Rodung der Wälder, als vor allem durch die von ihm 1843 als Klimafaktor genannte „Entwicklung großer Gasmassen“, ahnte Humboldt damals jedoch nicht.

Mit seinen Erkenntnissen zur Bedeutung des Waldes für das lokale Klima stand Alexander von Humboldt nicht allein. Erste Gedanken dazu sind bereits von Theophrastos (372–288 v. Chr.), einem Schüler von Aristoteles, überliefert (vgl. Weigl 2004). Christoph Kolumbus war es, der während seiner vierten Amerika-Reise (9. Mai 1502 bis 7. November 1504) eine erstaunlich scharfsinnige Beobachtung machte. Überliefert wurde sie von dessen Sohn Fernando, und Humboldt war von ihr so beeindruckt, dass er sie in seinem Werk *Central-Asien* zitiert:

Der Admiral [Christoph Kolumbus] glaubte, der Ausdehnung und Dichtigkeit der Wälder auf den Gebirgen Jamaikas die Regen zuschreiben zu müssen, welche die Luft solange erfrischte, als er an den Küsten dieser Insel hinsegelte. Er bemerkt [...], dass ehemals auch

12 Die französische Originalausgabe erschien 1831 in Paris, die deutsche Übersetzung ein Jahr später.

13 Humboldt an Emil Adolf Roßmäßler, Berlin, 6. (ohne Monat) 1858. Handschrift in der Harvard College Library, Cambridge, USA. Zit. nach der Kopie im Archiv der Arbeitsstelle Alexander von Humboldt auf Reisen – Wissenschaft aus der Bewegung der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Berlin.

auf den Canaren, auf Madeira und den Azoren die Wasserfülle so gross gewesen sei; aber dass seit der Zeit, wo man die Schatten gebenden Bäume abgehauen habe, die Regen daselbst viel weniger häufig geworden seien. (Humboldt 1843, S. 337)

Bereits wenige Jahre vor Humboldts amerikanischer Reise, im Jahr 1797, führte der französische Ingenieur Jean-Antoine Fabre die plötzlichen Fluten in den Alpen nach starken Regenfällen und das Versiegen von Quellen, die die Flüsse speisen, auf die Rodungen und Entwaldungen der Hochalpen zurück. Auch der Schweizer Forscher Horace-Bénédict de Saussure, dessen Arbeiten Humboldt kannte, beschrieb dieses Phänomen (vgl. Weigl 2005, S. 200). Aber erst Alexander von Humboldts Studie zum Valencia-See, zum dortigen Wasserhaushalt der Landschaft und zur Wirkung der Wälder auf das lokale Klima, löste ein weltweites wissenschaftliches und umweltschlechtes Echo aus.

5. Die Wirkung von Humboldts Studien zu Wasser, Wald und Klima

Humboldts Studie zum Valencia-See erschien als Lieferung der *Relation Historique* (deutscher Titel: *Reise in die Äquinoktialgegenden des Neuen Kontinents*) im August 1819 (vgl. Fiedler und Leitner 2000, S. 77). Seine Erkenntnisse wurden rasch von anderen Forschern aufgegriffen. Sie beeindruckten, wie der deutsch-australische Historiker Engelhard Weigl in einer höchst bemerkenswerten Rezeptionsstudie (Weigl 2004) nachwies, zunächst vor allem den französischen Wissenschaftler Jean-Baptiste Boussingault. Der junge Forscher besuchte Humboldt in Paris und wurde von diesem sofort bereitwillig unterstützt. Von ihm lernte Boussingault auch den Umgang mit den wichtigsten wissenschaftlichen Instrumenten (Schmuck 2015, S. 14 ff. und McCosh 1984, S. 24 f.). Schon bald darauf, im Jahr 1822, reiste Boussingault auf Humboldts Empfehlung als Bergbauingenieur nach Südamerika und blieb dort bis 1832. In dieser Zeit korrespondierte er ausführlich mit dem preußischen Forscher (Humboldt und Boussingault 2015). Während ausgedehnter Forschungsreisen untersuchte Boussingault auch den See von Valencia. Wie Humboldt scheiterte auch er beim Versuch, den Chimborazo zu besteigen. Im Jahr 1832 kehrte er nach Frankreich zurück. 1837 publizierte Boussingault den vielbeachteten Aufsatz *Mémoire sur l'Influence des Défrichemens dans la Diminution des Cours d'Eau*. An Humboldt schrieb er damals, am 1. August 1837:

Ich habe in der letzten Nummer der Annales eine Abhandlung über die Rodungen veröffentlicht, es ist mehr Ihr Werk als das Meinige, denn indem ich Ihre Beobachtungen über den Valenciasee mit denjenigen, die wir, Herr Rivero [sein Reisebegleiter] und ich, später gemacht haben, verglich, habe ich darauf gesonnen, das Studium des Sees in diese bedeutende Frage der Physik der Erde einzuführen. Ich habe aufmerksam Ihre Überlegungen über den Grund der Abnahme der Wasser des Sees gelesen, ich finde, dass Sie das richtig geraten haben. (Humboldt und Boussingault 2015, S. 389)

Nur ein Jahr nach der Publikation seines Aufsatzes folgte eine Übersetzung ins Englische (Boussingault 1838). Auf deutsch erschien die Arbeit dann im Jahr 1845 unter dem Titel *Über den Einfluß der Urbarmachung auf die Ergiebigkeit der Quellen* (Boussingault 1845 und Boussingault 1851). Darin heißt es: „Die Frage, ob der Ackerbau das Klima einer Gegend modificiren könne, ist sehr wichtig, und gegenwärtig häufig zur Sprache gebracht worden“ (Boussingault 1851, S. 413). Was Humboldt als These formuliert hatte, glaubte Boussingault nun anhand von Messungen beweisen zu können: den großen Einfluss der Wälder auf den Wasserhaushalt einer Landschaft. Und er ging noch weiter: „Für mich steht fest, dass das Ausrodern der Wälder in großem Umfange die jährliche Regenmenge dieser Gegend verringert“ (Boussingault 1851,

S. 430). Als Beleg nannte er zunächst Humboldts Studie zum Lago de Valencia¹⁴, aber er erweiterte dessen Erkenntnisse durch dortige eigene Beobachtungen und Untersuchungen an anderen Seen in Südamerika. Seine Argumentation ergänzte er durch Wasserstandsmessungen der Seen von Neuchâtel, Bienne und Morat, die Horace-Bénédict de Saussure vorgenommen hatte, und durch Humboldts Beobachtungen im Aralo-Kaspischen Becken.¹⁵

Am Valencia-See allerdings war mittlerweile, wie Boussingault beobachtete, infolge der Unabhängigkeitskriege die dortige Landwirtschaft zum Erliegen gekommen und der Wasserspiegel wieder deutlich angestiegen: „Die großen Anpflanzungen“, schreibt er, „wurden verlassen, und der unter den Tropen so unaufhaltsam vordringende Wald hatte in kürzester Zeit einen großen Teil des Landes [...] wieder an sich gerissen“ (Boussingault 1851, S. 418 f.). Sein Text implizierte, dass sich der Wasserhaushalt und die Niederschlagsmenge einer regenarmen Region mit Hilfe von Wiederaufforstungsprogrammen beeinflussen lasse. Boussingault nennt dazu ein Beispiel:

Auf der Insel Ascencion sah man eine schöne, am Fuße eines ursprünglich mit Wald bewachsenen Gebirges gelegene Quelle ihren Wasserreichtum verlieren und versiegen, nachdem die das Gebirge bedeckenden Bäume waren gefällt worden. Man schrieb den Verlust der Quelle dem Entblößen von Wald zu; man bepflanzte von Neuem, und einige Jahre nachher erschien die Quelle wieder, und floß bald wieder mit ihrer früheren Ergiebigkeit. (Boussingault 1851, S. 428)

Nach der Publikation von Boussingaults Arbeiten und den zahlreichen Veröffentlichungen Alexander von Humboldts zum Klima, griff der deutsche Mediziner, Agrarwissenschaftler und Botaniker Carl Fraas deren neue Thesen zu Wald, Wasser und Klima auf. Er publizierte seine Ergebnisse in dem Buch *Klima und Pflanzenwelt in der Zeit. Ein Beitrag zur Geschichte beider* (Fraas 1847). Humboldt ist dabei eine seiner wichtigsten Referenzen. Allerdings ging dieser für Fraas mit seinen Ansichten nicht weit genug:

Humboldt und mit ihm viele angesehene Männer betrachten die Einflüsse, welche der Mensch oder vielmehr seine Civilisation auf das Klima üben, für geringfügig [...], aber nicht unbedeutend sind sie, ja höchst wichtig und wesentlich für die Existenz dieses Menschen selbst, der schon bei viel kleineren Aenderungen als jene grossen sind, an seiner Aufgabe höchster Vervollkommnung scheitert. (Fraas 1847, S. 3)

Seine Studien zum Mittelmeerraum führten zur Erkenntnis, dass durch die Ausbreitung der Zivilisation von Persien, Mesopotamien, Palästina, Ägypten, Griechenland bis Italien ein landschaftszerstörerisches Potential entfaltet worden war. Fraas war „überzeugt von langsam aber anhaltend fortschreitender Umänderung des Klima[s], welche für die Bewohnbarkeit der Erde durch Menschen oder Civilisation von grösster Wichtigkeit ist, da sie darauf den grössten Ein-

14 Weigl 2004 weist darauf hin, dass, entgegen Humboldts Annahme, doch ein unterirdischer Abfluss existierte, der 1962 von Geologen entdeckt wurde. Humboldts Erkenntnisse werden dadurch allerdings nicht entwertet.

15 Allerdings gibt es auch Vorbehalte gegenüber den Ergebnissen Boussingaults. Vgl. Marsh 1864, S. 191 f. und Böckh 1956. Dieser bemerkt, dass Boussingault weder die erheblichen Schwankungen des Wasserstandes zwischen Winter- und Sommersaison, die in einigen Jahren bis zu zwei Meter betragen können, bedenkt, noch die Vernachlässigung der Bewässerung während des Bürgerkrieges, bei der häufig durch die Umleitung ganzer Flüsse große Mengen Wasser vergeudet wurde. Vgl. Weigl 2004, Anm. 47.

fluss übt“ (Fraas 1847, S. 5). Er stellte fest, dass die „Entholzung“ (Fraas 1847, S. 10) des Landes zu Bodenerosion, Anstieg der bodennahen Wärme und zu Verringerung der Niederschläge geführt hatte. Folge war eine zunehmende Desertifikation. „Das Verschwinden ganzer Vegetationscharaktere in Wald, Wiese und Flur“ (Fraas 1847, S. 42) und der wachsende Bedarf an landwirtschaftlich nutzbarem Boden gefährde, so warnte Fraas, die Zukunft Europas.

Seine Erkenntnisse erwarb sich Fraas durch das intensive Studium der antiken Schriften, vor allem aber auch durch eigene Feldforschung. Von 1835 bis 1842 arbeitete er in Griechenland. Dorthin, nach Italien und in den Nahen Osten reiste kurz darauf auch der US-amerikanische Staatsmann und Schriftsteller George Perkins Marsh. Er kannte die Arbeiten von Humboldt, Boussingault und Fraas. Wie Fraas registrierte auch Marsh die immensen Schäden, die durch Zerstörung von Wäldern und durch die exzessive Landwirtschaft angerichtet worden waren. Seine Erkenntnisse fasste er in dem Buch *Man and Nature or Physical Geography as modified by Human Action* zusammen (Marsh 1864). Eigentlich hatte er geplant, ihm den Titel *Man the Disturber of Nature's Harmonies (Der Mensch, der Störenfried der Harmonien in der Natur)* zu geben. Doch sein Verleger hatte dies abgelehnt (vgl. Wulf 2015, S. 293). „Der Mensch hat das Gesicht der Erde in eine Ödnis verwandelt, die der Oberfläche des Mondes gleicht“ (Marsh 1864, S. 43), schreibt er. Ausführlich würdigt er die Bedeutung des Waldes für das Klima und erkennt dabei auch, dass der Regen, der im Wald durch Verdunstung entsteht, in Folge der „ständigen Bewegung der Atmosphäre“ in völlig anderen Regionen niedergehen kann (Marsh 1864, S. 178–196). Die Schäden durch die Waldzerstörung würden, so Marsh, dazu führen, dass „die Erde für den Menschen nicht mehr bewohnbar“ (Marsh 1864, S. 187) sei.

Die Erkenntnisse von Fraas und Marsh markierten, wie Engelhard Weigl es formuliert, „einen Wendepunkt in der Wahrnehmung des Kräfteverhältnisses zwischen Mensch und Natur“ (Weigl 2005, S. 196). Zum ersten Mal wurde man sich bewusst, dass nicht mehr der Mensch der Natur, sondern die Natur dem Menschen ausgeliefert war.

Nachrichten von Dürrekatastrophen in Südafrika, Indien, Ägypten und Australien bestätigten die Warnungen von Fraas und Marsh. Der schottische Botaniker John Croumbie Brown versuchte nach zwei folgenschweren Trockenperioden in Südafrika 1847 und 1862 den zerstörerischen Umgang mit der ursprünglichen Vegetation mit dem Hinweis auf den positiven Einfluss der Wälder auf das Klima aufzuhalten. Kronzeugen seiner Naturschutzpolitik waren die Arbeiten von Humboldt und Boussingault (vgl. Weigl 2004).

Schon vor der Publikation von Marshs *Man and Nature* hatte man sich in den USA bei der Besiedlung und dem Versuch der Bewaldung der Great Plains auf Humboldt und Boussingault bezogen. So schrieb ein Regierungsbeauftragter 1849:

Das übermäßige Abholzen in einigen Teilen des Landes hat bis zu einem gewissen Grad zu einem Klimawandel und in großen Gebieten auch zu einer Änderung der Dürre- und Regenperioden geführt. Im Sommer, wenn dringend gelegentliche und leichte Regengüsse benötigt werden, ist die Luft zu trocken und enthält wochenlang nicht mehr als ein wenig Tau. In Bezug auf ausführliche und gut belegte Studien zur Waldrodung, zum Austrocknen von natürlichen Quellen, zum Klimawandel [wörtlich: „changing climates“] und zur Regelmäßigkeit von Niederschlägen werden dem Leser die Schriften von Humboldt, [Ludwig Friedrich] Kaemtz, [James David] Forbes, Boussingault und anderen Meteorologen empfohlen. (Report of the Commissioner 1849, S. 41)

Auch der Arzt und Amateurmeteorologe Daniel Lee setzte sich ein Jahr später in einem Gutachten für die US-Regierung für eine Bewaldungspolitik zur Erhöhung der Niederschlagsmengen ein. Auch er nannte Alexander von Humboldt als Referenz (Lee 1850, S. 40 f.; vgl. Williams 1990, S. 381).

Ungefähr zur selben Zeit, um 1850, begann der US-amerikanische Schriftsteller und Philosoph Henry David Thoreau sich intensiv mit Humboldts Schriften zu befassen (vgl. Wulf 2016, S. 324). „In der unberührten Natur liegt die Erhaltung der Welt“ (zit. nach Wulf 2016, S. 369), schrieb er 1851, und im Jahr 1859, wenige Monate nach Humboldts Tod, forderte er, dass jede Stadt mehrere Hundert Hektar Wald haben solle, die „auf immer unveräußerlich“ sein sollten (zit. nach Wulf 2016, S. 369). In Südaustralien initiierte 1865, fünf Jahre nach einer fürchterlichen Dürre, der Direktor des Botanischen Gartens von Adelaide, der von Alexander von Humboldt lange geförderte Richard Schomburgk, ein groß angelegtes Wiederaufforstungsprogramm (vgl. Weigl 2004).

Auf Initiative des Journalisten Julius Sterling Morton wurde im Jahr 1872 in Nebraska der „Arbor Day“ verkündet. Morton hatte seit 1854 im baumarmen Nebraska eine kleine Farm bewirtschaftet, wo er, vor allem als Erosionsschutz, Büsche und Bäume pflanzte. Anfang 1872 fasste er seine Erkenntnisse in seiner „Arbor Day-Resolution“ zusammen. Noch im selben Jahr, am 10. April, setzten erstmals Bürger und Farmer in Nebraska mehr als eine Million junge Bäume. Die Idee wurde in vielen Ländern der Welt begeistert aufgegriffen.¹⁶ Im Jahr 1873 wurde dann in den *Timber Culture Act* ein Passus aufgenommen, der die Siedler auf den Great Plains motivierte, Bäume zu pflanzen. Dieser bereitete den Boden für den Schutz der US-amerikanischen Wälder, wie er im *Forest Reserves Act* formuliert wurde. Das Dokument orientierte sich im Wortlaut an Marshs Buch und Humboldts früheren Ideen (vgl. Wulf 2016, S. 371).

Trotz umfangreicher Aufforstungsmaßnahmen in den Vereinigten Staaten in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts kamen allerdings allmählich Zweifel an der Theorie des Zusammenhangs zwischen Wald und Klima auf. Grund dafür waren extreme Trockenperioden, zuerst Mitte der 70er Jahre, dann um 1885. Im Jahr 1893 wurden die Bedingungen in manchen Regionen so schlecht, dass eine regelrechte Panik ausbrach und Tausende von Farmern ihr Land fluchtartig verließen. Mit den gescheiterten Versuchen der Wiederaufforstung geriet Anfang des 20. Jahrhunderts die Frage nach den Folgen menschlichen Handelns auf das Klima in Vergessenheit (vgl. Weigl 2004). Auch der Rezeptionsfaden zu Humboldts Klimastudien am Valenciasee riss in dieser Zeit.

Die Tradition der Aufforstung hat dann ab 1977 die kenianische Umweltschützerin und Frauenrechtlerin Wangari Maathai mit ihrem *Green Belt Movement* weitergeführt. Innerhalb von 30 Jahren wurden auf ihre Initiative um die 30 Millionen Bäume in Afrika gepflanzt. 2004 erhielt sie für ihre Aktivitäten den Friedensnobelpreis. Sie berief sich dabei allerdings genausowenig auf Humboldt wie der deutsche Schüler Felix Finkbeiner, der 2007 als Neunjähriger auf Grund eines Schulreferats über den Klimawandel die Initiative *Plant-for-the-Planet* ins Leben rief. Mittlerweile beteiligen sich an ihr Kinder aus 93 Ländern. Ziel ist es, weltweit 1000 Milliarden Bäume zu pflanzen. Nach Angaben der Initiative wurden bis dato bereits über 15 Milliarden gepflanzt.¹⁷

16 <https://www.arborday.org/celebrate/documents/history.pdf> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

17 <https://de.wikipedia.org/wiki/Plant-for-the-Planet> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

6. Der Treibhauseffekt

Weitaus mehr als die Wälder¹⁸ beeinflussen der Treibhauseffekt und Treibhausgasemissionen unser Klima. Entdecker des Treibhauseffekts war der französische Mathematiker und Physiker Jean Baptiste Joseph Fourier. In mehreren Aufsätzen hatte er zwischen 1822 und 1827 den „Treibhauseffekt“ (l'effet de serre, wörtlich Glashauseffekt), den temperaturerhaltenden Effekt der Erdatmosphäre, beschrieben. Er hatte einige atmosphärische Gase untersucht und dabei festgestellt, dass diese die von der Erde ins Weltall ausgeschickten Infrarotstrahlen absorbieren und somit die Erdatmosphäre auf einer bestimmten Temperatur hielten. Ohne diesen Effekt wäre es auf der Erde bitterkalt. Diese Durchschnittstemperatur wurde später auf -18°C berechnet. Tatsächlich beträgt die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche jedoch $+15^{\circ}\text{C}$. Die Differenz von 33°C wird vom Treibhauseffekt verursacht (Rahmstorf und Schellnhuber 2012, S. 31).

Erstaunlicherweise zitiert Humboldt die Erkenntnis Fouriers zum Treibhauseffekt im dritten Band seines *Kosmos* als die „Wärmestrahlung der Erdoberfläche gegen das Himmelsgewölbe“, die „wichtig [...] für alle thermischen Verhältnisse, ja man darf sagen für die ganze Bewohnbarkeit unseres Planeten ist“ (Humboldt 1850, S. 46). Allerdings gilt sein Interesse in diesem Abschnitt nicht dem Klima, sondern der Frage nach der Temperatur des Weltalls. Humboldt hätte also die Erkenntnis Fouriers durchaus in eine andere Richtung erweitern können. Humboldt hatte als erster die heute „Treibhausgase“ genannten „Dampf- und Gasmassen an den Mittelpunkten der Industrie“ (Humboldt 1844, S. 214) als klimaverändernden Faktor erkannt. Fourier dagegen hatte den Treibhauseffekt entdeckt, ohne dabei die vom Menschen in die Atmosphäre eingebrachten Treibhausgase als klimaverändernden Effekt zu registrieren. Der Ire John Tyndall lieferte dann 1860 den nächsten Baustein zum Verständnis: Er beschrieb die wärmeerhaltende Funktion von CO_2 in der Atmosphäre und vom Wasserdampf, dem wichtigsten Treibhausgas: „Wasserdampf ist die Decke, welche das Pflanzenleben Englands nötiger braucht als die Menschen Kleidung. Wenn man diesen Dampf nur für eine einzige Sommernacht aus der Lufthülle entfernte, würde die Sonne am Morgen über einer Insel im eisernen Griff des Frostes aufgehen“ (nach Schellnhuber 2016, S. 40 f.). Auch John Tyndall wird bei Humboldt zitiert, und zwar im 5. Band des *Kosmos*, der 1862 erschien, allerdings ebenfalls nicht im Kontext der Klimaforschung, sondern des Magnetismus der Kristalle (Humboldt 1862, S. 22).

Erst 37 Jahre nach Humboldts Tod brachte dann im Jahr 1896 der schwedische Wissenschaftler Svante Arrhenius alles zusammen: Arrhenius erkannte, dass die Menschen durch Anreicherung von CO_2 in der Atmosphäre die Temperatur auf der Erde erhöhen. Er berechnete, dass eine Verdoppelung des CO_2 -Gehalts in der Atmosphäre zu einer Temperaturerhöhung um 5 bis 6°C führen würde. 1906 reduzierte er diesen Wert dann auf $2,1^{\circ}\text{C}$. Damit lag er, wie der Klimaforscher Hans Joachim Schellnhuber bestätigt, „nahe an den Abschätzungen, die man heute mit den aufwendigsten Computersimulationsmodellen erzielt!“ (Schellnhuber 2015, S. 57)

7. Der abgerissene Faden der Klimaforschung

Die Erkenntnisse zum Treibhauseffekt gerieten zu Beginn des 20. Jahrhunderts genauso in Vergessenheit wie die Forschungen Humboldts und seiner Nachfolger zum Zusammenhang von

18 Schellnhuber spricht von „nichtlinearen Rückkopplungen, die auf Wechselwirkungen zwischen Bodenfeuchte, Vegetation und Atmosphäre beruhen“ (Schellnhuber 2015, S. 486).

Wald, Wasser und Klima: Während der gesamten ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts behandelten Klimaforscher den Menschen und die anderen biologischen Komponenten des globalen Ökosystems im Bezug auf das Klima nicht als aktive Größe (Weart 2008, S. 144). Das Klima war, so meinte man, naturgegeben, und der Mensch habe keinen Einfluss darauf. In den 1930er Jahren fiel dann einigen Menschen in den USA allerdings auf, dass sich dort und in den nordatlantischen Gebieten die durchschnittlichen Temperaturen in den letzten Jahrzehnten merklich erhöht hatten. Die meisten glaubten an einen natürlichen Vorgang, doch der britische Ingenieur Guy Stewart Callendar erklärte den Temperaturanstieg mit dem Treibhauseffekt. Seine Stimme verklang ungehört. Erst in den 1950er Jahren griffen einige Wissenschaftler Callendars Behauptungen wieder auf und untersuchten den Treibhauseffekt mit verbesserten Methoden. Unschätzbare Verdienste erwarb sich dabei Charles David Keeling, der im Jahr 1957 auf dem Mauna Loa auf Hawaii die erste permanente CO₂-Messung der Welt begann. Rasch wurde klar, dass der Anstieg der weltweiten durchschnittlichen Jahrestemperatur mit dem Anstieg der weltweiten CO₂-Emissionen korrelierte. 1967 stellte dann Syokuro Manabe eine Berechnung auf, nach der die CO₂-Emissionen innerhalb des nächsten Jahrhunderts zu einer Erwärmung der durchschnittlichen Temperatur unseres Planeten um mehrere Grad führen würde. Damit knüpfte Manabe an die nahezu vergessenen Berechnungen von Svante Arrhenius an. Verschiedene Wissenschaftlergruppen prüften dann zwar Manabes These, sahen aber keine Notwendigkeit für politische Maßnahmen. Zumindest plädierten sie für eine Intensivierung der Klimaforschung (Weart 2008, S. 144–148).

Mit der erstarkenden Umweltbewegung in den 1970er-Jahren rückten dann immer mehr die ökologischen Folgen der von den Menschen betriebenen industriellen Aktivitäten in den Mittelpunkt. Sie schlugen sich vor allem im Bericht des Club of Rome *Die Grenzen des Wachstums* (Meadows et al. 1972) nieder. Seine Autoren erwähnen darin auch die Klimawirkung durch Treibhausgase. Allerdings konnten sie die Folgen damals noch nicht überblicken. 1988, im heißesten aller bis dahin gemessenen Sommer, erreichten die Stimmen besorgter Klimaforscher dann endlich eine breite Öffentlichkeit. Resultat war die Gründung des internationalen Klimarates IPCC. Im Jahr 2001 einigte sich der Rat auf eine gemeinsame Erklärung: Obwohl das Klimasystem so komplex sei, dass die Wissenschaft niemals völlige Gewissheit erlangen werde, erscheine es doch vergleichsweise wahrscheinlich, dass unsere Zivilisation mit einer starken Erderwärmung konfrontiert sei. Die Hauptursache hierfür sah der IPCC in den von Menschen verursachten Emissionen. 2007 erhielt der IPCC den Friedensnobelpreis.

Im selben Jahr schätzte der IPCC den Anstieg der Durchschnittstemperatur für das 21. Jahrhundert auf 1,4 bis 6,5° C, je nachdem, welche Maßnahmen zur Eindämmung der Emissionen ergriffen würden. Auf der Weltklimakonferenz von Paris verpflichteten sich dann im Jahr 2015 alle Staaten der Welt, dafür zu sorgen, dass die globale Erwärmung auf deutlich unter 2° C, möglichst bei 1,5° C im Vergleich zu vorindustriellen Levels bleibt – ein Ziel, das kaum zu erreichen sein dürfte, da trotz dieses Bekenntnisses weiterhin kaum genügend wirksame umweltpolitische Maßnahmen erkennbar sind. Dabei sind die Alarmzeichen mehr als deutlich: Der aktuelle Jahresbericht 2017 der US-Klimabehörde NOAA, an dem mehr als 500 Forscher aus 65 Ländern mitgearbeitet haben, bestätigt: Die Temperatur auf der Erde steigt beständig. Die vergangenen vier Jahre sind die wärmsten seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen im späten 19. Jahrhundert gewesen.¹⁹ Auch der Meeresspiegel steigt in Folge der Abschmelzung der Polkappen kontinuierlich an, die Trockenzonen der Erde verschieben sich, die Permafrost-

19 <http://www.noaa.gov/news/2017-was-one-of-three-warmest-years-on-record-international-report-confirms> (zuletzt geprüft am 10.09.2018).

böden tauen auf und setzen große Mengen von Treibhausgasen frei. Europas Landwirtschaft leidet in diesem Sommer unter einer extremen Dürre. Mittlerweile schließen Klimaforscher nicht mehr aus, dass das Ökosystem unseres Planeten die kritische Schwelle überschritten hat und wir auf dem Weg in eine „Heißzeit“ sind. Diese wäre langfristig durch etwa 4° C bis 5° C höhere Temperaturen charakterisiert und durch einen Meeresspiegelanstieg um 10 m bis 60 m.²⁰

8. Alexander von Humboldt: Ökologe, Kameralist und Wegweiser

Sowohl der Rezeptionsfaden der Erkenntnis, dass der Wasserhaushalt des Waldes, aber auch derjenige, dass die „Vermengung [der Atmosphäre] mit mehr oder minder schädlichen gasförmigen Exhalationen“ (Humboldt 1845, S. 340) das Klima beeinflussen, riss zu Beginn des 20. Jahrhunderts.

Der Grund für ersteres ist wohl in der Annahme zu suchen, dass die Aufforstung oder Wiederaufforstung zu wenig oder gar nicht zur Verbesserung des lokalen oder gar des überregionalen Klimas beitrug. Selbst Carl Fraas sprach 1847 von der Unmöglichkeit, dass man eine „verschwundene Natur wieder zurückrufen könne“ und hielt „solche Regenerationsversuche für vergeblich“ (Fraas 1847, S. 70). Heute weiß man, dass Aufforstungsmaßnahmen die ursprüngliche Biodiversität einer Region zwar kaum mehr zurückbringen, dass sie aber viele positive soziale, wirtschaftliche, ökologische und klimatische Effekte erzielen können, wie z. B. die Speicherung von CO₂. Systematische, groß angelegte, empirische überregionale Studien zur klimatischen Wirkung von Aufforstung stehen allerdings noch aus (Überblick bei Cunningham et al. 2015). Eine 2013 am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg durchgeführte Computersimulation für das nördliche Europa und die Ukraine ergab für die Sommer von 2071 bis 2090 Temperatursenkungen von 0,3 – 0,5° C und einen Anstieg des Regens um 10 bis 15 %, falls man dort bislang waldfreie Regionen bewalden würde.²¹

Genauso wie der Rezeptionsfaden zur Erkenntnis über den Einfluss des Waldes auf das Klima riss auch der Rezeptionsfaden zum Treibhauseffekt. Auch dieser wurde erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wieder aufgenommen. Die drängenden globalen Fragen motivierten zur Suche nach historischen Vorläufern und Vorbildern, die man als Referenz und Mitstreiter einsetzen konnte. Im Jahr 1985 wurde Alexander von Humboldt erstmals als „der erste Ökologe“ bezeichnet (Bertaux 1985, S. 7). In den folgenden Jahren entdeckte man in Humboldts Werk verblüffend viele aktuelle Bezüge (vgl. z. B. Holl und Reschke 1999 und Holl 2005). So hatte Humboldt, ohne den von Ernst Haeckel erst 1866 geprägten Begriff zu kennen, bereits 1799 eine korrekte Definition für Ökologie geliefert: „Mein eigentlicher, einziger Zweck ist“, schrieb er damals, „das Zusammen- und Ineinander-Weben aller Naturkräfte zu untersuchen, den Einfluß der toten Natur auf die belebte Tier- und Pflanzenschöpfung“ (Jahn und Lange 1973, S. 657). Später, im 4. Band des *Kosmos*, sprach Humboldt dann vom „ewigen Haushalte der Natur“ (Humboldt 1858, S. 232). Heute bezeichnet man Ökologie – fast mit Humboldts Worten –

20 <https://www.pik-potsdam.de/aktuelles/pressemitteilungen/auf-dem-weg-in-die-heisszeit-planet-koennte-kritische-schwelle-ueberschreiten> (zuletzt geprüft am 10.09.2018).

21 <http://www.irinnews.org/news/2013/02/08/will-more-trees-cause-more-rain> und <https://cbm-journal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1750-0680-8-3> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

als „eine wissenschaftliche Teildisziplin der Biologie, welche die Beziehungen von Lebewesen (Organismen) untereinander und zu ihrer unbelebten Umwelt erforscht“.²²

Das Buch *Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur* (Wulf 2016) ist ein Paradebeispiel für diese Neubewertung. Verdienstvoll ist in diesem Kontext auch die gründliche Darstellung der Humboldt-Rezeption im englischsprachigen Raum. Manchmal schießt Wulf allerdings in ihrer Begeisterung über das Ziel hinaus. So bezeichnet sie Humboldt als den „erste[n] Umweltschützer auf unserem Planeten“.²³ Dies ist eine Rückprojektion von aktuellen Wunschbildern, die auf sympathische Weise an der Realität vorbeigeht.

Humboldt hat die Natur in allen ihren Zusammenhängen erforscht, ihr mit seinen Texten literarische Denkmäler gesetzt und zahlreiche prominente Naturschützer, Politiker und Naturschriftsteller beeinflusst. Aber war er selbst tatsächlich Natur- und Umweltschützer? Seine physiologischen Versuche an Tausenden von Fröschen, Vögeln und Kleinsäugetern (Humboldt 1797 und 1798), sein Fang der Zitteraale in Venezuela mit Pferden, von denen einige das Leben lassen mussten (Humboldt 1999, S. 747–753) und seine Verhaltensstudien der Kämpfe zwischen Krokodilen und Hunden, die er in Batabanó auf Kuba aufeinander gehetzt hat (Humboldt und Bonpland 1829, S. 242), hätten heute nicht nur die Tierschützer gegen ihn aufgebracht. In diesen Fällen hatte Humboldt der wissenschaftlichen Erkenntnis Vorrang vor dem Schutz der Natur gegeben.

Auch den Tropenwald sah Humboldt nicht immer als schützenswertes Biotop. So malte er die Natur des Río Casiquiare zwar in den liebevollsten Farben, aber er träumte auch davon, diesen natürlichen Kanal in der Tropenwildnis zu einer Wasserstraße wie den Rhein auszubauen und Dampfschiffe zum transamerikanischen Handel dort einzusetzen (Humboldt 1999, S. 1171 u. 1285). Auch Waldrodungen schlug er für manche Regionen vor:

Die Ufer des oberen Guainía werden mehr produzieren, wenn einmal durch Rodung der Wälder die übermäßige Feuchtigkeit der Luft und des Bodens abnimmt und die Insekten, welche Wurzeln und Blätter der krautartigen Gewächse vernichten, sich vermindern. (Humboldt 1999, S. 1100)

Diese Ambivalenzen sollte die Humboldt-Forschung durchaus wahrnehmen. Aber zeichnen nicht gerade diese Widersprüche ein ehrlicheres und klareres Humboldt-Bild? Hagiographie ist nicht angebracht. Humboldts Tierexperimente fanden vor mehr als 200 Jahren statt. Er würde sie heute bestimmt nicht mehr wiederholen. Und seine Klimastudien waren wegweisend, auch wenn er nicht vor unserem Klimawandel gewarnt hat.

Aber stehen all diese Studien Humboldts nicht auch in einem anderen, weiteren Kontext, der über den reinen Umwelt- und Naturschutz hinausgeht? Humboldt war mehr als Ökologe. Er hatte eine Ausbildung in Kameralwissenschaften. Mit anderen Worten: Er war Experte in Staatswirtschaftslehre, und damit geschult in Finanz-, Wirtschafts- und Verwaltungskunde (vgl. Schwarz 2015). In Franken hat er von 1792 bis 1797 den Bergbau reformiert (vgl. Holl und Schultz-Lüpertz 2012, S. 39–73). Tag für Tag war er dort mit dem drückenden Problem des

22 Vgl. die aktuelle Version der deutschen Wikipedia (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

23 Interview im „Stern“ am 18. Dezember 2016. <https://www.stern.de/kultur/buecher/alexander-von-humboldt---er-war-der-erste-umweltschuetzer-auf-unserem-planeten--7245206.html> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).

Holz mangels konfrontiert. Er hat versucht, es zu lösen und durch langfristige Maßnahmen wie Einsparungen, neue Techniken und Aufforstungen in den Griff zu bekommen. Nicht nur hier zeigt sich die Synthese von Ökologie, Kameralistik und Nachhaltigkeitsdenken in Humboldts Werk. Sie zieht sich durch seine gesamten Arbeiten. Ein Beispiel hierfür ist sein Vorschlag zur Kultivierung der venezolanischen Savannen. Er sei, so schreibt er, sicher, „daß man der Steppe Boden abgewinnen könnte, wenn man sie in kleineren Bereichen angriffe, sie nach und nach von der Masse abschlosse, sie durch Einschnitte und Bewässerungskanäle aufgliederte“ (Humboldt 1999, S. 1431).

Hier geht es um Veränderung der Landschaft, aber um eine behutsame, nachhaltige und das Ökosystem weitgehend bewahrende. Sogar für das Problem der Austrocknung der Böden durch die Landwirtschaft hatte Humboldt eine Lösung: „Vielleicht gelänge es,“ schreibt er, „den Einfluß der den Boden ausdörrenden Winde zu verringern, wenn man im großen, auf 15 bis 20 Morgen, Psidium, Croton, Cassia, Tamarinden ansäete, Pflanzen, welche trockene, offene Stellen lieben“ (Humboldt 1999, S. 1431). Nutzung und Erhaltung standen dabei im Mittelpunkt:

Ich bin weit entfernt zu glauben, daß der Mensch je die Savannen ganz austilgen wird, [...] aber ich bin überzeugt, davon, daß ein beträchtliches Stück dieser Ebenen im Lauf der Jahrhunderte, unter einer den Gewerbefleiß fördernden Regierung, das wilde Aussehen verlieren wird, das sie seit der ersten Eroberung durch die Europäer beibehalten haben. (Humboldt 1999, S. 1431 f.)

Diese Projekte und sein gesamtes Werk haben eine zukunftsweisende Dimension: Es geht Humboldt um das Wohl der „kommenden Geschlechter [...] in allen Klimazonen“ (Humboldt 1999, S. 638).

Die aktuellen globalen Herausforderungen, die Humboldt so nicht voraussehen konnte, sind bedrohlich: Durch den anthropogenen Klimawandel steuert die Menschheit auf ihre „Selbstverbrennung“ zu (Schellnhuber 2015). Die kommenden Generationen werden mit kaum absehbaren Problemen zu kämpfen haben. Die Faktoren des menschengemachten Klimawandels waren bereits zu Humboldts Zeiten erkennbar, die Konsequenzen allerdings nicht. William T. Vollmann, dessen zweibändiges Buch *Carbon Ideologies* kürzlich erschien (Vollmann 2018), sieht einzig und allein eine Lösung. Sie klingt einfach und ist doch unendlich schwierig umzusetzen: „Die Nachfrage zu reduzieren“. Alexander von Humboldt nennt es „Mäßigung“.

9. Bibliographie

Bernhardt, Karl-Heinz (2003): Alexander von Humboldts Beitrag zu Entwicklung und Institutionalisierung von Meteorologie und Klimatologie im 19. Jahrhundert. In: Jürgen Hamel, Eberhard Knobloch und Herbert Pieper (Hg.): *Alexander von Humboldt in Berlin. Sein Einfluss auf die Entwicklung der Wissenschaften. Beiträge zu einem Symposium*. Augsburg: Erwin Rauner, S. 195–221.

Bertaux, Pierre (1985): Vorwort. In: Wolfgang-Hagen Hein (Hg.): *Alexander von Humboldt. Leben und Werk*. Frankfurt a. M.: Weisbecker, S. 7–8.

Böckh, Alberto (1956): *El Desecamiento del Lago de Valencia*. Caracas: Fundación Eugenio Mendoza.

Bolívar, Simón (2009): *Doctrina del Libertador*, hg. von Manuel Pérez Vila, Caracas: Fundación Biblioteca Ayacucho.

- Boussingault, Jean-Baptiste (1837): Mémoire sur l' Influence des Défrichements dans la Diminution des Cours d' Eau. In: *Annales de Chimie et de Physique*. Par MM. Gay-Lussac et Arago. Tome Soixante-Quatrième, S. 113–141.
- Boussingault, Jean-Baptiste (1838): Memoir concerning the Effect which the clearing of Land has in diminishing the Quantity of Water in the Streams of a District. In: *Edinburgh New Philosophical Journal* 24 (1838), S. 85–106.
- Boussingault, Jean-Baptiste (1845): Über den Einfluß der Urbarmachung auf die Ergiebigkeit der Quellen. In: *Die Landwirtschaft in ihren Beziehungen zur Chemie, Physik und Meteorologie*. 1. Aufl., Bd. 2, Halle: Graeger.
- Boussingault, Jean-Baptiste (1851): *Die Landwirtschaft in ihren Beziehungen zur Chemie, Physik und Meteorologie*. 2. Aufl., Bd. 2, Halle: Graeger.
- Claussen, Martin (2003): Klimaänderungen: Mögliche Ursachen in Vergangenheit und Zukunft. In: *UWSF – Umweltwissenschaft und Schadstoff-Forschung*. Band 15, 2003, S. 21–30. URL: https://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/staff/claussenmartin/publications/claussen_klima_uwsf_03.pdf (zuletzt geprüft am 14.09.2018).
- Claussen, Martin (2015): Das große Fliegengewicht: Vegetation und ihre Wechselwirkungen mit dem globalen Klima. In: Jochem Marotzke und Martin Stratmann (Hg.): *Die Zukunft des Klimas*. München: C. H. Beck, S. 137–152. URL: http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/staff/claussenmartin/lectures/vegetation/claussen_fliegengewicht_2015.pdf (zuletzt geprüft am 14.09.2018).
- Cunningham, C. et al. (2005): Review von C. Cunningham, R. Mac Nally, P. J. Baker, T. R. Cavagnaro, J. Beringer, J. R. Thomson und R. M. Thompson in ihrem Balancing the environmental benefits of reforestation in agricultural regions. In: *Elsevier Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* Volume 17, Issue 4, July 2015, Pages 301–317. DOI: 10.1016/j.ppees.2015.06.001, URL: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2015.06.001> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).
- Ette, Ottmar (2007): Amerika in Asien. Alexander von Humboldts *Asie centrale* und die russisch-sibirische Forschungsreise im transarealen Kontext. In: *HiN. Alexander von Humboldt im Netz. Internationale Zeitschrift für Humboldt-Studien*. VIII, 14 (2007), S. 17–40. DOI: 10.18443/89, URL: <http://dx.doi.org/10.18443/89> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).
- Fabian, Peter (2002): *Leben im Treibhaus: unser Klimasystem – und was wir daraus machen*. Berlin, u. a.: Springer.
- Fiedler, Horst und Leitner, Ulrike (2000): *Alexander von Humboldts Schriften. Bibliographie der selbständig erschienenen Werke*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Fraas, Carl (1847): *Klima und Pflanzenwelt in der Zeit. Ein Beitrag zur Geschichte beider*. Landshut: Wölfler.
- Grober, Ulrich (2010): *Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Kulturgeschichte eines Begriffs*. München: Kunstmann.
- Holl, Frank und Reschke, Kai (1999): „Alles ist Wechselwirkung“ – Alexander von Humboldt. In: Frank Holl (Hg.): *Alexander von Humboldt. Netzwerke des Wissens*. Katalog zur Ausstellung im Haus der Kulturen der Welt, Berlin, 6. Juni bis 15. August 1999 und in der Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, 15. September 1999 bis 9. Januar 2000, Bonn: KAH, S. 12–15.
- Holl, Frank (2005): Redescubriendo a Alejandro de Humboldt. In: Frank Holl (Hg.): *Alejandro de Humboldt – una nueva visión del mundo*. Katalog zur Ausstellung im Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) 4. Oktober 2005 bis 8. Januar 2006, Madrid und Barcelona: Lunewerg, S. 27–34.
- Holl, Frank (2007): Wie der Klimawandel entdeckt wurde – Alexander von Humboldt als Klimaforscher. In: *Die Gazette. Das politische Kulturmagazin*, Nummer 16, Winter 2007/08, S. 20–25.

- Holl, Frank (2009): Alexander von Humboldt y el cambio climático. In: Irene Prüfer Leske (Hg.): *Alexander von Humboldt: La actualidad de su pensamiento en torno a la naturaleza / Die Gültigkeit seiner Ansichten der Natur*. Bern u. a.: Peter Lang, S. 223–239.
- Holl, Frank (2017): *Alexander von Humboldt – Mein vielbewegtes Leben. Ein biographisches Porträt*. Berlin: Die Andere Bibliothek.
- Holl, Frank und Schulz-Lüpertz, Eberhard (2012): „Ich habe so große Pläne dort geschmiedet ...“ *Alexander von Humboldt in Franken*. Gunzenhausen: Schrenk.
- Humboldt, Alexander von (1797 und 1798): *Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser nebst Vermuthungen über den chemischen Process des Lebens in der Thier- und Pflanzenwelt*. 2 Bände. Posen: Decker; Berlin: Rottmann.
- Humboldt, Alexander von (1832): *Fragmente einer Geologie und Klimatologie Asiens*. Übersetzung von Julius Löwenberg. Berlin: J. A. List.
- Humboldt, Alexander von (1844): *Central-Asien. Untersuchungen über die Gebirgsketten und die vergleichende Klimatologie*. Berlin: Kleemann.
- Humboldt, Alexander von (1845): *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*, Bd. 1, Stuttgart und Tübingen: Cotta.
- Humboldt, Alexander von (1850): *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*, Bd. 3, Stuttgart und Tübingen: Cotta.
- Humboldt, Alexander von (1858): *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*, Bd. 4, Stuttgart und Tübingen: Cotta.
- Humboldt, Alexander von (1862): *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*, Bd. 5, Stuttgart und Tübingen: Cotta.
- Humboldt, Alexander von (1999): *Reise in die Äquinoktial-Gegenden des Neuen Kontinents*. 2 Bde. Hg. von Ottmar Ette. Frankfurt a. M.: Insel.
- Humboldt, Alexander von (2000): *Reise durch Venezuela. Auswahl aus den amerikanischen Reisetagebüchern*. Hg. von Margot Faak. Berlin: Akademie Verlag.
- Humboldt, Alexander von (2003): *Reise auf dem Magdalena, durch die Anden und Mexiko. Aus seinen Reisetagebüchern zusammengestellt und erläutert durch Margot Faak*, Bd. 2: Übersetzung, Anmerkungen, Register. Übersetzt und bearbeitet von Margot Faak. Zweite, durchgesehene Auflage, Berlin: Akademie Verlag.
- Humboldt, Alexander von und Boussingault, Jean-Baptiste (2015): *Briefwechsel*. Hg. von Ulrich Päßler und Thomas Schmuck unter Mitarbeit von Eberhard Knobloch. Berlin, München, Boston: DeGruyter Akademie Forschung.
- Humboldt, Alexander von und Aimé Bonpland (1829): *Reise in die Aequinoktial-Gegenden des Neuen Kontinents [...]*. Sechster Theil. Stuttgart und Tübingen: Cotta.
- Jahn, Ilse und Lange, Fritz G. (Hg.) (1973): *Die Jugendbriefe Alexander von Humboldts 1787–1799*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Kortum, Gerhard (1999): „Die mathematische Betrachtung der Klimate“ – Humboldt und die Klimatologie. In: Frank Holl (Hg.): *Alexander von Humboldt. Netzwerke des Wissens*. Katalog zur Ausstellung im Haus der Kulturen der Welt, Berlin, 6. Juni bis 15. August 1999 und in der Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, 15. September 1999 bis 9. Januar 2000, Bonn: KAH, S. 98.

- Lee, Daniel (1850): Agricultural Meteorology. In: [House of Representatives]: *Report of the Commissioner of Patents, for the Year 1850*, 31st Cong., 1st sess., 1850, H. Ex. Doc. 243, pr. 2. Übers. nach Weigl 2004.
- Marsh, George P. (1864): *Man and Nature or Physical Geography as Modified by Human Action*. New York: Scribner.
- McCosh, Frederic W. (1984): *Boussingault. Chemist and Agriculturist*. Dorbrecht, Boston, Lancaster: D. Reidel.
- Meadows, Dennis L. et al. (1972): *Die Grenzen des Wachstums. Bericht d. Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Aus d. Amerikan. von Hans-Dieter Heck. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Rahmstorf, Stefan und Schellnhuber, Hans Joachim (2012): *Der Klimawandel*. 7. Auflage München: C. H. Beck.
- Report of the Commissioner (1849): *Report of the Commissioner of Patents, Part II, Agriculture*, 31st Cong., 1st sess., Sen. Ex. Doc. No. 15. Übers. nach Weigl 2004.
- Schellnhuber, Hans Joachim (2015): *Selbstverbrennung. Die fatale Dreiecksbeziehung zwischen Klima, Mensch und Kohlenstoff*. München: C. Bertelsmann.
- Schmuck, Thomas: (2015) „... un si grand jour sur l'histoire physique de l'Amérique méridionale“. Der Briefwechsel zwischen Alexander von Humboldt und Jean-Baptiste Boussingault. In: Humboldt und Boussingault 2015, S. 11–33.
- Schwarz, Ingo (2015): Alexander von Humboldt als Kameralist. In: *Alexander von Humboldt in Franken. Humboldt-Forum in Berlin. Literarische Beiträge*. Abhandlungen der Humboldt-Gesellschaft für Wissenschaft, Kunst und Bildung 35, Mannheim, S. 93–108.
- Vollmann, William T. (2018): *Carbon Ideologies. Bd. 1: No Immediate Danger. Bd. 2: No Good Alternative*. New York: Viking.
- Weart, Spencer R. (2008): Kurze Geschichte der Erderwärmung. In: Petra Lutz und Thomas Macho (Hg.): *Das Wetter, der Mensch und sein Klima*. Begleitbuch zur Ausstellung im Deutschen Hygiene-Museum Dresden, 11. Juli 2008 bis 19. April 2009, Göttingen: Wallstein, S. 144–148.
- Weigl, Engelhard (2004): Wald und Klima: Ein Mythos aus dem 19. Jahrhundert. In: *HiN. Alexander von Humboldt im Netz. Internationale Zeitschrift für Humboldt-Studien* V, 9 (2004), S. 81–99. DOI: 10.18443/54, URL: <http://dx.doi.org/10.18443/54> (zuletzt geprüft am 14.09.2018).
- Weigl, Engelhard (2005): Agua, bosque y clima: La contribución de Humboldt al debate sobre medio ambiente del siglo XIX. In: Frank Holl (Hg.): *Alejandro de Humboldt – una nueva visión del mundo*. Katalog zur Ausstellung im Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) 4. Oktober 2005 bis 8. Januar 2006, Madrid und Barcelona: Lunewerg, S. 193–202.
- Williams, Michael (1990): *Americans and their forests. A historical geography*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Wulf, Andrea (2015): *The Invention of Nature. The Adventures of Alexander von Humboldt – The Lost Hero of Science*. London: John Murray.
- Wulf, Andrea (2016): *Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur*. Aus dem Englischen übertragen von Hainer Kober. München: C. Bertelsmann.