

Heinz Veit

Humboldts wissenschaftliche Konzepte in der modernen Geographie und Landschaftsökologie

in: *Alexander von Humboldt – Wissenschaften zusammendenken*, hgg. im Auftrag des Collegium generale von Sara Kviat Bloch, Oliver Lubrich und Hubert Steinke. Bern: Haupt Verlag 2021 (Berner Universitätsschriften 62), S.171-206.

BERN OPEN PUBLISHING
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK BERN
DOI: 10.36950/BUS.62.8



Humboldts wissenschaftliche Konzepte in der modernen Geographie und Landschaftsökologie

Heinz Veit

1. Einleitung

Was mir den Hauptantrieb gewährte, war das Bestreben die Erscheinungen der körperlichen Dinge in ihrem allgemeinen Zusammenhange, die Natur als ein durch innere Kräfte bewegtes und belebtes Ganze aufzufassen (...) Die beschreibende Botanik, nicht mehr in den engen Kreis der Bestimmung von Geschlechtern und Arten festgebannt, führt den Beobachter, welcher ferne Länder und hohe Gebirge durchwandert, zu der Lehre von der geographischen Vertheilung der Pflanzen über den Erdboden nach Maaßgabe der Entfernung vom Aequator und der senkrechten Erhöhung des Standortes. Um nun wiederum die verwickelten Ursachen dieser Vertheilung aufzuklären, müssen die Gesetze der Temperatur-Verschiedenheit der Klimate wie der meteorologischen Prozesse im Luftkreise erspähet werden. So führt den wißbegierigen Beobachter jede Classe von Erscheinungen zu einer anderen, durch welche sie begründet wird oder die von ihr abhängt.¹

Dieses Zitat aus dem *Kosmos* (1845) fasst zusammen, worauf es Humboldt sein Leben lang ankam, und es macht seine enge Beziehung und Bedeutung für die Geographie und die Landschaftsökologie deutlich.



Abbildung 1: Geographie und Landschaftsökologie heute.

1 Alexander von Humboldt, *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*, Stuttgart und Tübingen: J.G. Cotta 1845, Band I, Vorrede, S. VI–VII.

Die Begriffe Ökologie oder *Landschaftsökologie* wurden erst nach Humboldts Tod definiert, aber in seiner Denkweise und von den konzeptionellen Ansätzen her war er bereits im modernen Sinne Geograph und Landschaftsökologe. Ernst Haeckel, der Humboldt gelesen und seine Werke bewundert hat, prägte als Biologe den Begriff Ökologie 1866, einige Jahre nach Humboldts Tod.² Eine *Landschaftsökologie* gibt es erst seit der Einführung des Begriffs durch den Geographen Carl Troll (1939).³

Die Geographie als Wissenschaft lässt sich in ihren Anfängen bis in die Antike zurückverfolgen, jedoch bestand sie zunächst vor allem im Sammeln topographischer Informationen und in der Anfertigung von Karten. Später entwickelte sie sich zu einer Regionalen Geographie und Länderkunde, die darauf abzielte, die Eigenheiten bestimmter Orte von ihrer Lage her zu bestimmen. Geographie als eigenständige empirische Wissenschaft wurde wesentlich durch Humboldt geprägt. Im ausgehenden Zeitalter der Aufklärung, mit der Hinwendung zu den Naturwissenschaften, hat Humboldt den Wechsel von einer religiös geprägten Naturphilosophie hin zu einer unabhängigen Disziplin mit eigener Methodik und kausal-mechanischer Erklärungsweise vollzogen. Im Vorwort seines ersten Bandes zur *Reise in die Aequinoctialgegenden* (1814) schreibt er: «Ich wollte die Länder, die ich besuchte, kennen lernen; und ich wollte Thatfachen zur Erweiterung einer Wissenschaft sammeln, die noch kaum skizziert ist, und ziemlich unbestimmt bald Physik der Welt, bald Theorie der Erde, bald physische Geographie genannt wird.»⁴ Aufgrund seiner modernen Ansätze und seines umfassenden Wissens wird er häufig als der größte Geograph der Neuzeit bezeichnet.⁵ Ab ca. 1830, noch zu Lebzeiten Humboldts, entstanden erste geographische Gesellschaften, ab ca. 1870 etablierte sich Geographie als Fach an vielen Universitäten.

2 Ernst Haeckel, *Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformierte Descendenz-Theorie*, Berlin: De Gruyter 1866, 2 Bände, S. 1866.

3 Carl Troll, «Luftbildplan und ökologische Bodenforschung», in: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 7/8 (1939), S. 241–298.

4 Alexander von Humboldt, *Reise in die Aequinoctial-Gegenden des neuen Continents in den Jahren 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 und 1804*, Erster Theil, Stuttgart und Tübingen: J. G. Cotta'scher Verlag 1815, S. 3.

5 Zum Beispiel: Hanno Beck, «Alexander von Humboldt – der größte Geograph der neueren Geschichte (1769–1859)», in: *Große Geographen. Pioniere – Außenseiter – Gelehrte*, Berlin: Dietrich Reimer 1982, S. 83–102.

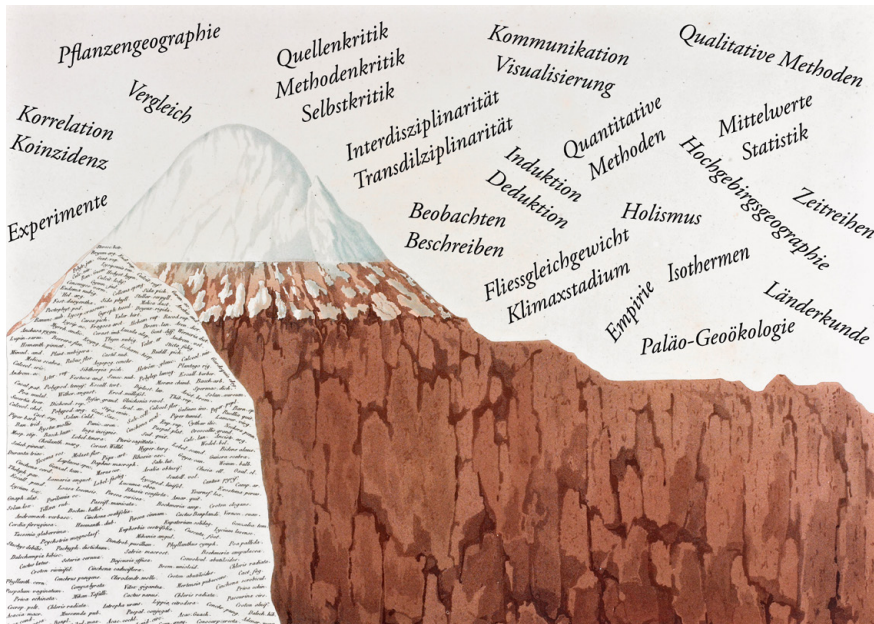


Abbildung 2: Eine Auswahl der wichtigsten Konzepte, Methoden und neu entwickelten Disziplinen Alexander von Humboldts, die in der modernen Geographie und Landschaftsökologie Verwendung finden, dargestellt vor dem Hintergrund einer Pflanzengeographie des Chimborazo.

Von Anfang an hat Humboldt in seiner Physikalischen Geographie immer den Menschen und seine Aktivitäten miteinbezogen. In diesem Sinn hat er bereits den Schritt vollzogen, der zwei heute getrennte Ansätze verbindet: Ökosystemforschung als rein naturwissenschaftlich definierte Wechselwirkungen einerseits und Landschaftsökologie, die den Menschen miteinschließt, andererseits (siehe Abbildung 1). Eine eigene Humangeographie gab es zu Humboldts Zeiten noch nicht. Er umschloss sie mit seiner Physikalischen Geographie und legte wesentliche Grundlagen für das Fach, etwa mit seinen Statistiken über Bevölkerung, Export, Produktion etc., in seinen länderkundlichen Werken über Mexiko (1811)⁶ und Kuba (1826)⁷. Er war ein großer Kritiker der Sklaverei in Lateinamerika, den USA und Europa: «L'escla-

6 Alexander von Humboldt, *Essai politique sur le royaume de la Nouvelle-Espagne*, Paris: F. Schoell 1811.

7 Alexander von Humboldt, *Essai politique sur l'île de Cuba*, Paris: Gide fils 1826.

vage est sans doute le plus grand de tous les maux qui ont affligé l'humanité.»⁸ Und auch den Missionen stand er kritisch gegenüber. Im Hinblick auf die indianische Bevölkerung sagte er: «Ihre Nahrung ist überhaupt gesicherter, ihr Betragen ist friedlicher geworden; aber dem Zwang und der traurigen Einförmigkeit des Missionenregiments unterworfen, verkündigt ihr düsteres und verschlossenes Aussehen, wie ungern sie ihre Freyheit gegen die Ruhe vertauscht haben.»⁹

In der Abbildung 2 sind wesentliche Konzepte, Methoden und neue Disziplinen dargestellt, die durch Alexander von Humboldt verwendet, definiert und entwickelt beziehungsweise weiterentwickelt wurden. Eine Auswahl wird im Folgenden vorgestellt. Dabei ist nicht immer eine klare Abgrenzung der Begriffe möglich, die sich inhaltlich stark überlappen. So ist zum Beispiel keine Diskussion von Mittelwerten und Statistik vorstellbar, ohne auf Messungen einzugehen, oder die Erläuterung von Humboldts Konzept der Isothermen ist nicht möglich, ohne Messungen, Mittelwerte und Vergleich zu diskutieren. Seine vergleichende Hochgebirgsgeographie und Pflanzengeographie (siehe Abschnitt 6) vereinen alle hier dargestellten Begriffe.

2. Beobachten, Beschreiben, empirisches Arbeiten

Möglichst genaue Beobachtungen und Beschreibungen von Landschaften, sowohl hinsichtlich ihrer Struktur als auch bezüglich der in ihnen ablaufenden Prozesse, sind eine wesentliche Basis und Grundvoraussetzung moderner Landschaftsökologie.¹⁰ Untersuchungen finden immer in einem geographischen Raum statt, in unterschiedlichen räumlichen Dimensionen, vom Stockwerkbau des Regenwaldes bis zur Höhenstufung der Gebirge, von vulkanischen Eruptionen bis zu Wasserhaushaltsschwankungen eines Einzugsgebietes, von Bodenprofilen, Bohrprofilen, Aufschlüssen von Sedimenten und Gesteinen bis zu Vegetationseinheiten. Humboldt hat auf allen Maßstabsebenen gearbeitet, von der Analyse der Reizleitung eines Zitteraals am Amazonas bis zu globalen Zusammenhängen der Auswirkung menschlicher Eingriffe

8 Ebd., S. 309.

9 Humboldt 1818, S. 4–5.

10 Hartmut Leser und Jörg Löffler, *Landschaftsökologie*, Stuttgart: Eugen Ulmer 2017.

in den Landschaftshaushalt, von der Herstellung von Töpferwaren bis zu linguistischen Studien, vom einzelnen Mineral bis zu den Arbeitsbedingungen der Minenarbeiter, von der Herstellung von Curare bis zur möglichen Anlage von Schifffahrtswegen wie am Río Casiquiare oder dem Panamakanal (siehe Abschnitt 5).

Genaueres Beobachten und Beschreiben war Humboldt extrem wichtig: «Aus allem dem nun, was ich in möglichster Kürze jetzt eben in Erwähnung gebracht habe, ergibt sich, dass die Naturgeschichte zu etwas bessern tauglich sey, als durch schlechte Beschreibungen, systematische Zudringlichkeiten, fehlerhafte Abbildungen u. s. w. zurückgehalten, ja sogar verwahrlost zu werden.»¹¹

Humboldt beschrieb erstmals die tropischen Schwarzwasserflüsse und interpretierte ihre Charakteristika und Vorkommen richtig:

Mangel an Krokodilen, aber auch an Fischen, größere Kühlung, mindere Plage der stechenden Mosquitos, und Salubrität der Luft, bezeichnen die Region der schwarzen Flüsse. Wahrscheinlich verdanken sie ihre sonderbare Farbe einer Auflösung von gekohltem Wasserstoff, der Ueppigkeit der Tropenvegetation und der Kräuterfülle des Bodens, auf dem sie hinfließen.¹²

Und: «Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich in dem Dungwasser, welches unsere Gärtner bereiten und in dem Abfluss der Torfgruben.»¹³ Durch Vergleiche (siehe Abschnitt 4) mit Weißwasserflüssen widerlegte er die Behauptung der Missionare und der Einheimischen, die Ursache der Schwarzfärbung sei eine bestimmte Pflanze.

Am Orinoco wurden Humboldt und seine Reisetruppe durch Fieber geplagt, was auch in den Missionen ein großes Mühsal darstellte. Zu seiner Zeit diskutierte man als Ursachen solcher Krankheiten «Ausdünstungen der Luft», die er als «Miasmen» bezeichnete. Humboldt machte sich selbst auf die Suche nach den Ursachen. Auch hier half ihm wieder genaues Beobachten und Beschreiben:

11 Alexander von Humboldt, *Aphorismen aus der chemischen Physiologie der Pflanzen*, Leipzig: Voss und Compagnie 1794, S. VIII.

12 Humboldt 1823, S. 299.

13 Humboldt 1823, S. 168.

Die Ursachen dieser Fieber, welche einen großen Theil des Jahres, in den Dörfern von Atures und Maypures, um die zwey großen Kataracten des Orenoko herrschen und diese Gegenden für europäische Reisende so gefährlich machen, müssen in der Vereinbarung eines sehr hohen Hitzegrades mit einer überaus feuchten Atmosphäre, in schlechter Nahrung, und, nach der Meynung der Landeseingebornen, in giftigen Ausdünstungen der nackten Felswände der *Raudales* gesucht werden.¹⁴

Die Einheimischen führten die schwarzen Verwitterungs-Krusten auf den Granitblöcken der Flüsse als Ursache an. Humboldt schickte Proben zum Analysieren an Spezialisten und verglich die Krusten am Orinoco mit ähnlichen Krusten auf der Nord- und Südhemisphäre. Er versuchte, Beziehungen zwischen dem Auftreten der Krusten und der Gesteinsart aufzustellen, und stellte deren häufiges Vorkommen auf Graniten mit reichlich Hornblende fest. Dabei zog er Vergleiche mit ihm bekannten Bergwerken in Europa, wo die Luft bei Hornblende-Graniten besonders schlecht sei, räumte aber ein, dass bei der starken Belüftung im Freien dies nicht die Ursache sein könne. Die Krusten selbst konnte er mit fachlicher Unterstützung als Eisen-Mangan-Krusten identifizieren.

Gleichzeitig beschäftigte er sich intensiv mit der Moskitoplage, ohne allerdings einen Zusammenhang mit dem Auftreten der Fieber zu erkennen. «Diese lästigen Insekten wählen sich gern einen fruchtbaren mit Gewächsen überdeckten Boden, stillstehende Gewässer, eine feuchte, durch keine Winde bewegte Luft [...]»¹⁵ Er erkannte die Plage vor allem beim Fahren stromaufwärts (ruhiges Wasser am Flussufer) und bemerkte weniger Probleme bei der Fahrt flussabwärts (im Stromstrich bei starker Strömung), das Abnehmen der Moskitos abseits der Flüsse, auf Hochflächen, entlang der Schwarzwasserflüsse, und außerhalb der Regenzeit. Humboldt erkannte, dass nur Weibchen stechen, er erkannte verschiedene Arten, die zu unterschiedlichen Zeiten stechen, und er ließ sich einzelne Arten wiederum von Spezialisten bestimmen. Ihm wurde auch bewusst, dass das massive Auftreten der Moskitoplage in den Missionen mit deren bevorzugter Lage entlang von Flüssen und Seen zu tun hatte.

¹⁴ Humboldt 1823, S. 17.

¹⁵ Humboldt 1823, S. 98–99.

Humboldt war ein empirischer Wissenschaftler, der auf Reisen Daten sammelte. Vorbilder dafür waren ihm berühmte Forschungsreisende wie James Cook und Georg Forster. Er kritisierte Wissenschaftler, die nur aufgrund von Vermutungen und vagen Annahmen Schlussfolgerungen zogen, und verspottete sie als «theoretisierende Geographen».¹⁶ Seine Beobachtungen und Beschreibungen waren meist so genau, dass es auch heute noch möglich ist, seine wissenschaftlichen Befunde nachzuvollziehen, auch wenn heutige Interpretationen aufgrund des fortgeschrittenen Kenntnisstandes eventuell anders erfolgen müssen.

Bei seinen Untersuchungen zum sagenumwobenen «El Dorado», das er als Fantasieprodukt aufgrund von Übersetzungsfehlern und erfundenen Angaben betrachtete, schrieb er:

Dieser Missionar, welcher sich drey Jahre (und nicht dreyßig Jahre, wie durch seine Uebersetzer verbreitet ward) am Unter-Orenoko aufhielt, hätte sich beschränken sollen, von dem zu sprechen, was er mit eigenen Augen während der Schifffahrt auf dem Apure, dem Meta und dem Orenoko, von der Guayana Vieja bis zur ersten großen Kataracte, gesehen hat.¹⁷

Neben naturräumlichen Beobachtungen stellte Humboldt auch genaue Statistiken zur Bevölkerungsgeographie auf, mit Angaben zur Bevölkerung und Bevölkerungsentwicklung der USA, Mittel- und Südamerika, sowie zu einzelnen Ländern und Regionen, zur Religionsgeographie, zu Hautfarben, Sklavenhandel, Export landwirtschaftlicher Produkte wie Zucker, Kaffee, Kakao, Tabak, Indigo oder Baumwolle sowie deren Wert in Europa. Ebenfalls setzte er diese, abhängig vom Welthandel, jeweils regionenspezifisch als Zeitreihen und mit den Umweltbedingungen und Anbaumethoden in Beziehung. Die Angaben dazu stellte er aus Berichten, Statistiken, Zolldokumenten etc. zusammen und bezeichnete sich dabei selbst als «Geschichtsschreiber der Kolonien».¹⁸ Humboldt beschrieb die Wassertiefen und Kapazitäten der Häfen für unterschiedliche Schiffsklassen, die Ausstattung der militärischen

16 Alexander von Humboldt, *Ansichten der Natur mit wissenschaftlichen Erläuterungen*, Tübingen: Cotta 1808, S. 296.

17 Humboldt 1823, S. 424.

18 Alexander von Humboldt, *Reise in die Aequinoctial-Gegenden des neuen Continents in den Jahren 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 und 1804*, Fünfter Theil, 1826, S. 294.

Schutzanlagen, und fast immer und zuerst die genaue Höhenlage und die geographischen Koordinaten der beschriebenen Orte und die Abweichungen seiner Daten von früheren Publikationen.

Humboldt beschränkte seine Beobachtungen und Beschreibungen nicht auf quantifizierbare Strukturen und Prozesse. Er erkannte den großen Vorteil qualitativer Ansätze. Er beschrieb die Herstellung von Kautschuk und von Curare, er beschrieb Riten, Bräuche und Essgewohnheiten vom Kannibalismus bis zur Geophagie. Eine eindruckliche Beschreibung betrifft die Praxis, Zitteraale durch das Getrampel von Pferden zu «entladen», um sie dann fangen zu können:

Ein malerisches Schauspiel gewährt der Fang der Gymnoten. Man jagt Maulthiere und Pferde in einen Sumpf, den die Indianer eng umzingeln bis der ungewohnte Lermen die muthigen Fische zum Angriff reizt. Schlangenartig sieht man sie auf dem Wasser schwimmen, und sich, verschlagen, unter den Bauch der Pferde drängen. Viele der letzteren erliegen unter der Stärke unsichtbarer Schläge. Mit gestäubter Mähne schnaubend, wilde Angst im funkelnden Auge, fliehen andere das tobende Ungewitter. Aber die Indianer mit langen Bambusstäben bewaffnet, treiben sie in die Mitte der Lache zurück. Allmählich läßt die Wut des ungleichen Kampfes nach. Wie entladene Wolken zerstreuen sich die ermüdeten Gymnoten. Sie bedürfen einer langen Ruhe und einer reichlichen Nahrung, um zu sammeln, was sie an galvanischer Kraft verschwendet haben. Schwächer und schwächer erschüttern nun allmählig ihre Schläge. Vom Geräusch der stampfenden Pferde erschreckt, nahen sie sich furchtsam dem Ufer, wo sie durch die Harpune verwundet, und mit dürrem, nicht leitenden Holze auf die Steppe gezogen werden.¹⁹

Ein weiteres bekanntes Beispiel für eher qualitative Beobachtung und Beschreibung ist seine Untersuchung der damaligen Austrocknung des Valencia-Sees in Venezuela. Ihm wurde vor Ort berichtet, dass der Wasserspiegel seit einigen Jahren abnähme. Die Bevölkerung machte sich Sorgen. Durch Interviews wurde Humboldt auf die Abholzung des Regenwaldes aufmerksam und schlussfolgerte, dass diese Abholzung, die entsprechend geringere Speicherung von Wasser im System und das Austrocknen der Bäche in

¹⁹ Humboldt 1808, S. 38–40.

einem ursächlichen Zusammenhang stünden. «Es ergibt sich daraus, dass die Zerstörung der Wälder, der Mangel an dauernd fließenden Quellen und das Dasein von Bergbächen drei genau miteinander verbundene Erscheinungen sind.»²⁰ Und an anderer Stelle: «Durch Fällung der Bäume, welche die Berggipfel und Bergabhänge decken, bereiten die Menschen unter allen Himmelsstrichen den kommenden Geschlechtern gleichzeitig eine gedoppelte Plage, Mangel an Brennstoff und Wassermangel.»²¹ Später ergänzte er diese Ausführungen noch durch die Gefahr von Hochwasser bei Starkregen auf den unbewachsenen Hängen und empfahl der Bevölkerung, im See eine Granitsäule zu installieren, um in Zukunft die Veränderungen des Wasserspiegels genau ablesen zu können. Er schrieb dies um das Jahr 1800 in sein Tagebuch. In der Schweiz wurden noch anfangs des 19. Jahrhunderts die Schädenergebnisse in den Alpen als höhere Gewalt oder göttliche Vorsehung angesehen. Erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts konnte wissenschaftlich nachgewiesen werden, dass ein Zusammenhang zwischen der Abholzung der Bergwälder und den Hochwasser- und Murgang-Ereignissen besteht. Als Folge daraus wurde 1876 das erste eidgenössische Forstpolizeigesetz erlassen.

Humboldt gab auch zu, etwas nicht erklären zu können, zum Beispiel die Beobachtung, dass in bestimmten Gebieten der Tropen die Bewohner Lehm essen. Er fragte sich, «kann der Letten wirklich Nahrungsstoff seyn? können Erden sich assimilieren? Oder dienen sie nur als Ballast im Magen? dehnen sie bloß die Wände desselben aus und verscheuchen sie auf diese Weise den Hunger? Ueber all diese Fragen kann ich nicht entscheiden.»²² Entscheidend war für ihn, überhaupt die richtigen Fragen zu stellen.

Korrelationen haben natürlich auch Risiken, da ein beobachtetes Zusammentreffen von Phänomenen nicht zwingend einen ursächlichen Zusammenhang bedeutet, auch wenn es vielleicht vordergründig den Anschein hat: Koinzidenz statt Korrelation. Auch Humboldt ist so der einen oder anderen aus heutiger Sicht falschen Interpretation aufgesessen. Beeindruckt von dem Gegensatz europäischer agrarischer Kulturlandschaften und dem tro-

20 Alexander von Humboldt, *Reise in die Aequinoctial-Gegenden des neuen Continents in den Jahren 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 und 1804*, Stuttgart und Tübingen: Cotta, Zweyter Theil, 1818, S. 60.

21 Humboldt 1820, S. 121.

22 Humboldt 1808, S. 147.

pischen Regenwald schrieb er: «In der Tropenwelt ist menschliche Kraft zu schwach, um eine Vegetation zu besiegen, welche den Boden unserm Auge entzieht, und nichts unbedeckt läßt, als den Ocean und die Flüsse.»²³ Ein weiteres Beispiel ist seine Beurteilung der Ursachen über Jahrzehnte abnehmender Niederschläge:

Ist die Abnahme periodisch, oder hängt sie von großen kosmischen Veränderungen ab? Was menschliche Industrie auf der Erdoberfläche umwandelt, ist in so großen Landstrichen zu unbedeutend, als daß man diesen künstlichen Veränderungen, zum Beyspiel der Ausrottung der Wälder in Nordamerika, die Verminderung des Regens, das Seltenerwerden der Orkane, der großen elektrischen Explosionen, und selbst des Nordstroms zwischen Vera-Cruz und der Mündung des Missisipy zuschreiben dürfte.²⁴

Die heutige Wirklichkeit mit dem dramatischen Verschwinden der Regenwälder und dem anthropogen verstärkten Klimawandel sieht anders aus.

Ein weiteres Beispiel ist Humboldts fälschliche Beurteilung der ungeheuren Fruchtbarkeit der tropischen Tiefland-Regenwälder am Amazonas. Beeindruckt von der hohen Artenvielfalt und dem üppigen Wuchs, nahm Humboldt eine große Bodenfruchtbarkeit an, ohne jemals eine Bodenanalyse gemacht zu haben. Das ist umso bemerkenswerter, als er in anderen Bereichen sehr wohl genaue Messungen gemacht beziehungsweise diese bei Spezialisten in Auftrag gegeben hat. Ausgehend von dieser Fehleinschätzung erklärt er dann – und hier ist er ein Kind seiner Zeit –, die *primitiven* und wenig entwickelten Gesellschaften der indigenen Bevölkerung im Tiefland seien durch den Überfluss bedingt, weil es hier keiner Anstrengungen bedürfe, ganz im Gegensatz zur Bevölkerung der Anden, wo sich durch die schwierigen Umwelt- und Lebensbedingungen Hochkulturen herausgebildet hätten:

Der ackerbauende Fleiß der Völker, ja fast alle primitive Civilisation des Menschengeschlechts, steht in umgekehrtem Verhältnisse mit der Fruchtbarkeit des Bodens [...] Auch bildeten die Gebirgsvölker [...] schon große, wohlorganisirte politische Gesellschaften [...], als in den fruchtbaren Ebe-

23 Humboldt 1807, S. 21.

24 Humboldt 1807, S. 114.

nen, welche sich östlich von der Andeskette gegen das Meer hin erstrecken, die Menschen noch, zerstreut und nackt, ein thierisches Leben führten.²⁵

Möglicherweise gehen die groben Fehleinschätzungen hinsichtlich der Fruchtbarkeit, die den großflächigen Rodungen des Amazonasregenvwaldes im 20. Jahrhundert zugrunde lagen, noch auf die Begeisterung Humboldts für den tropischen Regenwald zurück. Hierzu zählen sowohl die riesigen Kautschuk-Plantagen der Jahre 1920 bis 1950 von Ford, Pirelli oder Good-year, als auch die forstwirtschaftlichen Projekte der 1960er Jahre des Ölmilliardärs Daniel Ludwig. Heute wissen wir, dass der üppige Pflanzenwuchs und die hohe Artenvielfalt nicht das Produkt fruchtbarer Böden sind, sondern unter anderem das Ergebnis einer komplexen ökologischen Habitatvielfalt sowie der Anpassungsmechanismen der Bäume mit dichten Wurzelsystemen und Mykorrhizapilzen, sodass der überwiegende Teil der Nährstoffe, die dem Boden mit den abgestorbenen Pflanzenteilen und dem Niederschlag zugeführt werden, im System verbleiben und direkt, wie mit einem Filter, der die Auswaschung verhindert, wieder von den Pflanzen aufgenommen wird.

3. Messen, Mittelwerte

Humboldt beschränkte seine empirischen Untersuchungen nicht auf Beobachtung und Beschreibung. Er hatte mehr als fünfzig der modernsten Messgeräte dabei, deren Handhabung und Kalibrierung er in jahrelanger Vorbereitung erlernt hatte.²⁶ In vielen Fällen, wie beim Thermometer, führte Humboldt mehrere identische Geräte mit, machte Vergleichsmessungen und erkannte Messfehler. Er kontrollierte seine Resultate mit verschiedenen Methoden. Die Höhe von Bergen bestimmte er mit dem Barometer, dem Thermometer, dem Hypsometer und durch Winkelmessungen und verglich die Ergebnisse. Die Resultate waren so genau, dass zum Beispiel die von ihm gemessene Höhe des Chimborazo, des damals höchsten bekannten Berges der

25 Alexander von Humboldt, *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemälde der Tropenländer*, Tübingen: F. G. Cotta; Paris: F. Schoell 1807, S. 168.

26 Max Seeberger, «Die besten Instrumente meiner Zeit. Humboldts Liste seiner in Lateinamerika mitgeführten wissenschaftlichen Instrumente», in: *Alexander von Humboldt, Netzwerke des Wissens*, Berlin: Haus der Kulturen der Welt 1999, S. 59–62.

Erde, seine Messungen der Höhenlage der Wald- und Schneegrenze, von heutigen Untersuchungen zu Änderungen dieser Höhengrenzen durch die Klimaerwärmung genutzt werden können.²⁷ Mit neuen Berechnungsverfahren und Fehlerkorrekturen hat Humboldt noch Jahrzehnte nach der ersten Publikation seine Messwerte verbessert. Die ursprünglich angegebene Höhe des Chimborazo von 6 544 Metern im Jahr 1807 hat er 1845 auf 6 367 Meter korrigiert. Dieser Wert weicht von modernen, satellitengestützten Vermessungen nur um 90 Meter ab! Die Ganggenauigkeit seiner Chronometer überprüfte er immer wieder durch astronomische Beobachtungen mit dem Fernrohr, durch Beobachtung der Jupitermonde. Allein der Aufwand zur exakten Positionsbestimmung war enorm, etwa wenn er den nächtlichen Sternenhimmel zu Hilfe nahm: «Ich zähle die Nächte, weil ich sie gutentheils durchwacht habe, in der Hoffnung, den Augenblick des Durchgangs eines Sterns am Meridian zu erspähen.»²⁸ Zuweilen machten Moskitos eine Standortbestimmung unmöglich: «Wir biwakten am linken Flußufer unterhalb der Insel Tomo. Die Nacht war schön und hell; allein die Mosquitos-Decke zunächst am Boden war so dicht, daß mir den künstlichen Horizont zu niveliren ganz unmöglich ward.»²⁹ Mit dieser Akribie und den jahrelangen Vorbereitungen seiner Messungen ist Humboldt ein großes Vorbild.

Humboldt war sich bewusst, dass Einzelmessungen kritisch sind. Deshalb nahm er in der Regel Mehrfachmessungen vor und errechnete das arithmetische Mittel. Komplexere Fehlerrechnungen wie die von Carl Friedrich Gauß 1810 entwickelte Methode der kleinsten Quadrate lagen während seiner Amerikareise noch nicht vor. Das berühmteste Beispiel dieser Mittelwerte sind sicher die Isothermen, die Linien gleicher mittlerer Jahrestemperatur. Laut Humboldt ermöglichen die Mittelwerte das Erkennen der zugrundeliegenden Gesetze. Mit den Isothermen wurden weltweite Vergleiche möglich und globale Muster erkennbar. Er entwickelte die Konzepte der thermischen Kontinentalität und Maritimität und legte damit Grundlagen zum späteren

27 Naia Morueta-Holme, Kristine Engemann, Pablo Sandoval-Acuña et al., «Strong upslope shifts in Chimborazo's vegetation over two centuries since Humboldt», in: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112:41 (2015), S. 12741–12745.

28 Humboldt 1823, S. 342.

29 Humboldt 1823, S. 113.

«Geographischen Formenwandel».³⁰ Er erkannte phänologische Grenzwerte (Monatsmittel der Temperatur) zum Beginn der Pflirsichblüte oder beim Blattaustrieb der Birke. Damit waren auch die Grundlagen für spätere Klimaklassifikationen gelegt,³¹ die wesentlich auf Mittelwerten von Temperatur und Niederschlag beruhen³² – genauso wie Temperaturrekonstruktionen oder Klimaszenarien für die Zukunft.

Und auch hierbei war Humboldt in der Regel die Anwendung seiner Erkenntnisse für praktische Belange ein Anliegen (siehe Abschnitt 5). So zum Beispiel für den Weinbau:

Ich habe in keinem Erdtheile, selbst nicht in den canarischen Inseln oder in Spanien oder im südlichen Frankreich, herrlicheres Obst, besonders schönere Weintrauben, gesehen als in Astrachan nahe den Ufern des caspischen Meeres (46° 21'). Bei einer mittleren Temperatur des Jahres von etwa 9° steigt die mittlere Sommerwärme auf 21°,² wie um Bordeaux: während nicht bloß dort, sondern noch weiter südlich, zu Kislar an der Terek-Mündung (in den Breiten von Avignon und Rimini), das Thermometer im Winter auf -25° und -30° herabsinkt.³³

Humboldt war stets bereit, fehlerhafte Messungen zu korrigieren. Höhen berechnete er aufgrund geänderter Parameter und Umrechnungsfaktoren (zum Beispiel Toisen in Meter) neu. So dachte er zunächst, Bergluft wäre prozentual anders zusammengesetzt als in den Tiefländern. Dies korrigierte er später auf einheitliche Werte von Sauerstoff (21%), Stickstoff (78,8%) und Kohlenstoff (0,03%). Werte, die im Falle von Sauerstoff und Stickstoff ziemlich genau mit modernen Werten übereinstimmen. Die Kohlenstoffgehalte ändern sich bekanntlich seit Beginn der Industrialisierung zunehmend. Er korrigierte auch Messungen anderer Wissenschaftler, wenn zum Beispiel Temperaturmessungen während eines Staubsturms oder in der Nähe einer Mauer erfolgten, wenn sie mit dem strahlungsempfindlichen Weingeistther-

30 Hermann Lautensach, *Der geographische Formenwandel. Studien zur Landschaftssystematik* Colloquium Geographicum Band 3, Bonn: Geographisches Institut Universität Bonn, 1952.

31 Wladimir Köppen, «Das Geographische System der Klimate», in: W. Köppen und R. Geiger, *Handbuch der Klimatologie*, Band 1, Teil C, Berlin: Borntraeger 1936, S. 1-44.

32 Carl Troll und Karlheinz Paffen, «Karte der Jahreszeitenklimate der Erde», in: *Erdkunde. Archiv für Wissenschaftliche Geographie* 18 (1964), S. 5–28.

33 Humboldt 1845, S. 347–348.

mometer durchgeführt wurden oder wenn Tagesmittelwerte basierend auf Dreifach-Messungen (morgens, mittags, abends) errechnet wurden. Humboldt begann seine junge Wissenschaftskarriere als begeisterter Neptunist, «konvertierte» aber später zum Plutonisten. Er leugnete zunächst die Eiszeiten, konnte sich aber dann mit den Gedanken eines Louis Agassiz anfreunden (siehe Abschnitt 7).

Vor Humboldt wurden meteorologische Daten vor allem in langen Tabellen gesammelt. Daraus waren zwar die genauen jeweiligen Temperaturen ersichtlich, aber es war schwierig, regional oder gar global Messwerte zu vergleichen und zu interpretieren. Durch die Mittelwertbildung und die Konstruktion der Isothermen wurde ersichtlich, dass die Temperaturen nicht nur von der geographischen Breite, sondern noch von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängig sind, wie etwa der Meereshöhe, der Größe der Landmasse oder der Meeresnähe (Kontinentalität, Maritimität). Über den Amazonas berichtet Humboldt, dass die Maximaltemperaturen unter denen von Paris und Rom lägen, obwohl die Durchschnittstemperatur am Amazonas 27 °C betrage, in Paris und Rom dagegen nur 11,9 °C beziehungsweise 15 °C.³⁴

Quantitative und qualitative Beobachtungen und aufwändige statistische Verfahren sind heute in der Geographie und Landschaftsökologie wichtige Grundlagen zur Beurteilung von Landschaftssystemen. Fotografien, Satellitenbilder, Drohnenaufnahmen, Laser Scanning, eine große Vielfalt an Feld- und Laborgeräten zur detaillierten Untersuchung nahezu unbegrenzter biologischer, chemischer und physikalischer Parameter stehen zur Verfügung. Das führt heute zu der Gefahr, dass nur noch Spezialisten diese Methoden beherrschen, während die Probleme, die damit bearbeitet werden sollen, häufig nur durch ganzheitliche Betrachtungsweisen zu lösen sind (siehe Abschnitt 5).

4. Vergleich

Ganz besonders deutlich wird die Bedeutung empirischer Kenntnisse in der Methode des Vergleichs. Basierend auf einem ungeheuren Erfahrungs- und Beobachtungsschatz, konnte Humboldt viele Phänomene erkennen und deuten: «Es ist ein belohnendes, wenn gleich schwieriges Geschäft der allgemei-

³⁴ Humboldt 1807.

nen Länderkunde, die Naturbeschaffenheit entlegener Erdstriche mit einander zu vergleichen, und die Resultate dieser Vergleichung in wenigen Zügen darzustellen.»³⁵ Oder an anderer Stelle:

Was in einem engeren Gesichtskreis, in unserer Nähe, dem forschenden Geiste lange unerklärlich blieb, wird oft durch Beobachtungen aufgehehlt, die auf einer Wanderung in die entlegensten Regionen angestellt worden sind. Pflanzen- und Thier-Gebilde, die lange isolirt erschienen, reihen sich durch neu entdeckte Mittelglieder oder durch Uebergangsformen an einander [...] Schichtungs-Verhältnisse von trachytartigem Syenit-Porphyr, von Grünstein und Serpentin, die im gold- und silberreichen Ungarn, oder im Platin-Lande des Urals, oder tiefer in Asien, im südwestlichen Altai zweifelhaft blieben, werden durch geognostische Beobachtungen in den Hochebenen von Mexico und Antioquia, in den Flußthälern des Choco unerwartet aufgeklärt.³⁶

Humboldt verglich Regenzeiten und Hochwässer im nördlichen und südlichen Amazonasgebiet, später auch global in den Tropen auf der Nord- und Südhalbkugel und erkannte dadurch den saisonal unterschiedlichen Zusammenhang mit den Zenitalregen beziehungsweise mit der jahreszeitlichen Verlagerung der heute sogenannten Innertropischen Konvergenzzone (ITCZ).³⁷

Auf der Russlandreise von 1829, die von Zar Nikolaus I. finanziert wurde, standen die Besichtigung der Gold- und Platinbergwerke auf der Prioritätenliste. Durch seine Erfahrungen in Südamerika und den Vergleich mit den dortigen Verhältnissen, vermutete Humboldt, dass mit dem Gold häufig auch Diamanten vergesellschaftet sind. So sagte er voraus, dass man in den Goldbergwerken auch Diamanten finden würde. Tatsächlich war das während seiner Reise dann auch der Fall, was die Leute für Zauberei hielten. Heute ist Russland einer der Hauptlieferanten für Diamanten. Die Lagerstätten in Südafrika (Kimberlite) wurden erst seit 1869 ausgebeutet.

35 Humboldt 1808, S. 13.

36 Humboldt 1845, S. 33.

37 Humboldt 1818, S. 353.

[...] doch um die wichtigen Erscheinungen der Zusammensetzung, des relativen Alters und der Entstehung der Gebirgsarten vollständig zu erkennen, müssen Beobachtungen aus den verschiedensten Erdstrichen miteinander verglichen werden.³⁸

Humboldt hat vergleichend Gesteinsarten, vulkanische Phänomene, Gebirgshöhen (siehe Abbildung 3) sowie Anpassungen der Tier- und Pflanzenwelt an die Umweltbedingungen weltweit betrachtet. Durch die Einbeziehung der dritten Dimension und den Vergleich vertikaler Höhenstufen in Gebirgsräumen mit horizontal über die Erde angeordneten Klima- und Landschaftszonen wurde Humboldt zum Begründer der vergleichenden Hochgebirgsforschung (siehe Abschnitt 6).

Landschaftsökologie und Geographie sind heute entscheidend durch Vergleiche bestimmt. So hat man jahrzehntelang Ursachen zur Höhenlage natürlicher Waldgrenzen in Hochgebirgen gesucht. Die Ursachen wurden in lokalen Gegebenheiten des Bodens, der Geologie, des Mikroklimas, des Frostes, der Vegetationsdauer, der Schneedecke und einer großen Zahl weiterer Einflussfaktoren vermutet. Erst der weltweite Vergleich von Temperaturdaten an der Waldgrenze hat gezeigt, dass ein alles übergreifender Faktor die Mitteltemperatur der Vegetationsperiode in der Größenordnung von 5 bis 7 °C ist.³⁹ In den gemäßigten Breiten, wie in den Alpen, betrifft dies die Sommertemperatur, in den tropischen Gebirgen mit ihrem Tageszeitenklima die entsprechende Jahresmitteltemperatur.

Humboldt war sich bewusst, dass die Erdoberfläche nur zu etwa einem Drittel aus Festland besteht. Deshalb führte er Messungen und Vergleiche auch im Meer durch. Ihn interessierten vor allem Meeresströmungen, und er lieferte wichtige Daten zum warmen Golfstrom und zum kalten, später nach ihm benannten Humboldtstrom.

Das Gegenstück zu diesem, fast ganz der nördlichen Hemisphäre zugehörigen Strom im atlantischen Meeresthale zwischen Afrika, Amerika und Europa bildet eine Strömung in der Südsee, deren niedrige, auch auf das

38 Humboldt 1826, S. 130.

39 Christian Körner, *Alpine Plant Life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*, Berlin: Springer 1999.

Klima des Littorals bemerkbar einwirkende Temperatur ich im Herbst 1802 zuerst aufgefunden habe. Sie bringt die kalten Wasser der hohen südlichen Breiten an die Küsten von Chili, folgt den Küsten dieses Landes und denen von Peru erst von Süden gegen Norden, dann (von der Bucht bei Arica an) von Südsüdost gegen Nordnordwest. Mitten in der Tropengend hat dieser kalte oceanische Strom zu gewissen Jahreszeiten nur 15°,6 (12°½ R.), während daß die ruhenden Wasser außerhalb des Stromes eine Temperatur von 27°,5 und 28°,7 (22–23° R.) zeigen. Wo das Littoral von Südamerika, südlich von Payta, am meisten gegen Westen vorspringt, beugt der Strom sich plötzlich in derselben Richtung von dem Lande ab, von Osten gegen Westen gewandt: so daß man, weiter nach Norden schiffend, von dem kalten Wasser plötzlich in das warme gelangt.⁴⁰

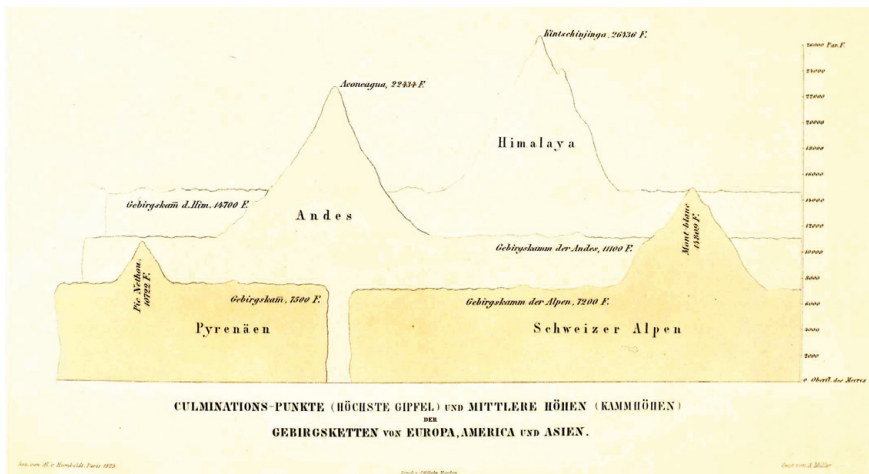


Abbildung 3: Vergleich der Gebirgshöhen von Alpen, Pyrenäen, Anden und Himalaya.

Um verschiedene Ökotope, Landschaften, Klimazonen, Höhenstufen etc. voneinander abgrenzen zu können, bedarf es Vergleichen. Nach Köppen⁴¹ ist die Tropenzone durch die Mitteltemperatur des kältesten Monats von > 18 °C definiert; die montane Höhenstufe in Gebirgen unterscheidet sich von der alpinen Höhenstufe durch den Wechsel von Wald zu Gras; Igapó-Wälder am Amazonas unterscheiden sich von den Regenwäldern der «Terra firme» durch die sai-

40 Humboldt 1845, S. 328.

41 Köppen 1936.

sonalen Überflutungen; der in Mitteleuropa verbreitet auftretende Bodentyp der «Braunerde» unterscheidet sich von einem «Ranker» durch eine andersartige Horizontabfolge (und natürlich auch andere Eigenschaften). Vergleiche mit historischen Hochwassern erlauben eine Abschätzung der Intensität der Überflutungen bei zu erwartenden Ereignissen in der Zukunft; durch den Vergleich von Langzeit-Klimaarchiven wie marinen Bohrungen, Eisbohrkernen oder Lößprofilen mit Erdbahnparametern (Milanković-Zyklen), Sonnenflecken oder vulkanischer Aktivität ergeben sich prinzipielle Zusammenhänge im Klimasystem der Erde. Die Aufzählung ließe sich beliebig erweitern.

Sehr viele beschreibende Vergleiche vollzog Humboldt auf seinen Beobachtungen in Übersee mit Deutschland und der Schweiz, wohl um sie dem heimischen «Publikum» zu veranschaulichen: «Der See von Valencia, welchen die Indianer Tacarigua nennen, hat einen größeren Umfang als der Neuenburger See in der Schweiz; seine allgemeine Gestaltung erinnert jedoch mehr an den Genfer See, dessen Höhe über der Meeresfläche beynahe die gleiche ist.»⁴²

Nicht zuletzt erfordert geographisch-landschaftsökologisches Denken und Arbeiten auch prinzipiell Vergleiche, die mit dem eigenen Erfahrungsschatz zu tun haben. Dabei lässt sich eine gewisse Subjektivität der Betrachtung nicht umgehen. So können Bodengeographen die Schwarzerden (*Tschernoseme*) oder Rotlehme (*Ferralsols*) in Mitteleuropa nur als Relikt einer längst vergangenen Steppenbodenzeit oder eines tropischen Klimas interpretieren, wenn sie diese Böden aus den heutigen Bildungsräumen kennen und damit vergleichen können. Und wer eiszeitliche Dünen im Schweizer Seeland oder im Oberrheingraben als solche unter Wald erkennen will, sollte schon einmal eine aktive Düne gesehen haben. Phänologische Ähnlichkeiten tropischer Pflanzen in Afrika und Südamerika – trotz unterschiedlichen Gattungen – geben Hinweise auf die Anpassung an die Umweltverhältnisse. Sukkulente wie Kakteen (Südamerika) und Euphorbien (Afrika) stellen Adaptionen an die Trockenheit dar, die Treufelblätter vieler Regenwaldpflanzen dienen der schnelleren Abfuhr von Regenwasser, und die Schopfpflanzen in den tropischen Hochgebirgen, wie Lobelien (Afrika) und Espeletien (Anden), sind Anpassungen an die harschen Lebensbedingungen oberhalb der Waldgrenze.

42 Humboldt 1829, S. 112.

5. Inter- und Transdisziplinarität, holistische Betrachtungsweise

In der modernen Geographie und Landschaftsökologie spielt eine ganzheitliche Betrachtungsweise zur Lösung von gesellschaftlichen und ökologischen Problemen (wieder!) eine zunehmende Rolle. Der holistische Ansatz («die Fähigkeit des Zusammendenkens») ging nach Humboldt mit der Aufspaltung in Einzelwissenschaften und der Zunahme des Spezialistentums weitgehend verloren. Der holistische Ansatz basiert auf der Annahme, dass die unterschiedlichen Teilsysteme wie zum Beispiel physikalische, chemische, biologische, gesellschaftliche oder wirtschaftliche Teilsysteme letztlich nur als Ganzes in ihrer Entwicklung verständlich sind. Darauf beruht auch der moderne Begriff der «Nachhaltigkeit». Zusammenhänge sind systemübergreifend. Gegenstand ist der Landschaftsraum, nicht das Umweltmedium, wie Wasser, Luft, Boden, Gestein oder Pflanzen. Schadstoffe in Ökosystemen können nicht mehr isoliert im Boden, im Wasser oder in der Luft betrachtet werden. Der anthropogene Treibhauseffekt erfordert die komplexe Betrachtung des ganzen Kohlenstoff-Kreislaufes, von der Freisetzung bis hin zu den diversen Speichern; Bodenerosion ist nicht zu bekämpfen durch die alleinige Betrachtung von Hangneigung, Substrat und Niederschlag; für die Suche nach Standorten für Sondermüll oder Atommüll reichen geologische Gutachten nicht aus, wenn sich ganze Ortschaften und Regionen dagegen wehren; das Problem des knappen Wassers in Äthiopien oder Kenia, das zur Bewässerung von Zierpflanzen für den Export eingesetzt wird und den lokalen Bauern für den Anbau von Lebensmitteln fehlt, lässt sich mit hydrologischen Gutachten alleine nicht lösen. Solche Wechselwirkungen in ihrer Gesamtschau waren für Humboldt ein zentraler Ansatz.

Der Einbezug des Menschen und die Anwendbarkeit der Ergebnisse für die Gesellschaft waren zentral für Humboldts Forschungen, ein Ansatz, den man heute als «Transdisziplinarität» bezeichnet. Damit kommt zu den wissenschaftlichen Befunden und «objektiven» Fakten eine Werteebene hinzu, das heißt: die naturwissenschaftlichen Befunde stehen den Nutzungsansprüchen, Schutzziele und Entwicklungszielen der Gesellschaft gegenüber beziehungsweise werden durch diese ergänzt. Humboldt weist immer wieder auf die Nutzbarkeit der Natur durch Bergbau, Landwirtschaft und Verkehr hin. Hinter vielen seiner Reisen und Publikationen stand dieses Anliegen, häufig

mehr oder weniger durch die wissenschaftlichen Ergebnisse überdeckt, relativ weit oben auf der Prioritätenliste. Vor diesem Hintergrund sind wohl auch die generösen Passierscheine der spanischen Krone für die Reisen in den latein-amerikanischen Kolonien⁴³ und die Finanzierung der Russlandreise durch den Zar Nikolaus I. zu sehen. Der Nachweis und die Vermessung der Verbindung des Río Negro und des Río Orinoco über den Casiquiare beendete eine lange wissenschaftliche Diskussion über die größte Flussbifurkation der Erde, die Humboldt später allen bekannten Bifurkationen auf der Erde vergleichend gegenüberstellte (siehe Abbildung 4). Auf der aktuellsten Kartengrundlage, die Humboldt vor seiner Amerikareise zur Verfügung stand, gab es keine Verbindung von Orinoco und Amazonas. Er wurde gewahrt, dass die existierenden Karten bezüglich Hydrographie und Topographie mehr oder weniger Fantasie waren, und regte sich darüber gebührend auf:

Die drey Personen aber, welche von den Arbeiten des Grenzzuges Kenntniß besaßen, der Pater Caulin, La Cruz und Surville, haben über den Ursprung des Orenoko die widersprechensten Angaben geliefert. Diese Widersprüche wären ohne Zweifel nicht vorhanden, wenn jene gelehrten Männer, statt ihre Karten nach in Madrit erfundenen Vermuthungen und Voraussetzungen zu verfertigen, den ächten Reisebericht vor Augen gehabt hätten.⁴⁴

Humboldt erkannte die Schifffahrtswege und die neu anzulegenden Kanäle als möglichen Faktor für den zukünftigen Handel: «Diese Gabeltheilung des Orenoko, diese Landenge des Tuamini, welche ein künstlicher Kanal so leicht durchschneiden mag, werden die Blicke des europäischen Handels auf sich ziehen.»⁴⁵ Oder bezüglich des Panamakanals:

Aus diesen Angaben erhellet sattsam, daß im gegenwärtigen Zustand des Welthandels ein Verbindungskanal, wie ein solcher zwischen dem atlantischen Ozean und dem Südmeer beabsichtigt wird, sattsam groß ist, wenn er, vermöge der Breite seiner Section und des Raums seiner Schleusenfälle, Schiffen von 300 bis 400 Tonnen die Durchfahrt gestatten kann.⁴⁶

43 Siehe auch in diesem Band den Beitrag von Peter Korneffel.

44 Humboldt 1823, S. 506

45 Humboldt 1823, S. 149.

46 Humboldt 1826, S. 266.

Auch bei den Meeresströmungen erkannte Humboldt die Bedeutung für Klima und Verkehr: «Oceanische Strömungen, die einen so wichtigen Einfluß auf den Verkehr der Nationen und auf die klimatischen Verhältnisse der Küsten ausüben, sind fast gleichzeitig von einer Menge sehr verschiedenartiger, theils großer, theils scheinbar kleiner Ursachen abhängig.»⁴⁷

Die statistische Aufarbeitung der landwirtschaftlichen Produktion, des Bergbaus, des Exports, die Untersuchung der Technik und der Arbeitsbedingungen der Menschen in den Minen und auf den Plantagen sowie die Auswertung historischer Dokumente ist auch in diesem Zusammenhang zu sehen und wird vor allem in den *Politischen Essays* über Mexiko und Kuba deutlich. «Un des problèmes les plus intéressans de l'économie politique est la détermination de la consommation des denrées qui, dans l'état actuel de la civilisation de l'Europe, sont les objets principaux de l'industrie coloniale.»⁴⁸ Naturbetrachtungen, sozialökonomische Studien und Kulturgeschichte bildeten zusammen erste Beispiele einer modernen Länderkunde.

Krankheiten wie Gelbfieber, Typhus, oder Malaria hat Humboldt nicht nur genauestens beschrieben, sondern auch die Auswirkungen auf die Gesellschaft diskutiert und in die Zukunft prognostiziert:

[...] ist nicht zu bezweifeln, daß größere Handelsfreyheit, so wie häufigere und innigere Verbindungen klimatisch verschiedener Länder, die Verheerungen des gelben Fiebers in Amerika weiter ausdehnen werden. Es ist sogar möglich, daß durch das Zusammentreffen so vieler erregender Ursachen und durch ihre Einwirkung auf so verschieden organisierte Individuen neue Krankheitsformen und abnorme Thätigkeiten der Lebenskräfte erzeugt werden.⁴⁹

Bei der Untersuchung der Schneegrenze auf Teneriffa sieht Humboldt auch die Bedeutung für die Landwirtschaft: «Diese Bestimmung, durch barometrische Messungen leicht zu bewerkstelligen, wurde bis jetzt allgemein unter allen Zonen vernachlässigt; sie ist indeß für den Ackerbau der Colonien und für die Meteorologie von großem Interesse.»⁵⁰ Oder:

47 Humboldt 1845, S. 326.

48 Humboldt 1826, Band 2, S. 40.

49 Humboldt 1818, S. 342.

50 Humboldt 1815, S. 157.

In der fast gleichen nördlichen Breite (30°¼ bis 31°), am Himalaya liegt die Schneegrenze am südlichen Abhange ohngefähr in der Höhe (2 030 Toisen oder 12 180 Fuß), in welcher man sie nach mehrfachen Combinationen und Vergleichen mit andern Bergketten vermuthen konnte; am nördlichen Abhange aber, unter der Einwirkung des Hochlandes von Tübet, dessen mittlere Erhebung an 1 800 Toisen (10 800 Fuß) zu sein scheint, liegt die Schneegrenze 2 600 Toisen (15 600 Fuß) hoch. Diese, in Europa und Indien oft bestrittene Erscheinung, über deren Ursachen ich seit dem Jahre 1820 meine Ansichten in mehreren Schriften entwickelt habe, gewährt mehr als ein bloß physikalisches Interesse; sie hat einen wichtigen Einfluß auf das Leben zahlreicher Volksstämme ausgeübt. Meteorologische Prozesse des Luftkreises gestatten und entziehen dem Ackerbau oder dem Hirtenleben weite Erdstriche eines Continents.⁵¹

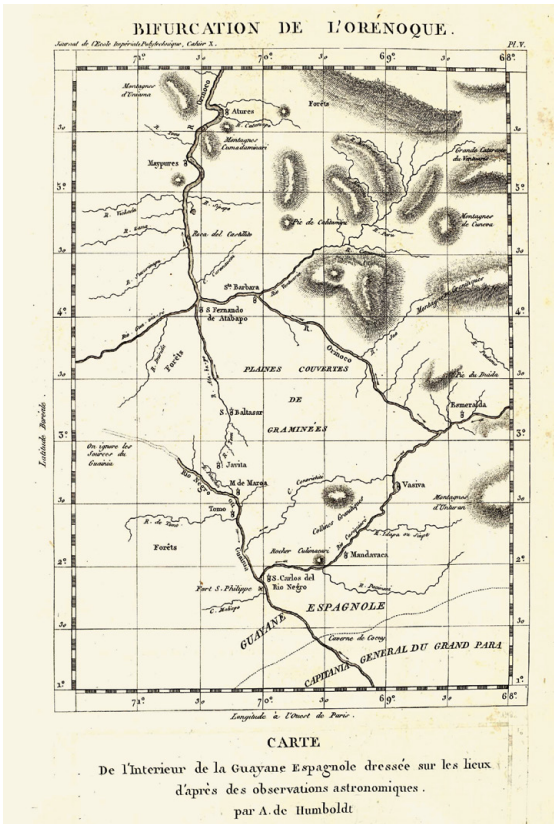


Abbildung 4: Die Bifurkation des Orinoco mit dem Río Casiquiare und dem Río Negro.

51 Humboldt 1845, S. 358.

6. Hochgebirgsgeographie, Pflanzengeographie

Humboldt war ein begeisterter Bergsteiger und Hochgebirgsgeograph. Im Vorwort seiner *Ansichten der Natur* (1808) schrieb er:

Auf den Bergen ist Freyheit! Der Hauch der Grüfte
Steigt nicht hinauf in die reinen Lüfte,
Die Welt ist vollkommen überall
Wo der Mensch nicht hinkommt mit seiner Qual.⁵²

Die Etablierung einer Pflanzengeographie und vergleichenden Hochgebirgsgeographie muss wohl als eine Krönung im Schaffen Alexander von Humboldts genannt werden, in der nahezu alle bislang hier geschilderten oder in Abbildung 2 aufgeführten Konzepte einfließen. Humboldt vollzog den Wechsel von der Botanik und deren Fokus auf taxonomische Bestimmung, Artenkenntnis und Sammeln fokussierte Betrachtungen hin zu einer Pflanzengeographie, in der funktionale Zusammenhänge und Einflussfaktoren von Klima, Gestein und Boden auf ganze Pflanzengesellschaften im Vordergrund standen.

Da ich aber die Verbindung längst beobachteter Thatsachen der Kenntniß isolirter, wenn auch neuer, von jeher vorgezogen hatte, schien mir die Entdeckung eines unbekanntes Geschlechtes weit minder wichtig, als eine Beobachtung über die geographischen Verhältnisse der Vegetabilen, über die Wanderung der gesellschaftlichen Pflanzen, und über die Höhenlinien, zu der sich die verschiedenen Stämme derselben gegen den Gipfel der Kor-dilleren erheben.⁵³

Humboldt war der Überzeugung, dass diejenigen, die nur Pflanzen, Tiere und Steine klassifizieren, um die Welt zu verstehen, diesem Ziel niemals nahekommen würden. Bereits im Jahr 1790, als Humboldt Überlegungen zur Entstehung der Basalte anstellte, erklärte er, warum es für ihn wichtig war, nicht nur die Gesteine und Minerale genau zu beschreiben, sondern auch die Pflanzen, die darauf wachsen: «Dass ich die Kräuter, Moose und Flechten überall mit

52 Humboldt 1808, Vorwort.

53 Humboldt 1815, S. 3.

anführe, welche ich auf den Basalten fand, werden Viele für sehr überflüssig halten.»⁵⁴ Und weiter: «Ueberhaupt müssen die Gewächse, welche der Botaniker auf dieser oder jener Gesteinsart findet, nicht unbemerkt bleiben [...]. Jedem Stein ist gewiß nicht jede Pflanze zum Wohnort bestimmt.»⁵⁵ Indem er feststellt, dass verschiedene Gesteinsarten unterschiedliche ökologische Bedingungen und daran angepasste Pflanzengesellschaften aufweisen, ist Humboldt einer der Pioniere der Geobotanik. Am ehesten wurde das bei ihm mit seinen Forschungen in den Anden sichtbar. Und so etablierte er die vergleichende Hochgebirgsgeographie zusammen mit der Pflanzengeographie.

Bei aller Suche nach Zusammenhängen und nach dem Ganzen waren Humboldt auch Kenntnisse der Details wichtig, da sie zum Herleiten eines «Landschaftsgemäldes» notwendig waren. So sammelten er und Bonpland große Mengen an Pflanzen, Tieren, Gesteinen und Mineralen. Auf der amerikanischen Reise führten sie am Ende 42 Kisten mit, die unter anderem mit einem Herbarium aus 6 000 «Aequinoctialpflanzen»⁵⁶ gefüllt waren.

Bis dahin, also etwa bis zum Jahr 1800, spielte das Relief der Erde für naturräumliche Untersuchungen kaum eine Rolle. Messungen bekannter Wissenschaftler von Temperatur oder Luftdruck in Gebirgen lagen zwar vor (Johann Jakob Scheuchzer, 1672–1732; Horace-Bénédict de Saussure, 1740–1799; Louis-François Ramond de Carbonnières, 1755–1827; Jean-Louis Giraud, 1752–1813), aber eine wissenschaftliche Gesamtschau fehlte. Für Humboldt war diese Gesamtschau ein erklärtes Hauptziel seiner Amerikareise, das er schon lange vorher andeutete: «Den ersten Entwurf zu einer Pflanzen-Geographie legte ich meinem Freunde Georg Forster, dessen Namen ich nie ohne das innigste Dankgefühl ausspreche, vor.»⁵⁷

Dabei ging es Humboldt um die Darstellung der Höhe mit den Schwerpunkten Geologie, Klima und Pflanzen. So schreibt er: «Die große Höhe, zu welcher der Boden sich über der Wolkenregion unter dem Äquator erhebt, gewährt den Einwohnern dieser Gegend das sonderbare Schauspiel, daß sie

54 Alexander von Humboldt, *Mineralogische Beobachtungen über einige Basalte am Rhein. Mit vorangeschickten, zerstreuten Bemerkungen über den Basalt der ältern und neuern Schriftsteller*, Braunschweig: Schulbuchhandlung 1790, S. VII.

55 Humboldt 1790, S. 85–86.

56 Humboldt 1815, S. 9.

57 Humboldt 1807, S. 3.

außer den Bananengewächsen und Palmen auch von Pflanzenformen umgeben sind, welche man oft den europäischen und nordasiatischen Klimaten eigen glaubt.»⁵⁸ Oder später im *Kosmos*:

Die dem Aequator nahe Gebirgsgegend hat einen anderen nicht genugsam beachteten Vorzug: es ist der Theil der Oberfläche unsres Planeten, wo im engsten Raume die Mannigfaltigkeit der Natureindrücke ihr Maximum erreicht. In der tiefgefurchten Andeskette von Neu-Granada und Quito ist es dem Menschen gegeben, alle Gestalten der Pflanzen und alle Gestirne des Himmels gleichzeitig zu schauen. Ein Blick umfaßt Heliconien, hochgefiederte Palmen, Bambusen, und über diesen Formen der Tropenwelt: Eichenwälder, Mespilus-Arten und Dolden-Gewächse, wie in unserer deutschen Heimath [...].⁵⁹

Nicht einzelne Arten oder Gattungen stehen hier im Vordergrund, sondern die Betonung liegt auf *Pflanzenformationen*.

Ganz wesentlich erkannte Humboldt die Parallele von Vegetations-Höhenstufen und Klimazonen. Bezüglich der Temperatur konnte er zunächst feststellen, dass die Änderungen mit der Höhe sich pro hundert Höhenmetern genauso verhalten wie zonal pro Breitengrad, nach Humboldt mit einer Veränderung um je 0,7 °C.⁶⁰ Noch heute gelten diese Werte als korrekt, als globaler Durchschnittswert wird bei einer «internationalen Normatmosphäre» ein Höhengradient von 0,65 °C pro 100 Meter angenommen, wobei dieser Wert aber regional und jahreszeitlich deutlich schwanken kann, was Humboldt durch sehr viele Messungen und Mittelwertbildungen sowie Vergleiche mit der Literatur sehr gut belegte. Außer der regelhaften Abfolge der Temperatur erkannte Humboldt auch die ebenso regelhafte Abfolge der Vegetationshöhenstufen, auch hier in Anlehnung an die zonalen Abfolgen auf der Erde. Die Waldgrenze in Gebirgen hat ein zonales Pendant in den Tiefländern der hohen Breiten. Die montane Höhenstufe mit den Bergwäldern hat ein Pendant in der borealen Zone etc. Humboldt charakterisierte die einzelnen Höhenstufen nach Zeigerarten – also nach Pflanzen, die charakteristische Umweltbedingungen widerspiegeln – ein sehr modernes Konzept in der

58 Humboldt 1807, S. 30–31.

59 Humboldt 1845, S. 12.

60 Humboldt 1807.

heutigen Pflanzengeographie: «Den Compaß in der Hand, habe ich, nach Angabe unserer Manuscripten, in das Profil von Süd-Amerika vorzüglich die Pflanzen eingetragen, denen die Natur sehr bestimmte Höhengrenzen anzuweisen scheint.»⁶¹ In seinem «Naturgemälde» hat Humboldt diese Informationen in Abhängigkeit von den Höhenstufen sehr anschaulich zusammengetragen (siehe Abbildung 2). Sein Prinzip der Darstellung bildet auch heute die Grundlage jeder vergleichenden Hochgebirgsgeographie (siehe Abbildung 6). Bereits auf Teneriffa, bei der Besteigung des Pico de Teide, erkannte und beschrieb Humboldt die Höhenstufen:

In ihrem jetzigen Zustand bietet die Insel Teneriffa, das Chinerfe der Guanen, fünf Pflanzen-Zonen dar, welche man mit dem Namen der Region der Weinstöcke, Region der Lorbeeren, Region der Tannen, Region des Retama und Region der Gräser bezeichnen kann. Diese Regionen sind, wie nach Stockwerken übereinander gelagert, und nehmen auf dem steilen Abhang des Piks eine perpendiculäre Höhe von 1750 Toisen ein [...].⁶²

Charakteristischerweise führt er hier, wie auch in den Anden, die Höhenstufung der Nutzpflanzen mit auf.

Das Gesetz der mit der Höhe abnehmenden Wärme unter verschiedenen Breiten ist einer der wichtigsten Gegenstände für die Kenntniß meteorologischer Prozesse, für die Geographie der Pflanzen, die Theorie der irdischen Strahlenbrechung und die verschiedenen Hypothesen, welche sich auf die Bestimmung der Höhe der Atmosphäre beziehen. Bei den vielen Bergreisen, die ich in und außerhalb der Tropen habe unternehmen können, ist die Ergründung dieses Gesetzes ein vorzüglicher Gegenstand meiner Untersuchungen gewesen.⁶³

Eine besondere Rolle spielte für Humboldt die Schneegrenze, wobei er bereits, ganz im Sinne moderner Glaziologie, eine räumlich und zeitlich rasch wechselnde Schneegrenze (heute: orographische Schneegrenze) von einer Schneegrenze am Ende der Ablationsperiode (heute: Altschneelinie) unterschied.

61 Humboldt 1807, S. 56.

62 Humboldt 1815, S. 271–272.

63 Humboldt 1845, S. 353.

Die untere Grenze des ewigen Schnees in einer gegebenen Breite ist die Sommergrenze der Schneelinie, d. i. das Maximum der Höhe, bis zu welcher sich die Schneelinie im Laufe des ganzen Jahres zurückzieht. Man muß von dieser Höhe drei andere Phänomene unterscheiden: die jährliche Schwankung der Schneegrenze; das Phänomen des sporadischen Schneefalles; und das der Gletscher, welche der gemäßigten und kalten Zone eigenthümlich scheinen, und über welche, nach Saussure's unsterblichem Werke über die Alpen, in diesen letzten Jahren Venetz, Charpentier und mit ruhmwürdiger, gefahrentrotzender Ausdauer Agassiz neues Licht verbreitet haben [...]. Die untere Schneegrenze ist aber nicht bloß eine Function der geographischen Breite oder der mittleren Jahrestemperatur; der Aequator, ja selbst die Tropenregion, ist nicht, wie man lange gelehrt hat, der Ort, an welchem die Schneegrenze ihre größte Erhebung über dem Niveau des Oceans erreicht. Das Phänomen, das wir hier berühren, ist ein sehr zusammengesetztes, im allgemeinen von Verhältnissen der Temperatur, der Feuchtigkeit und der Berggestaltung abhängig. Unterwirft man diese Verhältnisse einer noch specielleren Analyse, wie eine große Menge neuerer Messungen es erlauben, so erkennt man als gleichzeitig bestimmende Ursachen: die Temperaturdifferenz der verschiedenen Jahreszeiten; die Richtung der herrschenden Winde und ihre Berührung mit Meer und Land; den Grad der Trockenheit oder Feuchtigkeit der oberen Luftschichten; die absolute Größe (Dicke) der gefallenen und aufgehäuften Schneemassen; das Verhältniß der Schneegrenze zur Gesamthöhe des Berges; die relative Stellung des letzteren in der Bergkette; die Schroffheit der Abhänge; die Nähe anderer, ebenfalls perpetuirlich mit Schnee bedeckter Gipfel; die Ausdehnung, Lage und Höhe der Ebene, aus welcher der Schneeberg isolirt oder als Theil einer Gruppe (Kette) aufsteigt, und die eine Seeküste oder der innere Theil eines Continents, bewaldet oder eine Grasflur, sandig und dürre und mit nackten Felsplatten bedeckt, oder ein feuchter Moorboden sein kann.⁶⁴

Durch regionale Vergleiche erkannte Humboldt, dass die Höhenlage der Schneegrenze sowohl in den Anden als auch global nicht nur von der Temperatur abhängt, eine Erkenntnis, die sich in der Gletscherforschung erst in allerjüngster Zeit wieder durchgesetzt hat! In der Abbildung 5 sind die Massenbilanzen skandinavischer Gletscher dargestellt. Deutlich sichtbar verhalten sich die eher im Landesinnern gelegenen Gletscher, wie man es im Rah-

64 Humboldt 1845, S. 356–357.

men der Klimaerwärmung der letzten Jahrzehnte erwarten würde. Sie zeigen negative Massenbilanzen und schmelzen zurück. Die Gletscher in Küstennähe aber sind dagegen bis um die Jahrtausendwende vorgestoßen. Ursache des unterschiedlichen Verhaltens sind nicht unterschiedliche Temperaturentwicklungen, sondern der höhere Niederschlag in Küstennähe, der trotz ansteigender Temperaturen lange Zeit eine positive Massenbilanz und ein Vorstoßen der Gletscher ermöglichte.

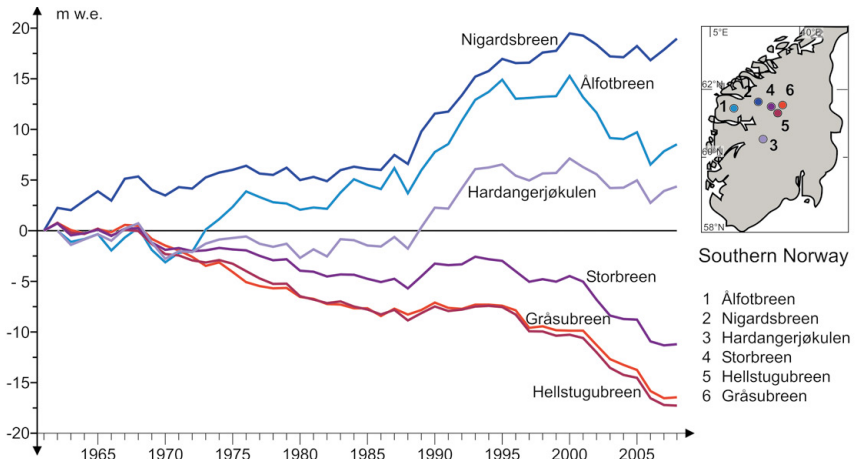


Abbildung 5: Vergleich der Gletscher-Massenbilanzen zwischen eher maritim (oben) und eher kontinental (unten) geprägten Klimaregionen Skandinaviens (m w.e. = Meter Wasseräquivalent).

Humboldt hat damit als erster die dritte Dimension systematisch dargestellt und als wesentliche Einflussgröße im Landschaftsökosystem erkannt. Dabei bediente er sich bei seinen anschaulichen Darstellungen eines heute gängigen Tricks, den er selbst mitentwickelt hat: der Überhöhung. Das bedeutet, der Höhenmaßstab ist bei den Profilen in der Regel größer als in der Horizontalen, sonst würden viele Gebirge, die sich über hunderte von Kilometern erstrecken, relativ flach und undifferenziert aussehen (siehe Abbildung 6).

Nach dem Tod Alexander von Humboldts im Jahr 1859 wurde seine revolutionäre Methodik hinsichtlich der Pflanzengeographie und der Hochgebirgsgeographie in den Hintergrund gedrängt. Es war der Geograph Carl Troll, der mehr als hundert Jahre später schrieb: «Die Zusammenschau von

Organismus und Umwelt als Methode der vergleichenden Vegetationsforschung ist seit Jahrzehnten vernachlässigt und durch rein taxonomisch-statistische Methoden überwuchert worden.»⁶⁵ Und es war der gleiche Carl Troll, der auch die wissenschaftliche, vergleichende Hochgebirgsgeographie wiederbelebt und weiterentwickelt hat (siehe Abbildung 6).

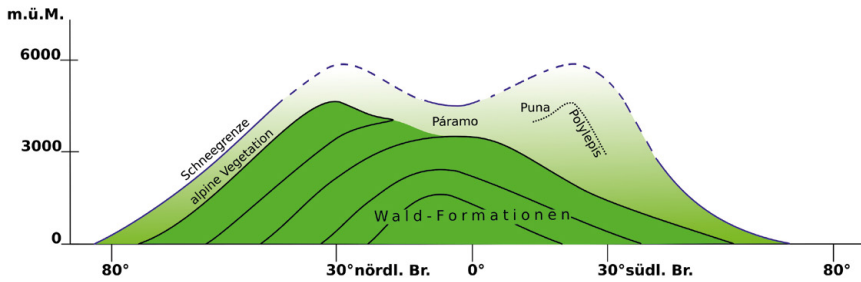


Abbildung 6: Die dreidimensionale Verteilung der Vegetationshöhenstufen entlang eines Transektes vom Nord- zum Südpol, vereinfacht nach Carl Troll. Das schematische Profil beschränkt sich auf feuchte Hochgebirge, daher fehlen die Wüsten und Trockengebiete.

Die von Humboldt und Troll gelegten Grundlagen ermöglichten schließlich die Aufnahme der Hochgebirge als ein «empfindliches Großökosystem» in die Agenda 21 (Kapitel 13) der Vereinten Nationen am Earth Summit von Rio de Janeiro 1992: «Als wichtiges Ökosystem, das repräsentativ für die komplexe, durch enge Wechselbeziehungen gekennzeichnete Ökologie unseres Planeten ist, sind Berggebiete von entscheidender Wichtigkeit für das Überleben des globalen Ökosystems.»⁶⁶ Und weiter heißt es:

Auf Grund ihrer vertikalen Ausdehnung entstehen an Bergen Gradienten der Temperatur, des Niederschlags und der Sonneneinstrahlung. So kann es an einem jeweiligen Berghang zur Ausbildung mehrerer Klimasysteme kommen – beispielsweise tropisch, subtropisch, gemäßigt und alpin –, von denen jedes einen Mikrokosmos einer größeren Lebensraumvielfalt darstellt. Es mangelt indessen an Wissen über Gebirgsökosysteme.⁶⁷

65 Carl Troll, «Die Lebensformen der Pflanzen», in: Heinrich Pfeiffer (Hrsg.), *Alexander von Humboldt*, München: Piper 1969, S. 237.

66 Organisation der Vereinten Nationen, *Agenda 21. Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung, Rio de Janeiro 1992* URL: http://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf, Kap. 13.1, eingesehen Januar 2019.

67 Ebd., Kap. 13.4.

Diese Sätze könnten direkt aus Humboldts Feder stammen, und man ist geneigt zu sagen, der größte Anteil dessen, was wir heute wissen, und die Entwicklung der Methodik, um dieses Wissen zu erlangen, gehen wesentlich auf Alexander von Humboldt zurück.

7. Die Vergangenheit ist der Schlüssel zur Gegenwart und zur Zukunft: Paläo-Geoökologie

In der Landschaftsökologie können Kenntnisse über die langfristige Umweltentwicklung wesentlich zum Verständnis der heutigen Situation und zur Abschätzung und Modellierung der möglichen zukünftigen Dynamik sein. Landschaftsökosysteme werden auch als «Systeme mit Gedächtnis» bezeichnet.⁶⁸ Modelle und Szenarien für die Zukunft von Klima und Umwelt werden ungleich genauer, wenn sie Kenntnisse über die vergangene Entwicklung miteinbeziehen. Seien es Betrachtungen zur Biodiversität und Artenvielfalt oder zu den Kalibrierungen von Klimamodellen durch historische oder durch Proxydaten von Eisbohrkernen, marinen Sedimenten, Seesedimenten, Baumringen, Pollen etc. Gletscherschwankungen der Vergangenheit, zur Zeit Alexander von Humboldts – wie auch heute – zeigen uns direkt und plastisch die Sensibilität gegenüber Veränderungen (siehe Abbildung 5).

«Dem neugierig regsamen Geiste des Menschen muß es erlaubt sein, aus der Gegenwart in die Vorzeit hinüberzuschweifen, zu ahnden, was noch nicht klar erkannt werden kann, und sich an den alten, unter so vielerlei Formen immer wiederkehrenden Mythen der Geognosie zu ergötzen.»⁶⁹ Humboldts Blick auf die Vergangenheit der Erdgeschichte war dabei sehr selektiv. Im Vordergrund stand bei ihm die Ausbreitung der Pflanzen über die Erde als Teil seiner Pflanzengeographie: «Einen Anfang zu einer geographischen Geschichte des Thierreichs besitzen wir; mehrere Fragmente einer mineralogischen Geographie sind uns auch geschenkt worden; allein an einer geographischen Geschichte der Pflanzen fehlt es uns noch gänzlich.»⁷⁰ Humboldt sah die Natur nicht mehr statisch, sondern interessierte sich für Veränderun-

68 Oswald Blumenstein, Hartmut Schachtzabel, Heiner Barsch et al., *Grundlagen der Geoökologie. Erscheinungen und Prozesse in unserer Umwelt*, Berlin/Heidelberg/New York: Springer 2000.

69 Humboldt 1807, S. 248–249.

70 Humboldt 1794, S. VII.

gen in der Entwicklungsgeschichte. Er erkannte, dass Klimaänderungen in der Erdgeschichte zu einer Verschiebung der Klimazonen geführt haben: «Es war also eine entfernte Zeit, wo die Familien der Gewächse anders vertheilt, wo die Thiere größer, die Ströme breiter und tiefer waren.»⁷¹ Oder: «Alte und neue Beobachtungen erweisen, daß die Floren und Faunen um so verschiedener von den jetzigen Gestalten der Pflanzen und Thiere sind, als die Sedimentformationen zu den unteren, das heißt älteren, gehören.»⁷²

Allerdings ging es Humboldt dabei meist um eine polwärtige Ausdehnung der tropischen Regionen, basierend auf Funden fossiler tropischer Pflanzen und Tiere in den höheren Breiten.

Mannigfaltige Producte der Tropenwelt, in ihren Grabstätten verborgen, offenbart die kalte Zone dem forschenden Geognosten: Coniferen, aufgerichtete Stämme von Palmenholz, baumartige Farnkräuter, Goniatiten und Fische mit rhomboidalen Schmelzschuppen in dem alten Kohlengebirge; colossale Gerippe von Crocodilen, langhalsigen Plesiosauren, Schaaln von Planuliten und Cycadeenstämme im Jura-Kalkstein; Polythalamien und Bryozoen in der Kreide, zum Theil identisch mit noch lebenden Seethieren; Agglomerate fossiler Infusionsthier, wie sie Ehrenberg's allbelebendes Mikroskop entdeckt, in mächtigen Schichten von Polirschiefer, Halbopal und Kieselguhr; Knochen von Hyänen, Löwen und elephantenartigen Pachydermen in Höhlen zerstreut oder von dem neuesten Schuttlande bedeckt.⁷³

In seinen Erklärungen über das Auftreten fossiler tropischer Pflanzen und Tiere in den hohen Breiten diskutiert Humboldt demzufolge einerseits eine große tropische Flut, die Palmenblätter, Krokodile etc. weit über die Erde verspült haben soll. Andererseits betont er die Verschiebung von Klimazonen, konkret die polare Ausdehnung des Tropengürtels. Als exzellent beobachtender und kritischer Wissenschaftler erkannte Humboldt dabei, dass die fossilen Pflanzen meist in ungestörter Lagerung auftreten, sich damit also, wie man heute sagen würde, in «autochthoner» Lagerung beziehungsweise «in situ» befinden, was gegen die Fluthypothese sprach. Spannend, wie er hier-

71 Humboldt 1820, S. 481.

72 Humboldt 1807, S. 288.

73 Humboldt 1845, S. 27–28.

bei nicht nur die Tatsache als solche erkennt, sondern sich auch Gedanken über die Ursache der Klimaänderungen macht. Auch hierbei wiegelt Humboldt verschiedene Erklärungsansätze ab. Da ihn vulkanische Erscheinungen faszinierten, lag es nahe, die wärmeren Perioden der Vergangenheit durch erhöhte Erdwärme bei gesteigertem Vulkanismus anzunehmen. Dabei lag die Erkenntnis zugrunde, dass sich die Erdkruste durch Abkühlung vom flüssigen Zustand langsam verfestigt hat. Interessanterweise diskutiert er aber mit der Schiefe der Ekliptik auch den Einfluss der Erdbahnparameter beziehungsweise die langfristige Änderung der Umlaufbahn der Erde um die Sonne, die mal eher elliptisch, dann eher kreisförmig verläuft, als Ursache. Damit ist Humboldt topmodern:

Sollte eine vermehrte Intensität der Sonnenstrahlen einst Tropenwärme über die dem Nordpole nahen Länder verbreitet haben? Sind diese Veränderungen, welche die Tropen-Regionen veröden, und Lappland den Äquinoctial-Pflanzen, den Elephanten und Krokodillen, bewohnbar machen würden, periodisch; oder sind sie Wirkungen vorübergehender Perturbationen unseres Planetar-Systems?⁷⁴

Er hat den Gedanken aber nicht weiterverfolgt, da es um Zeiträume geht, die kurzfristige Klimaschwankungen zu Humboldts Zeit nicht erklären konnten, also nicht wirklich für die Menschen relevant waren. Die heute als «Milanković-Zyklen» bekannten regelhaften Schwankungen der Erdbahnparameter Exzentrizität, Obliquität und Präzession gelten als Hauptursachen langfristiger, strahlungsgesteuerter Klimaänderungen, mit entsprechenden Perioden von 100 000, 41 000 und 21 000 Jahren.

Ganz im Sinne moderner Forschungen sieht Humboldt die Bedeutung des erdgeschichtlichen Rückblicks nicht nur für die Erklärung der heutigen Zustände, sondern auch für die Entwicklung von Szenarien möglicher Entwicklungen in der Zukunft, wenn er schreibt: «Ja, die Kenntniß von dem innern, geheimen Spiele der Naturkräfte läßt uns bey vielen selbst Schlüsse für die Zukunft wagen, und die Rückkehr großer Erscheinungen vorher bestimmen.»⁷⁵ «The past is the key to the future», wie man heute sagen würde.

74 Humboldt 1807, S. 15.

75 Humboldt 1807, S. 32.

Humboldt beschrieb ausführlich historische Vulkanausbrüche der vergangenen Jahrhunderte und stellte Zeitreihen der Klima-, Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung auf. Er berichtet von der glazial isostatischen Heraushebung Skandinaviens seit 8000 Jahren und deren Auswirkung auf die Hydrographie und die Häfen.⁷⁶ Er erkennt die Existenz früherer Kulturen im Amazonasgebiet, verbunden mit völlig anderen Verhältnissen des Wasserhaushaltes und der Wasserführung der Flüsse, als er Erosionskolke und prähistorische Malereien auf Felsen hoch über dem heutigen Flussniveau des Orinoco beschreibt:

[...] sieht man jene schwarzen Höhlungen 150 bis 180 Fuß über dem heutigen Wasserspiegel erhaben. Ihre Existenz lehrt (was übrigens auch in Europa in allen Flußbetten zu bemerken ist), daß die Ströme, deren Größe noch jetzt unsere Bewunderung erregt, nur schwache Ueberreste von der ungeheuren Wassermenge der Vorzeit sind.⁷⁷

Genau diese Aspekte sind Gegenstand moderner Forschungen im Amazonasbecken.⁷⁸ Visionär fügt er noch hinzu: «Wenn die Bewohner beyder Amerikas's den Boden, der sie ernährt, einst weniger gleichgültig betrachten werden, so mögen wohl auch die Spuren vergangener Jahrhunderte sich zusehends vervielfältigen.»⁷⁹

Während er die früher größere Ausbreitung der tropischen Klimazone anerkennt, tut er sich mit der früheren Ausdehnung der kalten Klimazonen, die wir heute als «Kalt- oder Eiszeiten» kennen, schwerer. Auch hierbei muss jedoch der Zusammenhang mit dem Kenntnisstand seiner Zeit gesehen werden. Eine etablierte Glazialtheorie, die das regelhafte Auftreten von kalten Klimaphasen mit großen Vergletscherungen auf der Nord- und der Südhalbkugel erklärt, war noch nicht schlüssig entwickelt. Große Blöcke, sogenannte Findlinge, die weit entfernt von ihrem Ursprungsgebiet im Alpenvorland, im Jura und in Nordeuropa auftraten, wurden unterschiedlich als vulkanische

76 Humboldt 1845, S. 315.

77 Humboldt 1808, S. 308.

78 Umberto Lombardo, Leonor Rodrigues und Heinz Veit, «Alluvial plain dynamics and human occupation in SW Amazonia during the Holocene: a paleosol-based reconstruction», in: *Quaternary Science Review* 180 (2018), S. 30-41.

79 Humboldt 1823, S. 523.

Auswurfprodukte, als Reste großer Flutereignisse oder als Zeugen eines kälteren Klimas und größerer Ausdehnung der Gletscher gedeutet. Ein bekanntes Zitat über die Zweifel dieser Zeit stammt von Goethe, aus seinem *Faust*. Er legt Mephisto das folgende Gedicht über die großen Findlinge in den Mund:

Noch starrt das Land von fremden Zentnermassen;
 Wer gibt Erklärung solcher Schleudermacht?
 Der Philosoph, er weiß es nicht zu fassen,
 Da liegt der Fels, man muß ihn liegen lassen,
 Zuschanden haben wir uns schon gedacht.⁸⁰

Führende Geologen um 1830, wie Sir Charles Lyell, glaubten an eine biblische Sintflut mit Eisbergen als Ursache der Findlinge. Erst in den zwanziger und dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts formte sich durch Wissenschaftler wie Ignaz Venetz, Jean de Charpentier, Karl Friedrich Schimper und Louis Agassiz die im Alpenraum gewonnene Erkenntnis der Entstehung der Findlinge durch eine ehemals größere Ausdehnung der Gletscher. Humboldt kannte aus Norddeutschland die großen Findlinge, häufig aus Granit, und ihre Herkunft aus Skandinavien. Da er sie noch als Folge einer globalen Flut deutete, suchte er auch in Südamerika nach Findlingen, vor allem in den Llanos des Orinoco, allerdings vergeblich. Aus Reiseberichten wusste er auch, dass Findlinge in der argentinischen Pampa oder der Sahara nicht vorkommen. Daraus folgerte er, dass es keine globale Flutkatastrophe gab, sondern dass es sich um eine regionale Flut in Nordeuropa gehandelt haben müsse.⁸¹ Gebiete in den südlichen Anden und den Vorländern in Argentinien und Chile, in denen sehr häufig Findlinge und Moränen auftreten, hat er nie bereist. In Gebirgen hat er nie danach gesucht, da er als Anhänger der Fluthypothese diese Ablagerungen in den Tiefebene vermutete. Dabei hat er auch die mittlerweile sehr gut rekonstruierten Moränen und ehemaligen Gletscherausdehnungen auf seinem berühmtesten Berg, dem Chimborazo, übersehen.⁸²

80 Johann Wolfgang von Goethe, *Faust. Der Tragödie zweiter Teil*, Stuttgart: J.G. Cotta, 1832, S. 254.

81 Humboldt und Bonpland, 1820.

82 Jeff La Frenierre, Kyung In Huh, Bryan G. Mark: «Ecuador, Peru and Bolivia», in: Jürgen Ehlers et al. (Hrsg.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Developments in Quaternary Sciences* 15 (2011), S. 773–802.

Humboldt war mit Louis Agassiz befreundet. Agassiz war eigentlich Biologe und forschte über fossile Fische. Die Eiszeittheorie behagte Humboldt gar nicht. So schrieb er an Agassiz, er solle sich in seinen Forschungen doch bitte wieder den fossilen Fischen zuwenden: «Wenn Sie das thun, werden Sie der positiven Geologie einen größeren Dienst erweisen, als mit diesen allgemeinen (doch etwas eisigen) Betrachtungen über die Umwälzungen einer früheren Welt; Betrachtungen, welche, wie Sie wohl wissen, nur diejenigen überzeugen, von welchen sie ausgehen.»⁸³ Es zeugt aber auch von seiner Kritikfähigkeit und Flexibilität im Denken, wenn er die zunehmenden Belege für eine Eiszeittheorie erkennt und daraufhin später erneut an Agassiz schreibt:

Von Jugend an zu glauben gelehrt, dass die Organisation vergangener Zeiten einen etwas tropischen Charakter hatte, war ich natürlich über diese eisige Unterbrechung sehr bestürzt und rief zuerst «Ketzerei!» [...]; wenn Sie daher kürzlich irgend etwas Vollständiges über die Ergebnisse ihrer geologischen Gedanken veröffentlicht haben, so haben Sie die Güte, es mir durch einen Buchhändler zu senden [...]. Ich wünsche dies besonders im Betreff der Eiszeit und jener fatalen Eismütze, welche mich, der ich ein Kind des Äquators bin, erschreckt. Meine Ketzerei, lieber Agassiz, die nicht von Bedeutung ist, da ich nichts gesehen habe, vermindert aber meinen dringenden Wunsch nicht, dass alle ihre Beobachtungen gedruckt werden mögen.⁸⁴

Agassiz nahm aber noch einen Eispanzer bis ans Mittelmeer an, später auch einen nordamerikanischen Eispanzer durch das Amazonasgebiet hindurch! Erst durch die Arbeiten von Eduard Brückner und Albrecht Penck etablierte sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine differenzierte Vorstellung von den vergangenen Eiszeiten auf der Erde.⁸⁵

83 Aus einem Brief Alexander von Humboldts vom 2. Dezember 1837 an Agassiz, in: Hanno Beck, «Alexander von Humboldt und die Eiszeit», in: *Gesnerus: Swiss Journal of the history of medicine and sciences* 30/3-4 (1973), S. 113.

84 Aus einem Brief Alexander von Humboldts vom 15. August 1840 an Louis Agassiz, in: ebd., S. 115 und S. 116.

85 Albrecht Penck und Eduard Brückner, *Die Alpen im Eiszeitalter*, 3 Bände, Leipzig: Chr. Herm. Tauchnitz, 1909.

8. Schlussbemerkung

Humboldt wird häufig nachgesagt, er sei der letzte Universalgelehrte gewesen. Heute sei die Wissenschaft so spezialisiert und kompliziert, dass man Wissenschaft so nicht mehr praktizieren könne. Aber es geht nicht um das Gesamtwissen, es geht darum, den Überblick zu behalten und Zusammenhänge zu erkennen. Von daher ist Humboldt heute genauso aktuell wie damals.

So sagt es bereits der Physiker und Nobelpreisträger Werner von Heisenberg:

Das Vorbild Alexander von Humboldts kann in unserer Zeit also nicht mehr zu dem Versuch anregen, eine umfassende Bildung auf allen Gebieten der Wissenschaft zu erwerben. [...]. Aber es kann dazu ermutigen, den Überblick zu gewinnen und mit der Kenntnis der abstrakten Grundlagen ein Wissen um die Gesamtrichtung der fortschreitenden Wissenschaft zu bewahren.⁸⁶

Oder in Humboldts eigenen Worten:

Wenn aber auch das ewige Streben, die Totalität zu umfassen, unbefriedigt bleibt, so lehrt uns dagegen die Geschichte der Weltanschauung [...], wie in dem Lauf der Jahrhunderte die Menschheit zu einer partiellen Einsicht in die relative Abhängigkeit der Erscheinungen allmählig gelangt ist. Meine Pflicht ist es, das gleichzeitig Erkannte nach dem Maaß und in den Schranken der Gegenwart übersichtlich zu schildern.⁸⁷

86 Werner von Heisenberg, «Über die Möglichkeit universeller wissenschaftlicher Bildung in unserem Zeitalter», in: Heinrich Pfeiffer (Hrsg.), *Alexander von Humboldt – Werk und Weltgeltung*, München: Piper 1969, S. 9–13.

87 Humboldt 1845, S. 81–82.