

Ulrich Stottmeister

Umweltgedanken zu Alexander von Humboldt

ZUSAMMENFASSUNG

Alexander von Humboldt hat auf der Grundlage des Wissens seiner Zeit in den Schlussfolgerungen zu seinen Messungen zu Boden, Luft und Wasser gelegentlich auch offene Fragen formuliert und Vermutungen geäußert. Es ist das Ziel dieses Beitrages, frühe Veröffentlichungen daraufhin zu prüfen, ob die damaligen Annahmen mit dem heutigen naturwissenschaftlichen Wissen bestätigt werden können. Nach einer Darstellung der „Umweltsituation“ um 1800 folgt eine Diskussion der Anleitungen zur Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit und zur Ertragssteigerung. Humboldt erkannte bei seinen Untersuchungen zu methanhaltigen Grubengasen und der Erdatmosphäre einige uns heute aus der Klimadiskussion bekannte Effekte (z. B. die Rolle von Spurengasen auf die Eigenschaften von Gas-mischungen, die Existenz atmosphärischer Stoffkreisläufe). Weniger bekannt sind Humboldts umfassende praktische Anleitungen zum Bau des 50 km langen Entwässerungstunnels „Meissner Erbstolln“ unter geologischen, technischen, ökonomischen und soziologischen Aspekten. Die zentrale Rolle von „dynamischen“ Gleichgewichten wird am heutigen ökologischen Zustand des Sees von Valencia (Venezuela) erläutert.

SUMMARY

Applying the knowledge of his time, Alexander von Humboldt formulated conclusions and occasionally open questions and hypotheses based on his measurements of soil, air and water. Hence, this article focusses on comparing the assumptions made in his early publications with today's scientific knowledge. After a description of the general "environmental situation" around 1800, a post-inspection discussion of the instructions for soil fertilization and raising crop yields follows. During his investigations with regard to methane-containing

pit gases and the earth's atmosphere, Humboldt already recognized some of the effects best known today in connection with climate discussion (i.e. the effect of trace gases on the properties of gas mixtures, the presence of atmospheric material cycles). Less well-known are Humboldt's comprehensive practical instructions for the construction of the 50 km long drainage tunnel "Meissner Erbstolln", including economic, sociological, geological and technical aspects. The central role of "dynamic" equilibria is explained using the present ecological state of the lake of Valencia (Venezuela).

RESUMEN

Aplicando el conocimiento de su tiempo, Alexander von Humboldt desarrolló conclusiones y preguntas abiertas, basándose en sus mediciones de suelo, agua y aire. El objetivo del presente artículo es comparar publicaciones antiguas y actuales para analizar y comprobar si los supuestos de su época pueden ser confirmados con el conocimiento actual. A una descripción de la situación ambiental general alrededor del 1800, le sigue una discusión sobre las instrucciones para la fertilización del suelo y para el incremento del rendimiento de la cosecha. Durante sus investigaciones sobre el gas grisú conteniendo metano y la atmósfera terrestre, Humboldt ya había indicado algunos de los efectos que actualmente forman parte de la discusión sobre el cambio climático, como por ejemplo el rol de los gases traza en las propiedades de mezcla de gases y los ciclos de los elementos atmosféricos. Menos conocidas son las instrucciones prácticas para la construcción del túnel de drenado "Meissner Erbstolln", donde incluyó aspectos geológicos, técnicos, económicos y sociológicos. El rol central del equilibrio "dinámico" es explicado usando el caso del estado ecológico del lago Valencia (Venezuela).



Einleitung

Eine allgemeine und damit naturgemäß unscharfe Begriffsbestimmung für „Umwelt“ kann mit nur einem Satz gegeben werden: Umwelt ist die gesamte räumliche Umgebung, in der Menschen, Tiere und Pflanzen leben, mit den Grundlagen, die sie zum Leben brauchen, wie Wasser, Boden und Luft.

Aus diesem einen Satz sind jedoch weder komplexe Zusammenhänge („alles hängt mit allem zusammen“) noch die Möglichkeiten und Auswirkungen menschlicher Interaktionen auf die derart benannte „Umwelt“ zu erkennen.

Erst in neuester Zeit haben die sichtbaren und fühlbaren Belastungen vom Boden, von Luft und vom Wasser zu einem breiten Umweltverständnis und aus diesem heraus zum allgemeinen Umweltschutz geführt. Die breite Kommunikation der Fakten und das Wissen um die gesellschaftlichen und ökonomischen Hintergründe führten zu einer Erweiterung des Umweltbegriffes, der nunmehr Ursachenerkennung, Schadensvermeidung und Sanierung einschließlich ökonomischer und gesellschaftlicher Betrachtungen einbezieht. Das Erkennen des Einflusses der frühen Kindheit sowie der späteren Erziehung spielen dabei ebenso eine Rolle wie moralische Normen und die Festlegungen der vom Gesetzgeber vorgegebenen Verhaltensweisen.¹

Humboldt stellte seine Fragen aus der Sicht auf seine damaligen „Umweltprobleme“ wie mangelnde Bodenfruchtbarkeit, Ableitung des Wasserüberschusses im Bergbau, Grubenbelüftung, Brennstoffmangel u. a.

Es ist das Ziel dieses Beitrages, ausgewählte naturwissenschaftliche Beobachtungen, Messungen und Experimente sowie Ergebnisdeutungen von Alexander von Humboldt aus der Sicht eines heutigen in der Umweltforschung tätigen Naturwissenschaftlers zu interpretieren und zu kommentieren.

Die zur Interpretation herangezogene Auswahl von Beispielen aus Boden, Luft und Wasser erfolgte im Hinblick auf deren heutige Bedeutung und „Umweltrelevanz“. Es sollte weiterhin die heutige komplexe Betrachtung des Begriffes „Umwelt“ erläutert und gezeigt werden, dass dafür bereits Ansätze bei Alexander von Humboldt zu finden sind.

Es war nicht das Ziel, Humboldt'sche Prioritäten nachzuweisen im Sinne von „erstmalig erkannt“, wenngleich das nach heutigem Wissensstand durchaus möglich gewesen wäre.

1. Die Umwelt und das prägende Umfeld des jungen Alexander von Humboldt

In den in Kindheit und Jugend empfangenen Eindrücken und entwickelten Vorlieben sieht Alexander von Humboldt wichtige Fakten, die das spätere Leben bestimmen:

Das Verlangen, welches man nach dem Anblick gewisser Gegenstände hat, hängt gar nicht allein von ihrer Größe, von ihrer Schönheit oder Wichtigkeit ab; es ist in jedem Menschen

1 Beispiele der aktuellen trans- und interdisziplinären Umweltforschung sind in der Struktur und im Programm des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung UFZ <http://www.ufz.de> zu finden.

mit vielen zufälligen Eindrücken des Jugendalters, mit früher Vorliebe für individuelle Beschäftigungen, mit Hang nach der Ferne und einem bewegten Leben verwoben (Humboldt 1849, S. 332).

1.1 Die Zeit in Tegel

Humboldt äußerte sich über seine eigene Kindheit und Jugend in Tegel bekanntermaßen nicht sehr positiv (Brief an Freiesleben vom 5.6.1792, aus Jahn und Lange 1973, S. 192 und Klencke 1882, S. 29).

Zu den wenigen Beschreibungen der damalige Lebensumstände auf dem elterlichen „Vorwerk und Schlösschen Tegel“ gehört der ausführliche Reisebericht von A. F. Büsching² aus dem Jahre 1780. Die im Detail aufgeführten statistischen Zahlen z. B. der häufig wechselnden Erbpächter, der Höhe der Pacht, der Verpflichtungen aus dem Erbpachtvertrag und des Viehbestandes (Büsching 1780, S. 12 ff.) lassen ahnen, dass das Anwesen Tegel nur mit Anstrengungen zu bewirtschaften war (Stottmeister 2016).



Abb. 1: Jagdschloß Tegel 1805 (aus Heinz o. J.). Aquarell von L.L. Müller, Kopie von Grete Winkler (Ausschnitt). (Privatbesitz, mit Genehmigung von Alexander von Heinz)

Zusammen mit diesen Schilderungen und einem in Privatbesitz befindlichen Bild des ursprünglichen Anwesens in Tegel, das nicht den bekannten vorteilhaften Blick über den Tegeler See nutzt, kann man erkennen, dass das alte Schlösschen von dieser Seite gesehen ein zweckorientierter Bau war (Abb. 1).

Im Gegensatz zu den negativen Äußerungen genoss Humboldt die „reizende, anmutvolle Natur“ der Umgebung Tegels, wie er sie seinem Freund Freiesleben im oben zitierten Brief ausführlich beschrieb. Der junge Humboldt hat in Tegel besonders durch seinen Vater und später durch Willdenow³ die Liebe zur Natur vermittelt bekommen.

Humboldts Vater hatte den zum Schloss gehörenden Park fantasieanregend umgestaltet:

Er (der Kammerherr) machte auch das Schlößchen zu einem sehr angenehmen Ort, denn er legte schöne Spazierörter nicht nur im englischen Geschmack, sondern auch im Wilden, mehrentsils von amerikanischen Bäumen, an (Büsching 1780, 23 ff.).

2 Anton Friedrich Büsching (1724–1793): Evangelischer Theologe und Geograph. Theologiestudium in Halle/S., Professor der Philosophie in Göttingen. 1761–1765 Petersburg, Oberkonsistorialrat in Berlin und Direktor des Gymnasiums zum „Grauen Kloster“. Hauptwerk „Große Erdbeschreibung“ 1752–1754. Sein von J. G. Schadow gestaltetes Grabmal befindet sich heute im Märkischen Museum in Berlin.

3 Carl Ludwig von Willdenow, (1765–1812), Botaniker.

Büsching beschreibt aber auch die Anstrengungen und Widrigkeiten, mit denen die Landwirtschaft in Tegel verbunden war, insbesondere die Aktivitäten zur Bodenverbesserung und zur Anwurzelung, insbesondere bei der Zucht der Maulbeerbäume, die auf dem märkischen Sandboden nur schlecht wuchsen und deren im Pachtvertrag vorgeschriebene Zahl niemals erreicht wurde.

Bei Neupflanzungen hat Humboldts Vater „...geräumige Gruben ausgraben lassen, den schlechten Sand mit Leimen⁴ vermischt, die Bäume putzen, fleißig begießen und umhacken lassen“ (Büsching 1780, S. 23 ff.).

Humboldt hat sich später zu Fragen der Bodenverbesserung, zur Beschleunigung des Keimverhaltens und zur Erhöhung der Fruchtbarkeit sehr ausführlich geäußert. Man kann vermuten, dass er – ohne dass er es selbst erwähnt – erste Eindrücke bereits in Tegel aufgenommen hat.

1.2 Die Freiburger Zeit

In seiner nur kurzen, aber äußerst produktiven Freiburger Zeit von Juni 1791 bis Februar 1792 lernte Humboldt eine besondere Umweltsituation kennen, die sich vom idyllischen landwirtschaftlich geprägten Tegel grundsätzlich unterschied.

Durch den Bergbau wurde bereits seit dem Mittelalter die gesamte Landschaft in Freiberg und Umgebung umgestaltet. Die Holzvorräte waren erschöpft und die Berge entwaldet. Die als Wasserweg dienende Mulde⁵ war bereits 1606/1607 in ein neues Bett umgeleitet worden. Hebewerke und Schleusen für den Schiffstransport wurden gebaut. Sie sind teilweise heute noch erkennbar und als herausragende Landmarken sichtbar.

Die Wasserverwaltung des Bergbaureviers („Revierwasserlaufanstalt“) erhielt zu dem Zeitpunkt eine besondere Bedeutung, als die oberflächennahen Silbervorkommen (erstes „Berggeschrey“ bereits im Jahre 1168) erschöpft waren und der Bergbau in die Tiefe ging (Sieber 1954).

Im nur wenige Kilometer von Freiberg entfernten Halsbrücke wurde seit 1791 eine Industrieanlage von besonderer Bedeutung betrieben: das Amalgamwerk. Für diese „kalte“ Silbergewinnung wurde auch in Freiberg das bereits seit dem Altertum bekannte Amalgamverfahren verwendet. Nach dieser Technologie wurde zuerst das Erz zerkleinert, dann mit metallischem Quecksilber intensiv vermischt. Die Gewinnung des Silbers aus dem abgetrennten Amalgam erfolgte anfangs durch Erhitzen über offenem Feuer. Spätere Verfahren kondensierten die Quecksilberdämpfe für eine Wiederverwendung.

4 Mit vergleichbarer Wirkung wurden seinerzeit sowohl tierische Leime aus Sehnen, Knochen, Knorpeln usw. verwendet. Bei dem nach dem Kochen entstehende gallertartige Produkte bewirken eine Wasserbindung im Wurzelraum und bei der langsamen natürlichen Zersetzung der Leime eine Humusbildung. Als zusätzlicher Vorteil erfolgt eine dosierte Stickstoffabgabe aus der sich zersetzenden organischen Substanz, jeweils ohne Auswaschungsgefahr für die Stickstoffverbindungen. Diese verzögerte Nährstoffabgabe ist heute Grundlage vieler moderner Düngemittel.

5 Mulde: linker Nebenfluss der Elbe, vereinigt Flusslauf aus Freiburger und Zwickauer Mulde mit 147 km Länge.

Offenbar waren in Freiberg sogar für Zugereiste die gesundheitlichen Auswirkungen des Bergbaus und der Industrie dadurch sichtbar, dass es im Straßenbild auffällig deutlich mehr Frauen als Männer gab. Es wird von Keller (1786) vermutet,

...dass die Mannspersonen schon als kleine Kinder in die Scheidebank geschickt werden. Der davonfliegende Arsenikstaub legt sich auf die Brust und ein sehr früher Tod ist die Folge....Die Mägden aber gehen nicht in die Scheidebank, fahren nicht in die Bergwerke ein und sind den unterirdischen bösen Wettern nicht ausgesetzt (Keller 1786, S. 19; Schellhas 1960, S. 40 und S. 79).



Abb. 2: Der Schmelzhüttenstandort Halsbrücke in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Links sind die beiden Gebäude des Amalgamierwerkes zu erkennen (aus Albrecht 2012)

Erst nachdem 1795 nach einem Brand das alte Amalgamierwerk durch eine moderne Anlage ersetzt wurde, wurden technologische Schritte mit einem verminderten Gefahrenpotenzial einbezogen (Amalgamierung in Trommeln).

Diese modernisierte neue Anlage hat Humboldt bei späteren Besuchen in Freiberg mehrfach besichtigt (1797, 1826, nach Schellhas 1960, S. 86 f.).

Humboldt hat zusammen mit seinen Mitstudenten im Bergwerk gearbeitet, die Schwere der Arbeit selbst erfahren und sich Verletzungen zugezogen (nach Schuster 1928, S. 303–327). Diese schwere und gesundheitsgefährdende Arbeit könnte ihn nach Watznauer (1960) zur späteren Einrichtung einer Invalidenkasse und der bergmännischen Vorschule in seinem späteren Wirkungskreis Ansbach-Bayreuth angeregt haben.

Den Mangel an Natur um Freiberg hat Humboldt durchaus negativ empfunden, spricht er doch in einem Brief an Freiesleben davon, dass ihn „auch die todtte Natur um Freiberg bis auf die Bühnen auf der Himmelfahrt interesirt...“ (Freiesleben 1826, nach Schellhas 1960, S. 84).

Es ist anzunehmen, dass die für uns heute negativ erscheinenden Seiten der beginnenden Industrialisierung mit starker Luftbelastung (Abb. 2) und Naturzerstörung in der damaligen Zeit keineswegs als negativ empfunden wurden. Industrielandschaften wurden insbesondere zum Ende des 19. Jahrhunderts als Zeichen des technischen Fortschritts angesehen (Klein 2016).

2. Alexander von Humboldts Untersuchungen zu Boden, Wasser und zur Atmosphäre zwischen 1790 und 1805: „Diese Kenntnis des Technischen interessiert mich über alle Maßen“⁶

Humboldt war nicht nur an der Technik interessiert, sondern wies ein ausgesprochenes Technikverständnis auf, wie er es besonders in seinen Gutachten zur Glas- und zur Keramikherstellung zeigte (Hülseberg und Schwarz 2016, Hülseberg und Schwarz 2014, Hülseberg u. a. 2012).

Viele von Humboldts eigenen Experimenten mündeten in Empfehlungen zu praktischen Anwendungen und teilweise auch in realisierte Umsetzungen. Als einer seiner Leitsprüche kann zitiert werden:

...die Theorie muss aus der Praxis entstehen und noch besser wäre es, wenn sie in der Praxis so versteckt bleiben könnte, dass sie immer als System erscheinen könnte“ (Humboldt 1792, S. 141).

Messungen und Vermessungen waren dabei erste Schritte beim Verfolgen übergeordneter naturwissenschaftlicher oder technischer Ziele.

2.1 Zu „einfachen Erden und zur Kultur des Bodens“

Humboldt begann seine eigenen Bodenuntersuchungen mit Messungen zum Sauerstoffverbrauch und zur Kohlendioxidbildung. Man muss sich vergegenwärtigen, dass die Chemie Ende des 18. Jahrhunderts durch neue Entdeckungen revolutioniert worden war. Gasmessungen waren für Humboldt höchst aktuell, da sie gerade veröffentlichtes Wissen umsetzten. Die Phlogistontheorie⁷ und deren Erklärungen waren erst seit 1785 mit den Versuchen von Antoine Lavoisier und der Entdeckung des Sauerstoffs überwunden. Henry Cavendish hatte 1766 Wasserstoff erzeugt und erkannt, dass das brennbare Gas ein chemisches Element ist (aus Wilson 1851). Auch die wichtigsten physikalischen und chemischen Eigenschaften des neu entdeckten Gases wurden durch ihn bestimmt. Cavendish stellte weiterhin 1771 in der Luft einen Stoff fest, der die Verbrennung nicht unterhält, Flammen erstickt und den er als „mephistische Luft“ bezeichnete: Stickstoff oder azote. Bekannt wurde durch Cavendish, dass aus Sauerstoff und Wasserstoff Wasser gebildet wird. Die Rolle des Kohlendioxids bei der Atmung und Verbrennung waren ebenfalls erkannt und quantifiziert worden, ebenso wurde in der Luft eine kleine Menge eines nicht zuzuordnenden Restvolumens bestimmt. Dieses wurde erst etwa 100 Jahre später als das Edelgas Argon erkannt (Rayleigh 1894).

Humboldt nutzte und verbesserte Messgeräte bei seinen „Versuchen zur Zerlegung des Luftkreises“. Seine Messungen zum barometrischen Luftdruck und zur Sauerstoff- und Kohlendioxidbestimmung waren auch nach heutigen Maßstäben genau. In den Berechnungen wurden bereits z. B. die Volumeneränderungen durch wechselnden Luftdruck und sich ändernde Temperatur berücksichtigt.

6 Aus einem Brief Alexander von Humboldts aus Freiberg an D.L.G. Karsten vom 25. August 1791, zitiert nach Schuster, J. (Hrsg.) (1928) S. 307–315.

7 Phlogistontheorie: Nach dieser Erklärung der Chemie der Verbrennungsprozesse sollte eine hypothetische Substanz „Phlogiston“ den brennbaren Körpern entweichen.

Bei seinen Messungen zum Sauerstoffverbrauch von unterschiedlichen Bodenproben erkannte Humboldt sehr bald, dass jeweils eine viel Sauerstoff verbrauchende Bodenprobe („Dammerde“)⁸ einen sehr intensiven „Erdgeruch“ aufwies. Humboldt wusste, dass eine Sauerstoffeinwirkung auf den Boden wie eine Düngung wirkt und ein frisch gepflügter Acker einen Tag ruhen sollte, bevor gesät oder gepflanzt wird.

Er bestimmte durch seine Messungen, dass ein Teil des vom Boden aufgenommenen Sauerstoffs nicht äquivalent als Kohlendioxid abgegeben, sondern zurückgehalten wird, sich also nach seiner Meinung anreicherte.

Bei der Zersetzung der atmosphärischen Luft durch die Dammerde ist es ein wohlthätiger Umstand für die animalische Schöpfung, dass die Absorbtion des Oxygens der Menge neugebildeten Kohlensäure nicht proportionel ist. Würde soviel der letztern gasförmig entbunden, als ein gepflügter Acker oder ein ganzes Land (welches der geschmolzene Schnee im Frühjahr aufgelockert hat) dem Luftkreise Sauerstoff entziehen, so würden die untern Luftschichten in denen wir athmen, den nachtheiligsten Einfluss auf unsere Organe äußern ... Wie verderblich für uns, wenn all dieses Oxygen in der neuerzeugten Kohlensäure wieder aufstiege! Glücklicher Weise finden wir die verschwundene Luftmasse kaum durch einige Kubiklinien Kohlensäure ersetzt und die übriggebliebene Stickluft hat nur um einige Hunderttheile dieser Säure zugenommen... (Humboldt 1799, S. 103).

Im Grunde wird von Humboldt die „Kohlenstoffsénke“ Boden und die Kohlenstoff-Fixierung durch Bildung von Huminstoffen und damit von Vorstufen der „fossilen Rohstoffe“ beschrieben.

Er wies nach, dass diese „Sauerstoffaufnahme“ mit einer Temperaturerhöhung verbunden ist. Erklärungen für alle diese sehr praktisch ausgerichteten Hinweise konnte er nicht geben. Er verwendet noch den anschaulichen, aber eigentlich schon überholten Begriff vom „Wärme-stoff“.

Er äußerte über diesen gemessenen Effekt: „Vielleicht sind die Erden selbst chemische Verbindungen aus einer unbekanntén Basis und Sauerstoff...“ (Humboldt 1799, S. 131).

Diese „unbekannte Basis“ ist heute tatsächlich als Huminstoff strukturell intensiv untersucht, sie besteht aus Abbauprodukten von Pflanzenmaterial, also Cellulosen, Lignocellulosen und Lignin, entstanden durch die enzymatischen Aktivitäten der Boden-Mikroorganismen. Auch nach heutiger Betrachtung ist die Gesamtstruktur von Huminstoffen weitgehend undefiniert. Intensiv untersucht und beschrieben ist heute die mikrobielle Welt des Bodens. Sie ist jedoch in ihrer Komplexität noch längst nicht völlig verstanden und durch die Grenzen der heutigen Methodik nur bruchstückhaft bekannt (neue Forschungsfelder sind z. B. die Rolle von Biofilmen, die „Kommunikation“ zwischen Pflanzen und Mikroorganismen, das Zusammenspiel von „nicht kultivierbaren Mikroorganismen“ u. a.).

Eine Zusammenfassung aller Beschreibungen Humboldts zum „Boden“ aus verschiedenen und hier nicht vollständig zitierten Quellen ergibt fast im Sinne von Handlungsempfehlungen, dass

8 Dammerde = Humuserde, Letten = Sediment, schluffiger bis sandiger Ton, wenig ertragreicher Boden.

für einen guten Ertrag des Bodens und ein gutes Pflanzenwachstum folgende Bedingungen erfüllt sein müssen:

1. Es muss immer Wasser vorhanden sein.
2. Eine längere Sauerstoffeinwirkung wirkt als Dünger.
3. Gepflügter Boden muss über einen gewissen Zeitraum Kontakt zur Luft haben.
4. Die schwärzesten und die „wohlriechenden Erden“ (Humboldt 1799, S. 126) nehmen den meisten Sauerstoff auf und bilden die fruchtbarsten Böden.
5. Pflanzenwurzeln dürfen nicht der Luft ausgesetzt werden.
6. Erden können keine homogene Mischung aufweisen.
7. Sauerstoff verschwindet sehr schnell aus einer Bodenprobe.

Insgesamt hat Humboldt damit viele Fakten benannt, von denen jeder Fakt für sich aus heutiger Sicht mit Kenntnissen der Bodenmikrobiologie und Bodenchemie zu erklären ist.

Die Rolle der Bodenmikroben war Humboldt unbekannt. Zwar wurden Mikroskope bereits verwendet, so von Leeuwenhoek mit einer Vergrößerung bis 120fach (Leeuwenhoek und de Graf 1673). Kleinstlebewesen und Bakterien waren bereits beschrieben und systematisiert worden. Linné (1707–1778) erweiterte dieses Wissen, so wurden z. B. im Boden bereits die verschiedensten Lebensformen erkannt (Linné 1758). Nach zweifelhaften Diskussionen um eine „Urzeugung“ der Lebewesen hat erst sehr viel später Pasteur (1822–1895) die Grundlagen der modernen Mikrobiologie gelegt.

Für Humboldt waren womöglich die wenig fassbaren und messbaren Theorien vom mikroskopischen Leben und die diffusen Vorgänge von Fäulnis und Gärung noch nicht von direktem Interesse, er vermutet aber deren Wichtigkeit (Humboldt 1799, S. 101). Dabei hat er grundlegende Erscheinungen anhand seiner Sauerstoffmessungen beschrieben, jedoch nicht deren Ursachen erkennen können.

Von Stottmeister und Wendlandt (2004) sind die heutigen Vorstellungen über das komplexe Miteinander in einer Bodenpartikel zusammenfassend dargestellt worden.

Die Komplexität des Bodens wird durch das Nebeneinander von organischen und mineralischen Bestandteilen, von anaeroben und aeroben Zonen, von Biofilmen mit fixierten, aber auch in Wasser frei beweglichen Mikroorganismen verständlich. Hinzu kommt, dass organische und anorganische Verbindungen gelöst oder nur adsorbiert in unterschiedlichsten Konzentrationen und Zusammensetzungen vorhanden sind.

In kurzer Form sollen die heute als richtig erkannten Humboldt'schen Beobachtungen und auch die oben abgeleiteten praktischen Anweisungen zusammengefasst werden.

Ein humusreicher Boden weist eine hohe Aktivität von Mikroorganismen auf, die Sauerstoff aufnehmen und Kohlendioxid bilden. Durch das Wachstum der Organismen und die Zersetzungsprozesse wird Wärme gebildet. Besonders in den ersten Phasen der Humusbildung aus Pflanzenresten finden Oxidationsprozesse statt, die entsprechend unter Sauerstoffverbrauch verlaufen.

Die Wasseranwesenheit ist für die Entwicklung der Bodenmikroorganismen unabdingbar (siehe Bedingung 1).

Der Luftkontakt und die Luftsättigung des Bodens sind für die Entwicklung der aeroben Bodenmikroorganismen (Bakterien, Pilze, Viren) ebenfalls unbedingt notwendig, da ohne Sauerstoff die enzymatischen Aktivitäten der oxidativen Vorgänge der Humusbildung und das Wachstum der Organismen mit der Bildung der stickstoffhaltigen Biomasse (Bedingung 2 und 3) erliegen würden.

Ein besonders gut durchlüfteter Boden weist durch die hohe Zersetzungsaktivität der Pflanzenreste (Humusbildung) eine dunkle Färbung auf (siehe Bedingung 4).

Der Geruch der Erden wird durch Bakterien der Gattung *Actinomyces*⁹ hervorgerufen, die mit ihren Hyphen die Bodenpartikel durchdringen und auf diese Weise eine noch bessere Durchlüftung ermöglichen. Ein intensiver Geruch deutet also auf eine hohe Zahl dieser Bakterien und damit auf einen „gesunden Boden“ hin.

Falls aus der Erde entfernte Wurzeln trocken werden, trocknet insbesondere der die Wurzeln umgebende Biofilm schnell aus. Die symbiotische Wechselwirkung zwischen Bakterien, Pilzen und Wurzelgewebe (Mykorrhiza) und damit das Pflanzenwachstum wird irreversibel gestört (Bedingung 5).

Die Huminstoffbildung erfolgt im Boden niemals homogen, sondern ist lokal von Ort zu Ort verschieden und damit analytisch schlecht erfassbar (siehe Bedingung 6).

Schon die kurzfristige Störung der Sauerstoffnachlieferung, z. B. durch einen starken Regenguss, kann durch die intensive Atmung der Organismen innerhalb weniger Minuten sauerstofffreie Zonen in den Bodenporen entstehen lassen (siehe Bedingung 7).

Außer den Anleitungen Humboldts „zur besseren Düngung“ durch Luftsauerstoff finden sich auch praktische Hinweise zur Beschleunigung der Keimung unterschiedlichster Samen (Humboldt 1799, S. 236). Der angestrebte Zeitgewinn war in der Praxis für alle Pflanzen wichtig, damit die Vegetationsperiode länger genutzt werden konnte. Besonders wichtig war ein schnelles Keimen für die Pflanzen, die nicht in Mitteleuropa heimisch waren, wie die anfangs erwähnten Maulbeerbäume.

Humboldt schlug vor, eine überall und einfach vorzunehmende Behandlung von Saatgut mit „oxidierte Kochsalzsäure“ vorzunehmen. Diese relativ einfach durchzuführende Saatgutbehandlung war wirkungsvoll und ist in abgewandelter Form auch heute bekannt.

Die „oxidierte Salzsäure“, „oxidierte Kochsalzsäure“ oder „hypochlorige Salzsäure“, entsteht aus der Mischung von Braunstein (MnO_2) und Salzsäure. Es bildet sich in der wässrigen Phase eine Mischung von gelöstem elementarem Chlor und dem schwachsauren Disproportionierungsprodukt Hypochlorit und wiederum Salzsäure. Die empirisch erkannte Wirkung dieser Mischung reaktiver Verbindungen auf pflanzliches Saatgut ist heute erklärbar.¹⁰ Durch die desinfizierenden Eigenschaften des Hypochlorits werden insbesondere oberflächliche pathogene Pilzsporen beseitigt und so dem Keimling gute Startbedingungen geboten. Durch den

9 Z. B. bildet *Actinomyces humiferus*, in alkalischen Humusböden Geosmin, eine flüchtige Fettsäure, die für den typischen Erdgeruch verantwortlich ist.

10 Herrn Dr. Harald Auge vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ Leipzig möchte ich für die fachliche Unterstützung danken.

erniedrigten pH-Wert wird die Keimruhe (Dormanz) der Samen gebrochen, da die Permeabilität der Samenschale gegenüber Sauerstoff und Wasser erhöht wird. Gleichzeitig ist eine bessere Sauerstoffversorgung des wachsenden Pflanzenembryos denkbar.

Humboldt gibt konkrete Hinweise, wie die „oxidierte Salzsäure“ für den allgemeinen Gebrauch gut zugänglich und auch lagerfähig wird.

2.2 Zum „Luftkreis oder Dunstkreis“

Die umfangreichen barometrischen und volumetrischen Messungen, die Humboldt allerorts vornahm, führten ihn bei der Auswertung der Daten zu einer Reihe theoretischer Fragen, aber auch zu bedeutsamen praktischen Erkenntnissen. Grundlage der gesamten – wie sie damals genannt wurde – „pneumatischen Chemie“ war die Entwicklung von exakten volumetrischen Messgeräten. Die nach unseren heutigen Maßstäben durchaus hochentwickelte Wägetechnik zum Anfang des 19. Jahrhunderts war für Arbeiten mit kleinen Gasmengen nicht geeignet. So wurden die auf Volumenmessungen beruhenden Eudiometerverfahren sowie volumetrische Absorptionsverfahren entwickelt.

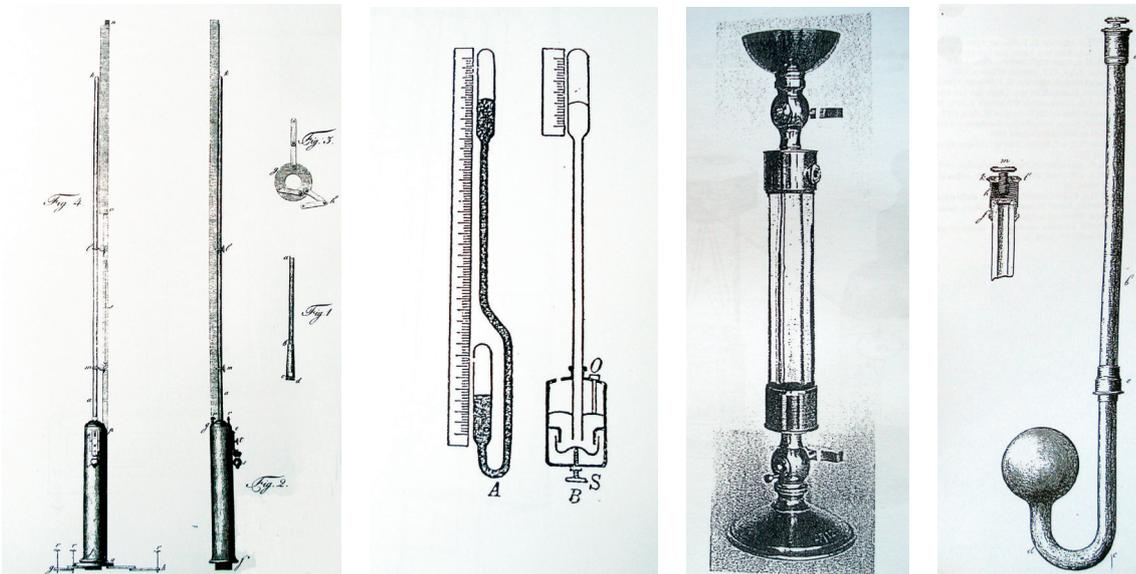


Abb. 3a–d: Messgeräte, die von Humboldt zur Gasanalyse verwendet wurden (aus Brand 2002)

Humboldt beschreibt seine Messgeräte sehr ausführlich (Humboldt 1799, S. 81 ff.). Von Brand (2002) sind die Originalzeichnungen und die Beschreibung der Funktionsweisen, die Berechnungen und die damaligen Maßeinheiten zusammengestellt worden (Abb. 3 a–d).

- a) Unzerbrechliches Taschen- und Senkbarometer
- b) Heberbarometer und Senkbarometer
- c) Eudiometer¹¹
- d) Anthrakometer von Alexander von Humboldt und Christian Friedrich Gödeking

Einfache Gasmessgeräte nach dem Absorptionsprinzip sind auch heute noch vorteilhaft für einfache Messungen einzusetzen (z. B. Gerät nach Orsat).

11 Eudiometer: „Luftgütemesser“ – Laborgerät für Gasuntersuchungen.

Im Folgenden sind einige auf Gasmessungen Humboldts beruhende Fragen zusammengefasst worden, die von ihm seinerzeit im jeweiligen Zusammenhang nicht zu beantworten waren, jedoch eine erstaunliche Weitsicht erkennen lassen.

Die Untersuchungen Alexander von Humboldts in seinen ersten Jahren in Freiberg und im fränkischen Revier (Humboldt 1795) waren zu einem großen Teil auf atmosphärische Probleme der Grubenbewetterung, der Rolle des Kohlendioxids, der Konstruktion eines Atemgerätes und einer explosions sicheren Grubenlampe ausgerichtet. Sie sind umfangreich beschrieben und gewürdigt worden (Holl und Scholl-Lüpertz 2012, Klein 2015).

Ebenso untersuchte Humboldt in den unterschiedlichsten Regionen der Erde detailliert die Verteilung des Kohlendioxids in verschiedenen Höhen und erkannte die jahreszeitlichen Abhängigkeiten der Messwerte. Er vermaß die großen Unterschiede in den Konzentrationen dieses Gases in Abhängigkeit vom Ort der jeweiligen Messung und bemerkte Oszillationen, die von Tages- und Jahreszeit bestimmt wurden.

Der heute allgemein akzeptierte Wert der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von 0,04 Vol. % ist ein „globaler“ Mittelwert. Im Vergleich zu den Werten der vergangenen Jahrzehnte und zur Ableitung von langfristigen Entwicklungen ist es wichtig, Methodik und Messstelle vergleichen zu können – was nicht immer möglich ist. Diesen wichtigen Fakt erkannte Humboldt durch die Vielzahl seiner Messungen.

Im folgenden Abschnitt sollen die Bemerkungen Humboldts kommentiert werden, die jene Gase betreffen, die wir heute als „Klimagase“ bezeichnen und mit denen er sich – natürlich ohne Kenntnis der uns heute interessierenden Klimaproblematik – unter völlig anderen Ausgangsaspekten intensiv beschäftigt hat.

Humboldt erkannte bei seinen atmosphärischen Untersuchungen, dass es einen Gleichgewichtszustand zwischen der Menge des vorhandenen Kohlendioxids und des vorhandenen Luftsauerstoffs gibt (Humboldt 1799, S. 116).

Ungeachtet der zeitgebundenen und damit lückenhaften Betrachtungsweise und ohne Kenntnis der globalen Rolle der Photosynthese zur Sauerstofferneuerung ist jedoch Humboldts Aussage, dass eine Anreicherung von CO₂ in der Atmosphäre „den nachtheiligsten Einfluss auf unsere Organe“ hätte, bemerkenswert. Sie ist womöglich aber durch seine negativen Erfahrungen aufgrund der eigenen Experimente erklärbar, die er bis zur körperlichen Schädigung durch die übermäßige Einatmung von Grubengasen durchgeführt hatte (Humboldt 1795).

Die Bildung von Sauerstoff durch Pflanzen bei Einwirkung von Sonnenlicht war durch Experimente von Nicolas-Théodore de Saussure (1804) beschrieben worden. Humboldt hat diese Versuche zur Sauerstoffbildung wiederholt, bestätigt und durch Variationen des Kohlendioxidgehaltes in einem abgeschlossenen Raum ergänzt. Er schreibt:

...Die Vegetabilen befinden sich am besten in einem Luftgemenge, dem 0.08 oder 0.12 allenfalls selbst 0,25 (aber nicht mehr) Kohlensäure beigemengt ist. In diesem Medium wird es bemerkbar, dass sie den Sauerstoffgehalt des Luftkreises vermehren (Humboldt 1799, S. 115 Fußnote **).¹²

12 Die Maßeinheit ist hier nicht benannt.

Die Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes in Gewächshäusern zur Steigerung des Pflanzenwachstums ist heute praktisch genutzter Standard, ebenso das Wissen darüber, dass es eine Obergrenze des wirksamen CO₂-Gehaltes gibt.

Humboldt hatte die pneumatische Chemie weit entwickelt, erkannte aber bald, dass die damals aufkommenden optischen Messmethoden weitaus genauer waren und neue Erkenntnisse erwarten ließen.

...Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt des Luftkreises können einst für die Theorie der Strahlenbrechung sehr wichtig werden, eine Theorie, die erst dann auf sicheren Basen gegründet seyn wird, wenn der Physiker sich mit dem Astronomen verbindet und wenn neben dem Thermometer und Barometer auch Hygrometer, Elektrometer, Eudiometer, Anthrakometer¹³, Cyanometer¹⁴ und Diaphanometer¹⁵ betrachtet werden (Humboldt 1799, S. 114).

Aus den Erfahrungen der Grubenwetter-Untersuchungen (Humboldt 1795) zieht Alexander von Humboldt eine weitere Schlussfolgerung, nämlich die für eine Anwesenheit von „Wasserstoff“ in der Atmosphäre (Humboldt 1799, S. 107, s. u.).¹⁶ Bei den nachfolgenden Betrachtungen der Humboldt'schen Experimente wird im vorliegenden Beitrag immer dann von Methan gesprochen, wenn die Entstehung des beschriebenen brennbaren Gases entweder auf geologische oder biologische Quellen zurückzuführen ist.

Humboldt verwendet nämlich unterschiedlich: *Hydrogène pesant*, schwerer Wasserstoff, gekohlter Wasserstoff, verkürzend in nur einem Artikel bei vergleichbaren Fakten manchmal auch nur *Hydrogène*. In anderen Zusammenhängen als denen der Gasmessung und Gasentstehung wird die Bezeichnung „Wasserstoff“ von Humboldt auch dann verwendet, wenn es sich um Reaktionen nach den damaligen theoretischen Vorstellungen zur Chemie handelt, die hier nicht einbezogen wurden.

Humboldt äußerte:

Vielleicht ist das Stickgas noch nicht einmal die leichteste Flüssigkeit in diesem heterogenen Gemische. An einem anderen Orte habe ich gezeigt, dass durch Versuche noch gar nicht entschieden, sondern wohl wahrscheinlich ist, ob nicht (wie allerdings wahrscheinlich) alles atmosphärische Stickgas etwas Wasserstoffgas enthält. (Humboldt 1799, S. 107).

Humboldt wusste, dass auch der „schwere Wasserstoff“ noch immer leichter als die Gas Mischung „Luft“ war und entsprechend nach oben steigen sollte. Er wusste um die unterschiedlichsten natürlichen Quellen der Methanbildung und vermutete, dass *hydrogène pesant* in geringen Konzentrationen im „Luftmeer“ enthalten sein müsste. Die exakte Bestimmung von

13 Anthrakometer (griech.), Instrument zur Bestimmung des Kohlensäuregehalts der Luft.

14 Cyanometer (griech.), Instrument zur Messung der Intensität der blauen Himmelsfarbe.

15 Diaphotometer (griech.), von Saussure genannter Apparat, um ein Maß für die Schwächung des Lichts durch die Atmosphäre zu erhalten.

16 Humboldt verwendete *Hydrogène pesant* = schwerer Wasserstoff. Bei dieser vollen Nennung ist zweifelsfrei Methan gemeint, das als ein Bestandteil von Faul- und Sumpfgas bereits bekannt war, dessen quantitative Zusammensetzung (CH₄) aber damals noch nicht erkannt wurde.

Methan besonders in den höheren Luftschichten ist erst im 20. Jahrhundert durch Infrarotspektroskopie vorgenommen worden. Wir wissen heute, dass Methan einen etwa 30fach höheren „Klimagas-Effekt“ hat als Kohlenstoffdioxid, berechnet auf die gleiche Masse und Zeit. Dieser Effekt steigert sich, wenn Methan und Wasserdampf als Aerosol gemeinsam vorhanden sind. Die Methan-Konzentration in der Erdatmosphäre hat sich vom Jahr 1750 bis zum Jahr 2000 von 0,08 Vol. % auf 0,175 Vol. % mehr als verdoppelt, wobei die obigen Randbemerkungen zur „globalen Mittelwertbildung“ und allgemein zur Datenerfassung sinngemäß ebenfalls für Methan gültig sind.

Es bedeutet eine erstaunliche Vorstellungskraft, wenn Humboldt darauf hinweist, dass auch die im Vergleich zu den Grundbestandteilen¹⁷ in der Atmosphäre sehr geringe vorindustrielle Menge von 0,028 Vol. % CO₂ einen großen Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften des Gasgemisches „Luft“ hat. Erwähnenswert ist auch, dass Humboldt nicht nur die geringe Konzentration im jeweiligen Luftvolumen „an sich“ betrachtet, sondern die in der Gesamtheit der Atmosphäre vorhandenen Gesamtmasse des Kohlendioxids. Wenn wir heute die CO₂-Emissionen in Gigatonnen berechnen, greifen wir auf eine Gesamtmassen-Betrachtung zurück.

Wenn Instrumente, welche die Bestandteile einer Mischung bis auf 1/400 oder 0.003 angeben, für optische Versuche wichtig sind, so verdienen sie gewiss nicht minder Aufmerksamkeit in physiologischer Hinsicht. Auf den ersten Anblick scheint es freilich gleichgültig, ob Dreitausentheile Kohlensäure mehr oder minder in dem Luftkreise enthalten sind, Aber nur für den ersten Augenblick! Ein Tausend Theil mehr macht in dem ungemessenen Luftraume, in so vielen Tausend Kubikmeilen Luft eine beträchtliche Masse – und diese Masse dient den Gewächsen als Nahrung, sie kehrt, den Thieren angeeignet, nach den Gesetzen des ewigen Kreislaufes in die Atmosphäre zurück (Humboldt 1799, S. 115).

Viele weitere von Humboldt exakt beobachtete und an den unterschiedlichsten Stellen niedergeschriebene Anmerkungen, Gedankensplitter oder Fragen zum „Dunstkreis“ und seiner Bedeutung lassen sich mit den heutigen chemischen und physikalischen Kenntnissen weitgehend erklären und kommentieren. Diese Aufgabe übersteigt jedoch den hier vorgegebenen Rahmen und könnte ein gesondertes Vorhaben sein. Einige der Beobachtungen sind in der nachfolgenden Tab. 1 zusammengefasst worden und wurden stichwortartig kommentiert.

Beobachtung/Beschreibung	Stichworte zur heutigen Erklärung
Erhöhter Sauerstoffgehalt über dem Meer	Photosynthetische Algen, CO ₂ -Löslichkeit
„Sauerstoffverbrauch“ von Erden/Gesteinen bei tiefen Temperaturen bzw. in großen Höhen, „leise Verbrennung“	Mikrobielle Aktivitäten, z. B. in Biofilmen
Grubenluftverbesserung durch Wasserbewegung	Selektive Löslichkeit von CO ₂
CO ₂ -Erniedrigung in Gruben durch „Schlagen mit Tannenreisern“	Wahrscheinlich übersättigte Aerosole
Oszillationen im CO ₂ -Gehalt der Luft	Wirkung der Tageszeit/Jahreszeit auf die Photosynthese

Tabelle 1: Auswahl von aus Gasmessungen gewonnenen Beobachtungen und Beschreibungen Alexander von Humboldts mit stichwortartigen Erklärungen aus heutiger Sicht

17 Heutige Luftzusammensetzung 78,084 % (N₂), 20,946 % (O₂) und 0,934 % (Ar), CO₂: 0.0385 % (= 0.028 vor Beginn der Industrialisierung).

3. Betrachtungen am Beispiel von Grubenwässern (Großer Meissner Erbstollen) und zum heutigen Zustand des Sees von Valencia

Während aus unserem heutigen Umweltverständnis die Kontaminationen des Grundwassers und der Oberflächengewässer die Gesundheit und sogar allgemein das Leben bedrohen, war zu Humboldts Zeiten die Betrachtungsweise eine andere. Wasser war einerseits die wichtigste Energiequelle zum Betreiben von Pumpen, Mühlen, Hammerwerken usw. und wichtigstes Transportmedium, andererseits war es ungebändigt zerstörend, gefährlich oder einfach nur störend und dort, wo nicht vorhanden, hemmend für die Weiterentwicklung der Landwirtschaft.

Die oben aufgeführten Beispiele aus dem Abschnitt „Boden“ sind sehr konkret und praxisbezogen immer auf das „Warum“ und „wie anwenden“ ausgerichtet.

Auch zum Themenkomplex „Wasser“ ließe sich die Reihe von interessanten und praktisch orientierten Beispielen, entstanden in den Freiburger und Fränkischen Jahren, fortsetzen und die damalige Deutungen und seinerzeit offenen Fragen – wie oben erwähnt – aus heutiger naturwissenschaftlicher Kenntnis ergänzen und diskutieren.

Aus den Humboldt'schen Arbeiten, in denen das Wasser eine zentrale Rolle spielt, sollen hier jedoch zwei sehr unterschiedliche Beispiele herangezogen werden: Das Beispiel des inhaltlich weitgehend kameralistisch ausgerichteten, aber die komplexen umweltrelevanten Zusammenhänge einbeziehenden Kommentars zum „Meissner Erbstollen“ und die Darstellung des heutigen Zustandes des mit dem Namen Humboldt eng verbundenen Sees von Valencia in Venezuela.

Aus Verbundenheit zu Freiberg hatte Alexander von Humboldt im Jahr 1833 ein Gutachten zum Plan des Königlich-Sächsischen Oberberghauptmannes Sigismund August Freiherr von Herder (1776–1838) angefertigt.

In den sächsischen Bergbauregionen musste mit zunehmend in die Tiefe gehendem Erzabbau das Wasser mit großem technischem Aufwand aus den Stollen gepumpt werden. Letztlich hing von einer Lösung dieses Problems die Zukunft der Bergwerksregion Freiberg ab. Der Plan Herders sah die Anlage eines rund 50 km langen Stollens von Freiberg nach Meissen zur Elbe vor. Dieser „einzige, den Bergbau der Freiberger Refier für die fernste Zukunft sichernde Betriebsplan“ einschließlich Humboldts Gutachten wurde nach dem Tode Herders veröffentlicht (Herder 1838).

Die Realisierung dieses „Jahrhundertwerks“ eines mehr als 50 km langen Stollensystems zur Elbe wurde mit etwas veränderter Streckenführung von 1844–1877 begonnen und 1895 als „Rothschönburger Stolln“ vollständig in Betrieb genommen (Abb. 4). Die Umsetzung des kostenintensiven und bautechnisch aufwändigen Herder'schen Projektes beruht letztlich auf der positiven Einschätzung von Alexander von Humboldt. In seinem Gutachten geht Humboldt von einer umfassenden Betrachtungsweise aus, so wie sie heute von der Technikfolgenabschätzung angestrebt wird.

Besonders wird von Humboldt hervorgehoben, dass durch die Anlage des Stollens für die mehr als

...5000 Berg- und Hüttenleute der Freiburger Refier zu erhalten, sondern auch die vielen Tausende von Einwohnern zu retten, deren Nahrungsstand von jenen abhängt, denen kein anderer Ersatz geboten werden kann (Humboldt bei Herder 1838, S. 113–124).

Er führt an gleicher Stelle weiterhin aus:

Neue Wege müssen ... eingeschlagen werden, um dem drohenden Uebel, das die Verarmung einer arbeitsamen und überaus achtbaren Menschenklasse zur unmittelbaren Folge haben wird, baldigst zu widerstehen.

Humboldt beschreibt im Gutachten aus der Beobachtung seiner Reisen die bis heute gültige Tatsache: „Wie elend sind Gegenden, wo ein einst blühender Bergbau aufgehört hat!“ (l. c.)

Nach diesen zentralen und an den Anfang des Gutachtens gestellten soziologischen „Folgeabschätzungen“ werden die seinerzeit international üblichen Verfahren des Wasserabpumpens durch leistungsfähige große Dampfmaschinen verglichen und im Hinblick auf eine zukünftige technische Entwicklung und des Brennstoffbedarfes hin nicht zur Anwendung empfohlen. Humboldt stellt heraus, dass ungeachtet der unmittelbar anfallenden Baukosten langfristig gesehen der Stollenbau über Jahrzehnte hin die empfehlenswerte Variante der Entwässerung ist. Ausführliche geologische Betrachtungen, Kostenrechnungen usw. dringen bis in die Details des geplanten Baus ein.

Humboldts vorsichtig geäußerten Zweifel an der Ergiebigkeit der Silbervorkommen wurden später durch die Praxis bestätigt: 1913 wurde der Silberbergbau in Freiberg eingestellt. Der Rothschönberger Stollen ist trotz der kurzen Zeit der Wirksamkeit in die internationale Bergbaugeschichte eingegangen. Dieses herausragende bergbautechnische Bauwerk existiert bis heute, wird in Stand gehalten und hat seine Bedeutung zur Grubenentwässerung und für den regionalen Wasserhaushalt behalten. Es trägt mit dazu bei, dass Freiberg heute von den Hochwasserereignissen der Mulde verschont bleibt.

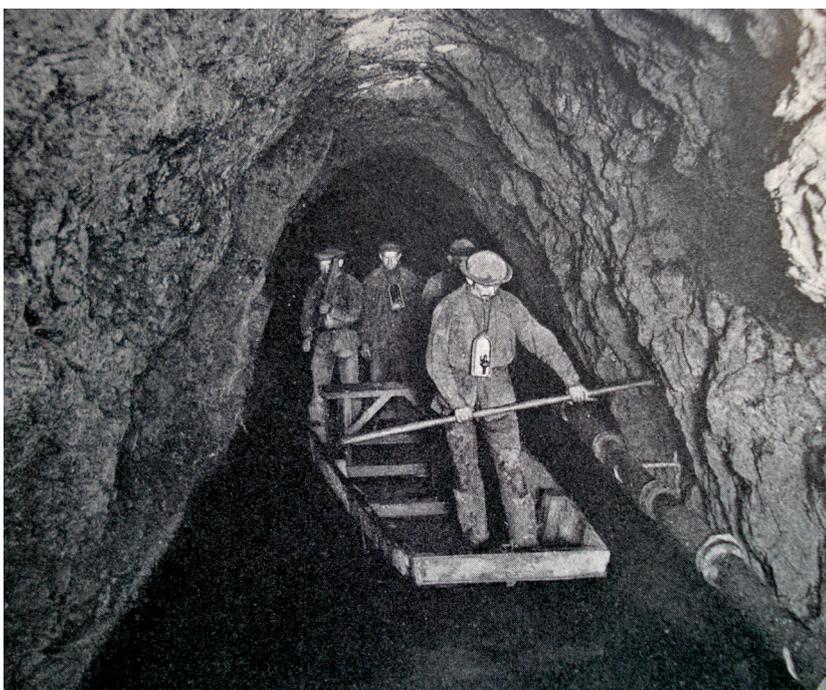


Abb. 4: Kahnfahrt im Freiburger Revier zum Ende des 18. Jahrhunderts (aus Berdrow 1901)

Das zweite Beispiel zum Komplex „Wasser“ bezieht sich auf die oft zitierten Arbeiten zum See von Valencia in Venezuela. Humboldts Beschreibungen aus dem Jahr 1800 werden als Beispiele eines ersten Umweltdenkens (Weigl 2001, Weigl 2004) und als der Beginn der physischen Geographie angesehen.

Die Ursachen für das Absinken des Wasserspiegels wurden von Humboldt erkannt und die Neueinstellung eines Gleichgewichts zwischen Wasserverlust- Wasserentnahme und Wasserzufluss vorausgesagt. Es ist bis heute schwierig, verlässliche Vergleichsdaten über die Veränderung des Seespiegels heranzuziehen, da dieser von 1800 bis 1975 stetigen Schwankungen unterworfen war. Ein feststehender Wert ist die Angabe von 427 m, da in dieser Höhe der natürliche Abfluss des Sees liegt. Nach dem Absinken auf diesen Wert wurde der See abflusslos (endorheisch).

Zwischen 1750 und 1975 ist der Wasserspiegel insgesamt um 22 m (auf 405 m) gesunken, die Fläche des Sees hat sich in dieser Zeit um 40 % verringert.

Ab 1975 begann das Wachstum der beiden im Einzugsgebiet liegenden Städte Valencia und Maracay. Valencia hat heute rund 1.2 Mio. Einwohner, Maracay 394.000. Im gesamten Valenciabecken leben derzeit 3.5 Mio. Einwohner, im Großraum um den Valencia-See 6 Mio.¹⁸ (Abb. 5)

Industrie und Einwohner werden durch Fernwasserleitungen aus den Bergen mit Trinkwasser versorgt. Es ist kaum vorstellbar, aber Realität: nahezu die gesamten Abwässer gelangen in den Valencia-See, zu einem großen Teil ohne jede Abwasserbehandlung.

Seit Beginn der Herausbildung eines Ballungsraumes steigt dadurch der Wasserspiegel des Sees wieder. Überflutungen von bisher besiedelten Uferbereichen führen zum Verlust an landwirtschaftlicher Fläche.

In einer Studie über die Kontamination des Sees¹⁹, sind nur wenige exakte Daten enthalten. Als Hauptverursacher der Wasserbelastung wird die an den Flüssen angesiedelte Industrie angegeben, deren Verhalten derzeit nicht zu beeinflussen ist. Es wird angeregt, dass die Anwohner nur biologisch abbaubare Waschmittel verwenden sollten.

Sehr viel ausführlicher und mit dringlichen Empfehlungen zur Situationsverbesserung versehen ist ein UN-Report (Anonym 2011). Eine Liste der im Seewasser nachgewiesenen Kontaminationen und deren hauptsächliche gesundheitlichen Wirkungen sind in Tab. 2 gegeben:

Kontamination	Wirkungen
Aluminiumsalze	Alzheimer, allgemein Nervenerkrankungen
Fäkal- und andere Bakterien	Magen-Darm-Erkrankungen
Synthetische Waschmittel	Dermatologische Erkrankungen
Organische Halogenverbindungen	Kanzerogene Wirkungen

Tabelle 2: Wasserkontaminationen des Valencia-Sees

18 Nach <https://en.wikipedia.org>.

19 http://www.monografias.com/trabajos5/contvalen/contvalen.shtml#_Toc483277145.

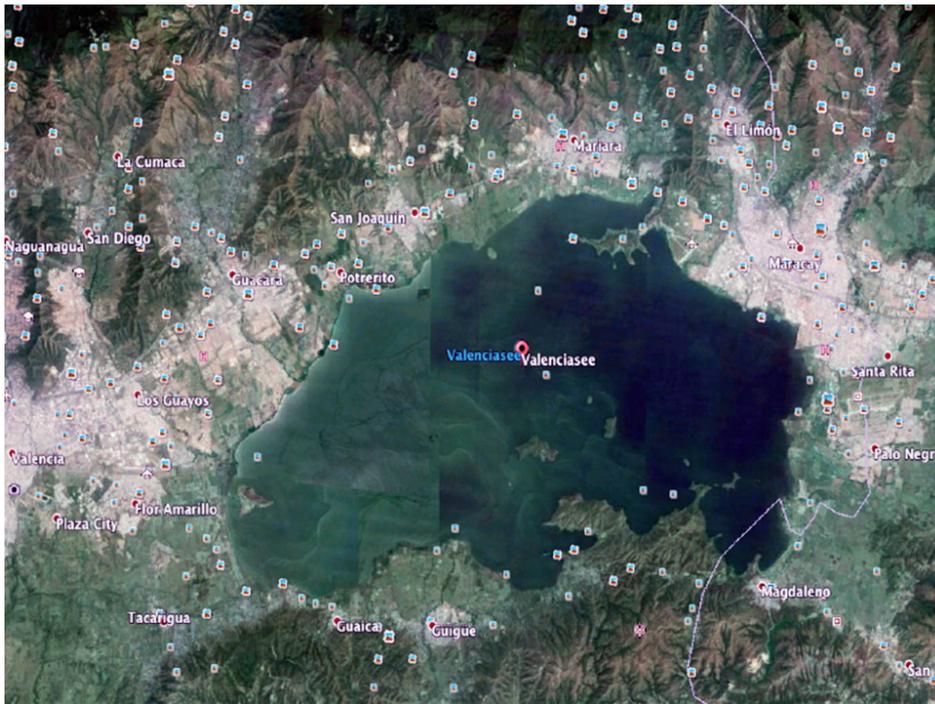


Abb. 5: Der See von Valencia in Venezuela im Jahre 2016. Man erkennt die entwaldeten Berge, die dichte Besiedlung um den See und die grünlichen Fahnen des Algenwachstums (Eutrophierung) innerhalb des Sees. (Google Earth)

Der See von Valencia gehört heute zu den am meisten belasteten Binnengewässern dieser Größe weltweit. Ausmaß und Art der Wasserbelastungen sind extrem. Die Tatsache, dass der See keinen Abfluss hat und der Abwasser-Zufluss weiterhin anhält, lässt eine ökologische Katastrophe erwarten. Es besteht die realistische Gefahr, dass der See durch Sauerstoffmangel in einen anaeroben Zustand gelangt, aus dem bisherigen Gleichgewicht kommt und damit in eine neue Qualität umschlägt. Beispiele für derartige tote Gewässer gab es in Deutschland im Ruhrgebiet und in Mitteldeutschland.

Von der Regierung Venezuelas wurden langfristige Pläne zur Abwassereinigung und Entlastung des Sees ausgearbeitet, die wahrscheinlich durch die derzeitige politische Situation kaum umsetzbar sind.

Der See von Valencia ist damit bis heute ein herausgehobenes ökologisches Beispiel geblieben, jedoch mit völlig anderen Einflussgrößen als zur Zeit Humboldts und in einer Art und Weise, die sich damals hätte niemand vorstellen können.

Schlussbemerkungen

Die Umwelt der Humboldt-Zeit ist mit der heutigen und ihren aktuellen globalen Problemen wenig vergleichbar. Von Humboldt sind jedoch bereits einige bis heute gültige Zusammenhänge ausgesprochen worden. Beispiele dazu wurden in den vorherigen Kapiteln genannt und erläutert.

Den wesentlichen umweltrelevanten Fakt mit globaler Auswirkung konnte Humboldt nicht voraussehen: Das Wachstum der Erdbevölkerung. Um 1800 lebten auf der Erde weniger als

1 Milliarde Menschen. Die heutige Weltbevölkerung von etwa 7,5 Milliarden Menschen und die globalen Vernetzungen eines auf ungebremstes Wachstum hin orientierten Wirtschaftssystems sind die bekannten Ursachen der globalen Umweltprobleme einschließlich Klimaerwärmung.

Die auf Umweltfragen ausgerichtete Wissenschaft bearbeitet im Katalog ihrer aktuellen Forschungsthemen Disziplinen übergreifende komplexe Fragestellungen, die die Einheit von Ökologie und Ökonomie anstreben, auf das frühzeitige Erkennen von Auswirkungen neuer Technologien ausgerichtet sind und eine globale Betrachtungsweise berücksichtigen.

Alexander von Humboldt hat – wie im Nebenbei – zusammengefasst, was zeitlos für Umweltforschung und generell für Umweltfragen gültig ist. Dieser Satz soll als passender Abschluss zitiert werden:

In Gegenständen von so großer Wichtigkeit (denn was ist uns näher als das Medium, in dem wir leben?) muss man sich hüten, den Untersuchungsgeist dadurch niederzuschlagen, dass man die allzufrüh gezogenen Resultate für apodiktisch gewiss hält (Humboldt 1799, S. 107).

Literatur

Albrecht, H. (2012): *Umsetzungsstudie Hüttenkomplex Halsbrücke. Festlegung und Definition der Welterbereiche und Pufferzonen im Rahmen des Projekts „Projektgruppe UNESCO-Welterbe Montanregion Erzgebirge“*. Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte der TU Bergakademie Freiberg. SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH.

Anonym (2016): Wikipedia – Stichwort: Rothschönberger Stolln, Verlauf des Rothschönberger Stollns. URL: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Rothschönberger_Stolln&oldid=161166505 (zuletzt geprüft am 21.12.2017).

Anonym (2011): *UN Report VENEZUELA, Universal Periodic Review*. Twelfth Session of the UPR Working Group, October 2011.

Berdrow, W. (1901): *Buch der Erfindungen*. Leipzig, Spamer.

Brand, F. L. (2002): *Alexander von Humboldts physikalische Meßinstrumente und Meßmethoden*. Berliner Manuskripte zur Alexander von Humboldt-Forschung 18. Berlin, Alexander von Humboldt-Forschungsstelle.

Büsching, A. F. (1780): *Beschreibung seiner Reise von Berlin nach Kyritz in der Prignitz, welche er vom 26ten September bis 2ten Oktober 1779 verrichtet hat*. Leipzig, Johann Gottlob Immanuel Breitkopf.

Freiesleben, C. (1830): Aus dem frühern Leben Alexander von Humboldts (1826). *Zeitgenossen. Ein biographisches Magazin für die Geschichte unserer Zeit* 2 (9), o. S.

Heinz, Ch. von (o. J.): *Schloss Tegel*. DKV Kunstführer Nr. 150/1, 10. Auflage. München, Deutscher Kunstverlag.

Herder, S. A. W. von (1838): *Der tiefe Meissner Erbstilln. Der einzige, den Bergbau der Freyberger Refier für die fernste Zukunft sichernde Betriebsplan. Nebst einer geognostischen Karte, einem Profil- und einem Grund-Risse*. Leipzig, F.A. Brockhaus. Beilage No. XII, Seiten CXIII–CXXIV: Alexander von Humboldts Gutachten über die Herantreibung des Meissner Stollns in die Freiberger Erzrefier.

Holl, F./Schulz-Lüpertz, E. (2012): *„Ich habe so große Pläne dort geschmiedet ...“ – Alexander von Humboldt in Franken*. Fränkische Geschichte 18. Gunzenhausen, Schrenk Verlag.

- Hülsenberg, D./Schwarz, I. (Hrsg.) (2016): *Alexander von Humboldt. Gutachten und Briefwechsel zur Glasherstellung 1792–1797*. Beiträge zur Alexander von Humboldt-Forschung 45. Berlin, De Gruyter.
- Hülsenberg, D./Schwarz, I. (Hrsg.) (2014): *Alexander von Humboldt. Gutachten und Briefe zur Porzellanherstellung 1792–1795*. Beiträge zur Alexander von Humboldt-Forschung 42. Berlin, De Gruyter.
- Hülsenberg, D./Schwarz, I./Knobloch, E./Werther, R. (Hrsg.) (2012): *Alexander von Humboldt. Gutachten zur Steingutfertigung in Rheinsberg 1792*. Beiträge zur Alexander von Humboldt-Forschung 35. Berlin, Akademie-Verlag.
- Humboldt, A. von (1792): Versuch über einige physikalische und chemische Grundsätze der Salzwerkskunde. *Bergmännisches Journal* 5 (1), o. S. Zitiert nach: Watznauer, A. (1960): Alexander von Humboldt und der Freiburger Kreis. *Freiberger Forschungshefte D33*, Kultur und Technik, Teil 1, S. 11–28, Zitat S. 26.
- Humboldt, A. von (1795): Ueber Grubenwetter und die Verbreitung des Kohlenstoffs in geognostischer Hinsicht. *Chemische Annalen für die Freunde der Naturlehre, Arzneigelahrtheit, Haushaltungskunst und Manufakturen* 2, S. 99–119.
- Humboldt, A. von (1799): *Versuche über die chemische Zerlegung des Luftkreises und über einige andere Gegenstände der Naturlehre*. Braunschweig, Friedrich Vieweg. Zitiert nach Reprint-Ausgabe, hrsg. von H. A. Gerstenberg, Hildesheim 1976.
- Humboldt, A. von (1849): *Ansichten der Natur*. Mit wissenschaftlichen Erläuterungen. 3. Auflage. Stuttgart, Verlag der J.G. Cotta'schen Buchhandlung.
- Humboldt, A. von (1973): Brief an Haldenleben vom 5. Juni 1792. In: Ders.: *Die Jugendbriefe Alexander von Humboldts 1787-1799*. Hrsg. von I. Jahn und F. G. Lange. Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung 2. Berlin, Akademie-Verlag, S. 192.
- Keller, H. (1786): Tableau von Freyberg. Frankfurt und Leipzig, S. 19. Zitiert nach: Schellhas, W. (1960), S. 79.
- Klencke, H./Kühne, H. Th./Hintze, E. (Hrsg.) (1882): *Alexander von Humboldts Leben und Wirken, Reisen und Wissen*. Leipzig und Berlin, Otto Spamer.
- Klein, U. (2015): *Humboldts Preußen. Wissenschaft und Technik im Aufbruch*. Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Klein, U. (2016): Alexander von Humboldt – Vater der Umweltbewegung? In: *Achtsamer Umgang mit Ressourcen und miteinander – gestern und heute. Abhandlungen der Humboldt-Gesellschaft für Wissenschaft, Kunst und Bildung e. V.*, S. 115–127.
- Leeuwenhoek, A. van/de Graaf, M. R. (1673): A specimen of some observations made by a microscope, contrived by M. Leewenhoek in Holland, lately communicated by Dr. Regnerus de Graaf (engl. Translation). *Philosophical Transactions* January 1, 8 (94), S. 6037–6038. DOI: 10.1098/rstl.1673.0017 (zuletzt geprüft am 21.12.2017).
- Linné, C. (1758): *Systema naturae*. Tomus I, Editio Decima. Holmiae, Impensis Direct Laurentii Lavii.
- Pasteur, L. (1922): Fermentations et generations dites spontanées. In: Pasteur, V.-R. (Hrsg.): *Oeuvres de Pasteur*, Bd. II. Paris, Masson et Cie.
- Rayleigh, J./Ramsay, W. (1896): *Argon, a new constituent of the atmosphere*. Washington D.C., Smithsonian Institution.
- Saussure, N. Th. de (1890): Chemische Untersuchungen über die Vegetation (1804). Erste Hälfte. In: Ostwald, W. (Hrsg.): *Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften*, Bd. 15. Leipzig, Wilhelm Engelmann.

- Schellhas, W. (1960): Alexander von Humboldt. Seine Bedeutung für den Bergbau und die Naturforschung. *Freiberger Forschungshefte Kultur und Technik* D33, S. 29–108.
- Schuster, J. (1928): Alexander von Humboldts wissenschaftliche Anfänge. *Archiv für Geschichte der Mathematik, der Naturwissenschaften und Technik* 10 (NF 1), S. 303–327.
- Sieber, S. L. (1954): *Zur Geschichte des erzgebirgischen Bergbaues*. Halle/Saale, Wilhelm-Knapp-Verlag.
- Stottmeister, U./Wendlandt, K. D. (2004): Das technische Potenzial ungewöhnlicher Prokarioten: Methanoxidierende Bakterien. *Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften. Technikwissenschaftliche Klasse* 1, Heft 2, S. 7.
- Stottmeister, U. (2016): Beschreiben und Verändern. Umweltgedanken bei Alexander von Humboldt. *Acht-samer Umgang mit Ressourcen und Miteinander – gestern und heute*. Abhandlungen der Humboldt-Gesellschaft für Wissenschaft, Kunst und Bildung e.V. 37, 49–81.
- Watznauer, A. (1960): Alexander von Humboldt und der Freiberger Kreis. *Freiberger Forschungshefte Kultur und Technik* D33, S. 11–28.
- Weigl, E. (2001): Alexander von Humboldt and the beginning of the Environmental Movement. *HiN – Alexander von Humboldt im Netz. Internationale Zeitschrift für Humboldt-Studien* 2 (2). DOI: 10.18443/15 (zuletzt geprüft am 21.12.2017).
- Weigl, Engelhard (2004): Wald und Klima: ein Mythos aus dem 19. Jahrhundert. *HiN – Alexander von Humboldt im Netz. Internationale Zeitschrift für Humboldt-Studien* 5 (9), S. 80–99. DOI: 10.18443/54 (zuletzt geprüft am 21.12.2017).
- Wilson, G. (1851): *The life of Henry Cavendish. Including Abstracts of His More Important Scientific Papers*. London, Cavendish Society.