

Peter Kühn

Alexander von Humboldt und die innere Wärme der Erde

Seit frühester Jugend ist *Alexander von Humboldt* (1769–1859) umfassend auf sein späteres Leben vorbereitet worden. Das betrifft den Privatunterricht gemeinsam mit seinem Bruder *Wilhelm von Humboldt* (1767–1835) der Berliner Zeit, die Studienaufenthalte in Frankfurt (Oder), Göttingen, Hamburg und Freiberg. Dazu zählen insbesondere von Seiten der physikalischen Geräte die in Mode gekommenen Thermometer. Zu einer Zeit, als noch nicht klar zwischen Wärme und Temperatur unterschieden war, man noch über Wärmestoff und die Wärmeparameter der Medien (Luft, Erde, Wasser ...) spekulierte, ergab sich für *Humboldt* während seines Studiums 1791/92 in Freiberg die Möglichkeit, die „wärmeleitende Kraft“ (Wärmeleitfähigkeit) verschiedenster Materialien zu untersuchen und Grubenlufttemperaturen in größeren Tiefen und an der Erdoberfläche zu messen. Diese mit *Johann Carl Freiesleben* (1774–1846) durchgeführten Messungen sind die ersten geothermischen Messungen in einem Freiburger Bergwerk und zugleich eine wesentliche Grundlage für die Umwelt der von *Humboldt* in Freiburger Bergwerken untersuchten „unterirdischen Pflanzen“, von seinem Bruder *Wilhelm* insgesamt als „Unterirdische Meteorologie“ bezeichnet und zwar in der Vorrede zu *Humboldts* Buch: „Ueber die unterirdischen Gasarten ...“ (*Humboldt* 1799). *Humboldt* hatte dieses umfangreiche Werk in Salzburg und Paris erarbeitet und es stellt eine Zusammenfassung seiner Erfahrungen über die Grubenwetter in allen von ihm besuchten Bergwerken dar. Insbesondere stellt er seine Erfindung einer Sicherheitslampe für Bergleute zum Aufenthalt in nicht atembarer Luft vor, die als so genannte „*Humboldt*-Töpfe“ in zwei Exemplaren an der TU Bergakademie Freiberg heute noch vorhanden sind. Der erste Teil behandelt ausführlich *Humboldts* bis 1799 durchgeführte unterirdische Temperaturbeobachtungen in den damals nicht sehr tiefen Bergwerken und Stollen und vermittelt einen Überblick über solche Beobachtungen aus verschiedenen Regionen:

„In den Bergwerken sah ich aber die Hitze nie über 28°R steigen, und die gewöhnliche unterirdische Wärme (von 8° bis 15°) ist die, welche der Lichtentbindung sonst am günstigsten zu seyn scheint.“ (*Humboldt* 1799, S. 71)

Ausführlich geht er auf die „nirgends so lange und so sorgfältigen Thermometer-Beobachtungen angestellt als in den Kellern der National-Sternwarte zu Paris“ ein:

„Das große Thermometer welches der unsterbliche Lavoisier verfertigen ließ, enthält mehrere Pfund Quecksilber. Jeder Grad hat eine Länge von 4,3 Zoll, und man unterscheidet sehr genau an einer Glas-Scale 0,001 eines Reaumurschen Grades.“ (Humboldt 1799, S. 82)

Die Messungen erfolgten seit 1680. Die mittlere Temperatur beträgt 9,6°R; der Jahresgang beträgt 0,03 Grad. Da die Temperaturmessungen im Kalkgebirge unter der Sternwarte in einer abgeschlossenen Kammer in 13 Lachter (84 Fuß) Tiefe erfolgen, benennt *Humboldt* diesen Temperaturwert als „Central- oder innere Erdwärme“.

Nach einer Zusammenstellung von unterirdischen Temperatur-Beobachtungen: Freiberg: 9° bis 10°; Wunsiedel: nie über 8°; Wieliczka: 10°; Joachimsthal: 10°; am Harze: 10° bis 12°; Balmshöle: 9,5°; Berchtolsgaden: 8° bis 9°; zu Ischl, Halstadt und zu Aarau: 9,9°; in Custoza bey Vicenza 9.6°... weist *Humboldt*

„[...] auf die geringe Wärmeleitungskraft der trockenen Gesteinsschicht und auf die geringe Tiefe, zu der sich die Temperatur-Veränderungen bemerkbar fortpflanzen“ hin. [...]

„Allgemeine Erfahrungen belehren uns, daß die Temperatur der oberen Erdschichten (der Wohnplatz der Pflanzen und Thiere) fast ganz unabhängig von der Temperatur der unteren Schichten ist.“ (Humboldt 1799, S. 91ff.)

Ausgehend von diesen sich sehr ähnlichen Temperaturwerten (8° bis 10°; in den nicht sehr tiefen Bergwerken) diskutiert *Humboldt* die seitens *Antoine de Gasanne* (1738–1780) beobachtete Wärmezunahme mit der Tiefe der Erdschichten in den Bergwerken von Giromagnie:

„Die zu Giromagnie bemerkte Temperatur-Zunahme müßte für das Erdzentrum zu einer Glühhitze führen, welche die Buffonschen Hypothesen weit übersteigen.“

Diese Temperaturzunahme

„[...] wird durch alle neueren Versuche widerlegt. Die Tiefe, zu der wir mit einem Schachte eindringen, ist so unbedeutend, daß sie keine Temperaturerhöhung von 0,000001 Grad begründen kann. Ja! betrüge sie auch 0,5° so würde sie doch [...] für uns verschwinden.“ (Humboldt 1799, S. 103f.)

Soweit also *Humboldts* Kenntnisstand zur Geothermie vor Antritt seiner Amerikareise.

Humboldt beschaffte sich eigene Thermometer mit Unterstützung seines Freundes *Freiesleben*, als er in (Bad) Steben Verantwortung für den Bergbau

übernahm und auf allen seinen bergmännischen und sonstigen Reisen sind auch seine Thermometer ständige Begleiter. *Humboldt* gelingt es jedoch, erste Gesetzmäßigkeiten der Temperaturverteilung auf der Erde zu erkennen, er führt hierfür isotherme Linien ein, untersucht die Temperaturabnahme mit der Höhe und in allen ihm zugänglichen Tiefen (in Seen, im Meer, in Tunneln und in Bergwerken). Als später immer tiefere Bohrungen die Möglichkeiten für Tiefentemperaturmessungen boten, war *Humboldt* unermüdlich bestrebt, solche Temperaturmessungen anzuregen (nachgewiesen für die Bergwerke und Tiefbohrungen [Salinebohrungen] des Preußischen Staates und für die Bergwerke Sachsens) und die Ergebnisse international auszutauschen. Die erste geologisch stark orientierte „Wärmelehre des Inneren unseres Erdkörpers“ von *Gustav Bischof* (1792–1870) in Bonn ist 1837 mit Recht „dem großen Geologen Herrn Freiherrn Alexander von Humboldt, dem umsichtigen Begründer und unermüdeten Beförderer unserer Kenntnisse von den Temperatur-Verhältnissen der Erde“ gewidmet. In der ersten globalen Zusammenstellung von „Underground Temperatures“ der Royal Society aus dem Jahre 1885 von *Joseph Prestwich* (1812–1896) mit einer Liste von 231 Orten belegen *Humboldts* Freiburger Werte und die seiner Amerikareise die vordersten Positionen.

Die reifen Vorstellungen *Humboldts* über die innere Wärme der Erde sind im KOSMOS niedergelegt. Im Ersten Band (1845), im Abschnitt „Naturgemälde. Allgemeine Uebersicht der Erscheinungen“ gibt *Humboldt* in Anmerkung Nr. 124 (S. 80f.) eine Zusammenstellung der größten absoluten und relativen Tiefen der Grubenbaue und Bohrlöcher an, wobei hier nur auf die Bohrung Neusalzwerk verwiesen sei, die 1844 eine absolute Tiefe von 2094 $\frac{1}{2}$ Pariser Fuß (680 m) erreichte.

„Die Temperatur des Wassers im Tiefsten stieg damals auf 32°,7 cent., was bei der Annahme von 9°,6 mittlerer Luftwärme eine Wärmezunahme von 1° auf 29^m,6 giebt.“

Humboldt verweist auf weitere Beispiele aus aller Welt und „auf die vortrefflichen analytischen Arbeiten [...]“ von *Jean-Baptiste-Joseph de Fourier* (1768–1830), *Jean-Baptiste Biot* (1774–1862), *Pierre Simon Laplace* (1749–1827), *Simeon Denis Poisson* (1781–1840) u.a., die sich mit den physikalischen Grundlagen der Wärmeverhältnisse auseinandersetzen. *Humboldt* beschreibt „die unterirdische Wärme als eine allverbreitete Naturmacht, als eine Reaktion des Inneren gegen das Äußere des Erdkörpers“ wie es sich in heißen Quellen, vulkanischen Prozessen und Erdbeben zeigt. Die mit der Tiefe zunehmende Wärme im Inneren des Planeten ist für ihn selbstverständlich, wobei

„[...] wir nicht mit Sicherheit bestimmen können, in welchen Tiefen die Gebirgsschichten als zäherweicht oder geschmolzen flüssig betrachtet werden sollen.“

Im Vierten Band geht *Humboldt* nochmals zusammenfassend auf die „Innere Wärme des Erdkörpers und Vertheilung derselben“ ein. Er steht hier vollständig auf vulkanistischer Position:

- die Erde war ursprünglich flüssig und heiß,
- ihre Oberfläche hat sich bis auf die heutige Temperatur abgekühlt,
- die Temperatur der Erde hat einen stabilen Zustand erreicht,
- die Temperatur nimmt mit der Tiefe ununterbrochen zu, was für beträchtliche Tiefen nachgewiesen wurde, z.B. durch die Wärme der Wasser artesischer Brunnen, durch Gesteinstemperaturmessungen in Bergwerken und die vulkanische Tätigkeit.

Humboldt berechnet die Tiefe der beginnenden „Schmelzhitze des flüssigen Erdinnern“ auf etwa 40 km. Es standen zur damaligen Zeit nur sehr wenige Messungen über eine Temperaturzunahme mit der Tiefe zur Verfügung (geothermische Tiefenstufe X in: m/1 K)

Grenelle/Paris	32 m	Neusalzwerk/Minden	29,6 m
Pregny/Genf	29,6 m	Jakutzk – Dauerfrostboden	22 ... 26 m

Doch zeichnet sich die Größenordnung dieser Temperaturzunahme bereits deutlich ab. Einige Jahrzehnte nach *Humboldt* wurden diese Werte in der ersten über 1.000 m tiefen Bohrung Sperenberg (bei Berlin) mit ca. 30°C/km bestätigt. (vgl. Kühn 1986).

Humboldt hat sich ein tiefes Verständnis der Erscheinung Erdwärme erarbeitet. Er erkennt auch bereits den Wärmefluss durch die Erdoberfläche, ohne dafür eine Größenordnung angeben zu können.

Von den vielen unterschiedlichen Thermometern, die *Humboldt* im Laufe seines Lebens besessen hat, ist nur ein kleines Reisethermometer erhalten geblieben, welches er auf seiner Amerikareise in Honda am Rio Magdalena zum Geschenk erhalten hatte und das er *Balduin Möllhausen* (1825–1905) für dessen dritte Amerikareise geschenkt hatte (vgl. Holl 1999, Abb. S. 61)¹ – doch das ist eine weitere spannende Geschichte.

Natürlich hat sich *Humboldt* nicht nur intensiv mit Thermometern und ihren Anwendungen befasst. In seinen KOSMOS-Vorlesungen an der Berliner Sing-Akademie verweist er auf vier Werkzeuge,

1 Die Bildunterschrift lautet: Reisethermometer von Cary, London, um 1800, eines der wenigen noch existierenden Originalinstrumente Humboldts. Er schenkte es dem Reiseschriftsteller Möllhausen.

„[...] welche die Fortschritte der Wissenschaft merkwürdig gefördert haben: das Fernrohr, das Thermometer, das Barometer, und wenn es erlaubt ist eine der schönsten Entdeckungen ein Organ zu nennen, die Infinitesimal-Rechnung.“ (Humboldt 2019, S. 234)

Literaturauswahl

- Bischof, G. (1837): Die Wärmelehre des Inneren unseres Erdkörpers. Ein Inbegriff aller mit der Wärme in Beziehung stehender Erscheinungen in und auf der Erde. Nach phys., chem. und geol. Untersuchungen. – Alexander von Humboldt gewidmet. Leipzig
- Gerhard, J. C. L. (1831): Beobachtungen über die Temperatur im Inneren der Erde, angestellt auf verschiedenen Bergwerken im Preußischen Staate. In: Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Vol. 22. Berlin, S. 497–533
- Holl, F. (Red.) (1999): Alexander von Humboldt. Netzwerke des Wissens (Hg.: Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland GmbH). Bonn
- Humboldt, A. v. (1799): Ueber die unterirdischen Gasarten und die Mittel ihren Nachtheil zu vermindern. Ein Beytrag zur Physik der praktischen Bergbaukunde. Braunschweig
- Humboldt, A. v. (2004): KOSMOS Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Frankfurt/M.
- Humboldt, A. v.; Kohlrausch, H. (2019): Die Kosmos-Vorlesung an der Berliner Sing-Akademie. Berlin
- Kühn, P. (1986): Die wissenschaftliche Bedeutung der Bohrung Sperenberg bei Berlin. In: Fundgrube, Berlin XXII, Heft 1, S. 12ff.
- Prestwich, J. (1886): On Underground Temperatures with Observations on the Conductivity of Rocks; on the Thermal Effects of Saturation and Imbibition: and on a Special Source of Heat in Mountain Ranges. In: Proceedings of the Royal Society, XLI. London, S. 1–116
- Reich, F. (1834): Beobachtungen über die Temperatur des Gesteins in den Gruben des Sächsischen Erzgebirges in den Jahren 1830–1834. Freiberg