

## Artikel erschienen in:

Ottmar Ette, Eberhard Knobloch (Hrsg.)

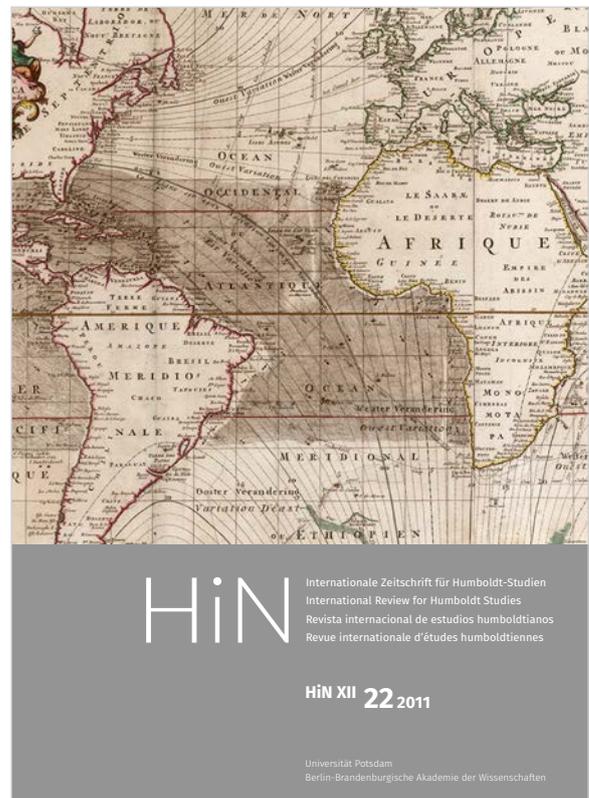
### HiN : Alexander von Humboldt im Netz, XII (2011) 22

2011 – 90 p.

ISSN (print) 2568-3543

ISSN (online) 1617-5239

URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-57503



### Empfohlene Zitation:

Karin Reich: Alexander von Humboldt und Carl Friedrich Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus, In: Ette, Ottmar; Knobloch, Eberhard (Hrsg.). HiN : Alexander von Humboldt im Netz, XII (2011) 22, Potsdam, Universitätsverlag Potsdam, 2011, S. 35–55.

DOI <https://doi.org/10.18443/154>

Soweit nicht anders gekennzeichnet ist dieses Werk unter einem Creative Commons Lizenzvertrag lizenziert: Namensnennung 4.0. Dies gilt nicht für zitierte Inhalte anderer Autoren:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.de>



# Karin Reich

## Alexander von Humboldt und Carl Friedrich Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus

### *Abstract*

Though Alexander von Humboldt was motivated for the first time to deal with earthmagnetism during his stay in Freiberg, it was in France that he really became a specialist in this respect. During most of his journeys he made earthmagnetic measurements. His collaboration with Arago was of great importance, it was in Paris that the first magnetic observatory was built. Humboldt rendered outstanding services to the investigation of earth magnetism by two major achievements: 1. He emphasized intensity measurements and 2. he put forward the law that the magnetic intensity is increasing from the magnetic equator toward the magnetic poles. At least since 1803 Carl Friedrich Gauss was interested in earthmagnetism and especially in Humboldt's early published data. That Wilhelm Weber became professor of physics at the University of Göttingen in 1831 was a turning point for Gauss. In 1833 Göttingen was the centre of investigating earthmagnetism, a new era began which lasted only until 1843. Gauss' main contributions were more or less theoretical, in 1832/3 he transformed Humboldt's relative intensity measurements into absolute ones which were independent of the instrument's needle. A new epoch began with Gauss' publication „Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus“ (1839). The main point was the newly defined notion of „potential“. Gauss was the first to present the surface of the earth with equipotential lines.

### *Zusammenfassung*

Alexander von Humboldt hatte sich bereits in Freiberg mit dem Erdmagnetismus beschäftigt; jedoch erst in Frankreich lernte er die entsprechenden Beobachtungsmethoden kennen. Auf allen seinen Reisen machte er erdmagnetische Messungen. Seine Zusammenarbeit mit Arago in Paris war besonders fruchtbar, hier wurde das erste magnetische Observatorium gebaut. Humboldt beschäftigte sich vor allem mit Intensitätsmessungen; sein wichtigster Beitrag war die Feststellung, dass die magnetische Intensität vom magnetischen Äquator bis hin zu den Polen zunimmt. Carl Friedrich Gauß interessierte sich seit mindestens 1803 für den Erdmagnetismus; vor allem trachtete er danach, die Humboldtschen Messergebnisse zu bekommen. Als im Jahre 1831 Wilhelm Weber als Professor der Physik nach Göttingen berufen worden war, war dies ein Wendepunkt für Gauß. Bereits 1833 war Göttingen zum Zentrum für erdmagnetische Forschungen geworden; eine neue Ära begann, welche allerdings nur bis 1843 währte. Gauß' wichtigste Beiträge waren theoretischer Natur; zunächst stellte er Humboldts relative Intensitätsmessungen auf absolute Messungen um, die unabhängig von der jeweils gebrauchten Magnetnadel waren. Mit Gauß' Publikation „Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus“ (1839) begann eine neue Epoche. Der springende Punkt war der neu definierte Terminus „Potential“. Gauß präsentierte erstmals das Bild der Erdoberfläche mit Äquipotentiallinien.

## 1. Alexander von Humboldts und Carl Friedrich Gauß' erste Schritte in Richtung Erdmagnetismus

Dass der Erdmagnetismus im 19. Jahrhundert eine international ausgebauten Disziplin wurde, war vor allem dem starken Interesse und Engagement von zwei Wissenschaftlern zu verdanken, die diese Bewegung in Gang gesetzt hatten, nämlich Alexander von Humboldt (1769–1859) und Carl Friedrich Gauß (1777–1855), sie waren sozusagen der Motor für diese Bewegung.

### 1.1 FRÜHE ERDMAGNETISCHE STUDIEN VON ALEXANDER VON HUMBOLDT

Es war zunächst Humboldt, der, acht Jahre älter als Gauß, sich mit dem Erdmagnetismus zu beschäftigen begann. Humboldt hatte mit Unterbrechungen von 1787 bis 1792 an den Universitäten in Frankfurt an der Oder, in Göttingen, an der Handelsakademie in Hamburg und an der Bergakademie in Freiberg studiert. In Freiberg, machte er wohl seine erste Bekanntschaft mit dem Erdmagnetismus und vor allem mit den entsprechenden Messungen bzw. Beobachtungsmethoden.

Humboldts erste Veröffentlichung zum Thema Erdmagnetismus war nur eine kurze Mitteilung; er hatte auf einer kleinen geognostischen Reise, wie er es nannte, zusammen mit Freunden im Fichtelgebirge Felsmassen entdeckt, die in hohem Maße aus Serpentinsteine bestanden, der die Magnetnadel sehr heftig ausschlagen ließ (Mundt/Kühn 1984, 6). Diese „Neue Entdeckung“, eine „Anzeige für Physiker und Geognosten“, erschien im „Intelligenzblatt der Allgemeinen Literatur-Zeitung“ im November 1796 (Humboldt 1796).

Genau in diesem Band war bereits im April desselben Jahres eine kurze Notiz eingerückt worden, und zwar unter dem Titel „Neue Entdeckungen“ im Plural; diese betraf zwar nicht den Erdmagnetismus, aber sie stammte von Carl Friedrich Gauß. Es ging um die Konstruierbarkeit des regelmäßigen 17-Ecks mit Zirkel und Lineal oder wie Gauß dies ausdrückte, dass das „Siebenzehneck einer geometrischen Construction fähig sei“. Es war dies Gauß' erste Publikation, er war damals noch nicht ganz 18 Jahre alt und bereits Student an der Universität in Göttingen (Gauß 1796).

Ob Gauß damals den Namen Humboldt wahrgenommen hatte oder umgekehrt Humboldt den Namen Gauß, ist nicht bekannt. Es ist dies natürlich nur ein zufälliges Zusammentreffen, dass beide im selben Jahrgang in derselben Zeitschrift eine „Neue Entdeckung“ veröffentlichten.

Noch vor seiner großen Amerikareise lernte Humboldt in Paris eine Gruppe von Wissenschaftlern kennen, die sich mit der Messung erdmagnetischer Phänomene mittels einer „Boussole“ beschäftigten. Im Jahre 1798 veröffentlichte man gemeinsam, darunter auch Humboldt, die Ergebnisse unter dem Titel „Observations faites à l'observatoire national de Paris, sur plusieurs boussoles, pour déterminer la véritable déclinaison de l'aiguille aimantée“ (Humboldt 1798). Hier ging es in erster Linie um Deklinationsmessungen.

Ferner führte Humboldt im Jahre 1798 zusammen mit Jean Charles de Borda (1733–1799) erste Inklinationsbestimmungen durch (Humboldt 1829a, 322). Bei seiner Abreise aus Paris überließ ihm das „Bureau des Longitudes“ einen von Borda konstruierten und von Le Noir ausgeführten Inklinationskompass, den er auf seine Amerikareise mitnehmen konnte. Gleichzeitig benutzte er ein Saussure'sches Magnetometer, mit dem er die Anzahl der Oszillationen der in den Magnetmeridian gestellten Nadel in einer festgelegten Zeit bestimmte. Die von ihm gewählte Zeiteinheit betrug 10 Minuten, er bestimmte diese mittels eines Berthoudischen Chronometers. So maß er in Paris 245 Schwingungen pro zehn Minuten, in Marseille, Nîmes und Madrid schließlich 240 und in Valencia 235 (Humboldt 1799, 146–150). Da die Magnetachse der Erde nicht mit der Achse durch den Nord- und Südpol zusammenfällt, war klar, dass es keine einfache Beziehung zur geographischen Breite gab. Humboldt wollte sich jedoch hier allen Kalküls enthalten und zunächst eine größere Anzahl von Beobachtungen abwarten. Im Moment mutmaßte er lediglich, dass die durch die Zahl der Oszillationen bestimmte magnetische Kraft gegen Süden hin abzunehmen schien (Humboldt 1799, 151). Ferner führte er noch zahlreiche astronomische Ortsbestimmungen durch. Am 5. Juni 1799 verließ er auf dem Schiff „Pizarro“ Spanien von La Coruña aus.

### Humboldts Amerikareise (1799–1804) und deren erdmagnetische Ergebnisse

Was Humboldts große Süd- und Mittelamerikareise anbelangt, so verfolgte er mannigfache Ziele, darunter betraf eines auch den Erdmagnetismus; er hoffte, dabei ein Gesetz für die veränderliche Intensität der magnetischen Kräfte in verschiedenen Abständen vom magnetischen Äquator entdecken zu können: „Der eigentliche Zweck dieser, vom Jahre 1798 bis 1803 angestellten, Beobachtungen,“ sagt Hr. von Humboldt in seinem Manuscripte, „war die Entdeckung des Gesetzes der veränderlichen Intensität der magnetischen Kräfte in verschiedenen Abständen vom magnetischen Aequator. Zu diesem Gesetze haben die Beobachtungen wirklich geführt“ (Humboldt 1829b, 336f).

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

Als Humboldt im Jahre 1804 wieder nach Paris zurückgekehrt war, stellte der Mathematiker Jean-Baptiste Biot (1774–1862) am 17. Dezember 1804 im „Institut national“ Humboldts erste, den Erdmagnetismus betreffende Reiseergebnisse unter dem Titel „Sur les variations du magnétisme terrestre à différentes latitudes“ vor (Humboldt/Biot 1804).

Dieser Beitrag beginnt mit der richtigen und wichtigen Feststellung „La recherche des lois du magnétisme terrestre est, sans doute, une des questions les plus importantes que les physiciens puissent se proposer“ (ebenda, 429). Als Grundlage dienten vor allem, aber nicht nur, Humboldts Beobachtungen in Süd- und Mittelamerika. Humboldt hatte entdeckt, dass die Intensität in verschiedenen Breiten variiert und vom Äquator zu den Polen hin zunimmt:

Quant à l'intensité des forces magnétiques dans les différentes parties du globe, elle n'avoit pas encore été mesurée d'une manière comparative. Les observations de M. Humboldt sur cet objet, découvrent un phénomène très-remarquable; c'est la variation de l'intensité à différentes latitudes, et son accroissement en allant de l'équateur aux pôles (Humboldt/Biot 1804, 431).

Anschließend betrachtete Humboldt vom magnetischen Äquator ausgehend insgesamt 4 Zonen, sowohl im Norden als auch im Süden (ebenda, 433). In der ersten Zone, südlich des geographischen Äquators, schwingt die Magnetnadel in einer festen Zeiteinheit zwischen 211 und 214 mal, der mittlere Wert beträgt 211,9 mal; in der zweiten Zone, südlich und nördlich des Äquators schwingt die Nadel zwischen 214 und 223 mal, der mittlere Wert beträgt 217,9 mal. In der dritten Zone nördlich des Äquators schwingt die Nadel zwischen 220 und 226 mal, der mittlere Wert beträgt 224. In der vierten Zone schließlich, die sehr viel größer ist, schwingt die Nadel zwischen 237 und 240 mal, der mittlere Wert beträgt 237.

Diese Zonen sind, ohne dass Humboldt diese so benennt, isodynamische Zonen:

Si nous avons ainsi partagé les observations par zones parallèles à l'équateur, c'est pour mieux faire ressortir la vérité du fait qui en résulte, et surtout c'est pour en rendre la démonstration indépendante des petites anomalies qui se mêlent inévitablement à ces résultats (Humboldt/Biot 1804, 434).

Schließlich wurden zwei wichtige Beobachtungen festgehalten:

1. Die magnetischen Kräfte nehmen auf Bergen und in Gebirgen ab.

2. Die Inklination nimmt zu, je weiter man sich vom magnetischen Äquator entfernt (ebenda, 435–437).

Für die zweite Behauptung war es nötig, den magnetischen Äquator theoretisch zu bestimmen, diese Aufgabe übernahm Biot; und in der Tat stimmte sein theoretisches Ergebnis sehr gut mit den Beobachtungen Humboldts überein. Dies war ein gutes Resultat, das eine notwendige Voraussetzung für das Verständnis der zweiten Beobachtung war.

Schließlich konnte man theoretisch zeigen, dass die magnetische Kraft (force magnétique) vom magnetischen Äquator bis hin zu den magnetischen Polen zunahm:

En résumant les résultats que nous avons exposés dans ce Mémoire, on voit que nous avons d'abord déterminé la position de l'équateur magnétique par des observations directes, ce qui n'avoit pas encore été fait. Nous avons ensuite prouvé que la force magnétique augmente en allant de cet équateur vers les pôles; enfin nous avons donné une hypothèse mathématique qui, réduite en formule, satisfait à toutes les inclinaisons observées jusqu'à présent (Humboldt/Biot 1804, 448).

Die am Ende der Arbeit angehängten Beobachtungsdaten bestätigten dieses Ergebnis. Später betonte Humboldt, dass dies das wichtigste Ergebnis seiner großen Reise gewesen sei:

Le véritable but de ces observations, faites dans les quatre années qui ont précédé l'année 1803, étoit la recherche de la loi d'après laquelle l'intensité des forces magnétiques varie à différentes latitudes de l'équateur aux pôles magnétiques: j'ai été assez heureux de découvrir cette loi (l'accroissement progressif des basses latitudes au pôle) dans mon voyage au Haut-Orénoque et au Rio Negro pendant l'été de 1800, j'ai regardé ce résultat comme le plus important de ceux que j'ai pu recueillir pendant mon voyage en Amérique (Humboldt/Bonpland 1825, 615f).

Am Ende des Bandes, in dem diese Arbeit publiziert wurde, befindet sich eine Tafel, auf der der magnetische Äquator und diese Zonen eingezeichnet sind; die von Humboldt vorgestellte Mittelwertbildung macht die Bezeichnung „isodynamische Zonen“ sinnvoll, aber das Wort isodynamisch kommt noch nicht vor, ist aber gemeint; diese Tafel wurde 1895 erneut publiziert (siehe Hellmann 1895, 13f und Tafel IV).

Das Wort Isodynamen verwendete als erster der norwegische Physiker und Astronom Christopher Hansteen (1784–1873) und zwar in den Jahren 1825 (Hansteen

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

1825, Tafel III) und 1827 (Hansteen 1827, Tafel III und IV), dort steht auch folgende Definition:

Es erhellt aus dem Gesetze der Stetigkeit, dass die Zunahme der magnetischen Intensität vom Aequator nach den Polen allmählig und regelmäßig geschehen muß, falls sie nicht durch örtlichen Magnetismus von Gebirgen abgeändert wird, und daß sie also sich durch ein System von krummen Linien anschaulich machen läßt, welche alle die Punkte auf der Erdoberfläche verbinden, wo diese Intensität von gleicher Größe ist. Diese Linien will ich *isodynamische Linien für die ganze magnetische Kraft nennen* (Hansteen 1827, 49).

Einige dieser Karten Hansteens mit isodynamischen Linien wurden 1895 erneut publiziert (Hellmann 1895, 14f, und Tafel V).

Humboldts wichtigstes Ergebnis war also die Feststellung, dass der Totalintensität bzw. der gesamten Intensität folgendes Naturgesetz zugrunde liegt: Die Totalintensität nimmt vom magnetischen Äquator bis hin zu den Polen zu. Humboldts Definition basierte auf einer relativen Einheit, nämlich der Anzahl der Schwingungen der Magnetnadel in einer festgelegten Zeiteinheit, welche natürlich von der Beschaffenheit und vom Trägheitsmoment der Nadel abhängig war (Körber 1958, 2).

### Humboldts Italienreise im Jahre 1805

Humboldts erste Reise, die schwerpunktmäßig der Erforschung des Erdmagnetismus gewidmet war, war seine zusammen mit dem Chemiker Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850) unternommene Italienreise im Jahre 1805. Diese führte von Paris nach Italien und zurück nach Berlin; sie sollte helfen, eine Antwort auf die noch offene Frage nach dem Einfluss von Gebirgen auf den Erdmagnetismus zu finden:

Es war einer der Hauptzwecke unsrer Reise, uns zu vergewissern, ob die hohe Kette der Alpen einen Einfluß auf die Stärke und auf die Neigung der magnetischen Kräfte habe (Humboldt/Gay-Lussac 1808, 268f).

Die Reiseroute führte von Paris nach Sens, Villeneuve-sur-Yonne, Lucie-le-Bois, Chalon-sur-Saône, Tournus, Mâcon, Lyon, Bourgoin, Les Échelles, St.-Hibou-des-Coups, Chambéry, Montmelian, La Chabane, Aiguebelle, St. Jean-de Maurienne, St.-Michel. Modane, Villarodin, Bramant, Termignon, Lansle-Bourg, Mt. Cenis, Turin, Allesandria, Voltagio, Passo di Bocchetta, Genua, Campo Mazzone, Pietra Lovezare, Bocchetta, Voltaggio, Novi Ligure, Voghera, Pavia, Mailand, Lodi, Piacenza, Fiorenzuola, Parma, Reggio nell'Emilia, Modena, Bologna, Fa-

enza, Forlimpopoli, Rimini, Pesaro, Fossombrone, Passo del Furli, Cagli, Scheggia, Costacciaro, Nocera Umbra, Foligno, Spoleto und Terni nach Rom, wo Alexander von Humboldt seinen Bruder Wilhelm traf.<sup>1</sup>

Danach bestieg man am 20. und am 28. Juli 1805 den Vesuv; den Ausbruch des Vesuvs am 4. August jedoch beobachtete man von Portici aus. Danach reiste man über Ischia, Neapel, Rom, Foligno, Nocera, Umbra, Arezzo, Florenz, Bologna, Modena, Parma, Piacenza, Mailand, Como, Lugano, Airolo, St. Gotthard, Altdorf, Luzern, Zürich, Basel, Tübingen, Heilbronn, Heidelberg, Kassel nach Göttingen, wo man vom 4. bis zum 7. November 1805 weilte. Dort stattete Humboldt seinem früheren Lehrer Johann Friedrich Blumenbach (1752–1840) einen Besuch ab.<sup>2</sup> Gauß befand sich damals noch als Privatgelehrter in Braunschweig. Endstation von Humboldts Reise war Berlin.<sup>3</sup>

Humboldt veröffentlichte seine Ergebnisse gleich zweimal, einmal in der französischen Zeitschrift „Mémoires de la Société d'Arcueil“ (Humboldt/Gay-Lussac 1807) sowie ein Jahr später in deutscher Sprache in den „Annalen der Physik und Chemie“ (Humboldt/Gay-Lussac 1808). Hier definierte Humboldt die magnetischen Kraft wie folgt:

Und zwar haben wir, um unsre Resultate auf eine schickliche Art mit einander zu vergleichen, zur Einheit der Vergleichung die Stärke der magnetischen Kräfte unter dem magnetischen Aequator genommen, wie sie aus den Beobachtungen folgt, welche einer von uns angestellt hat, und sie gleich 10000 gesetzt. Diese frühern Beobachtungen lehrten, daß eine Inclinations-Nadel, welche in Paris in einer bestimmten Zeit 245 Schwingungen macht, unter dem magnetischen Aequator in derselben Zeit nur 211 Schwingungen vollendet. Da wir nun die Neigung und die Zahl horizontaler Schwingungen unsrer Nadel in Paris kannten, so ließ sich daraus die Zahl der Schwingungen berechnen, welche sie in Paris, und dann auch die, welche sie unter dem magnetischen Aequator gemacht haben würde, hätte sie sich an beiden Orten in der wahren Richtung der magnetischen Kräfte befunden. Denn, voraus gesetzt, die Intensitäten, welche an verschiedenen Orten durch zwei Nadeln gegeben werden, sind einander proportional, so müssen dieses auch die Zahlen ihrer

1 Alexander von Humboldt Chronologie: <http://www.bbaw.de/bbaw/Forschung/Forschungsprojekte/avh/de/Blanko.2004-12-14.3730549301>.

2 Humboldt hatte von April 1789 bis März 1790 an der Universität Göttingen studiert (Pieper 2000, 93).

3 Siehe Anm. 1.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

Schwingungen an jenen Orten während derselben Zeit seyn (Humboldt/Gay-Lussac 1808, 264f).

Allerdings ließ sich die Frage nach dem Einfluss von Gebirgen auf den Erdmagnetismus, was der Ausgangspunkt der Reise war, immer noch nicht klar beantworten:

Wir glauben folglich zu dem Schlusse berechtigt zu seyn, daß die Kette der Alpen, wenigstens an den Orten, wo wir über sie gekommen sind, einen nur wenig merkbaren Einfluß auf die Neigung und auf die Stärke der magnetischen Kräfte hat (Humboldt/Gay-Lussac 1808, 270f).

### Humboldt in Berlin 1805–1807

Am 16. November 1805 kam Humboldt nach Berlin, um sich dort für längere Zeit niederzulassen; am 21. November 1805 hielt er seine Antrittsrede an der Berliner Akademie, nachdem er zum ordentlichen Akademiemitglied gewählt worden war (Pieper 2000, 48–49, 87–88).<sup>4</sup> Im Mai 1806 begannen Humboldts erdmagnetische Beobachtungen, an denen u.a. Jabbo Oltmanns (1783–1833), Nathan Mendelssohn (1781–1852) und Leopold von Buch (1774–1853) teilnahmen (Humboldt 1845–1862:4, 196). Die Beobachtungen fanden im sogenannten George'schen Garten statt; Humboldt wohnte dort in der Friedrichstraße 140, in der Nähe des heutigen Bahnhofs (Humboldt 1829a, 329; Schwarz 1992, 2). Am 14. Juni 1806 erhielt Humboldt Besuch von Gauß' väterlichem Freund Wilhelm Olbers (1758–1840), wobei man sich über Gauß' Berufung an die Berliner Akademie unterhielt (Briefwechsel Olbers-Gauß:1, 303). Am 20. Dezember 1806 konnte man das für Berlin ganz ungewöhnliche Phänomen eines Nordlichts beobachten, was Humboldt zu intensiven erdmagnetischen Beobachtungen veranlasste (Gilbert 1808). Dieses Nordlicht wurde auch von Olbers in Bremen beobachtet (Briefwechsel Olbers-Gauß:1, 318).

Ende des Jahres 1807 wechselte Humboldt von Berlin nach Paris; insgesamt hatte er während dieser Jahre in Berlin etwa 6.000 erdmagnetische Messungen durchgeführt (Mundt/Kühn 1984, 8).

## 1.2 GAUß' FRÜHES INTERESSE AM ERDMAGNETISMUS

Gauß' Interesse am Erdmagnetismus lässt sich bis ins Jahr 1803 zurückverfolgen, denn am 1. März 1803 ließ er seinen Freund Wilhelm Olbers wissen:

[...] ob ich gleich glaube, dass über die magnetische Kraft der Erde noch viel zu entdecken sein möchte, und dass sich hier noch ein grösseres Feld für Anwendung der Mathematik finden wird, als man bisher davon kultivirt hat (Briefwechsel Olbers-Gauß:1, 128).

Olbers antwortete am 4. März 1803:

Allerdings ist aber über den Magnetismus unserer Erde noch viel zu thun, und ich wünschte sehr, dass Sie, mein theurer Freund, Ihre scharfsinnigen Untersuchungen auf diesen Gegenstand richten mögen (ebenda, 132; vgl. Schaefer 1927, 1f).

Am 28. November 1806 stellte Gauß an Carl Ludwig Harding (1765–1834) folgende Fragen:

Wie gross setzen Sie die Declination der Magnetenadel zu Göttingen? Können Sie mir nicht die Declinationen für diejenigen Örter nachweisen, für die H[err] von Humboldt im Nov[emberheft] der M[onatlichen] C[orrespondenz] die Inclinationen gibt?<sup>5</sup> Oder auch für einige von denen, wofür Humboldt im IV. Bande der A[llgemeinen] G[eographischen] E[phemeriden] die Inclination angab?<sup>6</sup> Declination und Inclination zugleich für eine beträchtliche Anzahl von Örtern auf sehr verschiedenen Punkten der Erde, z.B. dem Kap, Batavia, in Südamerika, dem Südmeere, Nordamerika u[nd] Egypten würden für mich einen ungemein grossen Werth haben. Ich wünschte, dass jemand aus den vielen in den neuesten Zeiten gemachten Reisen Beobachtungen dieser Art in einem eignen Werke sammelte. Ich glaube, in diesem Felde werden sich noch höchst interessante Resultate ziehen lassen, die bisher noch ganz im Dunkeln liegen. Sobald die Göttingische Bibliothek die kleine v[on] Humboldt angekündigte Schrift erhält, werden Sie mich sehr durch eine Mittheilung der darin enthaltenen numerischen Resultate verpflichten.<sup>7</sup>

<sup>4</sup> Humboldt war am 4. August 1800 außerordentliches Mitglied der Académie royale des Sciences et Belles-Lettres zu Berlin geworden; wahrscheinlich am 19. Februar 1805 wurde seine außerordentliche Mitgliedschaft in eine ordentliche verwandelt (Pieper 2000, 39 und 48).

<sup>5</sup> Humboldt 1806.

<sup>6</sup> Humboldt 1799.

<sup>7</sup> Gauß-Werke 12, 145, siehe ferner Schaefer 1927, 94.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

Dies bedeutet, dass sich Gauß bereits vor Beginn seines Briefwechsels mit Humboldt in besonderem Maße für dessen erdmagnetische Daten interessiert hatte. Von besonderem Interesse ist auch Hardings Antwort, die bislang noch nicht veröffentlicht wurde:

Des Herrn v. Humboldts Schrift über Declination und Inclination der Magnetnadel ist mir noch nicht zu Gesicht gekommen. Sobald sie hier zu haben seÿn wird, werde ich Ihnen einiges daraus mittheilen. H[umboldt] hat auch hier im vorigen Winter mit Hofr[at] Mayer die Inclination gemessen aber leider hat Mayer die gefundenen Größen vergessen und das darüber aufgezeichnete verlegt. Er erinnert sich nur so viel, dass die Inclinat[ion] nahe 69° war. Da das hiesige physikalische Cabinet ein sehr gutes Declinatorium und Inclinatorium besitzt, so habe ich bereits mit Mayer die Abrede genommen, Beobachtungen damit anzufangen. Das Observatorium eignet sich aber gar nicht zu diesem Unternehmen, da bekanntlich die Galerie desselben mit einem Eisen umgeben ist.<sup>8</sup>

Dies bedeutet, dass Humboldt auf der Rückreise von seiner Italienexpedition in Göttingen, wo er sich vom 4. bis 7. November 1805 aufhielt, zusammen mit Johann Tobias Mayer (1752–1830) Inklinationsbeobachtungen vorgenommen hatte. Der Beobachtungsort war das Physikalische Kabinett und nicht die Sternwarte; damals existierte der Neubau noch nicht. Es handelte sich noch um die alte Sternwarte, in der bereits Tobias Mayer der Ältere (1723–1762) beobachtet hatte. Ferner stellte Harding hier in Aussicht, dass er und Johann Tobias Mayer auch weiterhin erdmagnetische Beobachtungen durchführen würden. Was aus diesem Plan wurde, ist unbekannt, aber es verblüfft, dass in Göttingen, von Humboldt initiiert, schon vor Gauß' Berufung solche Pläne geschmiedet worden waren.

Im Juli 1807 erhielt Gauß einen ersten Brief von Alexander von Humboldt, der Briefwechsel wurde, teilweise mit Unterbrechungen, bis kurz vor dem Tode von Gauß fortgesetzt (Briefwechsel Humboldt-Gauß).

Im Jahre 1807 hatte Gauß zwei große Probleme, erstens, seine berufliche Zukunft; nachdem er im Juli 1807 einen Ruf an die Universität Göttingen angenommen hatte, wechselte er im November an seine neue Wirkungsstätte; zweitens, was seine wissenschaftliche Arbeit anbelangt, so beschäftigte er sich intensiv mit der Fertigstellung seiner „Theoria motus“ (Gauß 1809), die der Bahnbestimmung von Planeten und Planetoiden gewidmet war. Er hatte für diesen Zweck im Jahre 1802 ein neues Handbuch angelegt, das heute die Nummer 4 trägt, das fast ausschließlich seinen Untersuchungen

der Planetoidenbahnen gewidmet ist, sozusagen seine Aufzeichnungen, die die Entstehung seines großen Werkes begleiteten. Es beginnt mit einer eigenhändigen Zeichnung der Ceres- und der Pallasbahn, die Ceres war auf Grund der Gauß'schen Bahnberechnungen im Dezember 1801 und die Pallas am 23. März 1802 von Wilhelm Olbers entdeckt worden. Und inmitten seiner Bahnbestimmungen findet sich unvermittelt und unerwartet die Überschrift: „Von Humboldts Beobachtungen über Neigung und Stärke der magnetischen Kraft“, 1½ Seiten umfangreich<sup>9</sup> (Abb. 1). Danach geht es gleich wieder weiter mit den Cereselementen, Pallasstörungen usw.

In der Tat musste Gauß Humboldts französischsprachige Veröffentlichung in den „Mémoires de la Société d'Arcueil“ vor Augen gehabt haben, denn, wie seine Aufzeichnungen zeigen, schrieb er die Beobachtungsdaten, die Humboldt anlässlich seiner Italienreise veröffentlicht hatte, der Reihe nach ab, in derselben Reihenfolge wie Humboldt, aber auch in derselben Orthographie, die Humboldt in seiner *französischen* Veröffentlichung benutzt hatte. Gauß machte seine Aufzeichnungen mit Sicherheit in Göttingen, also nach dem November 1807, denn nur dort gab es eine Bibliothek, die auch solch ausgefallene französische Zeitschriften wie die „Mémoires de la Société d'Arcueil“ beherbergte.

LIEUX	LONGITUDE	LATITUDE	MAGNÉTISME	TEMPÉRATURE	VÉTÉRINAIRE	MÉTÉOROLOGIE	AÉROLOGIE	GÉOLOGIE	MINÉRALOGIE	ZOOLOGIE	BIBLIOTHÈQUE
Berlin	10° 30'	52° 31'	69° 55'	316,5	60° 2'	143° 10'	13700	73° 56'	26		
Magdeburg	11° 35'	51° 53'	69° 35'	316,5	60° 2'	143° 10'	13700	73° 56'	26		
Göttingen	7° 35'	51° 30'	69° 39'	316,2	59° 36'	138° 25'	13285	73° 39'	192		
Elze			70° 8'								
Hildesheim	6° 21'	51° 24'	68° 39'								
Hallbrunn			68° 1'								
Barth	0	50° 14'	69° 12'	316,0	57° 57'	128° 23'	13282	72° 52'	160		
Sülfingen	6° 23'	51° 4'	68° 4'	305,2	56° 47'	126° 10'	13260	71° 52'	376		
Wittenbergen	6° 22'	51° 8'	67° 57'								
Villeneuve				306,4							
Luce-la-Bois			68° 10'								
Zürich	6° 12'	47° 22'	67° 47'	304,1	55° 43'	125° 19'					
Luzern			67° 10'	301,6							
Mérf			66° 53'	301,5			1,2218			450	
Basel			66° 42'	302,2			1,3069			499	
H. Göttingen			66° 22'	299,4			1,5158				

Abb. 1. Vergleich eines Ausschnitts aus Humboldts Publikation in den „Mémoires de la Société d'Arcueil“ mit Gauß' Abstrich in seinem Handbuch 4 (Ausschnitt), Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen.

<sup>8</sup> Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Gauß-Briefe A, Harding, Nr. 67.

<sup>9</sup> Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Gauß-Nachlass, Handbuch 4, 85–86.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

Sowohl Humboldt wie auch Gauß gaben die Liste der Orte, an denen erdmagnetische Messungen durchgeführt wurden, nicht in der Reihenfolge wieder, wie es der Reiseverlauf nahe legte, sondern anhand der geographischen Breite. Gauß hatte die Spalten etwas anders angeordnet und hatte eine Spalte ganz weggelassen.

Sowohl Gauß' oben erwähnter Brief an Harding als auch dieser Fund im Handbuch Nr. 4 werfen nun doch ein ganz neues Licht auf die Beziehungen zwischen Gauß und Humboldt, vor allem was den Erdmagnetismus anbelangt. Ob Gauß sein überaus großes Interesse an den während der Italienreise gewonnenen erdmagnetischen Daten Humboldt mitgeteilt hatte, ist nicht bekannt, da die Briefe von Gauß an Humboldt größtenteils verloren gingen.

### 2. Die neue Disziplin „Erdmagnetismus“ beginnt sich zu etablieren

Im Jahre 1811 stellte die Königlich Dänische Gesellschaft der Wissenschaften in Kopenhagen folgende Preisfrage:

ist man, um der Erde magnetische Erscheinungen zu erklären, zur Annahme mehrerer Magnetaxen in der Erde genöthigt, oder ist Eine hinlänglich (Hansteen 1819, X).



Abb. 2. Titelblatt von Hansteens „Untersuchungen über den Magnetismus der Erde“ (Hansteen 1819) aus der Gauß-Bibliothek, Nr. 856, Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen.

In Dänemark wirkten damals zwei bedeutende Magnetiker: Thomas Bugge (1740–1815)<sup>10</sup>, der die Preisfrage formuliert hatte, und Hans Christian Oersted (1777–1851).<sup>11</sup>

Es war der norwegische Astronom und Physiker Christopher Hansteen, der den Preis gewann. Hansteen hatte seit 1816 in Christiania eine Professur für Astronomie und angewandte Mathematik inne. Im Jahre 1819 veröffentlichte er seine Antwort auf die Preisfrage unter dem Titel: „Untersuchungen über den Magnetismus der Erde“ in zwei Teilen, einem ausführlichen Textband sowie einem 7 Karten enthaltenden Atlas (Hansteen 1819). Gauß besaß dieses Werk in seiner Bibliothek.<sup>12</sup>

Wie Christian August Friedrich Peters 1858 berichtete, ist es dieses Werk gewesen, das „Gauss nach seiner eigenen Aussage, ermuntert [hat], sich zum Magnetismus der Erde hinzuwenden“.<sup>13</sup>

Hansteens Veröffentlichung rief nicht nur Bewunderung hervor, sondern rief auch zahlreiche Kritiker auf den Plan. Hansteen verteidigte jedoch seine Ansicht, dass es auf der Erde vier Magnetpole und entsprechend zwei Magnetachsen geben würde (Hansteen 1823).

Hansteen führte nicht nur die Bezeichnung Isodynomen ein (siehe oben), sondern auch die Bezeichnung Isogonen (Hellmann 1895, 20). Georg Adolph Erman (1806–1877) benützte 1831 die Bezeichnungen Isodynomen, Isoklinen und Isogonen, als ob diese Bezeichnungen schon seit einiger Zeit in Gebrauch gewesen wären:

Die auf beiliegender Karte (Taf. II) gezeichneten krummen Linien sind *die*: gleicher Intensität, gleicher Neigung und gleicher Abweichung, oder, wie man sie kürzer genannt hat, die isodynamischen, isoklinischen und isogonischen Linien (Erman 1831, 120).

#### 2.1 HUMBOLDT IN PARIS 1807–1827

Humboldt kehrte am Ende des Jahres 1807 nach Paris zurück, wo er, von Unterbrechungen abgesehen, bis

<sup>10</sup> Thomas Bugge, Geodät, Professor der Mathematik und Astronomie an der Universität Kopenhagen.

<sup>11</sup> Christian Oerstedt, 1806 Professor für Physik in Kopenhagen, gründete 1824 die Gesellschaft zur Förderung der Naturwissenschaften.

<sup>12</sup> Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Gauß-Bibliothek, Nr. 856.

<sup>13</sup> Astronomische Nachrichten 48, 1858, 127–128, Nr. 1136. C. A. F. Peters (1806–1880) wurde 1854 Direktor der Altonaer Sternwarte und Herausgeber der „Astronomischen Nachrichten“.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

1827 blieb. Im Jahre 1812 reiste Wilhelm Olbers in diplomatischer Mission seiner Heimatstadt Bremen nach Paris. Dort stattete er Humboldt einen Besuch ab, wobei in Tübingen gemachte erdmagnetische Beobachtungen das Thema waren. Olbers nämlich ließ Gauß am 18. Juli 1812 wissen:

Humboldt hat mir neulich als ein Problem die merkwürdige Beob. von Scheubler<sup>14</sup> in Tübingen über die tägliche Veränderung der Magnetnadel vorgelegt. Diese beträgt bekanntlich bei gewöhnlichen Magnetnadeln 14'. Allein wenn man eine Magnetnadel aus zwei magnetisierten Stäbchen zusammensetzt, so dass sie also auf ihren beiden Enden einen sogenannten Nordpol hat, so kann man nicht allein die Abweichung der Magnetnadel nach der verschiedenen Stärke der beiden Pole beliebig verändern (dies versteht sich von selbst), sondern jene täglichen Veränderungen ganz ungemessen vermehren (Briefwechsel Olbers-Gauß:1, 508f).

In Paris lernte Humboldt 1809 den Astronomen François Arago (1786–1853) kennen, mit dem er alsbald sowohl menschlich als auch wissenschaftlich eine besondere Freundschaft pflegte, denn auch Arago begann sich für den Erdmagnetismus zu interessieren. Ort des Geschehens wurde alsbald das Observatoire in Paris; 1816 bat Arago den Verwaltungsdirektor um Erlaubnis, die tägliche Variation mit einer speziellen Boussole beobachten zu dürfen, was genehmigt wurde. 1820 konnten neue, Gambey'sche Instrumente für die Sternwarte angeschafft werden. Und, 1823 konnte abseits vom Sternwartengebäude im Garten ein magnetisches Häuschen aus Holz errichtet werden, une guérite en bois bzw. une petite tourelle, wie diese Einrichtung genannt wurde, die rund um eine steinerne Säule gebaut wurde, ohne Verwendung von Eisen, versteht sich (Bigourdan 1930, A10f). Es war dies das erste magnetische Observatorium, das für langfristige Beobachtungen ausgelegt war; einen besseren Arbeitsplatz hätte es für Humboldt gar nicht geben können. Hier pflegte man auch erste Kontakte zu Wissenschaftlern aus Russland. Leider gibt es keine Abbildung dieses Pariser Magnetischen Observatoriums.

Im Jahre 1825 reiste Humboldt zusammen mit Arago ins nördliche Italien, wo man mit einem Gambey'schen Neigungskompass in Florenz und Turin Beobachtungen anstellte (Humboldt 1829a, 324). Die Zusammenarbeit mit Arago beurteilte Humboldt als äußerst positiv, so schrieb er 1830: „Durch Arago begann eine glänzende

Epoche für die Erforschung des tellurischen Magnetismus“ (Humboldt, in Dove 1830, 358).

Bis 1835 wurden von Arago in Paris systematische Beobachtungen durchgeführt, danach fiel diese Aufgabe an Aragos Schüler. Erst im Jahre 1863, zehn Jahre nach Aragos Tod im Jahre 1853, wurde in Paris mit Gauß-Weberschen Instrumenten beobachtet (Rayet 1873, A14).

### 2.2 HUMBOLDT IN BERLIN

1826, im September, auf der Reise von Paris nach Berlin stattete Humboldt Gauß in Göttingen einen ersten Besuch ab, dort führten beide Wissenschaftler gemeinsam auf dem Abhänge des Hainbergs gemeinsam Inklinationsbestimmungen durch (Humboldt 1829a, 323). Kaum in Berlin angekommen, stellte Humboldt am 21. Juni 1827 folgende Preisfrage für die Berliner Akademie und zwar für das Jahr 1829:

Einwirkung der Temperatur (zwischen  $-10^{\circ}$  und  $+28^{\circ}$  R.) auf die Schwingungen horizontaler Nadeln, je nachdem das Gewicht, und die Form der Nadeln, und die primitive Intensität ihrer Kraft als veränderlich angenommen werden. Können die Gesetze dieser Einwirkung innerhalb gewisser Grenzen des Irrthums aufgestellt werden oder sind die Bestimmungen der Intensität der magn. Kräfte des Erdkörpers, unter verschiedenen Breiten, von der Einwirkung der Temperaturen nur dadurch zu befreien, daß der Beobachter dieselbe Nadel an denselben Punkten, vor der Abreise und nach der Heimkehr, bei verschiedenen Temperaturen schwingen läßt (Körber 1959, 300f).

Der Hintergrund für diese Preisfrage war, dass sich der russische Physiker Adolph Theodor Kupffer (1799–1865) genau mit dieser Frage, nämlich der Einwirkung der Temperatur auf den Magnetismus, beschäftigt hatte; davon hatte Humboldt Kenntnis. Auch deutet die Fragestellung bereits auf Russland hin, denn nur dort gibt es über eine längere Zeit hinweg Temperaturen von  $-10^{\circ}$  Réaumur. Doch wurde vonseiten der Berliner Akademie einer anderen Preisfrage der Vorzug gegeben (vgl. Honigmann 1984, 67).

Nunmehr konnte Humboldt seine erdmagnetischen Beobachtungen im Garten der Leipzigerstraße 3 fortsetzen. Haus, Gartenhaus und Garten waren 1825 von Abraham Mendelssohn Bartholdy (1776–1835) erworben worden, wobei das Gartenhaus 1825 und 1830 Umbauten erfuhr; nicht nur die Mendelssohns, sondern auch zahlreiche Mieter bewohnten diese Anlage, bis diese 1851 an den preußischen Staat verkauft wurde. Im Garten konnte sich Humboldt ein sogenanntes erdmagnetisches Häuschen einrichten, das er wie folgt beschrieb:

<sup>14</sup> Gemeint ist Gustav Schübler (1787–1834), der nach einem Studium in Tübingen und Wien ab 1811 als praktischer Arzt in Stuttgart wirkte, 1812 als Lehrer an dem Fellenbergischen Institut in Hofwil tätig war und 1817 Professor für Naturgeschichte und Botanik an der Universität Tübingen wurde.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

Der Berliner Apparat, [...] ist gegenwärtig in dem großen Garten des Stadtraths Mendelsohn-Bartholdy fast 400 Schritt von dem Wohnhause aufgestellt, in einem von Bäumen umgebenen Häuschen, welches nach der freundschaftlichen Anordnung des geheimen Ober-Baurath Schinkel eigends dazu aus Backsteinen erbaut ist, ohne alles Eisen, mit Nägeln, Hespern und Schloß von rothem Kupfer. Der Besitzer des Gartens hat, mit dem in seiner Familie gleichsam erblichen Interesse für Wissenschaften und geistige Bestrebungen, mit der größten Bereitwilligkeit die kleine Anlage gestattet, und den Beobachtern jede erwünschte Bequemlichkeit verschafft (Humboldt 1829a, 333).

Dort beobachtete Humboldt zusammen mit anderen, darunter Paul Mendelssohn-Bartholdy (1812–1874), der jüngere Bruder der Komponisten Fanny (1805–1847) und Felix (1809–1847), und Franz Encke (1791–1865), der seit 1825 der Akademiesternwarte vorstand.

Als im September 1828 die Tagung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte von Humboldt ausgerichtet in Berlin stattfand, war Gauß zu Besuch und der ganz persönliche Gast von Humboldt. Auch hier führte man wiederum gemeinsame erdmagnetische Beobachtungen durch (Briefwechsel Humboldt-Gauß, 46; Reich 2008).

Humboldt konnte im Jahre 1829 an einer großen Russlandexpedition teilnehmen, bei der ebenfalls erdmagnetische Beobachtungen eine wichtige Rolle spielten; diese fanden in mannigfachen Publikationen ihren Niederschlag. Am 26. Oktober/7. November 1829 hielt Humboldt auf Einladung der Kaiserlichen Gesellschaft der Naturforscher in Moskau einen Vortrag im Konferenzsaal der Moskauer Universität über seine Inklinationsbeobachtungen während der Reise (Briefe Humboldt-Russland 2009, 51). Wieder in Berlin richtete Humboldt dort einen Magnetischen Verein ein und begann ein international operierendes Beobachtungsnetz aufzubauen (Honigmann 1984).

In Berlin war die alte, noch auf Gottfried Kirch (1639–1710) zurückgehende Akademiesternwarte inzwischen erneuerungsbedürftig geworden. Vor allem musste ein neuer Standort, mehr am Rande der Stadt gefunden werden. Humboldt kümmerte sich, noch bevor die Sternwarte definitiv geplant war, um deren instrumen-

telles Ausstattung (Knobloch 2003, 30–38, 48–57). 1835 konnte die neue, zweite Berliner Sternwarte in Betrieb gehen (Abb. 4). Dieser war auch ein magnetisches Observatorium angegliedert, das in einem im Garten gebauten, eisenfreien Häuschen untergebracht war:

Der größere freie Raum neben der Sternwarte erlaubte noch ein besonderes Häuschen für magnetische Beobachtungen, nach dem Muster der Göttinger Anlage, hinlänglich entfernt von jedem andern Gebäude herzustellen. Es wird im nächsten Jahr ebenfalls zu seiner Bestimmung eingerichtet werden. In diesem Jahre hat es dem Herrn Geheimrath Bessel zur Anstellung von Beobachtungen über die Länge des Sekundenpendels zu Berlin gedient, wodurch das neue Lokal auf eine würdige Weise eingeweiht worden ist (Encke 1836, 165).

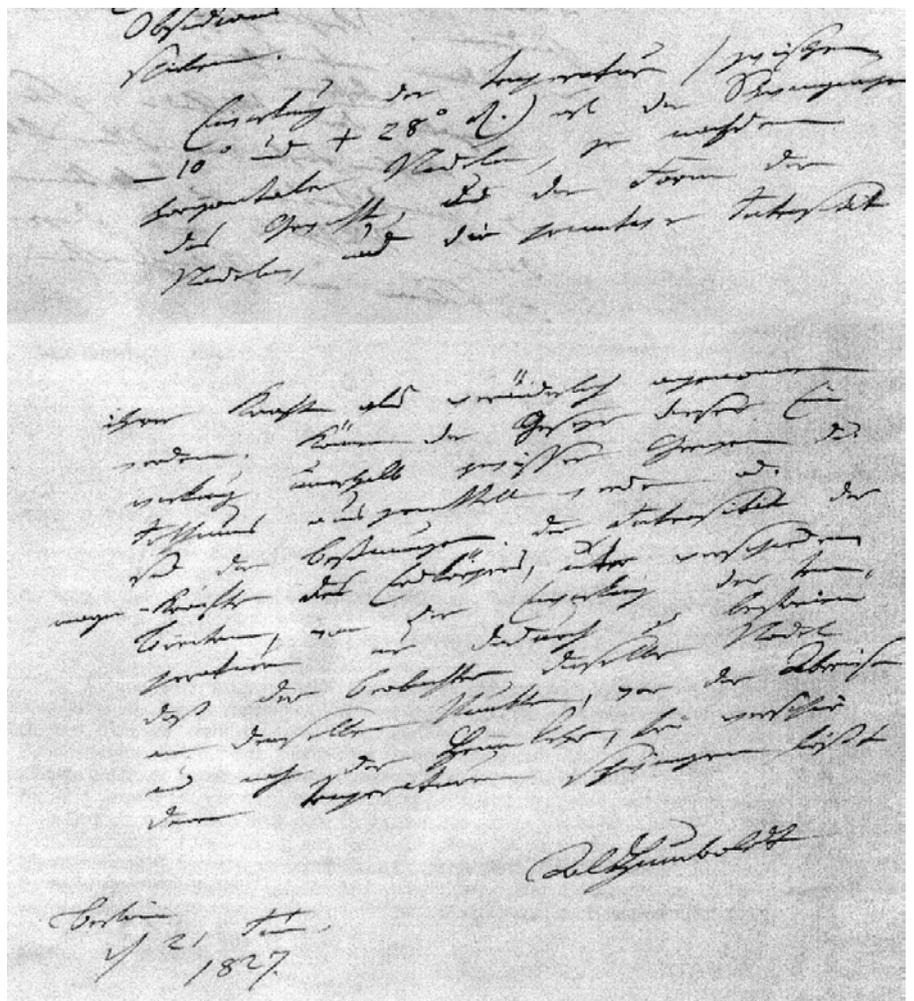


Abb. 3. Alexander von Humboldts Entwurf der Akademiepreisaufgabe für 1827. Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Bestand PAW (1812–1945), II-IX-7, Bl. 10–11.



Abb. 4. Die zweite Sternwarte in Berlin (Lindenstr. 103) mit dem magnetischen Häuschen am linken Rand, Architekt Karl Friedrich Schinkel. Berlin, bpk Bildagentur für Kunst, Kultur und Geschichte.

Am 11. Mai 1836 begannen in Berlin die systematischen magnetischen Beobachtungen (Encke 1840, XXV–XXVII, 129–139). Dort wirkten zahlreiche Beobachter, die aufsorgfältigste dokumentiert wurden; aber Humboldt war nicht unter ihnen. Man beobachtete alsbald nach Gauß'schen Methoden mit Gauß'schen Instrumenten (Encke 1840, V), so z.B.:

Einige Wochen nach diesen Beobachtungen im magnetischen Hause eine Magnethöhle nach der von Herrn Hofrath Gauß angegebenen Art aufgehängt (Encke 1837, 296f).

### 3. Gauß' Theorie des Erdmagnetismus

Gauß hatte im September 1828 bei Humboldt in Berlin den in Wittenberg geborenen Physiker Wilhelm Weber (1804–1891) kennengelernt, der, was die wissenschaftlichen Neigungen betraf, sozusagen Gauß' Wunschsohn war, der Sohn, den er so gerne gehabt hätte, aber nicht hatte. Mit Wilhelm Weber hatte die praktische Seite, die die Forschungen auf dem Gebiet des Erdmagnetismus mit sich brachten, eine hervorragende Ergänzung erfahren, denn Gauß war doch in erster Linie, wenn auch nicht nur, Theoretiker. Weber erhielt, nicht ohne Gauß' Zutun, im April 1831 den Ruf auf die Physikprofessur an der Universität Göttingen, im Herbst 1831 trat er dort seinen Dienst an.

#### 3.1 GAUSS' „INTENSITAS“, DAS MAGNETISCHE OBSERVATORIUM UND DER MAGNETISCHE VEREIN IN GÖTTINGEN.

Erste Frucht der Zusammenarbeit war Gauß' Schrift „*Intensitas vis magneticae terrestres ad mensuram absolutam revocata*“ (Die Intensität der erdmagnetischen Kraft zurückgeführt auf absolutes Maß). Die in deutscher Spra-

che verfasste Anzeige war am 24. Dezember 1832 in den „Göttingischen Gelehrten Anzeigen“ erschienen (Gauß 1832). In dieser Anzeige, und nur in den „Göttingischen Gelehrten Anzeigen“, hatte sich ein Fehler eingeschlichen, denn hier ist, unter Bezugnahme auf Humboldt, von einer „Abnahme“ der Intensität vom magnetischen Äquator der Erde nach den magnetischen Polen hin die Rede. Dieser Fehler wurde allerdings bereits im Wiederabdruck der Anzeige in den „Astronomischen Nachrichten“ stillschweigend in „Zunahme“ korrigiert (Gauß 1833b, 350, siehe Knobloch 2010, 11). Auch hatte dieser Fehler schon früher in die Literatur Eingang gefunden, denn Humboldt ließ Ende 1831, also noch vor dem ersten Erscheinen von Gauß' Anzeige, Wilhelm Weber wissen:

Empfehlen Sie mich auch gütigst Herrn Dr. Eduard Schmidt,<sup>15</sup> dessen schöne Schrift (phys[ische] Geographie) ich hier des ersten Theiles wegen sehr verbreitet habe (lapsu calami, glaube ich, steht irgendwo darinn, ich hätte gefunden, die magnet[ische] Kraft nehme vom magnet[ischen] Equat[or] zum magn[etischen] Pole ab.<sup>16</sup> In Fischers neuer Ausgabe der Mech[anischen] Naturlehre steht derselbe Satz.<sup>17</sup> Das umgekehrte ist das Wahre, wie ich in meiner frühesten Abhand[lung] in Laméthrie[s] Journal de Phys[ique] gezeigt) (Biermann 1971b, 235).

Da Schmidt in Göttingen Gauß' Kollege war, könnte es sein, dass Gauß von ihm die falsche Information erhalten hatte.

Im Jahre 1833 standen Gauß nur einige wenige Exemplare seines Hauptwerkes „*Intensitas vis magneticae terrestres*“, das in lateinischer Sprache verfasst war (Abb. 5)<sup>18</sup>, zur Verfügung, wovon er je eines seinem Freund Heinrich Christian Schumacher (1780–1850), der

<sup>15</sup> Eduard Schmidt (1803–1832) hatte an den Universitäten in Leipzig und Göttingen studiert; in Göttingen promovierte er 1823, wurde 1824 Privatdozent und 1831 außerordentlicher Professor für Astronomie. Einen Ruf an die Universität Tübingen im Jahr 1832 konnte er wegen seines frühen Todes nicht mehr wahrnehmen.

<sup>16</sup> „[...] hat man gefunden, dass die Intensität der magnetischen Kraft an den Oertern grösser ist, wo die Magnethöhle eine geringere Inclination besitzt, so dass dieselbe im magnetischen Aequator am grössten ausfällt, nach beiden Seiten zu aber, nördlich und südlich, von demselben kleiner wird“ (Schmidt 1829/30:2, 531).

<sup>17</sup> „Hr. A. v. Humboldt, dessen große Reisen für die Wissenschaften so fruchtbar geworden sind, hat eine ungemein große Menge von Beobachtungen über die Neigung und Stärke der magnetischen Kraft in sehr vielen Örtern von Süd=Amerika, Europa und auf dem Meere angestellt. Ein merkwürdiges Resultat dieser Beobachtungen ist, dass die magnetische Kraft unter dem magnetischen Äquator am stärksten ist, und dass sie von da aus nach Süd und Nord ununterbrochen abnimmt“ (Fischer 1826/7:2, 110–111).

<sup>18</sup> Herrn Heinrich C. Soffel sei für die Bereitstellung dieser wertvollen Ausgabe herzlich gedankt.

INTENSITAS  
VIS  
MAGNETICAE TERRESTRIS  
AD  
MENSURAM ABSOLUTAM  
REVOCATA

AUCTORE  
CAROLO FRIDERICO GAUSS

GOTTINGAE,  
SUMTIBUS DIETERICHIANIS  
MDCCCXXXIII

Abb. 5. Titelseite des lateinischen Vorabdrucks der „Intensitas vis magneticae terrestres“ aus dem Jahre 1833 Archiv des Erdmagnetischen Observatoriums Fürstenfeldbruck, LMU München.

Royal Society of London und Christopher Hansteen zu kommen ließ (Briefwechsel Gauß-Schumacher:2, 336). Auch Humboldt besaß ein Exemplar in lateinischer Sprache aus dem Jahre 1833 (Stevens 1863, 240). Doch wurde der lateinische Originaltext alsbald von Johann Christian Poggendorff (1796–1877) ins Deutsche übersetzt; die Übersetzung erschien 1833 in den „Annalen der Physik und Chemie“ (Gauß 1833a). Gauß hielt diese, wie er erst sehr viel später, nämlich am 29. April 1845, seinem Freund Schumacher anvertraute, für „sehr schlecht“ (Briefwechsel Gauß-Schumacher:4, 437). Erst im Jahre 1841, mit achtjähriger Verspätung, erschien offiziell der Band 8 der „Commentationes societatis regiae scientiarum Göttingensis recentiores“, der Gauß' Schrift „Intensitas vis magneticae“ enthielt (Gauß 1841). Nach Gauß benötigte man drei Elemente zur vollständigen Bestimmung der erdmagnetischen Kraft: die Deklination, die Inklination und die Intensität.

Das dritte Element dagegen, die Intensität der erdmagnetischen Kraft, welches sicherlich ein ebenso würdiger Gegenstand der Wissenschaft ist, blieb bis auf die neuere Zeit völlig vernachlässigt. Humboldt gebührt unter so vielen anderen auch das Verdienst, dass er wohl zuerst auf diesen Gegenstand sein Augenmerk gerichtet und auf seinen Reisen eine grosse Menge von Beobachtun-

gen über die relative Stärke des Erdmagnetismus gesammelt hat, aus denen sich eine fortwährende Zunahme dieser Stärke beim Fortschreiten von dem magnetischen Aequator gegen den Pol hin ergeben hat (Gauß 1894, 3).<sup>19</sup>

Mit der Beobachtung der Anzahl der Schwingungen in einer festen Zeiteinheit hatte Humboldt nur relative Messungen durchgeführt, die vom Trägheitsmoment der verwendeten Magnetnadel sowie weiteren speziellen Faktoren abhingen. Die Messergebnisse ließen sich nicht ohne weiteres auf Messungen, die man mit einer anderen Nadel durchgeführt hatte, übertragen. Man maß nämlich dabei das Produkt der Intensität multipliziert mit dem Trägheitsmoment der Nadel. Gauß' Ziel war, dass

an Stelle jener rein vergleichenden Methode eine andere gesetzt wird, welche von den zufälligen Ungleichheiten der Nadeln unabhängig ist und die Intensität des Erdmagnetismus auf feststehende Einheiten und unabhängige Maasse zurückführt. [...] Die Anzahl der Schwingungen, welche eine Nadel in einer gegebenen Zeit ausführt, hängt sowohl von der Intensität des Erdmagnetismus, als auch von der Beschaffenheit der Nadel, nämlich von dem statischen Momente der in jener enthaltenen Elemente des freien Magnetismus und von ihrem Trägheitsmomente ab. Da dieses Trägheitsmoment ohne Schwierigkeit ermittelt werden kann, so giebt offenbar die Beobachtung der Schwingungen uns das Produkt aus der Intensität des Erdmagnetismus in das statische Moment des Magnetismus der Nadel an die Hand (Gauß 1894, 5).

Er erreichte dieses Ziel, indem er noch eine zweite Nadel für seine Beobachtungen heranzog. Das Ergebnis war, dass er den Wert der horizontalen Komponente der Intensität, nunmehr bezogen auf ein absolutes Maßsystem, bestimmen konnte; dieser Wert war unabhängig von der jeweiligen Beschaffenheit der Nadel. Wenn man ferner die Intensität der erdmagnetischen Kraft mit der Sekante der Inklination multiplizierte, so folgte daraus die ganze Intensität. Was den Wert der Inklination in Göttingen anbelangte, so zog Gauß die Inklinationsmessungen heran, die Humboldt im Jahre 1805 anlässlich seiner Italienreise in Göttingen gemacht hatte, sowie die gemeinsamen Inklinationsmessungen am

<sup>19</sup> Eberhard Knobloch übersetzte so in etwa diese Stelle nochmals aus dem Original und zwar ganz korrekt: Dem berühmten Humboldt schuldet man neben so vielen anderen auch dieses Lob, dass er fast als Erster den Geist auf dieses Thema gelenkt hat und auf seinen Reisen eine große Menge von Beobachtungen zur relativen Intensität des Erdmagnetismus sammelte, aus denen die ständige Zunahme dieser Intensität bekannt wurde, wenn wir vom magnetischen Äquator zum Pol fortschreiten. Sehr viele Physiker traten in die Fußstapfen dieses Naturforschers ... (Knobloch 2009, 40).

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

Hainberg im September des Jahres 1826. Ein Vergleich dieser Werte mit dem aktuellen Wert von 1832 machte deutlich, dass sich die Inklination in Göttingen im Laufe der Jahre stets vermindert hatte (Gauß 1894, 48).

Gauß muss die Anzeige seiner Arbeit unverzüglich an Humboldt geschickt haben, denn dieser antwortete am 17. Februar 1833:

Ihre Anzeige der Entdeckung, die Intensität auf ein bestimmtes Maß zu reduciren, hat mich dergestalt erfreut, daß ich (sobald ich gewiß war, von der Methode recht durchgedrungen zu sein) mich selbst an das Übersetzen gemacht habe (Briefwechsel Humboldt-Gauß, 43).

Demnach übersetzte Humboldt die Gaußsche Anzeige ins Französische, diese Übersetzung wurde aber nicht publiziert (Briefwechsel Humboldt-Gauß, 45; Biermann 1971a, 284–285). Im Jahre 1834 jedoch erschien die französische Übersetzung der Langversion der „Intensitas vis magneticae“ in den von Arago herausgegebenen „Annales de Chimie et de Physique“; ein Name des Übersetzers ist dort nicht genannt (Gauß 1834a). Gauß erwähnte am 13. Februar 1835 gegenüber Schumacher diese Übersetzung:

Ich sehe, dass im Septemberheft das Journal de physique von Arago und Gay Lussac eine vollständige Uebersetzung meiner Intensitas vis magneticae &c. steht; soviel ich darin geblättert habe, scheint sie mir recht gut gerathen zu sein (Briefwechsel Gauß-Schumacher:2, 392).

Den Namen Humboldt aber nennt er an dieser Stelle nicht. Es ist aber dennoch nicht ganz auszuschließen, dass Humboldt der Übersetzer gewesen ist; er könnte dafür entweder die deutsche Übersetzung der „Intensitas“ von Poggendorff aus dem Jahre 1833 (Gauß 1833a) oder den Vorabdruck der lateinischen Version aus dem Jahre 1833 zu Grunde gelegt haben.

Im Herbst 1833 wurde im Garten der Sternwarte in Göttingen ein Magnetisches Observatorium fertiggestellt, dessen Ausstattung vom allerfeinsten war. Gauß beschrieb dieses wie folgt:

Das magnetische Observatorium, auf einem freien Platze, etwa hundert Schritt westlich von der Sternwarte errichtet, ist ein genau orientirtes längliches Viereck von 32 Par. Fuss Länge und 15 Fuss Breite, mit zwei Vorsprüngen an den längeren Seiten; der westliche Vorsprung bildet den Eingang, und dient zugleich bei gewissen Beobachtungen als Erweiterung des Hauptsaaßs; der östliche Vorsprung, vom Hauptsaal ganz geschieden, dient zum Aufenthalt des Nachtwächters der Sternwarte. Im ganzen Gebäude ist ohne Ausnahme alles,

wozu sonst Eisen verwandt wird, Schlösser, Thürangeln, Fensterbeschläge, Nägel u.s.w. von Kupfer. Für Abhaltung alles Luftzuges ist nach Möglichkeit gesorgt. Die Höhe des Saals ist etwas über 10 Fuss (Gauß 1834b, Gauß-Werke 5, 520).

Das wichtigste Instrument im Hauptsaal war das Magnetometer, das mit Hilfe eines Theodolithen beobachtet wurde (Abb. 6). Ferner befand sich in dem Raum ein Chronometer.

Die von dem Verfasser gewöhnlich gebrauchten Nadeln (wenn man prismatische Stäbe von solcher Stärke noch Nadeln nennen darf) sind fast einen Fuss lang, und haben ein Gewicht von beinahe einem Pfund. Die Aufhängung geschieht an einem 2½ Fuss langen ungedrehten Seidenfaden, der aus 32 einfachen zusammengesetzt, selbst das doppelte Gewicht noch sicher trägt; das obere Ende des Fadens ist drehbar, und die Drehung wird an einem eingetheilten Kreise gemessen. Die Nadel trägt an ihrem südlichen oder nördlichen Ende [...] einen Planspiegel, dessen Ebene gegen die magnetische Axe der Nadel durch zwei Correctionsschrauben, so genau wie man will, senkrecht gestellt werden kann [...]. Die so freischwebende Nadel befindet sich in einem hölzernen cylindrischen Kasten, welcher ausser der kleinen Öffnung im Deckel, durch welche der Faden geht, noch eine grössere an der Seite hat, welche nur wenig höher und breiter ist, als der erwähnte Spiegel. Dem Spiegel gegenüber ist ein Theodolith aufgestellt; die verticale Axe desselben und der Aufhängungsfaden sind in demselben magnetischen Meridian, und etwa 16 Pariser Fuss von einander entfernt (Gauß 1832, Gauß-Werke 5, 298–299).

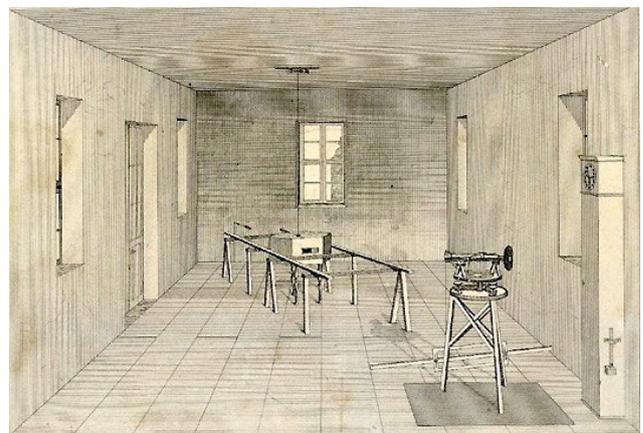


Abb. 6. Magnetisches Observatorium in Göttingen, Blick ins Innere. Aus: Resultate aus den Beobachtungen des Magnetischen Vereins im Jahre 1836, Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

1836 wurde von Gauß und Weber ein neuer Verein, der Göttinger magnetische Verein, sowie eine neue Zeitschrift, die „Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins“ ins Leben gerufen; in dieser wurden sowohl wissenschaftliche Beiträge verschiedener Autoren zum Thema Erdmagnetismus als auch die im jeweiligen Jahr weltweit gemachten Beobachtungen vorgestellt und die Daten mittels graphischer Darstellungen wiedergegeben. Insgesamt erschienen in den Jahren 1837 bis 1843 sechs Bände dieser Zeitschrift.

Offensichtlich hatte Weber Humboldt den Vorschlag gemacht, ihn als Herausgeber der „Resultate“ zu nennen, dies aber wollte Humboldt nicht. So ließ er am 22. Oktober 1837 Wilhelm Weber wissen:

Ich kann Ihren ehrenvollen Vorschlag, meinen Namen mit auf den Titel Ihrer Schrift zu setzen, nicht annehmen, da ich seit 40 Jahren den Grundsatz fest befolge, meinen Namen den Arbeiten vorzubehalten, die ich selbst herausgebe.<sup>20</sup>

Gauß und Webers Arbeit für die „Resultate“ wurde von einer umfangreichen Korrespondenz begleitet. In der Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen befinden sich 15 große Kartons, die ein beredtes Zeugnis von der riesengroßen Datenmenge ablegen, die Gauß und Weber für ihre Zeitschrift ausgewertet und mit der Publikation in bearbeiteter Form und nach einheitlichen Maßstäben zugänglich gemacht hatten.<sup>21</sup> Von den Wissenschaftshistorikern wurden dieser Schatz, nämlich diese 15 Kartons, bislang noch kaum beachtet; darin befinden sich u.a. auch Humboldt'sche magnetische Beobachtungen, die dieser in Berlin im November 1837 gemacht hatte. Es waren dies vielleicht die letzten Humboldt'schen magnetischen Messungen gewesen.

### 3.2 DER POTENTIALBEGRIFF

Die Bezeichnung „vis potentialis“ kommt bereits bei Daniel Bernoulli (1700–1782) vor (Euler 1744, 232)<sup>22</sup>; es geht

20 Zitiert nach einer Kopie des Briefes, die in der Alexander-von-Humboldt-Forschungsstelle in der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften vorhanden ist. Siehe ferner Biermann in (Briefwechsel Humboldt-Gauß, 57).

21 Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Nachlass des Magnetischen Vereins, Erdmagnetische Messungen (1832–1861), 15 Kästen, Sign.: Cod. Ms. Magnetischer Verein.

22 Quamobrem, cum Vir Celeberrimus atque in hoc sublimi naturam scrutandi genere perspicacissimus DANIEL BERNOULLI mihi indicasset se universam vim, quae in lamina elastica incurvata insit, una quadam formula, quam *vim potentialem* appellat, complecti posse, hancque expressionem in curva Elastica minimam esse oportere, quoniam hoc invento Methodus mea maximorum ac minimorum hoc Libro tradita mirifice illustratur eiusque usus amplissimus maxime evincitur, hanc occasionem exoptatissimam praetermittere non possum, quin hanc insignem curvae Elasticae proprietatem a Celeberrimo BERNOULLIO observatam publicando simul Methodi meae usum clarius patefaciam (Euler 1744, 232).

dabei um ein elastisches Band (*lamina elastica*), das infolge einer Verbiegung eine Formänderungsenergie aufgespeichert hat (Szabo 1976, 375).

Der Potentialbegriff hat seine Wurzeln in Untersuchungen zum Gravitationspotential; diese Untersuchungen begannen mit Adrien-Marie Legendre (1752–1833) und Pierre-Simon de Laplace (1749–1827) (Todhunter 1873:2, 20–42). Eine mit „V“ bezeichnete Potentialfunktion führte erstmals im Jahre 1785 Legendre ein:

Soit V la somme des particules du corps, divisées par leurs distances au point attiré, c'est-à-dire

$$V = \int \frac{dM}{(r^2 - 2rz \cos \mu + z^2)^{\frac{1}{2}}}$$

Cette seule intégrale suffira pour déterminer, par ses différences partielles, les deux forces (P) & (Q), on en conclura

$$(P) = -\frac{dV}{dr}, \quad (Q) = -\frac{1}{r} \cdot \frac{dV}{d\omega}$$

(Legendre 1785, 421f, siehe ferner Todhunter 1873:2, 20–28).

Legendre bemerkte an dieser Stelle, dass er dieses Theorem Laplace zu verdanken habe. Ob Legendre bzw. Laplace bei der Wahl des Buchstaben V an „vis“ = Kraft gedacht hatten, ist nicht bekannt, es liegt aber nahe.

In der Folgezeit untersuchte vor allem Laplace selbst diese Funktion V (Todhunter 1873:2, 29–42, 55–73, 131–137). Eines der wichtigsten Ergebnisse war die Gültigkeit der sog. Laplace'schen Gleichung

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 = \nabla^2 V$$

, die nur für Punkte außerhalb des Körpers gilt. Für Punkte innerhalb und auf dem Körper jedoch gilt die allgemeinere Poisson'schen Gleichung

$$\nabla^2 V = -4\pi\rho$$

(Todhunter 1873:2, 274–283, 349–390), siehe ferner (Bacharach 1883, 6–13); Siméon-Denis Poisson (1781–

Übs.: Deshalb, da dieser hochberühmte Mann und in dieser erhabenen Art die Natur zu erforschen überaus scharfsinnige DANIEL BERNOULLI mir angezeigt hatte, dass er die gesamte Energie, die in dem gekrümmten elastischen Band inne ist, mit einer einzigen gewissen Formel, die er *vis potentialis* nennt, erfassen könne und dieser Ausdruck bei einer elastischen Kurve ein Minimum sein muss, kann ich diese hocherwünschte Gelegenheit nicht vorübergehen lassen, beim Veröffentlichen dieser berühmten Eigenschaft der elastischen Kurve, die vom hochberühmten BERNOULLI beobachtet wurde, zugleich den Gebrauch meiner Methode zu veröffentlichen, da ja durch diese Erfindung meiner Methode der Maxima und Minima, die in diesem Buch dargestellt ist, auf wunderbare Weise veranschaulicht wird und ihr überaus weit reichender Gebrauch in höchstem Maße unumstößlich ausgeführt wird. Herrn Eberhard Knobloch sei ganz herzlich für die Übersetzung gedankt.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

1840) hatte insgesamt drei Beweise dafür veröffentlicht, einen ersten im Jahre 1813; genau in diesem Jahr war auch Gauß' berühmte Abhandlung über die Anziehung von Himmelskörpern erschienen (Gauß 1813, siehe auch Todhunter 1873:2, 235–241). Ohne Gauß zu zitieren, knüpfte Poisson in seinen weiteren beiden Beweisverfahren, die er 1826 und 1827 veröffentlicht hatte, an Gauß' Ergebnisse von 1813 an. In seinem dritten Beweisverfahren, das er 1826 in der „Connaissance des tems“ vorgestellt hatte, zog Poisson erstmals spezielle Funktionen heran (Poisson 1826, siehe ferner Todhunter 1873:2, 351–362). Genau diese Poisson'sche Arbeit rezensierte Gauß, seine Besprechung wurde im Jahre 1828 veröffentlicht. Hier führte Gauß eine neue Bezeichnung für diese von Poisson eingeführten Funktionen ein, er nannte sie „Kugelfunktionen“<sup>23</sup>:

Ueber die Anziehung der Sphäroide von Poisson. Dieser gehaltreiche Aufsatz besteht aus zwei Abtheilungen. Die erstere beschäftigt sich mit der Entwicklung der Kugelfunktionen (so möchten wir die Functionen zweier veränderlichen Größen, die allgemein jeden Punkt einer Kugeloberfläche bestimmen, nennen), in Reihen, die nach einem bekannten von den Analysten vielfach behandelten Gesetze fortschreiten, und ist mit der diesem grossen Geometer eigenthümlichen Eleganz durchgeführt. Der für das Fundamentaltheorem dieser Verwandlung schon sonst gegebene Beweis hat hier, um einigen dagegen gemachten Entwürfen zu begegnen, noch einen Zusatz erhalten, der, richtig verstanden, allerdings alle Schwierigkeiten hebt, obwohl eine vollständigere Unterscheidung der dabei vorkommenden unendlich kleinen Größen die Evidenz des Beweises noch vollkommener machen würde (Gauß 1828, Gauß-Werke 6, 648).

George Green (1793–1841) führte im Falle von Elektrizität und Magnetismus den Terminus „Potential“ ein (Green 1828, siehe Grattan-Guinness 2005). Greens Beitrag blieb jedoch fast unbekannt, bevor er in den fünfziger Jahren im „Journal für die reine und angewandte Mathematik“ veröffentlicht wurde. So ist sein Werk aus dem Jahre 1828 weder in der Gauß-Bibliothek noch in der Bibliothek der Universität Göttingen vorhanden, war also Gauß mit Sicherheit unbekannt. Gauß erwähnte erstmals die Bezeichnung „Potential“ in seinem, heute im Nachlass aufbewahrten Handbuch 6;<sup>24</sup> diese Aufzeichnungen machte Gauß nach dem 9. Oktober 1839. Ludwig Schlesinger bemerkte hierzu:

Wir machen besonders darauf aufmerksam, dass Gauss im Texte die Bezeichnung Potential benutzt und zwar in einer Weise, die darauf schließen lässt, daß ihm dieser Kunstaussdruck damals (1839) völlig geläufig war. Im älteren Teile der Abhandlung [...] findet er sich nicht (Gauß-Werke 10,1, 324).

Gauß veröffentlichte eine erste Definition des Potentials in seiner Abhandlung „Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung“:

Indem wir also, für jeden Punkt im Raume, mit  $x, y, z$  dessen rechtwinklige Coordinaten, und mit  $V$  das Aggregat aller wirkenden Massentheilchen, jedes mit seiner Entfernung von jenem Punkte dividirt, bezeichnen, wobei nach den jedesmaligen Bedingungen der Untersuchung negative Massentheilchen entweder ausgeschlossen oder als zulässig betrachtet werden mögen, wird  $V$  eine Function von  $x, y, z$ , und die Erforschung der Eigenthümlichkeiten dieser Function der Schlüssel zur Theorie der Anziehungs- oder Abstossungskräfte selbst sein. Zur bequemern Handhabung der dazu dienenden Untersuchungen werden wir uns erlauben, dieses  $V$  mit einer besondern Benennung zu belegen, und die Grösse das *Potential* der Massen, worauf sie sich bezieht, nennen (Gauß 1840, § 3).

Es war damit auch klar, dass sich die Potentialtheorie in mannigfachen Gebieten der Physik, nicht nur in der Theorie des Erdmagnetismus, einsetzen lässt.

### 3.3 GAUSS' „ALLGEMEINE THEORIE DES ERDMAGNETISMUS“ (1839) UND HUMBOLDTS REAKTION

Im Winter 1838 begann Gauß mit der Ausarbeitung seiner Theorie des Erdmagnetismus, am 28. Februar 1839 gab er die ersten Bogen zur Druckerei, spätestens am 18. April war der Druck vollendet (Schaefer 1927, 73). 1839 erschien sein Werk mit dem Titel „Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus“ im 3. Band der „Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins“ für das Jahr 1838 (Gauß 1839). Hier kommt zwar das Wort „Potential“ noch nicht vor, aber Gauß führte eine Funktion  $V/R$  ein, die diesem entspricht:

Man denke sich das ganze Volumen der Erde, so weit es freien Magnetismus, d.i. geschiedene magnetische Flüssigkeiten enthält, in unendlich kleine Elemente zerlegt, bezeichne unbestimmt die in jedem Elemente enthaltene Menge freien magnetischen Fluidums mit  $d\mu$ , wobei südliches stets als negativ betrachtet wird; ferner mit  $\rho$  die Entfer-

23 Heute: Kugelfunktionen bzw. Legendresche (Kugel-)Funktionen.

24 Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Gauß-Nachlass, Handbuch 6, 176–178, 222–226, veröffentlicht in Gauß-Werke 10,1, 315–317.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

nung des  $d\mu$  von einem unbestimmten Punkte des Raumes, dessen rechtwinklige Coordinaten  $x, y, z$  sein mögen, endlich mit  $V$  das Aggregat der  $d\mu/\rho$  mit verkehrtem Zeichen durch die Gesamtheit aller magnetischen Theilchen der Erde erstreckt oder es sei

$$V = -\int \frac{d\mu}{\rho}$$

Es hat also  $V$  in jedem Punkte des Raumes einen bestimmten Werth, oder es ist eine Function von  $x, y, z$ , oder auch von je drei andern veränderlichen Grössen, wodurch man die Punkte des Raumes unterscheidet (Gauß 1839, § 4).

Auch spricht Gauß hier von „Linien auf der Erdoberfläche, in deren sämtlichen Punkten  $V$  einerlei bestimmten Werth  $V^\circ$  hat“, das sind nichts anderes als die später sogenannten Äquipotentiallinien. Mit Hilfe dieser ist es Gauß leicht möglich, den magnetischen Pol wie folgt zu definieren:

Den beiden äussersten Werthen von  $V$  entsprechen hiebei zwei von den Zonen eingeschlossenen Punkte, in welchen die horizontale Kraft = 0 wird, und wo also die ganze magnetische Kraft nur vertical sein kann: diese Punkte heissen die magnetischen Pole der Erde (Gauß 1839, §11).

Im folgenden Abschnitt erteilte Gauß Hansteens Theorie von den vier Magnetpolen auf der Erdoberfläche eine Abfuhr, gleichzeitig lieferte er bildliche Darstellungen der Äquipotentiallinien um einen bzw. zwei Magnetpole (Gauß 1839, § 12, siehe Höppner 2010).

Des Weiteren entwickelte Gauß die Funktion  $V$  in eine nach den Potenzen von  $r$  fallende Reihe von Kugelfunktionen

$$V = \frac{RRP^0}{r} + \frac{R^3P^1}{r} + \frac{R^4P^2}{r^3} + \frac{R^5P^3}{r^4} + u.s.w.$$

, wobei er im weiteren Verlauf der Rechnung nur die Terme bis zum vierten Grad in Betracht zieht. Da jede Kugelfunktion  $P^i$  ( $2i+3$ ) Konstanten hat, entwickelte Gauß den Ausdruck für  $V/R$  in eine Summe mit 24 Koeffizienten, welche er als die „Elemente der Theorie des Erdmagnetismus“ betrachtete (Gauß 1839, §17, 20, 26 und 27, siehe ferner Fleckenstein 1981, 176). Damit, so Gauß,

scheint die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung allen billigen Erwartungen zu genügen, die man von einem ersten Versuche haben durfte. Unser Ausdruck  $V/R$  darf also wohl als der Wahrheit nahe kommend betrachtet werden (Gauß 1839, § 30).

Auch berechnete Gauß die genaue Lage der beiden Magnetpole auf der Erde, die Lage der Magnetachse so-

wie das magnetische Moment der Erde nach den absoluten Einheiten (Gauß 1839, § 30, 31).

Gauß hatte seine Theorie noch vor dem 29. April 1839 an Humboldt geschickt, denn Humboldt schrieb am 29. April an Carl Gustav Jacob Jacobi (1804–1851):

Ein freundlicher Brief von Gauß<sup>25</sup> und eine neue ganz allgemeine Theorie des Erdmagnetismus sind wichtige Erscheinungen, und ich will, mein theurer Freund und Colleague, daß Sie auf beide einen Blick werfen [...]. Daß ich von einer solchen Abhandl[ung] nur den schwachen Genuß habe, einiges zu verstehen, d.h. den Gang zu errathen, wie das Ding angegriffen ist, wissen Sie zu wohl. Es ist keine Schande, daß ich nicht mehr weiß. Wie die Greise den Kindern ähnlich sind, falle ich auf die Bilder zuerst, [...] Über  $V/R$ : Es ist die Größe  $V$  [...] divid[iert] durch den Erdradius, aber wie man in Wechseln erst ‚in Zahlen‘ schreibt und dann hinzufügt ‚in Worten‘, so verlange ich auch in Worten Beruhigung von Ihnen über  $V$ , das mich schlaflos gemacht hat (Briefwechsel Humboldt-Jacobi, 49).

Humboldt hatte also sofort verstanden, dass es um den Begriff  $V/R$  ging. Am 18. Juni 1839 ließ er Gauß wissen:

Ich habe, seitdem ich angefangen, mich, durch Borda angetrieben, mit magnetischen Beobachtungen zu beschäftigen, zwei vage aber richtige Inspirationen gehabt: Haß gegen die Multiplication der magnetischen Erdpole und der Gabelung (Bifurcation) isogonischer Linien, große Vorliebe für die Messung der Intensität. Ich erkannte empirisch die Zunahme der totalen Intensität vom magnetischen Aequator gegen die magnetischen Pole hin [...]; ich wünschte die goldene Zeit heran, wo ein newtonianischer Geist uns von den Fesseln gehäufter Epicyklen befreien und alle Elemente aus einem Princip herleiten würde. Dies Wunder haben Sie vollbracht, mein theurer, hochverehrter Freund: meine Augen haben es noch gesehen. Aus Ihrer Theorie habe ich nun erst einsehen gelernt, welchen Werth die horizontalen Schwingungen haben (Briefwechsel Humboldt-Gauß, 76f).

Es folgen noch viele weitere Details, die Humboldt aus Gauß' neuer Theorie gelernt hatte. In seinem „Kosmos“ bezeichnete Humboldt Gauß' „Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus“ als „unsterbliches Werk“ (Humboldt 1845-1862:4, 71), er zählte es zu den besonderen Errungenschaften im 19. Jahrhundert:

in der ersten und glänzenden Entwerfung einer *Theorie des tellurischen Magnetismus* von Friedrich

<sup>25</sup> Dieser Brief ist verschollen.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

Gauß, auf strenge mathematische Gedankenverbindung gegründet (Humboldt 1845–1862:4, 62).

### 3.4 GAUSS' UND WEBERS „ATLAS“ (1840)

Ein Jahr später erschien der von Gauß und Weber redigierte „Atlas des Erdmagnetismus nach den Elementen der Theorie entworfen. Supplement zu den Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins unter Mitwirkung von C. W. B. Goldschmidt<sup>26</sup>“, das Vorwort trägt das Datum Mai 1840. Hier wurden folgende schon in der „Allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus“ erzielten Ergebnisse vorgestellt: die magnetischen Pole der Erde, die magnetische Achse der Erde, das magnetische Moment der Erde, Maximum und Minimum-Werte der magnetischen Intensität auf der Erdoberfläche, die idealen Anhäufungen von Magnetismus auf der Erdoberfläche, die Linien ohne Abweichung, sowie die Steigung der magnetischen Kurven (Gauß/Weber 1840, § 2–8).

Den Atlas begleiten insgesamt 18 Karten, und zwar sowohl je einmal in Mercatorprojektion als auch in einer stereographischen Projektion; das Besondere an allen Karten ist, dass sie auf Berechnungen und nicht auf Beobachtungen beruhen. Man beginnt mit Erläuterungen zu den Isogonen (ebenda § 9, 10), es folgen die Isoclinen (§ 11, 12) und die Isodynamen (§ 13, 14) sowie Erläuterungen zu Karten mit einigen speziellen Linien gleicher Intensität (§ 15–22).

Was die Isodynamen anbelangt, so wurden diese hier erstaunlicherweise nicht auf das von Gauß in seiner „Intensitas“ neu eingeführte Maß der Intensität bezogen, sondern letztendlich wurde die von Humboldt eingeführte Definition der Intensität mit Hilfe der Anzahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeiteinheit verwendet, wobei hier allerdings London und nicht Paris als Referenzort genommen wurde:

Hierbei muss bemerkt werden, dass allen Karten und Zahlentafeln nicht die in der *Intensitas vis magneticae* festgesetzte absolute Einheit zum Grunde liegt, sondern die bisher gewöhnlich gebrauchte willkürliche Einheit, wonach in London die ganze Intensität durch die Zahl 1,372 ausgedrückt wird, die zur Vermeidung von Brüchen noch mit der Zahl 1000 multiplicirt worden ist. Die danach ausgedrückten Werthe der Intensität können aber leicht auf jene absolute Einheit durch den Reductionsfactor 0,0034941 gebracht werden. Dieser Reductionsfactor ist durch Vergleichung der In-

tensität in Göttingen nach jener willkürlichen und dieser absoluten Einheit erhalten worden, die sich wie 1,357 : 4,7414 verhielten.\*

\*Nach einer in Göttingen 1834 am 19. Julius gemachten absoluten Intensitätsmessung war die horizontale Intensität 1,7748, woraus mit der Inclination  $68^{\circ}1'$  die ganze Intensität nach der absoluten Einheit = 4,7414 folgt (Gauß/Weber 1840, § 5, ähnlich, aber gekürzt, auch in § 13).

Zwei weitere Karten sind der Verteilung der magnetischen Fluida auf der Erdoberfläche gewidmet (ebenda § 23, 24).

Besondere Bedeutung kommt den Karten für die Werte von  $\frac{1}{R}$  zu (§ 25, 26). Es wird dabei die Frage gestellt,

ob nicht, statt die Vertheilung der magnetischen Fluida selbst oder statt deren Wirkungen (d.h. die magnetischen Kräfte) unmittelbar darzustellen, etwas Drittes, von beiden ganz verschiedenes, aber innig damit verbundenes, dargestellt werden könne, wodurch beide mittelbar ausgedrückt und zugleich ihr gesetzlicher Zusammenhang veranschaulicht würde. Ein solches darstellbares Drittes giebt es wirklich, wie die Theorie beweist; es führt den Namen des magnetischen Potentials und wird bezeichnet (wenigstens für die Erdoberfläche, für die es hier allein vorkommen wird) mit  $\frac{1}{R}$  (Gauß/Weber 1840, § 25).

Des Weiteren wurde hier eingehend diskutiert, ob diesem magnetischen Potential eine physische Bedeutung zukommt oder nicht. In den nächsten vier Abschnitten wurden die Beziehungen zwischen den Potentiallinien mit der Deklinations-Karte sowie den diversen Intensitätskarten erläutert (ebenda, § 27–30).

Es sind die Karten für die Werte  $\frac{1}{R}$ , d.h. die Karten I (Abb. 7) und II, die ein völlig neues Bild der Erdoberfläche vorstellen; auf ihnen sind die Äquipotentiallinien aufgetragen, eine ganz neue Gruppe von Linien; sie wurden von Gauß und Weber als „Gleichgewichtslinien“ bezeichnet (ebenda, § 26).

Für die Berechnungen legten Gauß und Weber vier Zahlentafeln an, welche in den §§ 31, 32 und 33 erläutert wurden; diese Zahlentafeln erleichterten die Zeichnung der Karten (§ 34). Insgesamt wurden den Karten 1262 Punkte auf der Erdoberfläche zugrunde gelegt, für die die entsprechenden Werte des Potentials, der nördlichen Intensität, der westlichen Intensität, der vertikalen Intensität, der Deklination, der Inklination, der ganzen Intensität und der horizontalen Intensität berechnet wurden, was insgesamt 10.096 nach der Theo-

26 Carl Wolfgang Benjamin Goldschmidt (1807–1851) hatte an der Uni Göttingen Mathematik studiert; er wirkte zunächst als Lehrer, bevor er 1834 Observator an der Göttinger Sternwarte wurde; 1845 wurde er zum außerordentlichen Professor befördert.

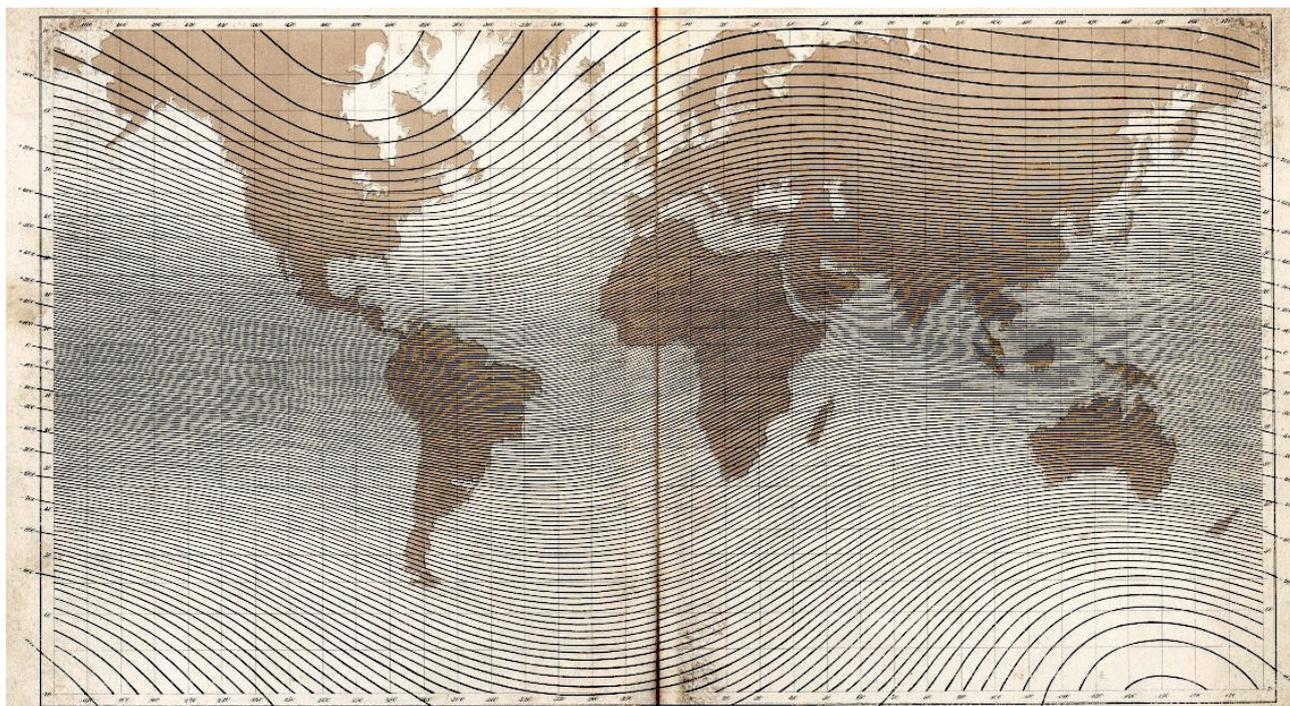


Abb. 7. „Karte für die Werthe von  $V/R$ “ von Gauß: die später sogenannten Äquipotentiallinien. Aus: Gauß/Weber 1840, Karte I. Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz, Sign. 4° Kart LS HM My 3677-1.

rie berechnete Werte ergab (§ 31). Die Werte für  $V/R$  hatte Gauß aus seiner im Atlas abermals kurz skizzierten Theorie des Erdmagnetismus abgeleitet (§ 38–41). Der letzte Abschnitt ist der „Vergleichung der Resultate der Theorie und der Erfahrung“ gewidmet (§ 41). Der Vergleich ergab,

die oben gegebenen Elemente der Theorie des Erdmagnetismus sind näherungsweise richtig befunden worden. Also ist jetzt der Erdmagnetismus zum ersten Male (wie Planeten- und Cometenbahnen durch ihre Elemente) durch seine Elemente vollständig bestimmt worden, nämlich durch die § 40 angegebenen 24 Zahlen (Gauß/Weber 1840, §42).

Welch ein Ergebnis, sicherlich war sich Gauß der Bedeutung voll und ganz bewusst. Dem Erdmagnetismus konnte nun erstmals eine Theorie zugrunde gelegt werden, die ihrer Wirkung nach mit der Theorie der Bahnbewegung der Himmelskörper in der Astronomie vergleichbar war.

Es war Wilhelm Weber vorbehalten, den „Atlas“ Alexander von Humboldt zukommen zu lassen. Am 28. Juni 1840 schrieb Weber diesem:

Eurer Excellenz habe ich die Ehre, den Atlas des Erdmagnetismus gehorsamst zu übergeben [...]. Wenn diese Schrift auch nichts wesentlich Neues enthält, so hoffe ich doch, dass Eure Excellenz sie in so fern nicht ganz nutzlos halten werden,

als sie dazu beitragen kann, die schönen Resultate der allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus von Gauß zu erläutern und deren Studium zu erleichtern.<sup>27</sup>

Eine Reaktion Humboldts auf den Atlas ist nicht bekannt.

## Schlussbemerkung

Humboldt hatte die nötigen erdmagnetischen Daten erhoben und aus diesen das erste Naturgesetz bezüglich der Intensität abgeleitet. Nicht umsonst wurde sein Beitrag schon einmal mit dem von Tycho Brahe (1546–1601) verglichen; diesem gelang eine richtungsweisende Datenerhebung, auf deren Grundlage Johannes Kepler (1571–1630) seine Gesetze der Planetenbewegungen ableiten konnte. Gauß fungierte sozusagen als Kepler;<sup>28</sup> ihm gelang es mit Hilfe des Potentialbegriffs eine neue Theorie zu begründen, die bis heute ihre Gültigkeit hat. Die Potentialtheorie ist darüber hinaus eine Theorie, die nicht nur im Falle des Erdmagnetismus, sondern in mannigfachen physikalischen Disziplinen Anwendung findet.

<sup>27</sup> Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz, Handschriftenabteilung, Nachlass Alexander von Humboldt, gr. K.1, P. III.

<sup>28</sup> Wenn man will, [war Humboldt] ein Tycho Brahe der eines Kepler bedurfte (Knobloch 2006, 284).

## Literaturverzeichnis

- Bacharach, Max (1883): *Abriss der Geschichte der Potentialtheorie*. Göttingen 1883.
- Biermann, Kurt-R. (1971a): Streiflichter auf geophysikalische Aktivitäten Alexander von Humboldts. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*. Leipzig 1971, 277–291.
- Biermann, Kurt-R. (1971b): Der Brief Alexander von Humboldts an Wilhelm Weber von Ende 1831 – ein bedeutendes Dokument zur Geschichte der Erforschung des Geomagnetismus. *Monatsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 13, 1971, 234–242.
- Bigourdan, G. (1931): Sur le Bureau des longitudes. *Annuaire pour l'année 1931 publié par le bureau des longitudes. Avec des notices scientifiques*, A.3–A.151.
- Briefwechsel Gauß-Schumacher: *Briefwechsel zwischen C. F. Gauss und H. C. Schumacher*, hrsg. von C. A. F. Peters. Bd. 1–6, Altona 1860–1865. Nachdruck Gauß-Werke, Ergänzungsreihe V, Hildesheim, New York 1975.
- Briefwechsel Humboldt-Gauß: *Briefwechsel zwischen Alexander von Humboldt und Carl Friedrich Gauß*, hrsg. von Kurt-R. Biermann (= Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung; 4). Berlin 1977.
- Briefwechsel Humboldt-Jacobi: *Briefwechsel zwischen Alexander von Humboldt und C. G. Jacob Jacobi*, hrsg. von Herbert Pieper (= Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung; 11). Berlin 1987.
- Briefwechsel Humboldt-Russland: *Alexander von Humboldt. Briefe aus Russland 1829*, hrsg. von Eberhard Knobloch, Ingo Schwarz, Christian Suckow. Mit einem einleitenden Essay von Ottmar Ette. (= Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung; 30). Berlin 2009.
- Briefwechsel Olbers-Gauß: *Briefwechsel zwischen Olbers und Gauss*, hrsg. von C. Schilling. 2 Bde., Berlin 1900 und 1909. Nachdruck Gauß-Werke, Ergänzungsreihe IV, Hildesheim, New York 1976.
- Dove, Heinrich Wilhelm (1830): Correspondierende Beobachtungen über die regelmäßigen stündlichen Veränderungen und über die Perturbationen der magnetischen Abweichung im mittleren und östlichen Europa; gesammelt und verglichen von H. W. Dove, mit einem Vorwort von Alexander von Humboldt. *Annalen der Physik und Chemie* 19 (=95), 1830, 357–361, 361–391.
- Encke, Franz (1836): Schreiben an den Herausgeber [Heinrich Christian Schumacher]. *Astronomische Nachrichten* 13, 1836, 161–172, Nr.299.
- Encke, Franz (1837): Constanten für Berlin. *Astronomisches Jahrbuch für 1839*. Berlin 1837, 241–310, hier III. Inclination der Magnetnadel, 276–286 und IV. Declination der Magnetnadel, 287–305.
- Encke, Franz (1840): *Astronomische Beobachtungen auf der königlichen Sternwarte zu Berlin*, hrsg. von Franz Encke. Bd. 1. Berlin 1840.
- Erman, Georg Adolph (1831): Ueber die Gestalt der isogonischen, isoklinischen und isodynamischen Linien im Jahre 1829 und die Anwendbarkeit dieser eingebildeten Curven für die Theorie des Erdmagnetismus. *Annalen der Physik und Chemie* 21 (= 97), 1831, 119–150.
- Euler, Leonhard (1744): *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes, sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti*. Lausanne; Genf 1744. In: Opera omnia (1) 24 (E 65); zitiert nach der Paginierung in den Opera omnia.
- Fischer, Ernst Gottfried (1826/27): *Lehrbuch der mechanischen Naturlehre*. 3. Auflage, Bd. 1 und 2, Berlin und Leipzig 1827 und 1826.
- Fleckenstein, Otto Joachim (1981): Potentialtheorie bei Gauß. In: I. Schneider (Hrsg.): *Carl Friedrich Gauß (1777–1855) Sammelband von Beiträgen zum 200. Geburtstag von C. F. Gauß*. München 1981, 173–191.
- Gauß-Werke: *Gauß, Carl Friedrich: Werke*. 1. Aufl. Göttingen: Bd. 1, 2 1863; Bd. 3 1866; Bd. 4 1873; Bd. 5, 1868; Bd. 6 1874; Bd. 7 Gotha 1871. 2. Aufl. 12 Bände Göttingen 1876–1929. Nachdruck Hildesheim, New York 1973.
- Gauß, Carl Friedrich (1796): Neue Entdeckungen. *Intelligenzblatt der Allgemeinen Literatur-Zeitung* 1796, 553–554. In: Gauß-Werke 10,1, 3.
- Gauß, Carl Friedrich (1809): *Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium*. Hamburg 1809. In: Gauß-Werke 7, 1–280.
- Gauß, Carl Friedrich (1813): *Theoria attractionis corporum sphaeroidicorum ellipticorum homogeneorum, methodo nova tractata. Commentationes societatis regiae scientiarum Gottingensis recentioris* 2, (1811–1813), 1813, *Commentationes classis mathematicae*, 24 S. In: Gauß-Werke 5, 1–22.
- Gauß, Carl Friedrich (1828): Besprechung der Connaissance des tems, ou des mouvemens célestes, à

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

- l'usage des astronomes et des navigateurs pour l'an 1829. Paris 1826. *Göttingische Gelehrte Anzeigen* 1828, 5.49–56 (10. Januar, 6. Stück), ferner in: Gauß-Werke 6, 645–648.
- Gauß, Carl Friedrich (1832): Anzeige der „Intensitas vis magneticae terrestres ad mensuram absolutam revocata“. *Göttingische Gelehrte Anzeigen* 1832, 2041–2058 (24. December, 205. Stück und 27. December, 206. und 207. Stück). In: Gauß-Werke 5, 293–304.
- Gauß, Carl Friedrich (1833a): Die Intensität der erdmagnetischen Kraft zurückgeführt auf absolutes Maaß. *Annalen der Physik und Chemie* 28 (= 104) 1833, 241–273, 591–615.
- Gauß, Carl Friedrich (1833b): Anzeige der Abhandlung: Intensitas vis magneticae terrestres ad mensuram absolutam revocata. *Astronomische Nachrichten* 10, 1833, 349–360, Nr. 238.
- Gauß, Carl Friedrich (1834a): Mesure absolue de l'intensité du magnétisme terrestre. *Annales de Chimie et de Physique* 57, 1834, 5–69.
- Gauß, Carl Friedrich (1834b): Ein eigenes für die magnetischen Beobachtungen und Messungen errichtetes Observatorium. *Göttingische Gelehrte Anzeigen* 1834, 1265–1274 (9. August, 128. Stück). Ferner in: *Annalen der Physik und Chemie* 32 (= 108), 1834, 562–569 mit einem Zusatz 569–572. In: Gauß-Werke 5, 519–525 (ohne den Zusatz).
- Gauß, Carl Friedrich (1839): Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus. *Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1838*. Leipzig 1839, 1–57. In: Gauß-Werke 5, 119–193.
- Gauß, Carl Friedrich (1840): Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungs-Kräfte. *Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1839*. Leipzig 1840, 1–51. In: Gauß-Werke 5, 195–242.
- Gauß, Carl Friedrich (1841): Intensitas vis magneticae terrestres ad mensuram absolutam revocata. *Commentationes societatis regiae scientiarum Gottingensis recentiores* 8 (1832–1837), 1841, *Commentationes classis mathematicae*, 3–44. In: Gauß-Werke 5, 79–118 (in der Societät vorgetragen am 24.12.1832).
- Gauß, Carl Friedrich (1894): *Die Intensität der erdmagnetischen Kraft auf absolutes Maass zurückgeführt*. Hrsg. von E. Dorn, übs. von Kiel. (= Ostwald's Klassiker; 53). Leipzig 1894.
- Gauß, Carl Friedrich; Wilhelm Weber (1840): *Atlas des Erdmagnetismus nach den Elementen der Theorie entworfen*. Supplement zu den Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins unter Mitwirkung von C. W. B. Goldschmidt. Leipzig 1840. In: Gauß-Werke 12, 337–408.
- [Gilbert, Ludwig Wilhelm (1808)]: Die vollständigste aller bisherigen Beobachtungen über den Einfluß des Nordlichts auf die Magnetnadel; angestellt von Herrn Alexander von Humboldt zu Berlin am 20sten Dec. 1806. *Annalen der Physik und Chemie* 29, 1808, 425–429.
- Grattan-Guinness (2005), Ivor: George Green, An essay on the mathematical analysis of electricity and magnetism (1828). In: I. Grattan-Guinness (Hg): *Landmark Writings in Western Mathematics 1640–1940*. Amsterdam u.a. 2005, 403–411.
- Green, George (1828): *An Essay on the Mathematical Analysis of Electricity and Magnetism*. Nottingham 1828. Ferner in: *Journal für die reine und angewandte Mathematik* 39, 1850, 75–89; 44, 1852, 356–374; 47, 1854, 161–211 und in: *Mathematical Papers*, London 1871, 1–115.
- Hansteen, Christopher (1819): *Untersuchungen über den Magnetismus der Erde*. Christiania 1819 (= Gauß-Bibliothek Nr. 856). *Magnetischer Atlas gehörig zum Magnetismus der Erde*. Christiania 1819.
- Hansteen, Christopher (1823): Zur Geschichte und zur Vertheidigung seiner Untersuchungen über den Magnetismus der Erde, und kritische Bemerkungen über die hierher gehörigen Arbeiten der Herren Biot und Morlet. *Annalen der Physik und Chemie* 75, 1823, 145–196.
- Hansteen, Christopher (1825): Beobachtungen über die Intensität des Magnetismus im nördlichen Europa. *Annalen der Physik und Chemie* 3 (= 79), 1825, 225–270, 353–428.
- Hansteen, Christopher (1827): Isodynamische Linien für die ganze magnetische Kraft. *Annalen der Physik und Chemie* 9 (= 85), 1827, 49–66, 229–244.
- Hellmann, Gustav (1895): *Die ältesten Karten der Isogonen, Isoklinen, Isodynamen: E. Halley, W. Whiston, J. C. Wilcke, A. von Humboldt, C. Hansteen*. Berlin 1895. Nachdruck Nendeln/Liechtenstein 1969.
- Höppner, Hans-Joachim (2010): Zum Begriff der magnetischen Anomalie bei Gauß. *Mitteilungen der Gauß-Gesellschaft* 47, 2010, 113–119.

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

- Honigmann, Peter (1984): Entstehung und Schicksal von Humboldts Magnetischen ‚Verein‘ (1829–1834) im Zusammenhang mit seiner Rußlandreise. *Annals of Science* 41, 1984, 57–86.
- Humboldt, Alexander von (1796): Neue Entdeckung. Anzeige für Physiker und Geognosten. *Intelligenzblatt der Allgemeinen Literatur-Zeitung* 1796, 1447–1448.
- Humboldt, Alexander von (1798): Observations Faites à l’observatoire national de Paris, sur plusieurs boussoles, pour déterminer la véritable déclinaison de l’aiguille aimantée (2); Par Delamétherie, Humboldt, Bouvard, Fleuriau-Bellevue & Cotte. *Journal de physique, de chimie, d’histoire naturelle et des arts* 47, 1798, 243–247.
- Humboldt, Alexander von (1799): Aus einem Schreiben des Ober-Bergraths. (23. Floréal VII). *Allgemeine geographische Ephemeriden* 4, 1799, 146–161.
- Humboldt, Alexander von (1806): Auszug aus einem Schreiben des Königl. Preußischen Kammerherrn, Alexander von Humboldt. (19.9.1806). *Monatliche Correspondenz* 14, 1806, 438–444 (November).
- Humboldt, Alexander von (1829a): Ueber die Mittel, die Ergründung einiger Phänomene des tellurischen Magnetismus zu erleichtern. *Annalen der Physik und Chemie* 15 (=91), 1829, 319–336.
- Humboldt, Alexander von (1829b): Beobachtungen der Intensität magnetischer Kräfte und der magnetischen Neigung, angestellt in den Jahren 1798 bis 1803, von 48°50’ N. B. bis 12° S. B. und 3°2’ O. L. bis 106°22’ W. L., in Frankreich, Spanien, den canarischen Inseln, dem atlantischen Ocean, America und der Südsee. *Annalen der Physik und Chemie* 15 (=91), 1829, 336–355.
- Humboldt, Alexander von (1845–1862): *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. Stuttgart und Tübingen, Bd.1, 1845; Bd.2, 1847; Bd.3, 1850; Bd.4, 1858; Bd.5, 1862. Ferner hrsg. von Magnus Enzensberger, mit einem Nachwort versehen von Ottmar Ette und Oliver Lubrich, Frankfurt am Main 2004. Zitiert nach der Originalpaginierung.
- Humboldt, Alexander von; Biot, Jean-Baptiste (1804): Sur les variations du magnétisme terrestre a différentes latitudes. *Journal de physique, de chimie, d’histoire naturelle et des arts* 59, 1804, 429–450.
- Humboldt, Alexander von; Bonpland, Aimé (1825): *Voyage de Humboldt et Bonpland. Première partie. Relation historique*. Bd.3, Paris 1825[–1831]. Neudruck hrsg. von Hanno Beck, Stuttgart 1970.
- Humboldt, Alexander von; Gay-Lussac, Joseph Louis (1807): Observations sur l’intensité des forces, magnétiques, faite en France, en Italie et en Allemagne. *Mémoires de la Société d’Arcueil* 1, 1807, 1–22 und Tableau.
- Humboldt, Alexander von; Gay-Lussac, Joseph Louis (1808): Beobachtungen über die Stärke und Neigung der magnetischen Käfte, angestellt in Frankreich, der Schweiz, Italien und Deutschland. *Annalen der Physik und Chemie* 28, 1808, 257–276 und Resultate (am Ende des Bandes).
- Knobloch, Eberhard (2003): „Es wäre mir unmöglich nur ein halbes Jahr so zu leben wie er“: Encke, Humboldt und was wir schon immer über die neue Berliner Sternwarte wissen wollten. In: J. Hamel, E. Knobloch, H. Pieper (Hrsg.): *Alexander von Humboldt in Berlin. Sein Einfluß auf die Entwicklung der Wissenschaften*. Augsburg 2003 (= Algorismus; 41), 27–57.
- Knobloch, Eberhard (2006): Erkundung und Erforschung: Alexander von Humboldts Amerikareise. *Poiesis and Praxis. International Journal of Ethics of Science and Technology Assessment* 4:4 (12), 2006, 267–287.
- Knobloch, Eberhard (2009): Alexander von Humboldts Weltbild. *HiN X*, 19, 2009, 34–46.
- Knobloch, Eberhard (2010): Alexander von Humboldt und Carl Friedrich Gauß – im Roman und in Wirklichkeit. *Mitteilungen der Gauß-Gesellschaft* 47, 2010, 9–25.
- Körper, Hans-Günther (1958): Alexander von Humboldts und Carl Friedrich Gauß’ organisatorisches Wirken auf geomagnetischem Gebiet. *Forschungen und Fortschritte* 32, 1958, 1–8.
- Körper, Hans-Günther (1959): Aus der Korrespondenz Alexander von Humboldts und Carl Friedrich Gauß’ mit Teilnehmern an geomagnetischen Beobachtungen. *Forschungen und Fortschritte* 33, 1959, 298–303.
- Legendre, Adrien-Marie (1785): Recherches sur l’attraction des sphéroïdes homogènes. *Mémoires de mathématique et de physique, présentés à l’Académie Royale des Sciences*, par divers Savans, et lus dans ses assemblées 10, 1785, 411–434.
- Mundt, Wolfgang; Kühn, Peter (1984): *Alexander von Humboldts Beitrag zum Geomagnetismus und zur Geothermie*, hrsg. vom Präsidium der Urania, Sektion Geowissenschaften, Heft 9, Berlin 1984.
- Pieper, Herbert (2000): „Ungeheure Tiefe des Denkens, unerreichbarer Scharfblick und die seltenste Schnelligkeit der Kombination“. *Zur Wahl Alexander von Hum-*

## Humboldt und Gauß als Wegbereiter der neuen Disziplin Erdmagnetismus (K. Reich)

*boldts in die Académie royale des Sciences et Belles-Lettres zu Berlin*. Berlin 2000 (= Berliner Manuskripte zur Alexander-von-Humboldt-Forschung; 17).

Poisson, Siméon-Denis (1826): *Mémoire sur l'attraction des sphéroïdes*. *Connaissance des Temps pour 1829*, Paris 1826, 354–364.

Rayet, George (1873): *Recherches sur les observations magnétiques faites à l'observatoire de Paris de 1667–1872*. *Annales de l'Observatoire de Paris*, série Mémoires, 13, 1873, A\*1–A\*40.

Reich, Karin (2008): Carl Friedrich Gauß, Alexander von Humboldt und Wilhelm Weber: das Treffen in Berlin im September 1828 und seine Folgen. In: *Mathematics celestial and terrestrial: Festschrift für Menso Folkerts zum 65. Geburtstag*, hrsg. von Joseph W. Dauben u.a. (= Acta historica Leopoldina; 54). Stuttgart 2008, 747–771.

Schaefer, Clemens (1927): *Über Gauss' physikalische Arbeiten (Magnetismus, Elektrodynamik, Optik)*. In: Gauß-Werke 11,2, 2. Abhandlung, 217 S.

Schmidt, Eduard (1829/30): *Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie*. 2 Bde, Göttingen 1829 und 1830.

Schwarz, Ingo (1992): *Auf den Spuren Alexander von Humboldts in Berlin-Mitte*. (= Berliner Manuskripte zur Alexander-von-Humboldt-Forschung; 4). Berlin 1992.

Stevens, Henry (1863); *The Humboldt Library. A Catalogue of the Library of Alexander von Humboldt*. London 1863. Nachdruck Leipzig 1967.

Szabó, István (1976): *Geschichte der mechanischen Prinzipien und ihrer wichtigsten Anwendungen*. Basel und Stuttgart 1976.

Todhunter (1873): *A history of the mathematical theories of attraction and the figure of the earth*. 2 Bde. London 1873. Reprint New York 1962.