

# 1. Die Vermessung des Raumes

- 1.1 Der Raum als menschliche Grunderfahrung
- 1.2 Parallaxe und das Messen von Längen
- 1.3 Land- und Himmelsvermessung
- 1.4 Stereoskopisches Sehen
- 1.5 Längeneinheiten
- 1.6 Ist die Geometrie der Welt euklidisch?
- 1.7 Biographie: Carl Friedrich Gauß

## **Experimente:**

- Entfernungsmessung durch Triangulation
- Beleuchten eines Stabes von verschiedenen Stellen
- Längennormal auf der Basis der Wellenlänge von Mikrowellen

## 1.1 Der Raum als menschliche Grunderfahrung

Die Sinneserfahrungen des Menschen spielen sich in Raum und Zeit ab: Körper sind ausgedehnt, Abstände trennen die verschiedenen Körper. Körper verändern ihre Eigenschaften oder ihre Raumpositionen im Laufe der Zeit. In unserer Vorlesung wollen wir deshalb mit den Phänomenen Raum und Zeit beginnen, auch wenn sie so selbstverständlich sind, dass sie in Büchern über physikalische Alltagsphänomene häufig gar nicht auftauchen.

Auch wenn die Raumerfahrung zu den grundlegenden Sinnes- und Gehirneindrücken gehört, ist die Antwort auf die Frage, was denn Raum sei, alles andere als trivial. Für unseren "physikalischen Urvater" Newton bilden Raum und Zeit eine Art Rahmen (oder physikalisch gesprochen: ein Koordinatensystem), in dem die Welt "geschieht", d.h. in dem die physikalischen Vorgänge ablaufen. Raum und Zeit selbst aber stehen außerhalb der Physik, sind nicht Objekt physikalischer Untersuchungen. Kant hat diesem Gedanken eine philosophische Form gegeben. Für ihn sind Raum und Zeit keine gewöhnlichen Objekte der Natur, sondern "reine Formen sinnlicher Anschauung, die als Voraussetzungen im wahrnehmenden Subjekt eine Erfahrung der Natur überhaupt erst möglich machen" (Enzyklopädie der Philosophie). Raum und Zeit sind also für ihn Eigenschaften des menschlichen Sinnes- und Denksystems. Erst mit der Allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins und der modernen Kosmologie sind Raum und Zeit mit den Methoden der Physik zu untersuchende Gegenstände der natürlichen Welt geworden.

Dennoch ist wohl immer noch die Newtonsche Vorstellung über den Raum die verbreitetste und reicht auch für den Alltag völlig aus. In unserer ersten Vorlesung werden wir uns hauptsächlich damit beschäftigen, wie man Entfernungen misst und wie die Einheit der Länge definiert ist.

## 1.2 Parallaxe

Bei den verschiedenen Methoden, Entfernungen zu messen, spielt die Parallaxe (griech. "Vertauschung") eine wichtige Rolle. Die Parallaxe ist der Winkel  $\alpha$  zwischen den Verbindungsgeraden von einem Punkt P (dem Objekt) zu zwei Endpunkten A und B einer Strecke, der sog. Basis, mit Länge b. Wenn das Dreieck gleichschenkelig ist, ergibt eine elementare Rechnung den Zusammenhang zwischen dem gesuchten Abstand d des Objektes von der Basis und den zwei zu messenden Größen  $\alpha$  und b:

$$d = (b/2)/\tan(\alpha/2) \approx b/\alpha,$$

wobei die ungefähre Relation für kleine Werte des im Bogenmaß ausgedrückten Winkels  $\alpha$  gilt. Die Entfernung des Objektes lässt sich also aus der Größe b der Basis und dem Wert der Parallaxe  $\alpha$  berechnen. Gemessen wird jedoch nicht der Parallaxenwinkel  $\alpha$ , sondern der Winkel  $\beta = \pi/2 - \alpha/2$  bei dem Punkt A (oder B) zwischen der Richtung der Basis und der Verbindungsgeraden AP. Bei großen Entfernungen d sind die gemessenen Winkel  $\alpha$  sehr klein und damit u.U. mit großen Fehlern behaftet.

### **Versuch: Bestimmung der Entfernung eines Gegenstandes durch Triangulation**

Ein Gegenstand im Hörsaal wird von zwei Punkten A und B, deren Abstand b gemessen wird, mit einem Laser angepeilt. Mit einem Geodreieck werden die Winkel zwischen den Laserstrahlen und der Basis gemessen.

## 1.3 Land- und Himmelsvermessung

Die Relation zwischen der Parallaxe  $\alpha$ , der Basislänge b und der gesuchten Entfernung d wird in der Landvermessung und bei der Entfernungsbestimmung von Himmelskörpern angewandt. Wir wollen uns im folgenden auf die astronomischen Entfernungs-messungen beschränken, für die große Basislängen von entscheidender Bedeutung sind.

Für die Bestimmung der Entfernung des Mondes oder naher Planeten bzw. Kleinplaneten reicht die Distanz zwischen zwei weit voneinander entfernten Orten auf der Erde als Basislänge aus. Am besten eignen sich zwei Sternwarten, die auf dem gleichen Meridian liegen. Dann lässt sich aus der Kenntnis der beiden geographischen Breiten und des Erdradius sowie aus der Messung der Zenitdistanzen die Entfernung des Himmelskörpers vom Erdmittelpunkt bestimmen. (Beispiel: zwei Orte mit gleicher geographischer Breite  $\varphi$  auf der Nord- und Südhalbkugel; Beobachtung des Mondes, wenn er über dem Äquator kulminiert.) Daraus ergibt sich die sog. äquatoriale Horizontalparallaxe: das ist derjenige Winkel, unter dem der äquatoriale Radius der Erde von dem entsprechenden Himmelskörper aus gesehen wird. Für den Mond erhält man einen mittleren Wert von  $\alpha_M = 3442,6'' = 0,95^\circ$ , der einer mittleren Entfernung des Mondes von  $d_M = 384000 \text{ km} = 60,3 \text{ Erdradien}$  entspricht.

Für die Sonne ist diese Parallaxe mit  $\alpha_S = 8,8''$  zu klein, um sie bzw. die Entfernung Erde-Sonne  $d_S$  durch Triangulation direkt zu messen. Man bestimmte  $d_S$  u.a. durch Messung der Entfernung eines Kleinplaneten und mit Hilfe des 3. Keplerschen Gesetzes. Dabei ergab sich für die Entfernung der Sonne von der Erde der Wert  $d_S = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$ , der als neues Entfernungsmaß eingeführt wurde und den Namen 1 Astronomische Einheit (1 AE) erhielt. Aus diesem Wert ergibt sich die oben angegebene Sonnenparallaxe  $\alpha_S$ .

Um Entfernungen von Fixsternen zu bestimmen, reichen die Basislängen auf der Erde, die maximal  $2 R_E$  groß sind, nicht aus. Als größere Basis bietet sich der Radius bzw. der Durchmesser der Erdumlaufbahn um die Sonne an. Man misst also die Veränderung der Positionen naher Fixsterne während eines Jahres. Aus der sich dabei ergebenden Ellipse erhält man dann die Sternparallaxe, die auch jährliche Parallaxe genannt wird. Sie gibt denjenigen Winkel  $\alpha_F$  an, unter dem der Erdbahnradius von 1 AE vom entsprechenden Fixstern aus zu sehen ist. Für  $\alpha$ -Centauri, einen der nächsten Fixsterne, beträgt die Parallaxe  $\alpha_F = 0,754''$ , was einer Entfernung von ca. 274000 AE entspricht. Aus den angegebenen Werten sieht man zweierlei:

1. Die Werte  $\alpha_F$  für die allernächsten Fixsterne liegen bereits unter  $1''$  und sind damit sehr klein. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die erste Fixsternparallaxe erst im Jahre 1837 gemessen wurde. Damit wurde damals - rund 200 Jahre nach Kopernikus - der endgültige Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne geliefert.
2. Auch die Astronomische Einheit ist für Entfernungsangaben von Fixsternen sehr klein. Daher wurden in der Astronomie zwei neue Längeneinheiten eingeführt:
  - Das Lichtjahr: 1 Lichtjahr (1 LJ) ist diejenige Entfernung, die das Licht während eines Jahres im Vakuum zurücklegt.  $1 \text{ LJ} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km} = 63240 \text{ AE}$
  - Das Parsec: Aus der Entfernung von 1 parsec (1 pc) sieht man den Erdbahnradius unter einem Winkel von 1 Bogensekunde.  $1 \text{ pc} = 206265 \text{ AE} = 3,09 \cdot 10^{13} \text{ km} = 3,26 \text{ LJ}$ .

Die Grenze, bis zu der Sternentfernungen noch mit Hilfe der Triangulation gemessen werden können, liegt bei etwa 500 bis 1000 pc. Da die Längsausdehnung der Milchstraße jedoch bei etwa  $30 \text{ kpc} \approx 100000 \text{ LJ}$  liegt, lassen sich mit Hilfe der Parallaxenmethode nur Sternentfernungen innerhalb unserer Milchstraße messen.

#### **Versuch: Beleuchten eines Gegenstandes von verschiedenen Positionen**

Eine Experimentierleuchte ohne Linse wird auf einem Drehteller bewegt. Der Schatten eines Stabes wird auf dem Schirm verfolgt. Hierbei kann man die Abhängigkeit der Parallaxe von  $b$  und  $d$  zeigen.

### 1.4 Stereoskopisches Sehen

Der menschliche Sehapparat mit seinen zwei Augen in einem Pupillenabstand  $b \approx 6,5 \text{ cm}$  und der Möglichkeit, die Richtung der Augenachsen zu drehen, legt die Vermutung nahe, dass das räumliche Sehen des Menschen auf dem Effekt der Parallaxe beruht. Das ist jedoch nur zum Teil richtig. Bei Entfernungen von einigen Metern wird in der Tat der Effekt der Parallaxe für das stereoskopische Sehen benutzt (Abb. 1.2). Objekte in verschiedenem Abstand, d.h. mit verschiedener Parallaxe, entwerfen auf der Netzhaut Bilder an verschiedenen Orten. Zum Beispiel wird Carol im linken Auge bei B, Charlie bei A abgebildet. Die Länge der Basis ist gegeben durch den Abstand  $b$  der beiden Augenlinsen. Der Parallaxenwinkel ergibt sich für das Gehirn aus der Lage der Bilder eines Gegenstandes auf den beiden Augenhintergründen.

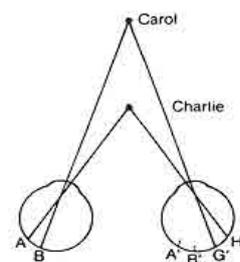


Abb. 1.2: Parallaxeneffekt beim räumlichen Sehen des Auges.

Da der Abstand der Rezeptoren im menschlichen Auge größer als  $2 \mu\text{m}$  ist, ist aus physiologischen Gründen räumliches Sehen jenseits vom 100 m nicht möglich. Die Psychologie des Sehens lehrt, dass diese Grenze schon bei etwa 6,5 m liegt. Bei größeren Entfernungen benutzt der menschliche Sinnesapparat (einschließlich Gehirn) andere Verfahren, um Entfernungen zu schätzen. Eine davon besteht darin, dass die Größe von Objekten im Gehirn gespeichert ist, und der jeweilige Sinneseindruck des Objekts mit der gespeicherten Referenzgröße verglichen wird und daraus auf den Abstand geschlossen wird. Dazu muss man allerdings wissen, um welche Art von Objekt es sich handelt, z.B. um ein Linienflugzeug oder ein Modellflugzeug.

## 1.5 Längeneinheiten

Entfernungen lassen sich messen, d.h. durch Zahlen ausdrücken, sobald man eine Längeneinheit eingeführt hat. Diese Einheit ist willkürlich. Menschliche Gemeinschaften (Städte oder Staaten) haben sich sicherlich schon vor 5000 Jahren oder früher auf verbindliche Einheiten geeinigt. Wir denken z.B. an den Bau der Pyramiden, bei dem die Steine mit vorgegebenen Größen angefertigt werden mussten. Auch der Güteraus-tausch verlangte eine Längeneinheit. Frühe Längennormale waren der Fuß, die Elle und der Schritt und im angelsächsischen Raum der Yard und der Inch, die dort heute immer noch verbreitet sind. Im Jahre 1795 definierte die französische Nationalversammlung das Meter als 40 Millionsten Teil des durch Paris gehenden Erdmeridians. Etwa 100 Jahre später, im Jahre 1889, wurde diese Länge in einem "Urmeter" aus einer Platin-Iridium Legierung festgelegt und Kopien an alle Länder, die sich der Meterkonvention angeschlossen hatten, verteilt.

Um die Messgenauigkeit zu steigern, wurde später die Längeneinheit 1 Meter mit Hilfe von atomaren Prozessen festgelegt. Zwischen 1960 und 1983 galt, dass  $1 \text{ m} = 1650763,73 \cdot \lambda_{\text{Kr}}$ , wobei  $\lambda_{\text{Kr}}$  (605,8 nm) die Wellenlänge des orangefarbenen Lichtes ist, das bei einem Übergang im Krypton ( $^{86}\text{Kr}$ ) ausgesandt wird. Heute ist 1 Meter die Länge einer Strecke, die das Licht im Vakuum während der Dauer von  $(1/29979245,8)$  s durchläuft. Diese Definition wurde eingeführt, da man Zeiten bedeutend genauer messen kann als Längen. Sie impliziert, dass der Wert der Lichtgeschwindigkeit festgelegt wurde.

In einem Versuch, der zwar nicht mit Licht, sondern mit Mikrowellenstrahlung durchgeführt wird, soll gezeigt werden, wie die Wellenlänge von elektromagnetischer Strahlung zur Längenmessung geeignet ist..

### **Versuch: Ausmessung einer Strecke mit Hilfe von Mikrowellen.**

Mit einem Michelson-Interferometer für Mikrowellen wird die Länge eines Stabes (40 cm) als ein Vielfaches der halben Wellenlänge bestimmt. Man kann leicht einsehen, dass die Messgenauigkeit unter  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge liegt.

## 1.6 Ist die Geometrie der Welt euklidisch?

Das ist nun sicherlich keine Frage, die für den Alltag relevant ist. Dennoch ist sie so provozierend, dass wir hier kurz darauf eingehen wollen. Wie man aus dem Schulunterricht noch weiß, ruht das ganze Gedankengebäude der Euklidischen Geometrie auf einigen wenigen Axiomen, die selbst nicht bewiesen werden. Hierzu gehört u.a. das Axiom, dass zwei Parallelen sich nur im Unendlichen schneiden. In

diesem Gedankengebäude wird dann z.B. bewiesen, dass die Winkelsumme im Dreieck  $180^\circ$  beträgt. Dieses Ergebnis ist die Grundlage für die Entfernungsbestimmung mit Hilfe der Parallaxe, die als stillschweigende Voraussetzung hat, dass die euklidische Geometrie auch die Geometrie des physikalischen Raumes ist. Zweifel an dieser Grundvoraussetzung aller Land- und Himmelsvermessung kamen zum ersten Mal dem großen Mathematiker Carl Friedrich Gauß, als er die Aufgabe übernommen hatte, das Land des Königsreiches Hannover zu vermessen. Er analysierte seine Winkelmessungen, die er im Zuge der Landvermessung aufgenommen hatte, auch in Bezug auf diese Frage, fand aber keine messbaren Abweichungen von der Winkelsumme  $180^\circ$ . Parallel zu den empirischen Überlegungen entwickelte Gauß auch das Konzept nicht-euklidischer Geometrien.

Nach den neuesten experimentellen Ergebnissen der Kosmologie ist der Kosmos im Großen "flach", d.h. er genügt der Euklidischen Geometrie. Hierbei sind unter groß intergalaktische Distanzen zu verstehen. In der Nähe von Materieansammlungen ergeben sich jedoch Krümmungen und damit Abweichungen von der Euklidischen Geometrie. Den Geraden des Euklidischen Raumes entsprechen in der physikalischen Welt die Wege des Lichtes. Lichtstrahlen werden jedoch nach der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) durch Massen abgelenkt und damit gekrümmt. Diesen Effekt hat man im Zusammenhang mit der experimentellen Überprüfung der ART durch die Ablenkung des Lichtes um  $1,75''$  am Rand der Sonne beobachtet. Damit ist bewiesen, dass Lichtstrahlen im Gravitationsfeld gekrümmt werden und damit z.B. zwei parallele Lichtstrahlen, die im verschiedenen Abstand an der Sonne vorbeifliegen nicht mehr parallel sind. Für unsere tägliche Arbeit ist das jedoch unerheblich.

### 1.7 Biographie: Carl Friedrich Gauß (1777 - 1855)

Der große Mathematiker wurde in Braunschweig geboren und stammte aus einfachen Verhältnissen. Er war das einzige Kind von Gerhard Dietrich Gauß, der verschiedene Tätigkeiten ausführte, er war u. a. Gärtner, Schlachter, Maurer, Kaufmannsassistent und Schatzmeister einer kleinen Versicherungsgesellschaft. Die Mutter von Carl Friedrich wird als herzensgut und intelligent beschrieben, konnte allerdings praktisch kaum lesen und schreiben. In der Volksschule erkannte der Lehrer bald, welche hervorragenden mathematischen Fähigkeiten in dem Jungen schlummerten. Bekannt ist die Geschichte, dass Gauß in kürzester Zeit die Summe der ersten hundert natürlichen Zahlen berechnete, indem er sie zu 50 Paaren mit dem Wert 101 zusammenfasste. Er selbst erzählte später, dass er das Rechnen vor dem Sprechen gelernt habe. Er konnte selbst komplizierteste Rechnungen im Kopf durchführen und behielt diese Gabe während seines gesamten Lebens.

Sein Lehrer und dessen Assistent sorgten nun dafür, dass der junge Gauß das Gymnasium Catharineum in Braunschweig besuchen durfte. Mit 14 Jahren wurde der Wunderknabe dem Herzog Carl Wilhelm Ferdinand von Braunschweig vorgestellt, der ihn fortan finanziell unterstützte und für seinen Lebensunterhalt sorgte. Damit konnte Gauß von 1792 bis 1795 am Collegium Carolinum, aus dem letztlich die heutigen Technischen



Universität Braunschweig entstanden ist, studieren. Auch dort erkannte man bald sein mathematisches Talent, so dass der Professor Eberhard August Wilhelm von Zimmermann ihn förderte und ihm zum väterlichen Freund wurde.

Im Oktober 1795 ging Gauß dann nach Göttingen, um dort seine Studien fortzusetzen. Doch er beschäftigte sich nicht nur mit der Mathematik, die durch Abraham Gotthilf Kästner nicht gerade gut vertreten wurde, sondern auch mit der klassischen Philologie, die ihn damals sehr interessierte. Ferner hörte er bei Georg Christoph Lichtenberg [1] Vorlesungen über Experimentalphysik und wahrscheinlich auch über Astronomie.

Im Jahre 1798 verließ Gauß Göttingen ohne Abschluss, obwohl er als 18-jähriger während seiner Göttinger Zeit eine seiner wichtigsten Entdeckungen machte: die Konstruktion eines regelmäßigen 17-Ecks mit Zirkel und Lineal. Dies war der größte Erfolg auf diesem Gebiet seit der Antike und sicherlich ein Grund dafür, dass Gauss sich fürderhin ganz der Mathematik widmete. Sein Studium schloss er 1799 an der Universität Helmstedt mit seiner Dissertation zum Fundamentalsatz der Algebra ab. Dass er hierfür die Academia Julia in Helmstedt auswählte, hatte wohl zwei Gründe: Zum einen wurde hier die Mathematik durch Johann Friedrich Pfaff wesentlich besser vertreten als in Göttingen, zum anderen hätte es wohl sein Gönner, der Herzog von Braunschweig, nicht gern gesehen, wenn er an einer "ausländischen" Universität promoviert hätte.

Da ihn der Herzog weiterhin durch ein Stipendium unterstützte, musste sich Gauß nicht um eine Anstellung kümmern und konnte sich ganz der Wissenschaft hingeben. Er vollendete seine bereits 1796 begonnenen Studien zur Zahlentheorie und veröffentlichte die Ergebnisse unter dem Titel "Disquisitiones Arithmeticae" im Sommer 1801.

Zu Beginn des Jahres 1801 war der Planetoid Ceres vom italienischen Astronomen Giuseppe Piazzi entdeckt worden. Er konnte den Kleinplaneten allerdings nur über ein kurzes Stück seiner Bahn beobachten, bevor er hinter der Sonne verschwand. Bald darauf wurden einige stark voneinander abweichende Bahnbestimmungen - darunter auch eine von Gauß - publiziert, die vorhersagten, an welcher Stelle des Himmels Ceres wieder auftauchen sollte. Als dann der Planetoid gegen Ende des Jahres wiedergefunden wurde, stand er genau an der Stelle, die Gauß berechnet hatte. Daraufhin beschäftigte sich Gauß auch mit der Berechnung der Bahn des von Olbers entdeckten Planetoiden Pallas, konnte jedoch in diesem Fall keine Lösung finden. Die Ergebnisse seiner Arbeiten zur Planetenbewegung fasste Gauß 1809 in einem zweibändigen Werk mit dem Titel "Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium (Theorie der Bewegung der Himmelskörper, die die Sonne in Kegelschnitten umkreisen)" zusammen, das den Verfasser in Europa bald noch bekannter machte als sein Werk zur Zahlentheorie. Auch in den nächsten Jahren arbeitete Gauß noch auf dem Gebiet der theoretischen Astronomie, später jedoch beschränkte er sich bis ins hohe Alter auf Beobachtungen.

In dem ersten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts hat sich im Leben von Carl Friedrich Gauß viel ereignet. Als er einen Ruf an die Petersburger Akademie der Wissenschaften erhielt, lehnte er ihn ab. Dies geschah wohl aus Dankbarkeit gegenüber seinem Landesherrn und auch in der Hoffnung, dass ihm dieser eine Sternwarte in Braunschweig errichten lassen würde. Als der Herzog, der mit den Preußen gegen Napoleon kämpfte, in der Schlacht von Jena und Auerstädt (Okt. 1806) ums Leben kam,

veränderten sich die Verhältnisse in Braunschweig und Gauß wechselte 1807 als Professor und Direktor der Sternwarte nach Göttingen.

Im Herbst des Jahres 1805 hatte Carl Friedrich Gauß Johanna Osthoff geheiratet, die ihm 3 Kinder gebar, bei der Geburt des dritten im Jahre 1809 jedoch verstarb. Wegen der kleinen Kinder heiratete Gauß bald darauf zum zweiten Mal, und zwar eine Freundin seiner ersten Frau. Obwohl diese Ehe nicht glücklich war, hatten die beiden abermals drei Kinder, von denen die jüngste Tochter nach dem Tode der Mutter (1831) Gauß den Haushalt führte.

Neben den bereits aufgeführten Leistungen machte sich Gauß auch als Geodät einen Namen. Die ersten Erfahrungen auf diesem Gebiet sammelte er in den Jahren von 1797 bis 1801 als Berater des französischen Generalquartiermeisters bei der Landvermessung des Herzogtums Westfalen. Später war er mit Messungen der Längen- und Breitengrade im Königreich Dänemark betraut und zwischen 1818 und 1826 leitete er die Landesvermessung des Königreichs Hannover, die unter dem Namen "Gaußsche Landesaufnahme" bekannt wurde. Angeregt durch seine geodätischen Arbeiten beschäftigte Gauß sich auch mit der Theorie der Differentialgeometrie der Flächen. Er führte den Begriff der Krümmung ein und zeigte, dass die Winkelsumme in einem Dreieck von der Krümmung abhängt.

Unabhängig von anderen Wissenschaftlern erkannte er, dass das Euklidische Parallelenaxiom für den Aufbau der Geometrie nicht zwingend notwendig ist, dass es also neben der Euklidischen Geometrie weitere Geometrien gäbe. Er veröffentlichte seine Ideen zur nichteuklidischen Geometrie jedoch nicht, da er davon ausging, dass sie bei seinen Zeitgenossen wohl nur auf Unverständnis stoßen würden.

Im Jahre 1831 wurde Wilhelm Weber [2], den Gauß einige Jahre früher kennen- und schätzen gelernt hatte, auf den Lehrstuhl für Experimentalphysik nach Göttingen berufen. Gauß hatte bereits früher auf dem Gebiet der Physik gearbeitet, was durch einige Arbeiten zur Mechanik, die u.a. das Prinzip des geringsten Zwanges enthalten, dokumentiert ist. Zusammen mit Weber widmete er sich nun der Untersuchung des Erdmagnetfeldes, nachdem Alexander von Humboldt [3] ihn um Unterstützung bei der Errichtung von magnetischen Beobachtungsstationen an vielen Stellen der Erde gebeten hatte. Nach der Erfindung des Magnetometers wurde eine Verbindung zwischen der Göttinger Sternwarte und dem Physikalischen Institut hergestellt, so dass Gauß und Weber über elektromagnetisch beeinflusste Kompassnadeln Nachrichten untereinander austauschen konnten. Die erste elektromagnetische Telegrafienleitung war errichtet.

Gauß und Weber entwickelten ferner das cgs-Einheitensystem, das 1881 auf einem internationalen Kongress in Paris zur Grundlage der elektrotechnischen Maßeinheiten bestimmt wurde.

Insgesamt hat Carl Friedrich Gauß auf vielen Gebieten gearbeitet, häufig jedoch seine Ergebnisse erst dann veröffentlicht, wenn seine Theorie für ihn ausgereift war. Das hatte zur Folge, dass er Kollegen gelegentlich darauf hinwies, dieses oder jenes Resultat schon lange bewiesen zu haben, es wegen der Unvollständigkeit der zugrundeliegenden Theorie oder der ihm zum schnellen Arbeiten fehlenden nötigen Heiterkeit nur noch nicht präsentiert zu haben. Seine Kritiker taten dies jedoch als Ausdruck einer übertriebenen Geltungssucht ab. Da Gauß ein intensiver Tagebuchschreiber war und dort auch viele seiner Resultate notierte, konnte Jahre nach seinem Tode belegt werden, dass er

einen großen Teil seiner behaupteten Leistungen tatsächlich erbracht hatte. Die ganze Bedeutung und Reichweite seiner Arbeiten konnten allerdings erst gewürdigt werden, als 1898 seine Tagebücher ausgewertet waren.

Als Weber aus politischen Gründen Göttingen im Jahre 1837 verließ, zog sich Gauß allmählich zurück. Zwischen 1845 und 1851 beschäftigte er sich mit der Reorganisation des Witwenfonds der Göttinger Universität. Hierbei sammelte er eine Menge praktischer Erfahrung in finanziellen Dingen, so dass er anschließend ein Vermögen machte, indem er kluge Investitionen in Fonds privater Unternehmen tätigte.

Als seine Schaffenskraft im Alter abnahm, widmete sich zunehmend der Literatur. Außerdem fertigte er Listen über die monatlichen Einnahmen der Hannoverschen Eisenbahn und die Lebenserwartung berühmter Männer an.

Gauß war ein konservativer und tief religiöser Mensch, der monarchistisch eingestellt war und sich mit der Revolution von 1848 überhaupt nicht abfinden konnte. Nachdem er im Jahre 1855 friedlich entschlafen war, hinterließ er eine große Zahl überragender wissenschaftlicher Leistungen auf verschiedensten Gebieten. So ist es nicht verwunderlich, dass der König von Hannover bereits ein Jahr nach seinem Tode Gauß-Gedenkmünzen mit seinem Bild und der Inschrift Mathematicorum Principi (lat.: „dem Fürsten der Mathematiker“) prägen ließ.

- [1] Georg Christoph **Lichtenberg** (1742 - 1799), Schriftsteller und Physiker ab 1770 Professor für Physik in Göttingen; vielseitiger Gelehrter und geistvoller Satiriker
- [2] Wilhelm Eduard **Weber** (1804 - 1891)  
1831 - 1837 Professor für Physik in Göttingen, dann erhob er als einer der sog. Göttinger Sieben (7 Professoren, zu denen auch die Gebrüder Grimm gehörten) Einspruch gegen die Aufhebung der hannoverschen Verfassung durch König Ernst August II. und wurde daraufhin abgesetzt. Er galt danach als Opfer fürstlicher Willkür und Bekenner freiheitlicher Gesinnung.  
1843 – 1849 in Leipzig, danach Rückkehr nach Göttingen  
Grundlegende Arbeiten zur Elektrizität und zum Magnetismus (Untersuchung des Erdmagnetismus), begründete mit Gauß zusammen das absolute elektrische Maßsystem und legte durch Präzisionsmessungen die Einheiten von Stromstärke, Spannung und Widerstand fest. Zusammen mit C.F. Gauß konstruierte er 1833 den ersten elektromagnetischen Telegrafen und eine Reihe von Messinstrumenten.
- [3] Alexander **von Humboldt** (1769 – 1859), Naturforscher

#### Quellen:

1. Daniel Kehlmann: Die Vermessung der Welt, 20. Aufl., Rowohlt Verlag, Hamburg, 2006
2. [http://de.wikipedia.org/wiki/Carl\\_Friedrich\\_Gau%C3%9F](http://de.wikipedia.org/wiki/Carl_Friedrich_Gau%C3%9F)
3. [www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Gauss.html](http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Gauss.html)
4. [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph08/umwelt\\_technik/11\\_laengeneinheit/laengeneinheit.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph08/umwelt_technik/11_laengeneinheit/laengeneinheit.htm)