

## Der Reichskanzler der Physik: Leben und Wirken von Hermann von Helmholtz

Es ist Kaiser Wilhelm I., der im Jahre 1883 den 1821 in Potsdam geborenen Hermann Helmholtz in den Adelsstand erhebt, kurz nachdem der als Mediziner ausgebildete, als Sinnesphysiologe erfolgreiche, als Philosoph beeindruckende, als Physiker überragende und sich in vielen populär gehaltenen Schriften um die Vermittlung seines Wissensschatzes bemühende Universalgelehrte zusammen mit Industriellen und Freunden eine Denkschrift verfasst hat, in der vorgeschlagen wird, ein »Institut für die experimentelle Förderung der exakten Naturforschung und Präzisionstechnik« zu gründen. Das Vorhaben kann mit Erfolg durchgeführt werden und hat die berühmte Physikalisch-Technische Reichsanstalt entstehen lassen, zu deren erstem Präsidenten der preußische Staat 1887 den verehrten Bildungsbürger und Kulturträger Hermann von Helmholtz beruft. Ihm wird dafür sogar ein exorbitantes Salär zugebilligt, dessen Höhe Helmholtz selbst vorgeschlagen hat.



Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt (jetzt: Physikalisch-Technische Bundesanstalt) wird 1887 auf maßgebliche Initiative von Werner von Siemens in Berlin gegründet. Hermann von Helmholtz ist ihr erster Präsident.

Er meint, dass ihm dies als »Reichskanzler der Physik«, wie er in Anspielung auf Bismarck von seinen Kollegen respektvoll genannt wird, zustehe. Schließlich habe er eine Gelehrtenrepublik zu regieren wie der Reichskanzler seine Nation, und tatsächlich beklagt sich niemand über die Besoldung des Präsidenten. Man betrachtet sie wohl als angemessen angesichts des Arbeitspensums, das Helmholtz als Leiter der großangelegten Institution zu bewältigen hat. Unter seiner Leitung führen Wissenschaftler eine Fülle von Forschungsarbeiten durch, um den Einsatz von Elektrizität zu erproben oder zu einem besseren Verständnis von Wärme und Licht zu gelangen. Zudem müssen sie sich mit Materialprüfungen jeder Art beschäftigen, die aus akademischen und industriellen Kreisen angefragt werden. Bei diesem riesigen Aufgabengebiet sind tatsächlich die Fähigkeiten eines »intellectual giant« gefragt, wie der große schottische Physiker James Clerk Maxwell seinen deutschen Kollegen Helmholtz einmal bewundernd genannt hat. Der preußische Gigant des Geistes hat eine Leidenschaft für Präzision, was ihn dazu bringt, sein Leben lang mit großer Gründlichkeit vorzugehen, nicht erst als Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, die unter seiner wissenschaftlich orientierten Führung eine solche Bedeutung entwickelt, dass sie unter einer leicht geänderten Bezeichnung als Physikalisch-Technische Bundesanstalt bis heute fortbesteht. Den neuen Namen trägt die Einrichtung seit der Nachkriegszeit, sie verfügt inzwischen über neun wissenschaftliche Fachabteilungen und wird von ihrem Hauptsitz in Braunschweig aus geleitet.

### **Brotlose Kunst**

Angefangen hat alles natürlich viel kleiner. Als Sohn eines Berliner Gymnasialprofessors für alte Sprachen und der Tochter eines Hannoverischen Artillerieoffiziers wächst der Knabe Hermann in Potsdam in einem mit einer großen Bibliothek ausgestatteten Haus auf. In gut bildungsbürgerlicher Tradition wird er auf der Schule zunächst humanistisch gedrillt, und neben dem Lateinischen und Griechischen lernt er noch Hebräisch, Arabisch, Italienisch und auch ein wenig Englisch, was alles sehr an den Lerneifer des gleichaltrigen Virchow erinnert. Als der

reifer werdende Jugendliche trotz aller Antike im Kopf Physik studieren will, lehnt sein Vater dies mit der Begründung ab, das sei eine brotlose Kunst. Für einen humanistisch gebildeten Deutschen mag das damals ein nachvollziehbares Urteil sein, zumal man über der Verehrung für Goethe und Fichte leicht übersieht, dass Isaac Newton in England bereits im 17. Jahrhundert seine Mechanik begründet hat und dass der britische Zeitgenosse Michael Faraday bahnbrechende Entdeckungen macht, mit deren Hilfe die Elektrizität in die Haushalte gekommen ist, sodass auch die Bildungsbürger im Licht der Glühlampen ihren Homer lesen können.

Vater und Sohn handeln einen Kompromiss aus: 1838 geht der 17-jährige Abiturient nach Berlin und tritt genau wie Rudolf Virchow in die Péripière ein. Vier Jahre später verlässt er sie als promovierter Anatom. Die vier Jahre in der Péripière, die für die Familie keine übermäßige finanzielle Belastung mit sich bringen, ziehen allerdings die Verpflichtung nach sich, im Anschluss an die Studienzeit die doppelte Länge als preußischer Militärarzt abzudienen. Helmholtz absolviert nicht einmal die Hälfte, weil man bei ihm trotz aller Liebe zu seinen Mitmenschen keine Neigung zum ärztlichen Beruf erkennen kann und seinen wissenschaftlichen Ambitionen ab Mitte der 1840er Jahre nicht mehr im Weg stehen will. Zunächst aber tritt der frischgebackene Doktor der Medizin als Assistent in die Charité ein, bevor er eine attraktive Stelle als »Schwadronschirurg« in Potsdam erhält und die Aufgaben übernimmt, die man heute einem Kompaniearzt anvertrauen würde.

Während seiner Studienjahre lernt Helmholtz eine Medizin kennen, in der »jemand, der in physikalischen Betrachtungsweisen nur mäßig bewandert war, einen fruchtbaren jungfräulichen Boden zur Beackerrung« vorfindet, wie er rückblickend schreibt. Er meint damit vor allem die Vorlesungen des Physiologen Johannes Müller, der seine Studenten nicht nur in allgemeiner, vergleichender und pathologischer Anatomie, sondern vor allem in der als Physiologie bezeichneten Wissenschaft von den Lebensvorgängen unterrichtet. In den Jahren von 1833 bis 1840 ist Müllers *Handbuch der Physiologie des Menschen* erschienen, und Helmholtz zeigt sich von den darin behandelten Themen so begeistert, dass

er sich ein eigenes Mikroskop anschafft und bei seinem Lehrer Müller mit einer Arbeit über mikroskopische Anatomie promoviert, in der er Verbindungen zwischen Zellen und deren Entwicklung erkundet. Die Dissertation wird in lateinischer Sprache verfasst, und auf Latein läuft auch das dazugehörige mündliche Examen ab. Der Doktorvater und der Direktor der Péripière zeigen sich so zufrieden mit dem jungen Helmholtz, dass er auserkoren wird, an dem jährlich gefeierten Gründungstag der Anstalt im August 1842 eine Rede über ein wissenschaftliches Thema zu halten. Der 21-jährige Helmholtz referiert über Operationen von Tumoren in Blutgefäßen, die er allerdings nur aus Büchern kennt. Immerhin gibt er damit aber zu erkennen, wie umfassend schon jetzt seine Interessen als aufstrebender Forscher sind. Früh zeigt sich, dass er die Welt der Wissenschaft bis in den verborgensten Winkel durchstreifen und auskundschaften will.

In den Jahren nach dem Abschied von der Péripière steht Helmholtz als Militärarzt offenbar viel Zeit zur Verfügung. Er liest Kant, Goethe, Homer und andere Klassiker und übt täglich eine Stunde das Klavierspiel – bevorzugt Sonaten von Beethoven und Mozart –, vor allem aber unternimmt er physiologische Experimente, die 1845 zu seiner ersten Veröffentlichung mit dem Titel *Über den Stoffwechselverbrauch bei Muskelaktion* führen. Mit seinen Messungen analysiert er die Produktion von Wärme im tierischen Körper. Oberflächlich betrachtet klingt das harmlos, aber in der Tiefe wird hier eine Frage behandelt, die für die damalige Lebenswissenschaft – also die Physiologie – von größter Bedeutung ist: Gelten die physikalischen Gesetze, die man in der Thermodynamik für die anorganische Welt gefunden hat, auch in der organischen Welt? Verhält sich also die sprichwörtliche Lebensglut ähnlich wie eine konkrete Feuersglut oder kann im Leben anders als in toter Materie eine Lebenskraft ausfindig gemacht werden, die den Stoffwechsel im Körper antreibt, die Muskeln mit Energie versorgt und sie in Bewegung setzt. Und wie ließe sich diese Lebenskraft gegebenenfalls messen?

Müller hängt an dem Gedanken einer solchen Lebenskraft, während Helmholtz versucht, von dieser ihm hinderlich scheinenden Vorstellung loszukommen und alles durch mechanische Gesetze zu erklären, die de-

nen der Physik entsprechen und aus ihrem Denken zu gewinnen sind. Trotzdem orientiert er sich auch weiterhin an Müller, der unabhängig von seiner vitalistischen Haltung einmal versucht hat, ein Gesetz für die spezifischen Nervenenergien aufzustellen, mit dem er seine Überzeugung ausdrücken wollte, dass jeder periphere Nerv eine besondere Form von Energie in sich trägt, die von dem Sinnesorgan bestimmt wird, mit dem er verbunden ist. Helmholtz hat diese Einsicht anfangs so hoch eingeschätzt wie das Gravitationsgesetz von Newton, wobei diese Bewertung inzwischen als überzogen betrachtet werden sollte.

Zu den grundlegenden Themen der damals aufkeimenden Lebenswissenschaft, die bereits erkannt hat, dass Organismen aus Zellen zusammengesetzt sind, gehört die Frage nach der Herkunft der ersten und damit wörtlich ursprünglichen Zelle. Diese wollen Vitalisten auf eine Urzeugung zurückführen, was Helmholtz nicht behagt. 1843 veröffentlicht er seine Gedanken dazu im Aufsatz *Über das Wesen der Fäulnis und Gärung*. Der Text erscheint zwar in dem von Johannes Müller herausgegebenen *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, aber der Autor wendet sich darin gegen die Ansicht seines Lehrers und bemüht sich mit großem Engagement, unerklärt bleibende Lebenskräfte prinzipiell auszuschließen. Wie in einer ersten Zelle ein erstes Leben zustande gekommen ist oder kommen kann, gehört bis heute zu den Geheimnissen der natürlichen Welt, und wahrscheinlich werden noch viele Generationen von Wissenschaftlern nötig sein, um dieses Rätsel zu ergründen (ohne Zuflucht zu der manchmal geäußerten, aber nicht wirklich hilfreichen Behauptung zu nehmen, das Leben sei aus den Tiefen des Weltalls gekommen, wo erst recht niemand seinen Ursprung erklären kann).

Um die Lebensvorgänge konsequent auf physikalisch-chemische Abläufe zurückzuführen, finden sich Helmholtz und andere Physiologen wie Emil du Bois-Reymond und Ernst Brücke in einer Gruppe zusammen, die später als »organische Physiker von 1847« bekannt werden sollte. Die Mitglieder, die sich schon seit 1842 kennen, haben wie in einem Geheimbund einen Eid darauf geleistet, nicht mit metaphysischen Spekulationen, sondern auf naturwissenschaftlich-experimenteller Basis

die »Grenzen des Naturerkennens« auszuloten. Das Ziel dieser Berliner »Firma für organische Physik« besteht darin, die Lebenswissenschaften »ganz in die große Staatseinheit der theoretischen Naturwissenschaften« einzugliedern, die Physiologie also nach dem Vorbild der zeitgenössischen Physik zu formulieren und sie – wie die Mitglieder der Gruppe proklamieren – von mystischen Lebenskräften zu befreien.

### Die Erhaltung der Energie

Von Oktober 1845 an hält sich Helmholtz für fünf Monate in Berlin auf, um nach der Promotion noch das medizinische Staatsexamen abzulegen, und als er im Jahr danach wieder in Potsdam ist, teilt er den »organischen Physikern« mit: »im nächsten Quartal habe ich Lazarettwache, da werde ich hauptsächlich Konstanz der Kräfte treiben«. Das zeugt nicht nur von wenig Respekt für seine militärischen Pflichten, sondern erinnert auch an den ähnlich kecken Einstein, der seine großen Theorien der Physik als Angestellter des Patentamtes entwickelt und seinen Schreibtisch dort zu seinem »Büro für Theoretische Physik« erklärt.

Als Helmholtz Lazarettwache hält und über die »Konstanz der Kräfte« nachdenkt, versucht er vertrautes philosophisches Denken und neues wissenschaftliches Wissen unter einen Hut zu bringen. Hinter dem Begriff »Konstanz« verbirgt sich eine Grundhaltung oder Überzeugung, die Helmholtz den Schriften von Kant entnommen hat, der zu den Bedingungen der Möglichkeit, überhaupt so etwas wie Physik zu treiben und dabei Naturgesetze zu finden, die Annahme zählt, dass zu allen natürlichen Veränderungen und Abläufen grundlegende Invarianzen gehören. Es muss Größen geben, die erhalten oder eben konstant bleiben, während die Welt in Bewegung ist, und dieses Unveränderliche und Stabile kann vom forschenden Verstand erkannt, auf den Begriff gebracht und in eine wissenschaftliche Erkenntnis eingebaut werden. Das Ziel der Naturwissenschaften steht Helmholtz bei seiner Lazarettwache klar vor Augen: Es gilt, die Bewegungen der Materie auf »unveränderliche Bewegungskräfte, welche nur von den räumlichen Verhältnissen abhängig sind«, zurückzuführen.

Der nachdenkliche Militärarzt sucht in diesem theoretischen Rahmen nach einer feststehenden Größe, die hinter allen Lebenserscheinungen – und sogar hinter allen physikalischen Prozessen – stecken könnte, und er lenkt seine Aufmerksamkeit auf die Kraft, mit der alle Bewegungen in Gang gesetzt und alle Änderungen möglich werden. Solch eine Kraft schwebte schon Newton bei den Überlegungen zu seinem Gesetz der Gravitation, also der Schwerkraft, vor, etwas Vergleichbares steckt in der »Spannkraft« eines Bogens oder eines Muskels, und selbst die Vitalisten verwenden denselben Begriff, wenn sie nach der Lebenskraft suchen, wobei dem vielsprachigen Helmholtz sicher bekannt ist, dass der ursprüngliche Gebrauch des Wortes »Kraft« eine Muskelanspannung meint. Als Helmholtz den Muskeleinsatz mit einem körperlichen Verbrauch verbinden kann und als ihm nach und nach klar wird, dass Muskelbewegungen – etwa beim Zittern vor Kälte – für körpereigene Wärme sorgen, fasst er seine Überlegungen in einer philosophisch-physikalischen Arbeit zusammen, die 1847 unter dem Titel *Über die Erhaltung der Kraft* erscheint. Darin heißt es explizit: »In allen Fällen der Bewegung freier materieller Punkte unter dem Einfluss ihrer anziehenden und abstoßenden Kräfte [...] ist der Verlust an Quantität der Spannkraft stets gleich dem Gewinn an lebendiger Kraft, und der Gewinn der ersteren gleich dem Verlust der letzteren. *Es ist also stets die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkräfte konstant.*« Den letzten Satz lässt Helmholtz zur Betonung eigens kursiv setzen.

Historiker bescheinigen dieser Arbeit, dass sie einen Paradigmenwechsel angestoßen hat, und weisen darauf hin, dass das von Helmholtz ausgelöste Umdenken seinen Niederschlag in jedem Physikbuch gefunden hat. In einer modernen Version des Textes wäre vielleicht nicht mehr von Spannkraft und lebendiger Kraft die Rede, sondern von potenzieller beziehungsweise kinetischer Energie, aber die »Erhaltung der Energie« ist nur ein anderer Ausdruck für das, was die Physiker stolz als ihren Ersten Hauptsatz der Thermodynamik präsentieren: »Die Energie der Welt ist konstant«. Was so kühn klingt, bedeutet auch, dass Energie unzerstörbar ist, sie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, sie muss immer in der Welt vorhanden gewesen sein und muss ihr immer

zur Verfügung gestanden haben – vor allem an ihrem Anfang, an dem es der Bibel zufolge neben einem Gott nur die Finsternis über der Urflut gab. Diese Dunkelheit muss voller Energie gesteckt haben, weshalb man mit ihr auch erst die Welt schaffen und sie dann in Bewegung versetzen konnte.

Das Wort »Energie« ist uralte. Eingeführt hat es Aristoteles, der verstehen wollte, wie das Wirkliche, das sich vor den Augen der Menschen abspielt, aus den Möglichkeiten entsteht, die von der Welt in jedem Augenblick bereitgehalten werden. Um das Potenzielle aktuell werden zu lassen, führt der griechische Philosoph die von ihm als »energeia« bezeichnete Wandlungsfähigkeit ein. Das Wort »Energie« ist heute in aller Munde, aber es brauchte Zeit, um sich durchzusetzen. Die ersten Physiker im 17. und 18. Jahrhundert haben nicht von Energie gesprochen und nur die Kräfte im Sinn gehabt, die sie wahrnehmen, spüren und vermessen konnten. Die unsichtbare Energie kam erst nach 1800 zum Tragen, als sich der romantische Geist eine polare Welt zu-rechtlegte, in der es zum Beispiel neben dem sichtbaren Licht und dem bewussten Denken auch unsichtbare Strahlen und unbewusste geistige Prozesse geben konnte, an deren Existenz heute kein Zweifel mehr möglich ist.

Mit der Romantik tauchte, wie bereits erwähnt, auch die allgemeine Idee auf, dass sich alles in Bewegung befindet, und da alles in Bewegung sein sollte, brauchte das Denken – wie Kant es erwartet und vorhergesehen hatte und wie es zu der auf Polarität angelegten romantischen Denkweise passt – als Gegenstück eine konstante Größe, die permanent die Transformationen und Wandlungen antreibt. Die Physiker einigten sich nach und nach darauf, die Energie als diese Größe zu verstehen. »Die Energie der Welt ist konstant«, lautet bald der Konsens, und Helmholtz drückt es so aus, dass Energie weder gewonnen werden noch verloren gehen kann und als unzerstörbare Größe nur umzuwandeln ist.

Als Aristoteles sich vorstellte, dass es etwas geben muss, was die Welt in Gang hält, nannte er dieses Etwas den unbewegten Bewegter. Ein Bewegter war die Energie sicher, aber sie wandelte sich dabei selbst und

wechselte ihr Dasein zum Beispiel von Wärme- in Bewegungsenergie oder von Sonnen- in Lebensenergie. Die Energie erwies sich nicht als unbewegter, sondern als bewegter Bewegter, und sie sollte fortan nicht nur die Wissenschaftler, sondern die ganze Menschheit beschäftigen. Ihren endgültigen und von gleichsam höchster Stelle besiegelten Eintritt in die Physik machte sie um 1849, als der hochberühmte und hochgeehrte britische Physiker William Thomson, der später als Lord Kelvin geadelt wurde, zum ersten Mal bei mechanischen Bewegungen einer Masse den Begriff der kinetischen Energie verwendete. Ihm folgte 1851 der schottische Ingenieur William Rankine, der Gegenständen durch ihren Abstand vom Erdboden eine potenzielle Energie zusprach. Einige Jahre später übernahm dann Helmholtz den Begriff und verwendete ihn nach ersten Einsätzen in der Physiologie, wo es um Sinnes- oder Muskelenergien ging, schließlich auch in seinen physikalischen Überlegungen.

Auch wenn die meisten Geschichtsbücher Helmholtz als den Vater des Energiesatzes feiern, darf der aus Heilbronn stammende Arzt Julius Robert Mayer nicht vergessen werden. Helmholtz hat dies nie getan und explizit von »Robert Mayer's Priorität« gesprochen. Mayer hatte bereits 1845 die Wandelbarkeit der Energie wissenschaftlich ins Auge gefasst und sich unter anderem sorgfältig darum bemüht, ein »mechanisches Wärmeäquivalent« zu vermessen, mit dem er anzugeben versuchte, wie mechanische Arbeit (Bewegung) etwa über die Reibung zu Hitze (Schwitzen) werden kann. Diese Umwandlungsprozesse wurden damals vielfach untersucht, was insofern nicht banal war, als dabei immer neue Einheiten festzulegen und ineinander umzurechnen waren – Newtonmeter und Joule in Kalorien etwa, was aber hier nur am Rande bemerkt werden soll, ergänzt um den Hinweis, dass einfaches Dasitzen etwa 50 Kilokalorien pro Stunde verbraucht, während für Sport das Zehnfache zu veranschlagen ist.

Als Mayer als Schiffsarzt in tropischen Zonen unterwegs war, bemerkte er bei damals noch üblichen Aderlässen an den erkrankten Matrosen, dass das ansonsten dunkle Venenblut der Europäer, das wenig Sauerstoff enthielt, in den wärmeren tropischen Regionen eine ähnlich

hellrote Farbe angenommen hatte wie das Arterienblut, das mit viel Sauerstoff zirkulierte. Mayer stellte bei seinen Überlegungen zu diesem Befund eine Verbindung zwischen der äußeren Wärme (der atmosphärischen Temperatur) und der inneren Verbrennung (dem körperlichen Stoffwechsel) her und veröffentlichte seine Einsichten in der 1845 publizierten Schrift *Die organische Bewegung im Zusammenhang mit dem Stoffwechsel*.

Helmholtz kennt Mayers Arbeit nicht, als er seine Einsichten in die »Erhaltung der Kraft« aufschreibt. Aus historischer Perspektive ist nicht zu übersehen, dass der heute als Fundament der Physik dienende Hauptsatz der Thermodynamik zunächst von zwei Wissenschaftlern formuliert worden ist, die beide eher fachfremd und mehr als Ärzte tätig waren und aus dieser Position heraus das Leben und seine Spannkraft oder seine Wärmeverteilung beobachteten. Irgendwie müssen die 1840er Jahre für das Auftauchen dieser tiefen Einsicht in eine fundamentale Konstanz reif gewesen sein.

Zu Helmholtz und seiner Arbeit über die Erhaltung der Kraft gibt es noch zwei Ergänzungen, eine erfreuliche und eine unerfreuliche. Die erfreuliche besteht darin, dass Helmholtz sich während der Arbeit an dem historischen Manuskript in die 20-jährige Olga von Velten verliebt hat, und zwar derart heftig, dass er das Manuskript zunächst mit dem länglichen Titel *Über die Erhaltung der Kraft, eine physikalische Abhandlung zur Belehrung seiner theuren Olga, bearbeitet von Dr. Helmholtz* versieht. Im August 1849, als Helmholtz endlich genug Geld verdient, um eine Familie ernähren zu können, heiraten die beiden, und Olga schenkt ihm zwei Kinder, erst die Tochter Catharina, die 1850 geboren wird und leider schon im Alter von 28 Jahren verstirbt, und zwei Jahre später den Sohn Richard, der Ingenieur und Konstrukteur von Dampflokomotiven werden sollte.

Die unerfreuliche Ergänzung ist, dass Helmholtz' große Arbeit im Wesentlichen ignoriert wird, sowohl von den Physiologen als auch von den Physikern. Zu letzteren zählt auch der als Vater des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik gefeierte Rudolf Clausius, der damals sogar ausgesprochen feindselig reagiert. Die Zurücksetzung hat Helmholtz

tiefe Wunden zugefügt. Noch 1859 erwähnt er dem schottischen Physiker Peter Tait gegenüber, wie schwer diese Abweisung auf ihm lastet, zumal in seinen Gedanken völlige Klarheit herrscht und er verstanden hat, was mit den Kräften und ihren Bewegungen sowohl im Organischen als auch im Anorganischen passiert.

Eine mögliche Erklärung für die enttäuschende Haltung der Kollegen ist, dass der auf Helmholtz und Mayer zurückgehende Satz über die Unzerstörbarkeit der Energie endgültig die Möglichkeit ausschließt, von der Menschen seit ewigen Zeiten geträumt und an deren Umsetzung sie lange Jahre gearbeitet haben. Gemeint ist der Bau einer Maschine, die aus dem Nichts Arbeit schafft und ewig weiterläuft. Man sprach und spricht von einem Perpetuum mobile, über das Physiker und Ingenieure sich endlos Gedanken gemacht und in das sie große Hoffnungen gesetzt hatten, bis Helmholtz und Mayer sie eines Besseren belehrten. In einem Vortrag über die Wege und Umwege der Energie bringt Helmholtz seine Einsichten auf den Punkt:

»Die Energie des fallenden Wassers kann den Bergen nur entströmen, wenn Regen und Schnee es ihnen zuführen. Um diese zu liefern, müssen wir Wasserdampf in der Atmosphäre haben, der nur durch Wärme erzeugt werden kann, und diese Wärme kommt von der Sonne. Die Dampfmaschine bedarf des Brennmaterials, welches das Pflanzenleben liefert; sei es das jetzt thätige der uns umgebenden Vegetation, oder das erloschene Leben, welches die mächtigen Steinkohlelager in den Tiefen der Erde erzeugt hat. Wir werden später noch sehen, in welcher innigen Beziehung das Pflanzenleben zum Sonnenlicht steht. Die Energie der Menschen und Tiere muss wieder ersetzt werden durch Nahrung, und Nahrung kommt zuletzt aus dem Pflanzenreich und führt uns auf dieselbe Quelle zurück.«

Im Zusammenhang mit dem Energiesatz lohnt auch ein Blick auf Helmholtz' ästhetische Vorlieben. Er liest mit Vergnügen in den Werken von Friedrich Schiller. Gut bekannt ist ihm unter anderem dessen langes, 1795 entstandenes Gedicht *Der Spaziergang*. Schiller bewundert darin zuerst die Farben der Natur – den »röthlich strahlenden Gipfel« im Sonnenlicht, die »ruhige Bläue« des Himmels, den »grünlichten

Strom« und manches mehr »im braunen Gebirg über dem grünenden Wald« – und kommt dann auf den Menschen zu sprechen, der »im stillen Gemach« sinnend und »forschend den schaffenden Geist« einsetzt, um »der Stoffe Gewalt« zu prüfen und »das vertraute Gesetz in des Zufalls grausenden Wundern« zu suchen. Der Mensch hält Ausschau nach dem »ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht«, und dabei »zerrinnt vor dem wundernden Blick der Nebel des Wahns, und die Gebilde der Nacht weichen dem tagenden Licht«.

Das Ziel, das Schiller in seinem Gedicht umschreibt, erreicht der Physiker Helmholtz in der Wissenschaft. Mit der Kraft oder Energie und ihrer Erhaltung hat er »den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht« gefunden und die Nebel aufgelöst, hinter denen der forschende Mensch die Klarheit der Ordnung sieht, von deren Existenz er von Anfang an überzeugt war.

Im 20. Jahrhundert hat der Energiesatz eine besondere Begründung bekommen. Zu verdanken ist sie einer großen Einsicht der Mathematikerin Emmy Noether. In dem nach ihr benannten Theorem hat die junge Wissenschaftlerin die mathematische Form von Naturgesetzen betrachtet, und um 1918 ist es ihr gelungen, zu zeigen, dass es bei einer Symmetrie in der mathematischen Darstellung in der Natur eine Größe gibt, die erhalten bleibt. Konkret besagt das Noether-Theorem, dass die Konstanz der Energie aus der Symmetrie der Zeit folgt, die man als Translationsinvarianz kennt. Mit diesem Fachausdruck ist gemeint, dass das Ergebnis eines Experiments unabhängig vom Zeitpunkt der Durchführung immer gleich bleibt. Mathematiker verstehen unter Symmetrie eine Operation, die sie vornehmen können, ohne dass sich etwas an den Gegebenheiten ändert. Die physikalischen Gesetze sind in dem beschriebenen Sinne symmetrisch in Hinblick auf die Zeit, und daraus folgt unabhängig von sämtlichen Messungen und allen experimentellen Überprüfungen und allein aus der theoretischen Tiefe des mathematisch gestützten wissenschaftlichen Denkens die Erhaltung der Energie, um deren Nachweis Hermann von Helmholtz so gerungen hat. Er wäre vom Noether-Theorem begeistert gewesen, und die Welt sollte es auch sein.

## In Kants Königsberg

Wie aus der Beschreibung des Lebens von Rudolf Virchow erinnerlich, kommt es 1848 zu politischen Unruhen, die als Märzrevolution in die Geschichte eingehen. Und während Virchow auf die Barrikaden steigt, lässt es Helmholtz ruhig angehen. Er arbeitet zunächst als Lehrer an der Kunstschule (!) der Akademie in Berlin – er hat die Stelle übernommen, die nach dem Weggang des zum Kreis der organischen Physiker zählenden Mediziners Ernst Wilhelm Brücke freigeworden ist – und wird im September 1848 von den letzten drei Jahren seiner militärischen Dienstzeit mit der ungeliebten ärztlichen Praxis befreit. Von nun an kann er sich ganz der wissenschaftlichen Arbeit widmen. Von der ebenfalls ungeliebten Politik hält er sich im Gegensatz zu Virchow fern.

So erfreulich das Engagement an der Kunstschule auch ist, die paar Hundert Taler, die ihm seine Tätigkeit dort einbringen, reichen nicht, um seine Braut Olga zu ehelichen, in die er so verliebt ist. Die Lage bessert sich, als ihm Ende 1848 die vakante Professur für Physiologie und allgemeine Pathologie an der Universität Königsberg angeboten wird. Auf Helmholtz fällt die Wahl auch deswegen, weil das preußische Kultusministerium in Erfahrung gebracht hat, dass der Gegenkandidat sich aktiv an den revolutionären Unruhen von 1848 beteiligt hatte und weil die Gutachter Helmholtz ausdrücklich eine »sittliche Haltung« bescheinigen und in ihm eine »vertrauenserweckende Persönlichkeit« erkennen. Helmholtz hat sich tatsächlich nicht für den politischen Umsturz vor seinen Augen interessiert, und Kenner seiner Biografie haben bei ihm »außer einem vage empfundenen Preußentum keinerlei politische Überzeugungen« ausmachen können. Damit gehören ihm die Sympathien der preußischen Staatsregierung unter Friedrich Wilhelm IV., und so kann er im Mai 1848 seine zunächst außerordentliche Professur in der Kantstadt Königsberg antreten, die 1851 in eine ordentliche und damit besser besoldete Professur umgewandelt wird. Doch so ehrenvoll diese Beförderung auch ist, das raue Klima Ostpreußens behagt seiner tuberkulosekranken Frau nicht. Er muss sich nach anderen akademischen Stellen umsehen, und fündig wird er 1855 in Bonn, wo der Lehrstuhl für Physiologie und Anatomie frei geworden ist, den er mit

Unterstützung des ihm durchweg gewogenen Alexander von Humboldt besetzen kann.

---

### **Alexander von Humboldt und Hermann von Helmholtz**

Als Helmholtz 1869 seinen Vortrag *Über das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft* hält, erwähnt er ausdrücklich die überragende Qualität Alexander von Humboldts, der in der Lage ist, »die damaligen naturwissenschaftlichen Kenntnisse bis in ihre Spezialitäten zu überschauen und in einen großen Zusammenhang zu bringen«. Als Vorbild sah er ihn auch, weil er darauf vertraute »dass die vollerkannte Wahrheit auch die Heilmittel mit sich führt gegen die Gefahren und Nachtheile, welche halbes Erkennen der Wahrheit hier und da zur Folge haben mag«.

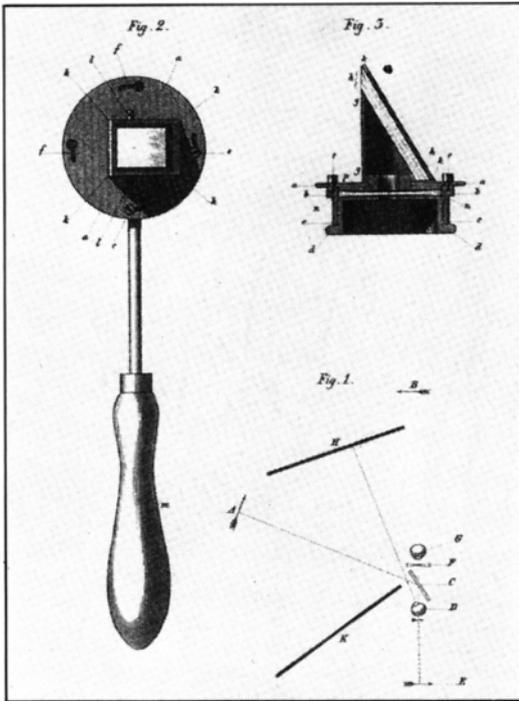
Beide Universalgelehrte sind davon überzeugt, dass kein erworbenes Wissen in der Lage sein wird, das menschliche Gefühl für die geheimnisvolle Natur erkalten zu lassen, und sie sehen immer wieder voller Freude die Naturforschung als ewig unvollendete Aufgabe der Fantasie an. Der preußische Kultusminister Heinrich von Mühlner nennt um 1870 Helmholtz »einen großen Gelehrten im Rang von Alexander von Humboldt« und bezeichnet ihn als Sprecher der Wissenschaft in der Nachfolge des großen Welterkundlers, der durch seine Kosmos-Vorlesungen großen Ruhm erlangt und von den Berlinern bewundert wird. Helmholtz übernimmt die Fackel der Aufklärung von Humboldt. Er glaubt fest an die Fähigkeit der Menschen, die Naturgesetze zu finden und für die Entwicklung der Humanität einzusetzen. Sowohl Humboldt als auch Helmholtz verstehen Bildung im Sinne von Goethe als »wirklich gewonnene Freiheit«, und beide glauben daran, dass die Wissenschaften einen inneren Zweck haben, bei dessen Verfolgung der ästhetische Hauch zu spüren ist, der Menschen ein Gefühl für die Freiheit geben kann, die mit dem Glück des Forschens einhergeht.

---

In Königsberg beginnt Helmholtz mit Experimenten zur Physiologie der Sinne und konzentriert sich dabei auf das Auge und das Ohr, also das Sehen und Hören, außerdem unternimmt er erste Versuche, um

die Geschwindigkeit zu messen, mit der sich Erregungen entlang von Nervenbahnen bewegen. Helmholtz gelingt es tatsächlich, den Zeitunterschied zwischen der Reizung eines Froschschenkels und der dadurch ausgelösten Zuckung zu bestimmen. Er konstruiert einen Apparat, in dem ein Froschbein mit einem Schalter verbunden ist, der einen Stromkreis unterbrechen kann. Wenn sich der tierische Muskel kontrahiert, wird der Stromkreislauf abgeschaltet, und auf einem mit zu der Messapparatur gehörenden Galvanometer kann die Zeit abgelesen werden, die zwischen dem Einsetzen der Stimulation und der Unterbrechung des Stromes vergangen ist. Indem man sie durch die Länge der leitenden Nerven teilt, kann man die gesuchte Geschwindigkeit ausrechnen. Nachdem Helmholtz diese Schritte durchgeführt hat, kann er der Fachwelt im Januar 1850 mitteilen: »Ich habe gefunden, dass eine messbare Zeit vergeht, während sich der Reiz, welchen ein momentaner elektrischer Strom auf das Hüftgeflecht eines Frosches ausübt, bis zum Eintritt des Schenkelnerven in den Wadenmuskel fortpflanzt. Bei großen Fröschen, deren Nerven 50 bis 60 Millimeter lang waren und welche ich bei 2 bis 6 Grad Celsius aufbewahrt hatte, während die Temperatur des Beobachtungszimmers zwischen 11 und 15 Grad lag, betrug diese Zeitdauer 0,0014 bis 0,0020 einer Sekunde.«

Es darf ruhig über die winzige Zeitdimension gestaunt und das dazugehörige experimentelle Geschick von Helmholtz bewundert werden, der allerdings erneut das Pech hat, unter den Kollegen auf Skepsis zu stoßen. Sein Lehrer Johannes Müller hatte noch in den Jahren davor die Ansicht geäußert, dass es wohl niemandem gelingen würde, die Nervenleitgeschwindigkeit zu messen, da die dafür benötigte Zeit unendlich klein sein würde. Nun kann Helmholtz verkünden, dass die Fortpflanzung der Erregung, für die er noch den neuen und bis heute gebräuchlichen Namen eines Aktionspotenzials einführt, eher ruhig vonstattengeht. Sie ist mehr als zehnmal langsamer als die Schallgeschwindigkeit, bewegt sich also mit etwa 30 Meter pro Sekunde auf ihr Ziel zu. Diese vergleichsweise gemächliche Geschwindigkeit bedeutet zum einen, dass ein Gehirn auf Ereignisse reagiert, die schon vorbei sind und zur Vergangenheit gehören. Die Wahrnehmung hinkt der Ge-



Der von Helmholtz entwickelte Augenspiegel.

genwart also hinterher, was für den Gebrauch des Wortes »Jetzt!« einige philosophische Fragen aufwirft. Sie bedeutet für Helmholtz aber auch, dass es gilt, den Unterschied zwischen der Elektrizität im Organischen und dem Stromfluss in Drähten zu verstehen, die offenbar verschiedenen Gesetzmäßigkeiten folgen.

Trotzdem: Als er 1851 über diese Vermessung der organischen Ströme vorträgt, vergleicht er das dazugehörige Nervensystem zwecks Veranschaulichung mit einem Verbund aus »elektrischen Telegraphendrähten«, »die augenblicklich jede Nachricht von den äußersten Grenzen her dem regierenden Centrum [gemeint ist das Gehirn] zuführen und dann ebenso dessen Willensmeinung nach jedem einzelnen Theile des Ganzen zurückbringen, um daselbst in Ausführung zu kommen«. Zur Erinnerung – die heute veraltet wirkende Telegrafie war erst 1844 erfunden worden, und zwar in den USA, als es Samuel Morse gelang, eine

Nachricht über einen Draht von Washington nach Baltimore zu senden. Helmholtz fügt in Königsberg dem Vergleich mit der technischen »Fernschreibung« noch seine Auffassung hinzu, dass die Nerven selbst keinen Einfluss auf das haben, was sie fortleiten, dass also Sehnerven nach demselben Mechanismus funktionieren und mit derselben Geschwindigkeit operieren wie Hörnerven oder die elektrisch leitenden Zellen, die zu anderen Sinnen gehören. Anzumerken bleibt, wie Historiker übereinstimmend urteilen, dass »Helmholtz' Experimente bis in unsere Zeit die Experimentierpraxis in den Lebenswissenschaften revolutionierten und neue hohe Maßstäbe für ihre Genauigkeit setzten«. Auch die Konzentration auf zeitliche Aspekte wirkte sich richtungweisend aus: »Bis heute zieht die Neurobiologie neben bildgebenden Verfahren vor allem aus zeitlichen Messungen Rückschlüsse auf die innere Beschaffenheit des Gehirns und die beteiligten Mechanismen«, wie David Cahan in seiner umfangreichen Helmholtz-Biografie schreibt.

Als sich Helmholtz in Königsberg der Sinnesphysiologie zuwendet, knüpft er an Versuche von Ernst Brücke an, der in den späten 1840er Jahren versucht hat, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem es möglich werden könnte, die Netzhaut des Auges und die sie versorgenden Blutgefäße in den Blick zu bekommen. Es galt, den Augenhintergrund zu beleuchten und zu vergrößern, um etwa beobachten zu können, wie die hellrot erscheinenden Arterien, die aus dem blinden Fleck der Retina entspringen – hier verlassen die Sehnerven das Auge und nehmen den Weg ins Gehirn –, sich mit den dunkelroten Venen kreuzen. Als Helmholtz sich auf die Spuren von Brücke begibt, gelingt ihm die »Konstruktion des Augenspiegels«, über die er voller Stolz berichtet, weil er weiß, dass sie »für meine äußere Stellung vor der Welt [...] sehr entscheidend« ist. Und tatsächlich: In den kommenden Jahrzehnten wird erfolgreich darauf hingewirkt, dass der Augenspiegel auch Eingang in die Grundausstattung von Kliniken der Inneren Medizin findet.

Der von Helmholtz entwickelte Apparat besteht aus einer Lichtquelle und einem kleinen Hohlspiegel mit einem Blickloch. Der betrachtende Arzt kann durch die Öffnung in das zu untersuchende Auge blicken und dessen Hintergrund durch eine geeignete Stellung des Spiegels inten-

siv beleuchten, ohne selbst geblendet zu werden. Das von der Netzhaut reflektierte Licht ermöglicht das Aufspüren krankhafter Veränderungen im Auge, etwa Ablösungen der Retina, die das Sehvermögen beeinträchtigen.

Neben der »populärsten meiner wissenschaftlichen Leistungen« – so Helmholtz selbst über den Augenspiegel – galt die Aufmerksamkeit in den Königsberger Jahren der Theorie der Farben und der sogenannten Akkommodation der Augen. Gemeint ist damit die Fähigkeit der Sehorgane, sich auf die verschiedenen Entfernungen einzustellen, in denen sich betrachtete Gegenstände befinden. Bevor Helmholtz sich dieses Themas annahm, vermuteten die Physiologen, die Augen akkommodierten, indem sie ihre Gestalt ändern oder den Augapfel verschieben. Nachdem Helmholtz dem Thema mit dem von ihm entwickelten Ophthalmometer auf den Grund gehen konnte, zeigte sich, dass es die Linsen der Augen sind, die ihre Gestalt verändern und sich stärker krümmen, und bewerkstelligt wird dies mit Hilfe des sogenannten Ziliarmuskels, der kurz zuvor erstmals von Brücke beschrieben worden war. Durch die muskulär bewirkte Kontraktion des Auges nimmt die Krümmung – Konvexität – der elastischen Linse zu, wenn ein Objekt näher heranrückt und das Organ des Lichts es für seinen Träger scharfstellen möchte.

So nach und nach kann Helmholtz über die Funktionsweise des Auges immer besser Auskunft geben, und als die Stadt Königsberg im Februar 1855 ihrem größten Sohn ein Denkmal errichtet, wird Helmholtz gebeten, bei dessen Einweihung zu sprechen. In seiner Rede mit dem Titel *Über das Sehen des Menschen* lobt er Kants Philosophie, die nie beabsichtigt habe, »die Zahl unserer Kenntnisse durch das reine Denken zu vermehren, denn ihr oberster Satz war, dass alle Erkenntnis des Wirklichen aus der Erfahrung geschöpft werden müsse«. Zugleich kann sich Helmholtz einen Seitenhieb gegen Kants eifrige Nachfolger nicht verkneifen. Philosophen wie Schelling und Hegel seien »nicht mehr zufrieden mit der Stellung, die Kant ihr [der Philosophie] angewiesen hatte« und meinten, »neue Wege entdeckt zu haben, um die Resultate, zu denen die Erfahrungswissenschaften schließlich gelangen, im Voraus und ohne jede Erfahrung durch das reine Denken finden zu können«.

was Helmholtz vermessen erscheint. Er spricht bei der Einweihung des Denkmals konkret die Lehre von den sinnlichen Wahrnehmungen an, denn hier meint er, den Punkt ausmachen zu können, »an dem sich Philosophie und Naturwissenschaften am stärksten berühren«. Neben der von ihm untersuchten Akkommodation der Sehorgane thematisiert er auch Müllers Vorstellung von spezifischen Sinnesenergien, die Helmholtz in die von ihm selbst »paradox« genannte Formulierung kleidet: »Licht wird erst Licht, wenn es ein sehendes Auge trifft.« Ohne Auge ist Licht nur eine »Aetherschwingung«, wie das 19. Jahrhundert zu wissen meint. Erst im 20. Jahrhundert gelingt es Albert Einstein, diese Sichtweise durch die Idee von Lichtteilchen – Photonen im Jargon der heutigen Wissenschaft – aufgrund neuer und ungewohnter Erfahrungen zu korrigieren.

Auf jeden Fall macht Helmholtz in seiner Kant-Rede klar, dass das (physikalische) Licht in der Welt noch längst nicht das (bewusste) Sehen im Kopf ist und dass es diese Qualität erst auf dem Weg von außen nach innen erreichen kann. Die Signale schleichen durch die Nervenleitungen und nehmen nacheinander erst einen biochemischen und dann einen neuronalen Charakter an – ein Wandel, der der Wissenschaft eine Fülle von Aufgaben beschert, wenn sie die Physiologie des Sehens verstehen will, mit der sie sich an eine Theorie des menschlichen Erkenntnisvermögens heranwagen kann. Helmholtz zollt Kant Anerkennung dafür, dass er gezeigt hat, welchen Anteil die »eingeborenen Gesetze des Geistes« an den menschlichen Vorstellungen von der Welt haben, bedauert aber zugleich, dass die neuere Philosophie – also die des 19. Jahrhunderts – sich übernommen hat, als sie versuchte, »diese Gesetze des Geistes auch zu Gesetzen der Wirklichkeit zu machen«, was auf den vergeblichen Versuch hinauslief, »die Gleichheit unserer Sinnesempfindungen mit den wirklichen Eigenschaften der wahrgenommenen Körper nachzuweisen«.

Helmholtz greift diese Fragen immer wieder in vielen Vorträgen auf und versucht langfristig, eine Zeichentheorie der Erkenntnis zu entwickeln, die er mit einer psychologischen Vorstellung von unbewussten Schlüssen zu verbinden versucht. Das Thema beschäftigt ihn ein Leben

lang, und seine Nachfolger beschäftigt es sogar darüber hinaus. Seine philosophisch fundierte und mit wissenschaftlich-medizinischen Experimenten gestützte Sehtheorie wird erst in der 1896 – also posthum – erschienenen Überarbeitung des *Handbuchs der Physiologischen Optik* zum Abschluss gebracht.

### Eine Theorie der Farben

Oben wurde erwähnt, dass Helmholtz wissenschaftlich und literarisch großes Interesse an Farben zeigt – Schillers Spaziergang zählt eine Fülle von bunten Eindrücken in der Natur auf –, und man kann sich denken, dass er Goethes Farbenlehre genau studiert hatte. Allerdings hat er als Physiker mehr Sympathien für seinen Kollegen Newton, mit dem Goethe auf Kriegsfuß stand. Helmholtz bleibt unverstündlich, dass Goethe sich erdreistete, Newtons Erklärung der Farben als »baren Unsinn« und als »fratzenhafte Erklärungsart« voller Lügen zu bezeichnen, wie Helmholtz 1853 in seinem Königsberger Vortrag *Über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten* fassungslos zitiert.

Die Versuche, Farben zu verstehen und ihre Vielfalt in ein System zu bringen, haben schon früh in der Geschichte des menschlichen Denkens begonnen und erkennen lassen, dass Physiker dabei andere Interessen verfolgen als Chemiker, Botaniker, Maler, Lackfabrikanten, Modeschöpfer, Fotografen, Philosophen oder auch die Designer von farbigen Smartphone-Displays. Zu den berühmten Versuchen, die Fülle der Farben zu ordnen, gehört der Farbkreis von Newton, der zwar vorgibt, reine Physik zu sein, der aber tatsächlich neben dem Licht (als physikalischem Signal) auch das Sehen (als physiologischen Mechanismus) einschließt, indem aus dem offenen Spektrum der Farben ein geschlossener Kreis der Wahrnehmung gemacht wird. Newtons berühmte Entdeckung bestand darin, das weiße Sonnenlicht durch ein Prisma in seine farbigen Bestandteile zu zerlegen und auf diese Weise ein Spektrum zu erzeugen, das vom langwelligen Rot über mittelwelliges Grün zum kurzwelligen Blau und Violett führt, gefolgt vom Ultravioletten, das aber für Menschen ebenso unsichtbar ist wie das Infrarote am anderen Ende des Spektrums. Während sich bestimmte Wellenlängen un-

serer Wahrnehmung entziehen, haben wir aber keine Probleme, vom Sinneseindruck her das Violette wieder an das Rote anzuschließen. So macht es Newton in seinem Farbenkreis, dessen Geometrie Goethe stillschweigend übernimmt, nur dass er statt der gemessenen Farben die damit verbundenen Sinneseindrücke als geschlossenes und dem schauenden Auge gefälliges Gebilde präsentiert. Für einen historisch informierten Betrachter ist der Unterschied zwischen Goethe und Newton einfach zu formulieren. Während der Physiker unter reinem Licht das Licht versteht, dessen Strahlen alle dieselbe Wellenlänge (einer Farbe) haben, denkt der Dichter bei reinem Licht an das (weiße) Licht, das ihm von der Sonne geschenkt wird, weshalb Goethe wütend macht, dass Newton es im Prisma zerteilt und insofern zerstört. Und während Newton wissen will, was passiert, wenn Lichtenergien in ein Auge fallen, will Goethe nur wissen, was passiert, wenn die Sonnenstrahlen in sein Auge fallen.

Als Helmholtz anfängt, sich mit den Farben zu beschäftigen, gibt es bereits etliche Theorien, über die leidenschaftlich gestritten wird, und es ist erstaunlich, mit welcher Souveränität der immer noch junge Professor in Königsberg viele Konfusionen ausräumt, indem er auf einen bis dahin von allen übersehenen Unterschied hinweist.

Helmholtz macht darauf aufmerksam, dass sich Farben als Lichtstrahlen nicht auf die gleiche Art mischen, wie wenn sie als Wasser- oder Ölfarben auf festem Untergrund – Pappe oder Papier – zu sehen sind. »Die Mischung der Farbstoffe ergibt durchaus andere Resultate als die Zusammensetzung des farbigen Lichts«, schreibt er, wobei er die »subtraktive Mischung« bei den Malfarben von der »additiven Mischung« bei den Lichtfarben unterscheidet. Er veranschaulicht seine These mit einem Beispiel: »Die auffallendste Unterscheidung [...] zeigt sich bei der Vereinigung von Blau und Gelb, welche, wenn Farbstoffe gemischt werden, Grün ergibt, und Weiß, wenn entsprechend farbiges Licht gemischt wird.« Bei diesen Überlegungen fällt ihm noch auf, dass Grün »am unvollkommensten durch Zusammensetzung andersfarbigen Lichtes hervorgebracht werden« kann, was ihn anfänglich von der damals verbreiteten Sicht zurücktreten lässt, »dass alle möglicher Weise existierenden



Sonderbriefmarke der Deutschen Bundespost zum 100. Todestag von Hermann von Helmholtz.

Farben aus den drei sogenannten Grundfarben Roth, Gelb, Blau zusammengesetzt werden könnten.« Helmholtz meint noch 1852, dass man zwar »die matteren zusammengesetzten Farben der Naturkörper ziemlich gut durch drei einfache Farben des Spektrums nachahmen« kann, dass man dazu aber »Roth, Grün und Violett wählen« muss. »Will man indessen die Reihe gesättigter Farben [...] nachahmen, so braucht man wenigstens fünf einfache, Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett.«

Das Attribut »gesättigt« weist auf eine der drei Variablen hin, die Helmholtz eingeführt hat, um eine einzelne Farbe charakterisieren zu können. Er spricht von ihrem Farbton, ihrer Sättigung und ihrer Helligkeit, worin sich Erfahrungen der Art niedergeschlagen haben, »dass die einfachen Farben bei großer Lichtstärke ihren Farbenton merklich verändern. Dann wird Violett und Blau blauweiß oder ganz weiß, Grün und Gelb gelbweiß, endlich Roth hellgelb«, wie jeder durch eigene Beobachtungen feststellen kann.

In den Farben stecken noch viele Geheimnisse, etwa bei den Kontrasterscheinungen, die Helmholtz faszinieren: »So sah das Gelb der braunen Balsame, wo es neben dem glänzenden Roth steht, lebhaft grün aus, isoliert betrachtet blieb es das reinste Gelb«. Und das Nachdenken über all diese wunderbaren Phänomene brachte ihn zu der Einsicht, »dass die Farbe nicht eine Eigenschaft der Körper an sich [ist], sondern eine Eigenschaft, welche das Auge erst den Körpern anhaftet«. Licht- und Farbempfindungen, so die philosophische Quintessenz, »sind nur Symbole für Verhältnisse der Wirklichkeit; sie haben mit den letzteren ebenso wenig und ebenso viel Aehnlichkeit oder Beziehung, als die

Namen eines Menschen, oder der Schriftzug für den Namen mit dem Menschen selbst.«

Als Helmholtz das genannte Trio aus Farbton, Sättigung und Helligkeit zur Charakterisierung einer Farbempfindung vorschlägt, lässt er sich von den drei Parametern leiten, die einen Klang ausmachen: Lautstärke, Tonhöhe und nicht zuletzt die Klangfarbe, die ein und denselben Ton anders erklingen lässt, je nachdem ob er auf einer Klarinette oder einem Fagott hervorgebracht wird. Für einen physikalisch orientierten Wissenschaftler bietet die Zahl Drei etwas Verlockendes, lässt sich doch der ganze Raum mit den drei Dimensionen erfassen, die in den Koordinatensystemen mit den Buchstaben  $x$ ,  $y$  und  $z$  markiert werden, weshalb nicht nur viele Physiker vor Helmholtz, sondern zuletzt auch er selbst sich der Idee einer Dreifarbigkeit anschließt. Allerdings weiß er sehr wohl, dass man additive Grundfarben – Rot, Grün, Blau – von einem subtraktiven Trio – Cyan, Gelb, Magenta – unterscheiden muss. Das bringt ihn dazu, sich letztlich für Rot-Grün-Blauviolett zu entscheiden, was die Deutsche Bundespost berücksichtigte, als sie zum 100. Todestag des Physikers eine Sonderbriefmarke herausbrachte, die neben einem Porträt ein menschliches Auge und ein Farbdreieck zeigt.

Anfänglich träumt Helmholtz davon, sämtliche optischen Phänomene auf physikalische Gesetze und chemische Prozesse zurückzuführen, aber ihm wird nach und nach immer klarer, dass Sinnestäuschungen, die Tiefenwahrnehmung und das Phänomen der Farbkonstanz – ein weißes Blatt Papier ist weiß im Sonnenlicht und bei Mondschein, obwohl unterschiedliches Licht von ihm kommt und ins Auge fällt – ohne Rückgriff auf psychologische Überlegungen und psychische Mechanismen unverstanden bleiben. Helmholtz hat sich lange gesperrt gegen die Ansichten, die Psychologen wie Ewald Hering zu den Farben vortragen. Der in Leipzig tätige Wahrnehmungsforscher meint, ihm sei völlig gleich, ob und wie ein Physiker die Farbe Gelb als Stoff oder Licht zusammenmischen könne. Für einen Menschen sei Gelb eine »reine Empfindung« und nichts Durchmischtes, weshalb Hering für vier Grundfarben plädiert und dem damals vorgeschlagenen Trio etwa aus Rot, Grün und Blau sein reines Gelb gleichberechtigt an die Seite stellt.

Heute meint man zu wissen, dass im Auge tatsächlich drei Farbbempfangsfänger – Zellen mit entsprechenden Pigmenten – zu finden sind, während im Gehirn vier auf die genannten Farben spezialisierte Nervenzellen zur Wahrnehmung beitragen. Somit haben beide erfreulicherweise recht, sowohl der physikalische als auch der psychologische Physiologe – der eine im Auge und der andere im Gehirn –, und sowohl Hering als auch Helmholtz haben wesentliche Aspekte des Farbsehens erkennen können.

So verschieden die von Helmholtz und Hering vorgeschlagenen Theorien zum Farbsehen, so verschieden sind auch ihre Theorien zur Schwarzempfindung. Der eine glaubt, dass Schwarz durch die Abwesenheit von Licht verständlich wird, der andere ist überzeugt, dass bei jeder visuellen Wahrnehmung – also auch bei Schwarz – Licht beteiligt sein muss. In seinem *Handbuch der Physiologischen Optik* schreibt Helmholtz:

»Das Schwarz ist eine wirkliche Empfindung, wenn es auch durch die Abwesenheit allen Lichts hervorgebracht wird. Wir unterscheiden die Empfindung des Schwarzen deutlich von dem Mangel aller Empfindung. Ein Fleck unseres Gesichtsfeldes, von welchem kein Licht in unser Auge fällt, erscheint uns schwarz, aber die Objekte hinter unserem Rücken, von denen auch kein Licht in unser Auge fällt, erscheinen uns nicht schwarz, sondern für sie mangelt alle Erfahrung.«

Die Idee, dass Schwarz eine wirkliche Wahrnehmung ist, die durch einen Mangel an Lichtreiz zustande kommt, geht bis auf Aristoteles zurück und findet sich auch bei Goethe. Doch trotz dieser illustren Gesellschaft konnte sich Hering für die Idee von Helmholtz nicht erwärmen, und er begründete dies in seiner 1874 erschienenen Arbeit *Über die sogenannte Intensität der Lichtempfindung und über die Empfindung des Schwarzen*. Der Text führt aus, dass man kein Schwarz, sondern vielmehr ein Grau sieht, wenn man die Augen schließt. Hering spricht in dem Zusammenhang vom »Eigengrau«, und er nimmt dieses Phänomen als Beweis dafür, dass Schwarz nicht durch die Abwesenheit von Lichtreizen auftreten kann. In Herings Worten:

»Gleichwohl ist es eine Thatsache der alltäglichen Erfahrung, welche ich jedoch noch nirgends besonders betont gefunden habe, dass die

eigentliche schwarze Empfindung erst unter dem Einfluss des äußeren Lichtreizes zu Stande kommt, wie ja auch die weiße Empfindung für gewöhnlich durch objectives Licht hervorgerufen wird; nur mit dem Unterschiede, dass sich die weiße Empfindung unter dem directen, die schwarze aber unter dem indirecten Einfluß des Lichtreizes entwickelt, nämlich durch den sogenannten simultanen oder successiven Contrast.«

Hering zufolge resultiert die Empfindung Schwarz also durch räumliche (simultane) oder zeitliche (sukzessive) Kontraste. Ein Gegenstand könnte große Mengen Licht reflektieren und dabei zum Beispiel als Rot, Grün, Gelb, Blau oder Weiß wahrgenommen werden. Wenn nun aber dieser Gegenstand entweder von intensiv leuchtenden Objekten umgeben ist oder nach der Empfindung eines gleißenden Lichts gesehen wird, würde er anfangen, schwarz zu erscheinen. Wenn die Intensität der Kontrastreize zunimmt, wirkt der ursprünglich anvisierte Gegenstand immer schwärzlicher, bis er zuletzt vollkommen schwarz aussieht.

Man kann in einem Experiment mit einer glatten schwarzen Scheibe und einer einzelnen Lichtquelle demonstrieren, was Hering meint. Wenn die Lichtquelle, die nicht direkt sichtbar ist, nur die Scheibe und nicht die Umgebung beleuchtet, dann erscheint die Scheibe nicht mehr schwarz, sondern weiß (wie man sich leicht ausmalen kann, selbst wenn man das Experiment nicht vorgeführt bekommt). Doch wenn man ein Blatt weißes Papier vor die Scheibe hält, springt der Eindruck um, und die Scheibe sieht wieder schwarz aus.

Anders als Hering ging Helmholtz von der Wissenschaft des Lichtes und der physikalisch motivierten Idee des trichromatischen Sehens aus, und deshalb postulierte er, dass es im Auge drei Rezeptoren für drei Grundfarben gebe. Die Farbe Weiß resultiert, wenn alle drei Pigmente gleichartig und gleich stark aktiviert werden, und die Farbe Schwarz tritt hervor, wenn keiner der Rezeptoren stimuliert wird – so der Großmeister der Biophysik und Physiologie des 19. Jahrhunderts. Tatsächlich hat Helmholtz im Auge (auf der Netzhaut) recht, denn hier hat man drei verschiedene Typen von Zapfen gefunden, die uns zum Farbsehen verhelfen, und genau sie sprechen nicht mehr an, wenn es Nacht wird. Folglich erscheint den Menschen der Himmel jetzt schwarz und lichtlos.

Ist damit die Frage nach dem Schwarz geklärt? Helmholtz würde mit Ja antworten, aber Hering würde bemerken, dass diese Erklärung nicht über das Auge hinauskommt und ungerechtfertigterweise das Gehirn aus dem Spiel lässt. Dass es hier anders zugeht und es mehr als die Rezeptoren im Auge geben muss, konnte Hering erkennen, weil er nicht von physikalischen Beobachtungen, sondern stattdessen von phänomenologischen Erfahrungen ausging, und zu denen gehört, dass es so etwas wie ein grünliches Rot oder ein gelbliches Blau nicht gibt. Diese Komplementärfarben kommen offenbar nicht unabhängig für sich, sondern durch antagonistische Prozesse zustande, und Hering postuliert dafür sogenannte Opponenten-Zellen. Er beschränkt sich dabei zunächst auf die bunten Farben – er nimmt also zum Beispiel eine Rot-Grün-Opponenten-Zelle an –, und weitete sein Schema dann auch auf das unbunte Paar Schwarz-Weiß aus. Hering nimmt folglich an, dass es eine besondere physiologisch-chemische Reaktion gibt, die in einer Nervenfasern stattfinden muss, um die Empfindung oder Wahrnehmung Schwarz auszulösen. Schwarz hat also seine eigene Aktivität und kommt nicht durch ein Fehlen oder Unterbleiben zustande.

Tatsächlich hat die moderne Forschung gezeigt, dass Herings Beschreibung zutrifft, wenn die Information, dass auf der Netzhaut Licht eingetroffen ist, das Auge verlassen konnte und sich über Nervenbahnen (Ganglienzellen) den Weg in die höheren Regionen des zentralen Nervensystems unter der Schädeldecke bahnt. Es gibt in der zellulären Wirklichkeit des zentralen Nervensystems genau die Opponenten-Zellen, die Hering postuliert hat, und die moderne wissenschaftliche Erklärung nutzt sie entsprechend aus. Sie benötigt dazu allerdings noch ein paar Einzelheiten mehr, und jüngste Veröffentlichungen zum Thema kombinieren physiologische Ereignisse und biochemische Reaktionen aus zentral und peripher gelegenen Zellen, um schließlich auch die Kontrastphänomene erklären zu können, von denen oben die Rede war.

All dies zeigt, wie raffiniert die Natur zu Werke geht, damit der Mensch die Dunkelheit erleben kann. Sie hat eben nicht einfach nichts getan, denn dann würden Augen da, wo ihnen jetzt etwas Schwarzes begegnet, einfach nichts sehen. Schwarz ist der Evolution offenkundig

eine Herzensangelegenheit, und sie hat weder Zellen noch Reaktionen gescheut, um uns dieses Erlebnis zu ermöglichen. Schwarz ist für Menschen gemacht, und es lässt sich vermuten, dass alle Welt dies fühlt und die Farbe der Nacht deshalb so faszinierend ist.

### In der Stadt Beethovens

1855 wechselt Helmholtz von Königsberg nach Bonn, wo er seine Studien zu den Sinnesempfindungen fortsetzt. »In der Vaterstadt Beethovens, des gewaltigsten unter den Heroen der Tonkunst, schien mir zur Besprechung in einem größeren Kreise kein Gegenstand geeigneter als die Musik«, sagt er einleitend in einer Vorlesung zu den »physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie«. Auf den ersten Blick mag das Umfeld für solche Forschungen günstig erscheinen, in Wirklichkeit ist es aber so, dass sich Helmholtz in Bonn nie besonders glücklich gefühlt hat. Die wissenschaftlich konservative Fakultät verlangt von ihm, das Fach Anatomie zu unterrichten, was er nur ungern tut. Allgemein ist anzumerken, dass Helmholtz zwar als Vortragsredner begeistern kann, dass seine Studenten in den Vorlesungen aber eher den Eindruck bekommen, einem uninspirierten, schlecht vorbereiteten und manchmal regelrecht langweiligen Lehrer zuhören zu müssen. Als ihm die badische Regierung einen Lehrstuhl für Physiologie in Heidelberg anbietet und ihm zugleich zusagt, ein neues Institut für ihn zu bauen, folgt er diesem Ruf, ohne zu zögern. Zum Wintersemester 1858/59 siedelt er mit seiner Familie vom Rhein an den Neckar, obwohl er fürchtet, »dass die gesetzliche Bestimmung, welche das physiologische Praktikum zu einem Zwangskolleg für die Badenser macht, eine Übertreibung aufklärerischer Prinzipien ist und für mich sehr lästig werden kann«, wie er Du Bois-Reymond im Oktober 1858 aus Heidelberg schreibt. Insgesamt zeigt sich Helmholtz aber sehr zufrieden mit dem Umzug in den Süden, zumal ihm die badische Regierung das sensationelle Gehalt von 3600 Talern bewilligt. Zum Vergleich: Ein Ordinarius der Philosophischen Fakultät verdient damals nicht einmal die Hälfte dieser Summe.

Vielleicht kann Geld doch Tore schießen oder fachliche Erfolge produzieren, denn die kommenden dreizehn Jahre, die Helmholtz in Hei-

delberg zubringt, gehören zu den wissenschaftlich produktivsten seines Lebens. Doch bevor davon erzählt wird, soll noch ein Blick auf die Vorlesung geworfen werden, die Helmholtz in der Stadt Beethovens gehalten hat und in der es – wie erwähnt – um die musikalische Harmonie geht.

Helmholtz will erkunden, welchen Beitrag Physik und Physiologie zum Verständnis musikalischer Phänomene liefern können, und er weist darauf, dass sich die hohe Kunst der Musik bislang hartnäckig einer wissenschaftlichen Analyse entzogen hat. Dabei hatte sich Pythagoras schon darüber gewundert, dass die durch Schlägen von Röhren produzierten Schwingungen konsonant klingen und dem Ohr Freude bereiten, wenn sich die Relationen ihrer Frequenzen in kleinen ganzen Zahlen ausdrücken lassen. Helmholtz erinnert seine Zuhörer in Bonn an die Tatsache, dass »die musikalische Höhe eines Tones nur von der Zahl der Luftschwingungen in der Sekunde [abhängt], nicht von der Art, wie sie hervorgebracht werden«. Das heißt, »es ist gleichgültig, ob der Ton gebildet wird durch die schwingenden Saiten eines Clavieres und der Violine, durch die Stimmbänder des menschlichen Kehlkopfes, durch die Metallzungen des Harmonium, die Rohrungen der Clarinette, Oboe und des Fagotts, durch die Schwingungen der Lippen des Bläsensenden im Mundstück der Blechinstrumente, oder durch die Brechung der Luft an den scharfen Lippen der Orgelpfeifen und Flöten«.

Helmholtz geht im Verlauf des Vortrags auf viele anatomische Details des Ohres ein, um zu verstehen, wie es diesem raffinierten Gebilde mit seinen Knöchelchen und Membranen gelingt, »zusammengesetzte Luftbewegungen in ihre Theile zu zerlegen«, was ihm – anders als dem Auge – die Fähigkeit verleiht, Harmonie wahrzunehmen. Sie fehlt dem Sehorgan, das deshalb zusammengesetzte Farben nicht voneinander scheiden kann und das Weiß des Sonnenlichts als reinen Eindruck vermittelt. Helmholtz greift nun auf einen Fortschritt der Mathematik aus dem 19. Jahrhundert zurück und erklärt: »Das leibliche Ohr thut genau dasselbe, was der Mathematiker thut vermittels des Fourier'schen Satzes.« Er erklärt seinen Zuhörern die von Jean Baptiste Fourier 1822 erkannte Transformation in einem Satz – »Jede beliebige Wellenform

kann aus einer Anzahl einfacher Wellen von verschiedener Länge zusammengesetzt werden« – und gibt dem Publikum zu erkennen, dass damit ein Grundstein für die moderne Physik und ihre technischen Möglichkeiten gelegt worden ist.

Ausführlich erörtert Helmholtz, wie die Harmonie der Musik von der Anatomie des menschlichen Ohres und der Physik von Schallwellen abhängt, ohne die musikalische Empfindung auf körperliche oder materielle Phänomene zu reduzieren. Ihm war als Liebhaber der Kompositionen Beethovens und anderer Tonkünstler klar, dass die akustische Wahrnehmung die Seele oder den schöpferischen Geist im Menschen erreichen muss, und er spricht davon, dass »die Erscheinungen des rein sinnlichen Wohlklangs [...] erst der niedrigste Grad des musikalisch Schönen« sind. Während bei Disharmonie »der Hörnerv von den Stößen unerträglicher Töne gequält« wird, sehnt sich das Ohr »nach dem reinen Abfluss der Töne in der Harmonie«, und beim Hören eines musikalischen Kunstwerks folgen Menschen mit den von ihnen wahrgenommenen Strömungen der organischen Gegebenheiten »der erregten Seele des Künstlers«, wie Helmholtz emphatisch meint, um seinen Bonner Vortrag zu Harmonie mit bemerkenswerten Worten zu schließen:

»Bald sanft dahin fließend, bald anmutig hüpfend, bald heftig aufgeregt, von den Naturlauten der Leidenschaft durchzuckt oder gewaltig arbeitend, überträgt der Fluss der Töne ungeahnte Stimmungen, die der Künstler seiner eigenen Seele abgelauscht hat, in ursprünglicher Lebendigkeit in die Seele des Hörers, um ihn endlich in den Frieden ewiger Schönheit emporzutragen, zu dessen Verkündern unter den Menschen die Gottheit nur wenige ihrer erwählten Lieblinge geweiht hat. Hier aber sind die Grenzen der Naturforschung und gebieten mir Halt.«

### In Heidelberg

Ende September 1858 trifft Helmholtz an der Universität Heidelberg ein, und er wird dort in dem kommenden Jahrzehnt zusammen mit den Begründern der Spektralanalyse, Robert Bunsen und Gustav Robert Kirchhoff, den Grundstein für eine Glanzzeit der Naturwissenschaften legen und viele Studenten aus dem In- und Ausland an den Neckar

locken. Der Amtsantritt in der badischen Gelehrtenstadt mit der seit dem 14. Jahrhundert betriebenen Universität wird allerdings durch den Tod seines Vaters und seiner ersten Frau Olga überschattet, was bedeutet, dass er erst einmal mit zwei Kindern allein zurechtkommen muss. 1858 scheidet auch Helmholtz' Lehrer Johannes Müller aus dem Leben – vermutlich durch Selbsttötung aufgrund schwerer Depressionen – und 1859 stirbt hochbetagt der in aller Welt als »deutscher Columbus« gefeierte Alexander von Humboldt. Es mag makaber klingen, aber aufgrund dieser beiden Todesfälle ist Helmholtz, der in den Jahren zuvor bereits eine Fülle von Ehrungen erfahren hat und im Laufe seines Lebens noch viele weitere Auszeichnungen wird entgegennehmen können, jetzt die prominenteste und sichtbarste Figur der deutschen Wissenschaft und einer der führenden »Kulturträger« seines Landes.

Helmholtz braucht ein Jahr, um sich von den familiären Schicksalsschlägen zu erholen, aber spätestens im Sommer 1860 wendet er sich wieder der Welt zu. Er fährt nach Schottland, um Lord Kelvin zu treffen und Pläne für künftige Forschungen zu schmieden. In diesem Sommer trifft er auch die 26-jährige Anna von Mohl, die Tochter eines württembergischen Staatsrechtlers und Diplomaten, die er 1861 heiratet. Anna wird von nun an das gemeinsame Haus als wissenschaftlichen und künstlerischen Salon führen und sie wird drei Kinder zur Welt bringen: die Söhne Robert und Friedrich und zwischen den beiden die Tochter Ellen. Ellen heiratet 1884 Arnold von Siemens, den ältesten Sohn von Werner von Siemens, dem berühmten Firmengründer und Freund der Familie Helmholtz. Robert wird wie sein Vater Physiker und kann eine Assistentenstelle an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt übernehmen, bevor ihn im Alter von 27 Jahren ein früher Tod ereilt. Das jüngste Kind Friedrich, genannt Fritz, bleibt mit seiner schwächlichen Konstitution zeit seines Lebens ein Sorgenkind seiner Eltern. Die Mutter klagt über die harten Schläge des Schicksals, denn auch Robert ist körperlich eingeschränkt.

Was die wissenschaftliche Arbeit angeht, so erscheint seit 1856 das in der Gelehrtenwelt als monumental empfundene *Handbuch der Physiologischen Optik*. Das große Werk umfasst zuletzt drei Bände, von denen

der zweite 1860 und der dritte 1867 abgeschlossen werden können. Im ersten Band finden sich Beschreibungen des Auges einschließlich seiner Akkommodation, gemessen mit dem Augenspiegel, und im zweiten Band geht es um die Frage, wie »Gesichtsempfindungen« von physikalischen Reizen abhängen. Zum Verständnis von Farben und Kontrastercheinungen greift Helmholtz – eher zögerlich und höchst ungern – auf psychologische Gegebenheiten zurück und erörtert in dem Zusammenhang auch den Beitrag von unbewussten Urteilstäuschungen. Im dritten und abschließenden Band wendet sich Helmholtz den »Gesichtswahrnehmungen« zu, worunter zum Beispiel das Erkennen räumlicher Verhältnisse – Höhen, Tiefen und Entfernungen – durch das Auge gemeint ist. Sie werden in der Auffassung von Helmholtz nicht wie Farben direkt empfunden und entstehen vielmehr erst durch psychische Verarbeitung des Wahrgenommenen, also durch eine unbewusste Deutung.

Als Helmholtz 1862 in Heidelberg das Amt des Prorektors übernimmt, hält er eine Festrede mit dem Titel *Über das Verhältnis der Naturwissenschaften zur Gesamtheit der Wissenschaft*, und während er die zunehmende Beherrschung der »Naturkräfte der unorganischen Welt« lobt, die den »Bedürfnissen des menschlichen Lebens und den Zwecken des menschlichen Geistes zu dienen« hat, erinnert er an den gemeinsamen Zweck aller Wissenschaften, der darin bestehe, »den Geist herrschend zu machen über die Welt«. Weiter heißt es: »Während die Geisteswissenschaften direct daran arbeiten, den Inhalt des geistigen Lebens reicher und interessanter zu gestalten, das Reine vom Unreinen zu sondern, so streben die Naturwissenschaften indirect nach demselben Ziele, indem sie den Menschen von der auf ihn eindringenden Nothwendigkeit der Aussenwelt mehr und mehr zu befreien suchen. Jeder einzelne Forscher arbeitet an seinem Theile; jeder Einzelne muss aber wissen, dass er nur im Zusammenhang mit den Anderen das große Werk weiter zu fördern im Stande ist, und dass er deshalb verpflichtet ist, die Ergebnisse seiner Arbeit den Übrigen möglichst vollständig und leicht zugänglich zu machen.« Jeder Einzelne möge sich betrachten »als einen Arbeiter an dem gemeinsamen großen Werke, welches die edelsten Interessen der ganzen Menschheit berührt«, so der Prorektor jener

Universität, über deren Portal heute der Schriftzug »Dem lebendigen Geist« prangt.

Helmholtz arbeitet in den 1860er Jahren an einem wahrlich großen Werk, denn nachdem der dritte Band des *Handbuchs der Physiologischen Optik* erschienen ist, veröffentlicht er 1868 seinen Aufsatz *Über die Thatsachen, die der Geometrie zum Grunde liegen*, den er mit den folgenden Worten beginnt: »Meine Untersuchungen über die räumlichen Anschauungen im Gesichtsfelde haben mich veranlasst, auch über die Frage nach dem Ursprunge und dem Wesen unserer allgemeinen Anschauung vom Raume Untersuchungen anzustellen.«

Der Aufsatz wird in den *Nachrichten der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften und Georg-August-Universität zu Göttingen* veröffentlicht, und der Erscheinungsort Göttingen ist in diesem Fall alles andere als nebensächlich. In seinem Titel variiert Helmholtz nämlich die Überschrift zu einem der wichtigsten Texte des 19. Jahrhunderts. Gemeint ist die Habilitationsschrift, die der Mathematiker Bernard Riemann 1854 in Göttingen eingereicht hat, die aber erst 1868 – zwei Jahre nach seinem allzu frühen Tod – herauskommt. Riemanns *Hypothesen, welche der Geometrie zum Grunde liegen* schließen dabei an Überlegungen von Mathematikern aus den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts an, die zum ersten Mal gefragt haben, ob die Geometrie des von Menschen bewohnten und wahrgenommenen Raumes tatsächlich so ist, wie sie der griechische Mathematiker Euklid im 3. Jahrhundert vor Christus aufgeschrieben und festgelegt hat. In der euklidischen Geometrie, wie sie spätestens im Jahrhundert der Aufklärung genannt wird, gibt es Punkte, Linien und Flächen mit postulierten Eigenschaften, etwa der, dass sich zwei nicht-parallele Linien in genau einem Punkt schneiden.

Wer will, kann sich eine flache Welt mit scharfen Kanten und geraden Linien vorstellen, und vor dem 19. Jahrhundert gingen die Menschen, die darüber nachdachten, davon aus, dass die Welt tatsächlich eine euklidische Geometrie aufweist, wobei daran erinnert werden sollte, dass »Geometrie« der Wortherkunft nach eine »Weltvermessung« meint, die eben auf euklidische Weise durchgeführt wird. Isaac Newton hat dem Weltall eine euklidische Geometrie zugewiesen, und Kant hat

daraus eine denkotwendige Voraussetzung zum Verständnis des Raumes gemacht, die den Menschen a priori gegeben ist und durch keinerlei Erfahrung – also a posteriori im philosophischen Jargon – widerlegt werden kann. Was die Gelehrten erst als große Analyse der menschlichen Vernunft gefeiert haben und für alle Ewigkeit als zutreffend einstuften wollten, erweist sich im Verlauf des 19. Jahrhunderts eher als dogmatische Barriere, die die menschliche Neugierde hemmt. Ein russischer und ein österreichisch-ungarischer Mathematiker, Nicolai Lobatschewski und János Bolay, sind die ersten, die diese Barriere einreißen wollen. Sie denken sich eine Geometrie aus, in der zwei parallele Linien nicht unbedingt »ins Endlose hinaus« gehen, wie Christian Morgenstern gedichtet hat, »sondern eins in dem ewigen Licht« werden, das sie auf ihrem Weg irgendwann einmal durchdringt.

Der große Mathematiker Carl Friedrich Gauß führt dieses Konzept einer nicht-euklidischen Geometrie fort, und sein Schüler Riemann macht 1854 den Vorschlag, der im 20. Jahrhundert ein Wunderwerk der theoretischen Physik ermöglicht, nämlich die Allgemeine Relativitätstheorie von Albert Einstein. Diese kann deshalb die Kräfte im Weltall erklären, weil der Raum nicht flach ist, wie es sich Euklid gedacht hat, sondern so gekrümmt sein kann, wie es sich Riemann vorgestellt hat. Um sich einen gekrümmten (dreidimensionalen) Raum vorzustellen, kann man vereinfacht an einen Globus mit seiner (zweidimensionalen) Oberfläche denken. Auf diesem Globus können sich zwei Linien, die am Äquator noch parallel verlaufen, an den Polen schneiden.

Es würde hier zu weit führen, Einsteins große Einsicht vorzustellen, der zufolge der leere Raum zwar euklidisch verstanden werden kann, das Vorhandensein von Materie und Masse im Raum es aber mit sich bringt, dass die riemannsche Geometrie zum Tragen kommt, die den Raum krümmt und ihm seine Dynamik gibt – eine Theorie, die Helmholtz mutmaßlich begeistert hätte. Tatsächlich erlaubt es ja erst die gekrümmte Geometrie des Raumes den keineswegs gradlinigen Weg zu verstehen, den Lichtstrahlen zurücklegen, wenn sie an massiven Objekten wie der Sonne vorbeiziehen. »Die Gradlinigkeit der Lichtstrahlen«, die Helmholtz 1868 noch für eine offenkundige »physikalische Thatsache« hielt,

weil sie sich auf Erfahrungen stützt, erweist sich ein halbes Jahrhundert später als korrigierbares Wissen, was ihm im Prinzip vertraut war. Denn »die Axiome der Geometrie beschränken die Anschauungsformen des Raumes so, dass nicht mehr jeder denkbare Inhalt darin aufgenommen werden kann, wenn überhaupt Geometrie auf die wirkliche Welt anwendbar sein soll«. Helmholtz muss zu seiner eigenen Überraschung konstatieren, dass »Kant in seiner Kritik nicht kritisch genug gewesen ist«, wobei er den Philosophen der Aufklärung in Schutz nimmt, »denn dies Stück kritischer Arbeit musste durch die Mathematiker erledigt werden«, was sie aber erst im 19. Jahrhundert unternommen haben.

### Immer wieder die Kraft

»Mit seinen Arbeiten zur Geometrie trat Helmholtz eine Lawine los, die ihm viele polemische Angriffe einbrachte«, wie die Herausgeber seiner *Philosophischen und populärwissenschaftlichen Schriften* ihre Leser informieren. »Besonders anstößig fand man seine Behauptung, die unter gewissen Umständen mögliche anschauliche Vorstellbarkeit nichteuklidischer Räume widerlege eine Auffassung von Kant«, nämlich die, dass die geometrischen Axiome »nothwendige Folgen einer a priori gegebenen transcendentalen Form unserer Anschauungen« darstellen, wie Helmholtz geschrieben hatte. Es gab sogar den Vorwurf, er trete »als Verräter der deutschen Sache« auf, was Helmholtz empört als verrückt von sich wies.

Ungleich interessanter als diese müßigen Vorwürfe ist eine Rede, die Helmholtz 1869 zur Eröffnung der Naturforscherversammlung in Innsbruck hält. In dem Vortrag mit dem Titel *Über das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft* erinnert Helmholtz zu Beginn an Alexander von Humboldt, der in seinem Leben »die damaligen naturwissenschaftlichen Kenntnisse bis in ihre Specialitäten hinein zu überschauen und in einen großen Zusammenhang zu bringen vermochte«, während inzwischen »ein Material von kaum zu fassender Mannigfaltigkeit« gesammelt werden konnte, »dessen äußere Ausdehnung und innerer Reichthum jährlich wächst«. Nun soll die Naturforscherversammlung »die Gesamtheit unserer Wissenschaften« vertreten, was es

wünschenswert macht, sich »Rechenschaft« über das »große Ganze« der Naturwissenschaften zu geben, und das möchte Helmholtz in seiner Rede versuchen.

Er kommt dabei vor allem auf seinen Lieblingsbegriff der Kraft zu sprechen. Dieser sei immer dann zu verwenden, wenn den Menschen ein Naturgesetz »als eine objektive Macht« entgegentritt. Helmholtz spricht unter anderem von Lichtbrechungskraft, von Verwandlungskraft, von Adhäsionskraft, von Capillarkraft und legt fest: »Unsere Forderung, die Naturerscheinungen zu begreifen, das heißt, ihre Gesetze zu finden, nimmt so eine andere Form des Ausdrucks an, die nämlich, dass wir die Kräfte aufzusuchen haben, welche die Ursachen der Erscheinungen sind. Die Gesetzlichkeit wird als causaler Zusammenhang aufgefasst, sobald wir die Unabhängigkeit derselben von unserem Denken und unserem Willen anerkennen.«

Helmholtz spricht dann über das Gesetz von der Erhaltung der Kraft und fügt hinzu, dass Galileo Galilei Jahrhunderte zuvor über die »Intensität der Kraft« nachgedacht hat, was seine Nachfolger in die Lage versetzte, einen neuen mechanischen Begriff auszuarbeiten, nämlich den der Energie, der Helmholtz zubilligt, die »Quantität der Arbeit« angeben zu können, und mit der sich die »Triebkraft« verstehen lässt, die nötig ist, »um eine Maschine in Gang zu halten«.

So ausführlich in der Vorlesung vom Verbrauch der Energie die Rede ist – »Wir verbrauchen immer etwas, was uns die Natur liefert« –, so wenig spricht Helmholtz das damals längst von Robert Clausius gefundene Gesetz an, das als Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik berühmt wurde und eine Antwort auf die Frage liefert, warum nicht alle Energie, die man einer Maschine zuführt, in Arbeit umgewandelt werden kann und Wärme zum Beispiel dissipiert, sich also in aller Welt zerstreut. Es war zunächst der französische Ingenieur Nicolas Léonard Sadi Carnot, der zeigen konnte, dass sich Maschinen nicht ewig betreiben lassen, wenn man ein Wärmereservoir abkühlt. Irgendwann gleichen sich die Temperaturen aus und die Arbeit stoppt, und um dies physikalisch zu verstehen, führt Clausius eine Größe in die Physik ein, die den Namen Entropie bekam. Man kann sich darunter den Vorrat an Zufälligkeiten

vorstellen, der einem System oder einem Apparat zukommt. Dass die Entropie der Welt einem Maximum zustrebt, bedeutet letztlich auch, dass die Welt unausweichlich auf ihr Ende zuläuft, nämlich auf einen Zustand maximaler Entropie, den man im 19. Jahrhundert als »Wärmetod der Welt« fürchtete.

In seiner Innsbrucker Rede geht Helmholtz auch ausführlich auf »Darwin's Theorie von der Fortbildung der organischen Formen« ein und attestiert ihr, »einen wesentlich neuen schöpferischen Gedanken« zu enthalten und zu zeigen, »wie Zweckmäßigkeit der Bildung in den Organismen auch ohne alle Einmischung von Intelligenz durch das blinde Walten eines Naturgesetzes entstehen kann«. Er konstatiert, dass »um die Wahrheit oder Wahrscheinlichkeit von Darwin's Theorie noch lebhafter Streit« besteht, aber immerhin habe »Darwin's großer Gedanke Klarheit in die bis dahin so mysteriösen Begriffe der natürlichen Verwandtschaft« gebracht und »vereinzelte Gebiete [wie die Paläontologie und die Embryologie] aus dem Zustande einer Anhäufung räthselhafter Wunderlichkeiten in den Zusammenhang einer großen Entwicklung gehoben«.

Helmholtz schließt seine Rede mit dem Hinweis darauf, dass es gilt, »Furchtlosigkeit vor den Consequenzen der ganzen und vollen Wahrheit« zu bewahren, da sie allein »die Heilmittel mit sich führt gegen die Gefahren und Nachtheile, welches halbes Erkennen der Wahrheit hier und da zur Folge haben mag«.

Übrigens nimmt nicht nur Helmholtz Notiz von Darwin, sondern der große Engländer nimmt auch umgekehrt Notiz von Helmholtz, und zwar von dessen Buch *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, das Helmholtz 1863 zwischen dem Erscheinen des zweiten und dritten Bandes des *Handbuchs der Physiologischen Optik* veröffentlicht. Helmholtz legt darin eine neue Theorie der Akustik vor und erklärt die Klangfarben verschiedener Instrumente durch verschiedene Obertöne, die je nach Lautstärke anders ausfallen können. Das Werk beeindruckt die Schriftstellerin George Eliot und wird auch von Darwin rezipiert. In *Die Abstammung des Menschen* schreibt er: