

Leonhard Euler's Verdienste um Astronomie und Physik.

Vortrag

von Prof. Ed. Hagenbach - Bischoff.

An die ausserordentlichen Verdienste Euler's um die Förderung der Mathematik reihen sich als nöthige Ergänzung seine mannigfachen Arbeiten auf dem Gebiete der Astronomie und Physik. Euler war allerdings weder ein regelmässiger Beobachter auf der Sternwarte noch ein consequenter Experimentator im Laboratorium, und dennoch muss er in erster Linie genannt werden, wenn man die Fortschritte der Astronomie und der Physik im vorigen Jahrhundert bespricht. Bekanntlich bildet die Mathematik bei diesen Wissenschaften das wichtigste und erfolgreichste Werkzeug für die Verarbeitung der zur Erklärung der Naturerscheinungen nöthigen Vorstellungen, und desshalb haben fast alle bedeutenden Mathematiker auch an der Lösung physikalischer Probleme gearbeitet; dabei benützen die einen mehr nur die aus der Natur genommenen Aufgaben, um daran ihren mathematischen Scharfsinn zu üben, während die andern ausserdem die Erforschung und Erklärung der Naturerscheinungen als einen besonders

berechtigten Zweck auffassen, dem sie das in ihrer Hand erprobte mächtige Werkzeug zuwenden. Wir können sagen, dass das letztere in hohem Grade bei Euler der Fall war, und dass er desshalb mit vollem Recht auch als Physiker zu betrachten ist. Er ist fast auf allen Gebieten, die im vorigen Jahrhundert zu den physikalischen Wissenschaften gezählt wurden, mit seinem mathematischen Werkzeug zu Hülfe geeilt, und zwar in der allergrossartigsten und umfassendsten Weise. Man kann vielleicht sagen, dass an erfinderischer Genialität Newton und Thomas Young, an geistvoller Auffassung Leibnitz und Daniel Bernoulli, an consequenter einheitlicher Durchführung eines Gedankens Laplace und Helmholtz, an Eleganz der Behandlung Huyghens und Gauss in manchen Punkten ihn übertroffen haben, in Bezug auf die Energie, mit der er jedes an ihn herantretende Problem grossartig anpackte, und die stets frische Arbeitskraft, mit welcher er dasselbe durch alle möglichen Schwierigkeiten durchriss und nach den verschiedensten Seiten in erschöpfender Weise behandelte, steht er wohl hinter keinem zurück.

Die Arbeiten Euler's auf dem Gebiete der Astronomie und Physik sind theils selbstständige grössere Werke, theils zahlreiche Abhandlungen, die hauptsächlich in den Publikationen der Petersburger, Berliner und Pariser Akademie enthalten sind; einiges Bemerkenswerthe wurde erst nach seinem Tode von der Petersburger Akademie publiciert. Auch hat er eine ganze Reihe von Fragen aus den Gebieten der Astronomie, der physikalischen Geographie, der Physik und Philosophie in populärer Form behandelt in seinen französisch geschriebenen Briefen an eine deutsche Prinzessin; sie bilden die schriftliche Fortsetzung des Un-

terrichtes, den er der Tochter des Markgrafen von Brandenburg-Schwedt ertheilt hatte. Diese in den Jahren 1760—1762 geschriebenen, aber erst 1775 herausgegebenen Briefe sind durch die ebenso klare und anschauliche als angenehm lesbare Ausdrucksweise für alle Zeiten das Muster einer populären Schrift über Gegenstände aus der Naturlehre geworden, und manche Kapitel, wie z. B. die über die optischen Instrumente, können noch jetzt, trotz der seitherigen Umgestaltung der Wissenschaft, sehr gut die Anfänger in das richtige Verständniss des Gegenstandes einführen.

Wir besprechen zuerst die Leistungen auf dem Gebiete der Astronomie; indem ja dieser Theil der Naturlehre vor Allem auf die mathematische Behandlung angewiesen ist.

Schon die sphärische Astronomie ist Euler Dank schuldig für die zur Ausführung nöthiger Rechnungen praktische Entwicklung der trigonometrischen Formeln; und auch auf dem Gebiete der theoretischen Astronomie, welche wesentlich die Berechnung der Bahnen aus den Beobachtungen zur Aufgabe hat, ist sehr bedeutendes von Euler geleistet worden, und seine *theoria motuum planetarum et cometarum* kann als bahnbrechender Vorläufer der klassischen *Theoria motus* von Gauss betrachtet werden. Am wichtigsten sind jedoch Euler's Arbeiten auf dem Gebiete der physischen Astronomie, das heisst bei der Erklärung der Bewegungen der Himmelskörper aus den zwischen ihnen wirkenden Kräften. Newton hatte nämlich in seinen *Principien* gezeigt, wie dieselbe Kraft, welche als Schwerkraft auf Erden wirkt, von aller Materie ausgeht und als allgemeine Anziehungskraft mit einer dem Produkte der Massen direct und dem Quadrate der gegenseitigen Entfernung umgekehrt proportionalen Stärke den Erklärungsgrund für

die sämtlichen Bewegungen im Weltenraume abgiebt. Der Grundgedanke war damit in voller Schärfe und Klarheit von Newton ausgesprochen, aber die Durchführung des Beweises im Einzelnen und die genaue Verwerthung zur sicheren Vorausberechnung der einzelnen Erscheinungen verlangte noch eine kolossale Arbeit; und wenn wir sehen, wie 113 Jahre nach Newton's Principien die *Mécanique céleste* von Laplace erschien, so dürfen wir nicht vergessen, dass zwischen dem unsterblichen Engländer und dem grossen Franzosen unser Euler war und durch kräftiges Eingreifen das Werk seinem Ziele zuführte. Die Bewegung zweier Körper zu bestimmen, die nach dem Newton'schen Gesetze auf einander wirken, gehört zu den Aufgaben, die mit Leichtigkeit in ganz allgemein gültiger Form gelöst werden können; aber die Schwierigkeiten thürmen sich sogleich zu ausserordentlicher Höhe auf, wenn statt zwei drei sich gegenseitig anziehende und frei bewegliche Körper, z. B. Sonne, Erde und Mond, vorhanden sind. Es ist diess das berühmte Problem der drei Körper, das seit Newton die bedeutendsten Mathematiker beschäftigt hat. Eine vollkommene allgemein gültige Lösung ist bis jetzt nicht gelungen, und man muss sich mit der Behandlung einzelner Fälle und oft auch mit einer annäherungsweise richtigen Lösung begnügen. Euler hat mit seiner bekannten Fertigkeit eine grosse Anzahl darauf bezüglicher Aufgaben seiner Rechnung unterworfen, die bedeutendste und grossartigste Leistung auf diesem Gebiete sind seine die Mondstheorie betreffenden Arbeiten und die sich daran anschliessenden Mondstafeln, welche die Grundlage der berühmten Tafeln von Tobias Mayer bilden. Ausserdem sind noch viele andere mit der Newton'schen Anziehungskraft in Verbindung stehende Probleme von ihm behandelt worden,

so die Anziehung der Ellipsoide, die Planetenstörungen, die Präcession der Tag- und Nachtgleichen, und die Ebbe und Fluth; für eine gründliche Arbeit über den letztgenannten Gegenstand theilte er den von der Pariser Akademie ausgesetzten Preis mit seinem Freunde und Landsmann Daniel Bernoulli und zwei andern Gelehrten. Es sei hier noch erwähnt, dass über Cometen, und zwar sowohl in Betreff der Bahnberechnung als des Studiums der Beschaffenheit, über Sonnenrotation, über Landkartenzeichnung, über die Mondatmosphäre, auf die er aus Beobachtungen schliessen zu müssen glaubte, und mehrere andere Fragen der Astronomie und mathematischen Geographie, theils gelehrte Abhandlungen, theils populäre Schriften von Euler erschienen sind, ohne dass es die Zeit erlaubt, hier näher darauf einzutreten.

Wir gehen nun über zur Physik und behandeln zuerst zwei Fragen allgemeiner Natur.

Wir können sagen, dass die Entwicklung der physikalischen Wissenschaft seit Galilei hauptsächlich darin besteht, dass ein immer grösserer Theil derselben die Anwendung der Begriffe der theoretischen Mechanik gestattete; es ist also leicht begreiflich, dass Euler, der Schöpfer der analytischen Mechanik, auch auf die Förderung der physikalischen Wissenschaft in diesem Sinne einen höchst bedeutenden Einfluss ausüben musste. Mein Vorredner hat Ihnen die Leistungen Euler's auf dem Gebiete der analytischen Mechanik deutlich dargelegt; ich werde also darauf nicht noch ein Mal eintreten, möchte aber doch noch etwas näher zusehen, wie sich Euler zu den Begriffen der Mechanik stellte, die eine hauptsächlichliche Verwendung in der physikalischen Wissenschaft finden.

Wenn auch nicht zuerst, so doch wesentlich durch

Galilei, Cartesius und Newton war festgestellt worden, dass ein Körper ohne einwirkende Ursache in ebendenselben Zustande verharre, das heisst, also entweder in Ruhe verbleibe oder seine Bewegung nach ebenderselben Richtung mit gleichbleibender Geschwindigkeit fortsetze; man bezeichnete diese Eigenschaft im Lateinischen mit dem Worte *inertia*, im Französischen mit *inertie*, im Deutschen mit Trägheit oder Beharungsvermögen; Euler schlug dafür das Wort Standhaftigkeit vor. Wo nun Aenderung der Richtung oder der Geschwindigkeit einer bewegten Masse eintritt, lässt diess auf die Einwirkung einer Ursache schliessen, und diese einwirkende Ursache heisst Kraft. Der mechanische Begriff der Kraft war so schon vor Euler genau bestimmt, allein es handelte sich noch darum mit scharfer und klarer Auffassung denselben auf die verschiedenen Vorgänge der physikalischen Natur anzuwenden; und in dieser Hinsicht hat Euler sehr viel geleistet, so dass man die Einbürgerung des klaren mechanischen Kraftbegriffes in die Physik zu grossem Theile ihm zu verdanken hat.

Ein anderer sehr wichtiger Begriff ist das Maass der mechanischen Leistung, wofür man jetzt gewöhnlich den Ausdruck *Energie* gebraucht, ein internationaler Ausdruck, der in diesem Sinne wohl zuerst von unserem Basler Mathematiker Johannes Bernoulli in die Wissenschaft eingeführt worden ist. Leibnitz hat gezeigt, dass die Energie eines bewegten Körpers der sogenannten lebendigen Kraft, das heisst dem Produkte der Masse mit dem Quadrate der Geschwindigkeit entspreche, während Cartesius angenommen hatte, dass die Quantität der Bewegung, das heisst die Masse multipliciert mit der ersten Potenz der Geschwindigkeit als Maass der Leistung zu betrachten sei. Lange Jahre

dauerte der berühmt gewordene Streit der Cartesianer und Leibnitzianer über das wahre Maass der Kräfte, und fast jeder bedeutende Philosoph, Mathematiker oder Physiker der damaligen Zeit hat eine Abhandlung oder gar ein Buch über diese wichtige Frage geschrieben. Sie wurde auch von Euler behandelt, und bei seiner klaren Auffassung der mechanischen Begriffe musste er gleich sehen, dass aus Mangel einer deutlichen Fragestellung der Kampf vielfach ein müssiger Wortstreit (Logomachia) sei; er spricht sich über diese Frage aus in einer Abhandlung über den Stoss der Körper, wo er in äusserst klarer bahnbrechender Weise diesen für Mechanik und Physik so ausnehmend wichtigen Vorgang nach den einzelnen Seiten analysirt, so wie auch noch in einer andern erst nach seinem Tode publicierten Schrift, wo er sich auf die Seite der Leibnitzianer stellt und in schlagender Weise die Behauptungen eines der letzten Cartesianer, des Schotten Maclaurin, entkräftet. Auffallend ist, dass dieser Begriff der Energie, dessen Verwendung in der modernen Physik fast bei jeder Frage unentbehrlich geworden ist, sonst verhältnissmässig selten von Euler verwerthet wurde; in diesem Punkte unterscheidet er sich wesentlich von seinem Freunde Daniel Bernoulli, der, wie ich im vorigen Jahre bei der Bernoullifeier zu zeigen versuchte, gerade durch Verwerthung des Begriffes der Energie bei den Vorgängen in der Natur so Ausserordentliches für den Fortschritt der physikalischen Wissenschaft geleistet hat.

Die zweite allgemeine Frage, die wir der Betrachtung der einzelnen physikalischen Leistungen vorausschicken, betrifft den Aufbau der materiellen Körper. Schon seit den ältesten Zeiten stehen sich in dieser Hinsicht zwei dem ganzen Wesen nach verschiedene Anschauungen gegenüber. Die einen übertragen den

Begriff der Stetigkeit von dem Raume auf die den Raum erfüllende Materie und behaupten desshalb eine bis ins Unendliche gehende Theilbarkeit des Stoffes; die andern aber nehmen an, dass die Körper aus durch Zwischenräume getrennten einzelnen Theilchen aufgebaut seien, und dass nur die Kleinheit dieser Theilchen die unmittelbare Wahrnehmung derselben hindere. Die letztern, das heisst die, welche den Aufbau des Stoffes aus getrennten Theilen annehmen, zerfallen wieder in zwei Gruppen, in so fern die einen behaupten, dass diese kleinsten Theile wirklich die letzten nicht mehr weiter theilbaren eigentlichen elementaren Bestandtheile seien, und sie desshalb auch mit dem Namen der Atome oder Monaden bezeichnen, während die andern zwar die Annahme solcher Theilchen zur Erklärung mancher Erscheinungen, z. B. der Ausdehnung und Zusammenziehung, und zur Platzgewinnung für das Hineinlegen hypothetischer Stoffe nöthig finden, aber desshalb durchaus nicht die weitere wenigstens in Gedanken vollziehbare Theilbarkeit der Theilchen läugnen und darum auch gewöhnlich dagegen protestieren, wenn man sie als Anhänger der Atomistik bezeichnen will. Der Hauptvertreter, ja wir können fast sagen der Stifter und Urheber dieser Anschauung ist der geistreiche Cartesius, der bekanntlich die Ausdehnung als eine der Hauptgrundeigenschaften aller natürlichen Dinge hinstellte; die Materie war für ihn begrifflich ins Unendliche theilbar, in Wirklichkeit aber nur in eine endliche Zahl von Theilen auf die verschiedenste Weise getheilt; das heisst, die Körper waren aus Theilchen aufgebaut, die in Bezug auf Gestalt, Bewegung und Grösse eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit darboten; ins Besondere wurden zur Erklärung der verschiedenen Eigenschaften der Körper gröbere die eigentliche Masse derselben bildende

Stückchen angenommen, während ausserdem eine aus ganz kleinen Theilchen bestehende Materie in verschiedenen Abstufungen der Feinheit sowohl den ganzen Weltenraum als die Zwischenräume zwischen den größeren Stückchen ausfüllte.

Euler hat sich in der Hauptsache mit voller Entschiedenheit im bewussten Gegensatz zu Leibnitz und Wolff dieser cartesianischen Anschauung angeschlossen; er hat von Cartesius die groben absolut harten Theilchen, aus denen der Körper aufgebaut wird, angenommen und nennt sie gewöhnlich Molekeln; er verzichtete darauf, ihnen alle die Gestalten zu geben, welche die Phantasie des Cartesius für sie geschaffen hatte, sondern er nahm an, dass sie alle gleich gross und gleich dicht seien; dass also ein spezifisch schwerer Körper wie Gold im gleichen Raume mehr solcher Theilchen enthält als ein spezifisch leichterer, z. B. Wasser oder gar Luft. Die Zwischenräume zwischen diesen Theilchen nennt Euler gewöhnlich Poren, er unterscheidet offene und geschlossene, und füllt wie Cartesius diese Zwischenräume mit der feinen oder subtilen Materie an, dem gleichen Stoffe, der auch den ganzen Weltenraum erfüllt. Diesem giebt er, wie es zuweilen schon Cartesius und nachher besonders Huyghens gethan hat, den Namen Aether; in Betreff der Constitution dieses Mediums weicht Euler etwas von Cartesius ab, in so fern er dasselbe nicht aus einzelnen sehr kleinen Theilchen bestehen lässt, sondern als eine den Raum stetig erfüllende äusserst dünne und zugleich höchst elastische zusammenpressbare Flüssigkeit auffasst; sie spielt bei ihm eine grosse Rolle bei den Erscheinungen der Elasticität der Körper, und dient, wie wir noch näher sehen werden, als Erklärungsgrund für Vieles in der Lehre des Lichtes, der Wärme, des

Magnetismus und der Electricität. Diese Euler'sche Anschauung in Betreff des Aufbaus der materiellen Welt hat den grossen Vortheil der Bestimmtheit und Klarheit, sie kann desshalb auch sehr gut als Grundlage der mathematischen Behandlung dienen. In philosophischer Hinsicht möchten eher Bedenken aufzutreten, dass für die Constitution der ponderablen sogenannten groben Materie eine ganz andere Grundanschauung dienen muss als für den Aether. Es sei jedoch noch bemerkt, dass sich in diesem Punkte Euler in seinen vielen auf einen sehr langen Zeitraum vertheilten Arbeiten nicht immer consequent geblieben ist.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen über die Verwerthung der Grundbegriffe der Mechanik und die Vorstellungen betreffend den Aufbau der Körper wollen wir nun noch kurz die verschiedenen Kapitel durchlaufen, um die Leistungen Euler's hervorzuheben; bei der äusserst grossen Fülle seiner Publikationen machen wir natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

In der Lehre der Schwerkraft und allgemeinen Anziehungskraft begegnen wir Euler bei verschiedenen Publikationen, wie sich das ja wohl erwarten lässt bei einem Gelehrten, der ganz besonders die theoretische Mechanik ausgebildet hat; zu dem hauptsächlich durch Huyghens gelösten Problem des physischen Pendels hat er werthvolle Ergänzungen geliefert, und das wichtige und in mancher Hinsicht auffällige Problem des Kreisels ist zuerst von ihm in richtiger Weise behandelt und gelöst worden.

Was die Kraft der allgemeinen Anziehung und somit auch die Schwerkraft betrifft, so hat Euler, wie wir schon gesehen, bei seinen Rechnungen das Newton'sche Gesetz allgemein anerkannt; allein die Kraftwirkung in die Ferne ohne materielle Vermittlung er-

schien ihm etwas unbegreifliches, und er war deshalb bemüht, dieselbe aus dem Druck des Aethers zu erklären.

In der Lehre der festen Körper hat er werthvolle Beiträge zu den Erscheinungen der Reibung gebracht; er hat unter Anderem den Begriff des Reibungscoefficienten klar definiert und den Reibungswiderstand rollender Körper einer genauen mathematischen Betrachtung unterzogen.

Aus der Lehre der flüssigen Körper hat Euler besonders die Bedingungen des stabilen Gleichgewichtes schwimmender Körper und des Widerstandes, welchen die Flüssigkeiten den sich in ihnen bewegten Körpern entgegensetzen, in gründlicher Weise untersucht und zwar in Verbindung mit den praktischen Fragen der Schiffsbaukunst in seinem berühmten Werke der *Scientia navalis*; dasselbe enthält in zwei grossen Quartbänden die scharfsinnige mathematische Behandlung der hier in Betracht kommenden Probleme; für Schiffsbaumeister ist das Werk zu gelehrt, ein Umstand, dem Euler durch Publikation eines zweiten mehr populären Werkes über denselben Gegenstand in französischer Sprache abzuhelfen wusste. Auch die Bewegung des Wassers in Kanälen und Röhren mit Berücksichtigung der inneren Reibung hat er seiner Alles bewältigenden Rechnung unterzogen und auch auf das für die Physiologie so wichtige Problem der Bewegung des Blutes in den Arterien angewandt.

In Betreff der Lehre des gasförmigen Zustandes sei erwähnt, dass Euler über die Beschaffenheit der atmosphärischen Luft eine sehr originelle, ich möchte fast sagen gekünstelte Hypothese aufgestellt hat, und zwar in ziemlich übereinstimmender Weise in zwei ein halbes Jahrhundert aus einander liegenden Arbeiten. Er

nahm nämlich an, dass die Lufttheilchen aus hohlen kugelförmigen Schaaalen oder Krusten von Wasser bestehen, in welche concentrisch eine zweite Schaaale aus Luft eingeschlossen ist, die fortwährend durch den darin eingeschlossenen und die Mitte der Kugel erfüllenden Aether in eine rotierende Bewegung versetzt wird. Aus dieser Hypothese weiss Euler mit grosser Geschicklichkeit verschiedene Sätze über den Zusammenhang von Feuchtigkeit, Temperatur und Luftdruck abzuleiten und auch eine Formel für die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Ortshöhe zu entwickeln; für die jetzige Physik hat die bestimmte Form der Hypothese wohl keinen Werth mehr; in den Wasserkrusten mag man einen Anklang an die von den Meteorologen angenommenen Wasserbläschen erblicken; viel wichtiger sind die Beziehungen zu der jetzigen kinetischen Gas- theorie und zur mechanischen Wärmetheorie, wovon später noch die Rede sein wird. — Die Lehre des Luftwiderstandes ist zu verschiedenen Zeiten von Euler behandelt worden, und er hat wesentlich zur richtigen Auffassung dieser Erscheinung beigetragen; manches darauf bezügliche findet sich in den Anmerkungen zu der Uebersetzung der Robin'schen Grundsätze der Artillerie, welche diesem Werke erst den richtigen Werth gegeben haben.

Die Lehre des Schalles oder die Akustik ist von Euler mit besonderer Vorliebe bedacht worden; seine erste in Basel gedruckte Arbeit handelt von dem Schalle. Die mathematische Lösung des Problems der Saitenschwingungen verdankt man neben Taylor, d'Alembert, Daniel Bernoulli und Lagrange hauptsächlich unserem Euler; derselbe hat auch das Problem noch erweitert für den Fall, dass die Saite nicht überall gleich dick ist, und dass sie nicht in einer Ebene sondern

nach Art des conischen Pendels schwingt. Auch die von Daniel Bernoulli behandelten transversalen Schwingungen elastischer Stäbe hat Euler noch vollständiger untersucht. Dass die Schallerzeugung mit Trommeln zuerst von dem Basler Euler einer genauen mathematischen Behandlung unterzogen wurde, mag vielleicht in uns Baslern einige stadtpatriotische Gefühle wachrufen. Auch das Tönen der Glocken hat er genau untersucht und gezeigt, wie dieses Instrument gewöhnlich keine harmonischen Obertöne hat.

Die Aufgabe der Fortpflanzung des Schalles hat Euler einer sehr einlässlichen mathematischen Behandlung unterzogen, und zwar sowohl nach einer Dimension in Röhren als nach drei Dimensionen im Raume. Bei dieser Gelegenheit leitet er aus den von ihm gefundenen Gleichungen mit voller Klarheit das Princip der Superposition der Bewegungen beim Zusammentreffen verschiedener Schallwellensysteme ab, das später als Princip der Interferenz von dem Engländer Thomas Young in so ausserordentlich fruchtbringender Weise in die Akustik und in die Optik eingeführt worden ist.

Den Widerspruch zwischen Theorie und Erfahrung in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles aufzuklären ist Euler so wenig als Newton gelungen, er sah sich sogar genöthigt, eine zuerst ausgesprochene Ansicht später wieder zurück zu nehmen. Bekanntlich war es Laplace vorbehalten das Räthsel zu lösen, und erst die neuere mechanische Wärmetheorie hat die wahre tiefer liegende Ursache aufgedeckt.

Bei der Akustik müssen wir noch ganz besonders die grossen Verdienste Euler's um die Theorie der Musik erwähnen; nach dem Berichte des Biographen Fuss sind diese tiefsinnigen Untersuchungen eine Frucht der Erholungsstunden, indem er musikalische Verhält-

nisse berechnete, während er sich am Clavier den angenehmen Empfindungen der Harmonieen überliess. Auf dem Gebiete der Erklärung der Consonanzen und Dissonanzen waren die Euler'schen Untersuchungen massgebend bis neuerdings Helmholtz in seinem Buche von den Tonempfindungen über dieselben hinausgieng und den tiefern physiologischen Grund anzugeben wusste.

Wohl keinem Gebiet der Physik hat Euler in höherem Grade seine Arbeit zugewandt als der Lehre des Lichtes, der Optik; es ist diese Seite Euler's im Jahre 1869 von unserem Collegen Herrn Professor Fritz Burckhardt in einem populär geschriebenen Schulprogramm klar und übersichtlich dargestellt worden.

In der geometrischen Optik, welche den Weg der Lichtstrahlen in verschiedenen Medien verfolgt, spielt eine Hauptrolle die Linse. Dieselbe giebt von einem Gegenstande nur dann ein vollkommen scharfes Bild, wenn sämtliche von einem Punkte ausgehende Strahlen wieder in einem Punkte vereinigt werden. Das findet nun aber nicht genau statt bei den von Kugelflächen umschlossenen Linsen, und zwar sind zwei von verschiedenen Ursachen herrührende Fehler vorhanden; der eine ist die sphärische Aberration, der Unterschied der Brennweite der Centralstrahlen und der Randstrahlen; eine Linse, welche diesen Fehler nicht hat, heisst aplanatisch; der zweite Fehler ist die chromatische Aberration, sie beruht darauf, dass die violetten und blauen Strahlen stärker gebrochen und in einen näher liegenden Brennpunkt vereinigt werden als die rothen und gelben; eine Linse, welche diesen Fehler nicht hat, heisst achromatisch. Diese beiden Fehler, die sphärische und die chromatische Aberration, hat Euler genauen mathematischen Rechnungen unterzogen. In Bezug auf die sphärische Aberration hat er die Krümmungsradien

der Linsen berechnet, welche den geringsten Fehler geben und dadurch die mathematische Grundlage zu vielen späteren ähnlichen Rechnungen gegeben. Complicierter ist die Sache für die Achromasie. Gestützt auf Newton'sche Versuche und Behauptungen hatte man angenommen, dass jede Brechung nothwendiger Weise Farbenzerstreuung nach sich ziehe, und dass somit die Herstellung einer achromatischen Linse ein Ding der Unmöglichkeit sei. Euler hingegen gieng bei seinen Betrachtungen von der Thatsache aus, dass der Schöpfer im menschlichen Auge das Problem der Achromasie gelöst habe, dass also auch die künstliche Herstellung achromatischer optischer Apparate möglich sei; durch seine Studien über die Lichttheorie wurde er zu einem bestimmten Gesetze über die Abhängigkeit der Brechbarkeit von der Farbe geführt, und daraus folgerte er, dass man durch Linsen, die nach berechneten Vorschriften aus Glas und Wasser zusammen gesetzt sind, die Achromasie erreichen könne. Angestellte Versuche führten zu keinem günstigen Resultate, und seine Behauptung von der Möglichkeit der Achromasie wurde auch von theoretischer Seite sehr bestritten, besonders von den Engländern, denen in optischen Dingen Newton als unfehlbare Autorität galt; so sprach sich unter anderem auch der berühmte englische Optiker Dollond in verschiedenen Abhandlungen gegen Euler aus. Da trat der schwedische Mathematiker Klingengstjerna mit neuen Gründen auf zu Gunsten Euler's; es war diess die Veranlassung, dass Dollond aufs Neue Versuche anstellte und dabei selbst im Jahre 1758 der Erfinder der Achromasie wurde, er, der früher so entschieden die Möglichkeit derselben Euler gegenüber geleugnet hatte. Die Herstellung der achromatischen Linse aus zwei verschiedenen Glassorten war bekannt-

lich für die Vervollkommnung der optischen Instrumente von einer unsäglich grossen Bedeutung. Wenn nun auch die Achromasie des Auges, die Euler zu der Forschung veranlasst hatte, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben, nicht in ganz vollkommenem Grade existiert, wenn ferner der von Euler angenommene Zusammenhang von Farbe und Brechung nicht richtig war und er schliesslich die eigentliche Erfindung einem andern, sogar einem Gegner, überlassen musste, so ist es doch keine Frage, dass Euler's Untersuchung den Anstoss zu dieser höchst wichtigen Erfindung gegeben hat; denn die schon in früherer Zeit zum Beweis der Möglichkeit der Achromasie von Gregory gethanen Aussprüche und von Hall gemachten Versuche waren wieder ganz der Vergessenheit anheim gefallen. Euler hat sich nun aber nicht begnügt die einzelne Linse zu studieren, sondern er hat seine Rechnungen auf alle bei der Herstellung der optischen Instrumente, des Fernrohres, des Mikroskopes, der Laterna Magica und des Sonnenmikroskopes, wichtigen Factoren ausgedehnt, und es ist ganz unglaublich, was er auf diesem Gebiete gerechnet hat; Zeugniß davon geben seine in drei Quartbänden erschienene Dioptrik und ausserdem etwa vierzig theils umfangreiche Abhandlungen, die diesem Gebiete angehören.

Euler hat auch noch die für die Astronomie so äusserst wichtige Brechung des Lichtes in der Atmosphäre behandelt und zuerst für diesen Fall die Differentialgleichung der Curve des Lichtweges in analytischer Form dargestellt; auch der Aberration des Lichtes hat er eine Abhandlung gewidmet.

Wir gehen nun über zu den Verdiensten Euler's um die Lichttheorie.

Newton hatte angenommen, dass das Licht ein Stoff sei, der von den leuchtenden Körpern ausfliesst

oder ausgesandt wird, wesshalb seine Theorie als Emanations- oder Emissionstheorie des Lichtes bezeichnet wird. Ihm gegenüber stellte der berühmte Holländer Huyghens die Wellenlehre oder Undulationstheorie des Lichtes auf, nach welcher die Vermittlung zwischen dem gesehenen Gegenstand und dem Auge durch Wellenbewegung in einem feinen, den ganzen Weltenraum erfüllenden Medium, dem sogenannten Lichtäther, hergestellt wird. Huyghens gab nicht nur für die Gesetze der Zurückwerfung und Brechung nach seiner Theorie Beweise, die jetzt noch wegen ihrer Klarheit und Anschaulichkeit in fast gleicher Form beim Unterrichte vorgetragen werden, sondern er suchte sogar die höchst complicierte Erscheinung der Doppelbrechung im Kalkspath mit seiner Theorie in Einklang zu bringen; merkwürdiger Weise aber giebt er in seiner sonst so vielseitigen Abhandlung über das Licht keine Erklärung der Farben. Diese Lücke wurde von Euler ausgefüllt, indem er die Behauptung aufstellte, dass die verschiedenen Farben nur durch die Schwingungszahlen sich von einander unterscheiden; und zwar scheint er dabei ganz selbstständig vorgegangen zu sein und seine Anschauung hauptsächlich aus der Analogie des Schalles und des Lichtes abgeleitet zu haben; jedenfalls war es ihm unbekannt, dass sogar Newton, den er stets als den Urheber der Emissionstheorie bekämpft, einmal sich dahin ausgesprochen hatte, dass, wenn man die Undulationstheorie annehmen wolle, so müsse man dann die Farben aus den verschiedenen Schwingungszahlen erklären. Ueber das relative Verhältniss der Schwingungszahlen oder gar über die genaue absolute Grösse dieser Zahl für eine bestimmte Lichtsorte hat Euler keine sicheren Resultate erhalten, indem keine Beobachtungen ihm in dieser Hinsicht genaue Anhaltspunkte zu geben

schienen. Ich sage „schienen“; denn die Farben dünner Blättchen oder Seifenblasenfarben und die Erscheinungen der Beugung, aus denen der geniale Engländer Thomas Young einige Jahrzehnte später die Wellenlängen und Schwingungszahlen für die verschiedenen Farben genau berechnete, waren schon zu Euler's Zeiten längst bekannt und von mehreren Forschern genau studiert. Die eine der Erscheinungen, nämlich die Farben dünner Blättchen, hatte zwar Euler nach den Grundsätzen der Wellenlehre zu erklären gesucht und für die Bestimmung der relativen Werthe der Schwingungszahlen verwendet, aber er hatte, wie wir jetzt bestimmt sagen können, einen ganz falschen Weg eingeschlagen; die so äusserst interessante Erscheinung der Beugung scheint er sich nie genau angesehen zu haben. Schliesslich kann auch ein Euler nicht Alles leisten.

Es sei hier noch bemerkt, dass die von Euler nach Analogie des Mittönens gegebene Erklärung der natürlichen Farben, die auch mit seiner Betrachtung über die Seifenblasenfarben zusammenhängt, sich nach der jetzigen Wissenschaft nicht mehr halten lässt; doch hat sie ihre Verwendung gefunden bei den Theorien der Fluorescenz und Phosphorescenz; merkwürdiger Weise hat sie Euler selbst schon auf die letztgenannte Erscheinung angewandt und dieselbe geradezu als Beweis für die Richtigkeit seiner Theorie der Körperfarben aufgeführt.

Auf die Wärme beziehen sich verhältnissmässig weniger Arbeiten von Euler; doch ist für uns sehr wichtig, dass Euler so gut wie die andern Basler Mathematiker Johannes Bernoulli, Hermann und Daniel Bernoulli als kräftige Vorläufer zu betrachten sind auf dem Gebiete der mechanischen Wärmetheorie und der damit zusammenhängenden kinetischen

Gasttheorie, die in einer allerdings etwas präciseren Form erst in der Mitte unseres Jahrhunderts zum Durchbruch gelangt sind. In einer von der Pariser Akademie gekrönten Preisschrift über die Natur und Eigenschaft des Feuers spricht sich Euler deutlich dahin aus, dass die Wärme in einer Bewegung der kleinsten Theile der Körper bestehe, und dass die Strahlung ähnlich wie beim Lichte durch die Wellenbewegung des Aethers vermittelt werde; und in den schon oben erwähnten Abhandlungen über die Natur der Luft berechnet er sogar die Moleculargeschwindigkeit der Lufttheilchen; Herr Dr. E. Cherbuliez zeigt in seinem sehr verdienstlichen Programme über einige physikalische Arbeiten Euler's, wie überraschend die von ihm gefundenen Zahlen gleich lauten mit denen, die Clausius im Jahre 1857 für die Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung der Molekeln der Luft angiebt; dass aber bei diesem Zusammenstimmen mehrere Zufälligkeiten mitwirken, wird wohl niemand läugnen. Eine Arbeit über die zu verschiedenen Jahreszeiten und geographischen Breiten der Erde mitgetheilte Sonnenwärme erregt unser Staunen durch die kühn durchgeführten Rechnungen, die Resultate stimmen in mancher Hinsicht nicht mit der Wirklichkeit, was offenbar von einigen der Natur nicht entsprechenden Voraussetzungen herrührt; glücklicher war unter Anderen später der Mülhauser Lambert bei der Behandlung des gleichen Gegenstandes. Auch sei noch bemerkt, dass Euler auch für die Bewegung der Luft durch die Wärme die mathematischen Formeln entwickelt und sowohl auf den Zug der Kamine als die Entstehung der Winde angewandt hat.

Wir haben nun noch zu reden von Euler's Arbeiten für die Lehre des Magnetismus und der

Electricität. Bei der Beurtheilung derselben müssen wir in Betracht ziehen, dass alle die grossen Entdeckungen von Galvani, Volta, Oersted, Ampère und Faraday über die Entstehung der electricischen Ströme und ihre Beziehungen zu einander und zum Magnetismus erst nach Euler's Tode gemacht worden sind. Analogieen von Magnetismus und Electricität waren zwar damals schon mehrere bekannt, und mehr zu naturphilosophischer Mystik angelegte Naturen haben schon seit alten Zeiten Magnetismus und Electricität in Beziehung gebracht; aber, da der eigentliche physikalische Zusammenhang damals noch ganz unbekannt war, so muss es uns nicht wundern, dass ein klarer Kopf wie Euler Magnetismus und Electricität als zwei ganz gesonderte Dinge ohne irgend welchen inneren Zusammenhang betrachtete.

Euler's Vorstellungen über den Magnetismus finden wir einlässlich entwickelt in einer ebenfalls von der Pariser Akademie gekrönten Preisschrift. Er schliesst sich da in der Hauptsache an die Cartesianische Theorie des Magnetismus an, von der jetzt gewöhnlich nur erzählt wird, wenn man ein recht drastisches Beispiel von den gekünstelten Hypothesen damaliger Zeit geben will. Euler hat allerdings die magnetische Materie, die er für einen feineren Bestandtheil des Aethers hielt, und welche die Kanäle des magnetischen Eisens und Stahles fortwährend nach einer Richtung durchsetzen und durch ihre Wirbelbewegung die magnetische Anziehung und Abstossung bewirken soll, nicht wie Cartesius aus kleinen rechts und links gewundene Schrauben darstellenden Theilchen bestehen lassen; aber die Annahme von Kanälen, die wie die Venen des menschlichen Körpers mit Klappen versehen sind, um die einseitige Bewegung der feinen Materie zu erklären, ist gewiss nicht

weniger kühn; und es fällt wirklich auf, dass Euler, der in der Erklärung der Bewegung der Himmelskörper von den Cartesianischen Wirbeln nichts wissen wollte, sondern sich entschieden zur Newton'schen Lehre bekannte, hier auf dem Gebiete des Magnetismus so vollkommen noch in den Cartesianischen Phantasieen befangen war; dieser innere psychologische Widerspruch wird begreiflich, wenn wir in Betracht ziehen, dass Euler stets vor Allem nach einer klaren, der Anwendung der Mathematik zugänglichen Anschauung strebte, und dass dabei die Vorstellung einer nach einheitlichem Plane zusammen und in einander wirkenden Natur oft etwas zu kurz kam.

Euler hat sich auch mit dem Erdmagnetismus beschäftigt; im Jahre 1743 concurrirte er bei der von der Pariser Akademie aufgestellten Preisfrage über die Bestimmung der magnetischen Inclination, musste aber den Preis Daniel Bernoulli überlassen; dieser bemerkte darauf etwas satirisch in einem Briefe an seinen einige Jahre jüngern Freund Euler: „Ich habe ersehen, dass Sie die wahre Difficultät nicht eingesehen und also derselben auch nicht abgeholfen haben“. Später behandelte Euler die Declination der Magnetnadel und suchte die von Halley in seinen Karten dargestellten Resultate aus der Annahme von nur zwei Polen zu erklären; die Arbeit, die natürlich von spätern Forschungen auf diesem Gebiete und besonders den klassischen Gauss'schen Arbeiten überholt ist, behält ihren historischen Werth als der erste Versuch einer gründlichen mathematischen Behandlung dieses Gegenstandes.

Ueber die Electricität existieren keine grösseren Arbeiten Euler's, er behandelt dieselbe jedoch in seinen Briefen an eine deutsche Prinzessin, und es ist für uns interessant, dass er da die positive und negative

Electricität auf den in den Körpern verdichteten und verdünnten Aether zurückführt, eine Hypothese, welche bekanntlich auch in neuerer Zeit von einigen Forschern wieder aufgenommen worden ist.

Nachdem wir nun die verschiedenen Gebiete der theoretischen Physik durchlaufen haben, möchte ich noch besonders betonen, dass Euler auch den praktischen Aufgaben auf dem Gebiete der Mechanik und Physik seine Aufmerksamkeit mit grossem Eifer zugewandt und damit der Menschheit werthe Dienste geleistet hat. Es geht das schon aus dem hervor, was ich vorhin über die Berechnung der optischen Instrumente sagte; die nach seinen Vorschriften construirten Apparate haben sich auch praktisch gut erwiesen, und die Arbeiten Euler's bilden jetzt noch die Grundlage für die mühsamen Rechnungen, welche bei der Herstellung vollkommener Linsensysteme der praktischen Ausführung voran gehen müssen; bei den Bemühungen für die Vervollkommnung des Mikroskopes wurde Euler wesentlich von seinem Schüler und Schwiegergroßsohn, dem Basler Fuss, unterstützt. Auch von Euler's Bemühungen für den rationellen Schiffsbau und die Grundsätze der Artillerie habe ich schon gesprochen; es sei deshalb hier nur beigefügt, dass noch manche andere praktische Fragen von ihm in Angriff genommen worden sind; so sind der Schnitt der Zahnräder, das Segner'sche Wasserrad, die Construction der Dämme, die Windmühlen, die Heizeinrichtungen u. a. m. von ihm mit allen Hilfsmitteln der höheren Mathematik behandelt worden. Zu den vielen Erinnerungsfeiern des Jahres 1883 gehört auch die an die vor hundert Jahren stattgehabte Erfindung des Luftballons; Euler, der jede neue Sache gleich mit Begeisterung erfasste, hatte sich auch noch dieser in seinem Todesjahre aufgetauchten praktischen

Frage zugewandt, und die letzte Arbeit, mit welcher er seine ungewöhnlich fruchtbare Thätigkeit abschloss, bezog sich auf die Bewegung des Luftballons; eine schwere darauf bezügliche Integration war ihm gelungen, als ihn ein Schwindel überfiel, welcher der Vorläufer seines Todes war.

Nachdem ich nun so versucht habe, von der, man kann wohl sagen, gewaltigen und auch höchst erfolgreichen Thätigkeit Euler's auf den verschiedenen Gebieten des physikalischen Wissens Ihnen ein Bild zu entwerfen, werden vielleicht manche fragen: wie kommt es, dass man in den Lehrbüchern der Physik verhältnissmässig selten dem Namen Euler begegnet?

Die Antwort darauf mag den Schluss unserer Betrachtung bilden.

Wenn im gewöhnlichen Lehrbuch der Physik Naturgesetze oder Instrumente an einen bestimmten Namen geknüpft werden, so wird damit durchaus nicht immer der Mann bezeichnet, der wirklich das grösste Verdienst um die Sache hat; äussere Zufälligkeiten, wie z. B. dass einer zuerst einem Gesetz die leicht docierbare Form gegeben und in derselben veröffentlicht hat, oder dass einer ein vielleicht nicht ein Mal von ihm selbst erfundenes Instrument zuerst bei einem bekannten Mechaniker bestellt hat, und ähnliches mehr haben oft bestimmend eingewirkt, und mancher ist so leichten Kaufes zum berühmten Manne geworden, während andere mit grossen Verdiensten unberücksichtigt blieben. Nun knüpft sich, so viel ich weiss, weder ein Naturgesetz noch ein Instrument, das jeder, der studiert, zum Examen wissen muss, an den Namen Euler. Wer aber beim Studium der Wissenschaft sich nicht mit der oberflächlichen compilatorischen Literatur begnügt, sondern selbstständig den Gedankenprocess verfolgt, den die

Wissenschaft in ihrer geschichtlichen Entwicklung durchlaufen hat, der wird auf gar vielen Gebieten astronomischer und physikalischer Forschung zu einer Stelle kommen, wo durch den Eingriff Euler's mit seinem gewaltigen mathematischen Werkzeuge eine schwierige Frage auf ein Mal um einen kräftigen Ruck vorwärts gebracht worden ist. Es war deshalb nur billig, dass wir heute, wo der grosse Mathematiker Euler von uns gefeiert wird, auch dessen gedachten, was er für die Physik geleistet hat.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1885

Band/Volume: [7_1885](#)

Autor(en)/Author(s): Hagenbach-Bischoff Eduard

Artikel/Article: [Leonhard Euler's Verdienste um Astronomie und Physik 1072-1095](#)