

Vorwort

Auch heute noch wird der Einfluss Eulers sowohl auf die Erforschung der Eigenschaften des Lichtes, als auch auf die Korrektur der Linsenfehler, der sphärischen und der chromatischen Aberration, in der Literatur kaum wahrgenommen oder unterschätzt.

Euler stellte mit seiner Arbeit die Verbindung von Huygens unvollkommener Wellentheorie zu den moderneren Theorien von Augustin-Jean Fresnel und Thomas Young im 19. Jahrhundert her.

Die Beweisführung gegen die Korpuskulartheorie Newtons, die besagt dass die farbigen Anteile des Lichtes aus unterschiedlich grossen Teilchen bestehen, war gewagt. Als er im Folgenden auch Zweifel an dessen Credo, eine Lösung des Problems der Achromasie sei unmöglich, anmeldete, führte dies zu heftigen Reaktionen der Newton Anhänger. Als diese den experimentellen Gegenbeweis antraten und überraschenderweise Euler bestätigten mussten, wurde es erstmals möglich, korrigierte Fernrohre und später auch Mikroskope zu bauen. John Dollond, anfänglich Hauptopponent Eulers führte die Experimente durch, lenkte ein und konnte sein achromatisches Linsensystem, bestehend aus einer Kombination aus Kron- und Flintglas patentieren. Euler, dem das perfekte, von Gott geschaffene Auge als Idealsystem vorschwebte, konnte anfänglich nicht glauben, dass das Problem durch zwei verschiedene Glassorten zu beheben sei, da er wie im Auge eine flüssige Phase für notwendig erachtete. Erst durch Clairaut konnte er von der Richtigkeit der Ergebnisse überzeugt werden.

Wie aus seinem Brief vom 12. März 1762 an Sophie Charlotte von Brandenburg-Schwedt hervorgeht, war er äusserst stolz darauf, das theoretische Fundament zu Dollonds Arbeit geliefert zu haben.

Die Bedeutung Eulers auf vielen Wissensgebieten ist unbestritten, lediglich in der Optik spielt sie, zu Unrecht, eine untergeordnete Rolle. Seine Führungsrolle, gerade auf diesem Gebiet ist aber der von Descartes, Newton, Hugen oder Hooke gleichzusetzen.

18. Jahrhundert



2 | Leonhard Eulers Einfluss auf die Entwicklung von Optik und Mikroskopie | Kurt Paulus | Sept 2007 | BSOCh Meeting

Indiennedruckerei führt zur Entwicklung der Basler Chemie

Die Schweiz hatte im 18. Jahrhundert eine Sonderstellung in der geistigen und industriellen Entwicklung, deren Zentrum Basel war.

Die Handwerke und Gewerbe wurden von 15 Zünften streng reguliert.

Lediglich das Exportgewerbe konnte sich langsam aus diesem Zugriff befreien. Der Buchdruck, der in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts eine Renaissance erlebte, sowie die Tuch-, Strumpf- und Seidenbandproduktion scherten immer mehr aus dem strengen Zunftregiment aus. Sogar Arbeiter von ausserhalb wurden gegen den Zunftwillen eingestellt.

Die Seidenbandfabrikation wuchs stetig bis ins 19. Jahrhundert und es bestand fast eine Monokultur: 1754 zählte man in Stadt und Landschaft 1205 Bandstühle.

In der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts wurde die Indiennedruckerei, eine Stoffdrucktechnik, welche versuchte, die bunt bedruckten indischen Stoffe zu imitieren, eingeführt.

Parallel zu dieser industriellen Entwicklung begannen sich notwendigerweise die Naturwissenschaften und die Technik progressiv zu entwickeln.

Nicht zuletzt die berühmte Basler Chemie ist aus dieser Zeit hervorgegangen.

Leonhard Euler 15.4.1707 – 18.9.1783



Portrait von Emanuel Handmann

*Le Commencement de la
vie de Leonhard Euler dans
l'histoire de son
enfance.*

*Explication de son caractère et de son esprit
général, de son éducation et de son goût
pour les mathématiques. On voit qu'il
avait une grande inclination pour
cette science dès son enfance. On
voit aussi qu'il avait une grande
inclination pour la physique et la
mécanique. On voit qu'il avait une
grande inclination pour la chimie et
la météorologie. On voit qu'il avait
une grande inclination pour la
géométrie et l'astronomie.*

Brief an Goldbach

3 | Leonhard Eulers Einfluss auf die Entwicklung von Optik und Mikroskopie | Kurt Paulus | Sept 2007 | BSOCh Meeting

Der geniale Euler wurde am 15. April 1707 im Basler Pfarrhaus zu St. Jacob als Sohn von Paulus Euler geboren. Dieser hatte Kontakt zu den Bernoullis – ein guter Start ins Leben.

Meist kondensiert der wissenschaftliche Fortschritt einer Epoche so stark, dass er auf einen Heroen konzentriert wird. Beispiele sind Galileo, Newton und auch Edison. Dass z.B. Newton, speziell in der Optik, vieles, wenn auch genial, nur angedacht hat und im Falle der

Achromasie Entwicklungen über mehr als 80 Jahre verzögert hat, spielt dann kaum noch eine Rolle.

Wegen dieser Konzentration geraten andere, wie zum Beispiel Leonhard Euler fast in Vergessenheit, da Zitate seiner Arbeit in der optischen Fachliteratur eher spärlich gesät sind.

Aber, Eulers Einfluss auf die Optik war immens und mindestens ebenso prägend wie der Newtons, Hokes oder Huygens. Doch, weder die Skepsis Eulers gegenüber der Newtonschen Teilchentheorie des Lichtes, noch seine aufgezeigten Alternativen, wurden und werden systematisch diskutiert. Mein Vortrag zielt dahin, die Bedeutung

Eulers in den Kontext zur Entwicklung der Optik zu stellen und parallel dazu die Entwicklung der Mikroskopie im 18. Jahrhundert zu streifen. Die geniale und unendlich scheinende wissenschaftliche Arbeit Eulers auf allen Gebieten der Physik und Mathematik wird ausführlich an anderer Stelle gewürdigt und ist nicht Gegenstand meiner Ausführungen. Lassen sie mich meinen Vortrag mit einigen Definitionen beginnen.

Das **Snelliussche Brechungsgesetz** besagt, dass eine Welle (z.B. ein Lichtstrahl) ihre Richtung ändert - man sagt gebrochen wird - wenn sie von einem transparenten Medium in ein anderes transparentes Medium mit einer anderen Phasengeschwindigkeit übergeht. Das Gesetz gilt für alle Wellenarten. Es besagt nur, in welche Richtung die Welle abgelenkt wird, nicht aber, wie viel von der Welle an dem Übergang zwischen den beiden Medien transmittiert bzw. reflektiert wird. Es besagt auch nichts über die Dispersion des Lichtes. Das Brechungsgesetz scheint zum ersten Mal im 13. Jahrhundert von Al Hazen erwähnt worden zu sein. 1601 wurde es von Thomas Harriot wiederentdeckt, aber nicht veröffentlicht. 1618 wurde es von dem Holländer Willebrord van Roijen Snell und fast zur gleichen Zeit von René Descartes beschrieben.

Definition Dispersion

Abbe'sche Zahl

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

n_D , n_F und n_C sind die Brechzahlen des Materials bei den Wellenlängen der D-, F-, und C- Fraunhoferlinien (589.2 nm (He), 486.1 nm (H) und 656.3 nm (H)).

§1 Leonhard Eulers Einfluss auf die Entwicklung von Optik und Mikroskopie | Kurt Paulus | Sept. 2007 | ISOM Meeting

$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$

Optische Dispersion ist abhängig von der Wellenlänge.

Optische Dispersion eines transparenten Mediums bedeutet, dass die Brechung des Lichts von der Wellenlänge (und somit von der Farbe) abhängig ist. Dadurch entsteht bei Linsensystemen die chromatische Aberration, ein Abbildungsfehler, der z.B. zu farbigen Rändern

rund um helle Objekte führt.

Für eine vollständige Beschreibung der Dispersion eines Materials (z.B. einer Glassorte) müsste man angeben, wie sich die Brechzahl n des Materials unter Variation der Wellenlänge λ des Lichts ändert, also die komplette Funktion $n(\lambda)$.

Für einfache Berechnungen ist es jedoch oft ausreichend, die Dispersion im Bereich des sichtbaren Lichts durch nur eine Zahl zu beschreiben.

Geeignet sind dafür z.B. ausgewählte Fraunhoferlinien, wie hier zu sehen.

Ein Material mit geringer Dispersion hat eine hohe Abbesche Zahl. Der reziproke Wert der Abbeschen Zahl wird auch oft als relative Dispersion bezeichnet.

Typische Zahlenwerte reichen bei den am häufigsten verwendeten Glassorten von 20 = "schweres", also bleireiches Flintglas bis 60 = Kronglas.

Spezielle Glassorten (Fluorit-Kronglas) haben Abbe-Zahlen um 85; Magnesiumfluorid sogar eine Abbe-Zahl von 95, es zeichnet sich also durch besonders geringe Dispersion aus.

12,5% zu senken. Zum Vergleich: ein moderner Achromat mit einer n.A. von 0,3 weist eine Verzerrung von 3% auf.

1712 verbesserte Christian Gottlieb Hertel (1683 - 1743) die Durchlichtbeleuchtung. Er konstruierte ein Mikroskop, bei dem sich erstmals ein Beleuchtungsspiegel unterhalb des Präparates befand.

Mit diesem Planspiegel war es nun möglich, Sonnenlicht auf das transparente Präparat zu lenken. Dadurch wurde endlich die legendäre Hook'sche Schusterkugel ersetzt.

Eine weitere wegweisende Neuerung seiner Geräte war die Fokussierung über den Objektisch, der sich auch seitwärts bewegen ließ.

Erst im späten 18. Jahrhundert baute Benjamin Martin (1704 - 1782) eine Weiterentwicklung dieses Objektisches: den Kreuztisch.

Hertel war der erste Mikroskopiker, der eine Messplatte in die Brennebene des Okulares brachte.

Das elegante Mikroskop setzte sich aber nicht durch, da es wahrscheinlich zu kompliziert und vielleicht auch zu teuer war.

Eine Karriere beginnt

1720 schrieb sich Euler im Alter von 13 Jahren bei der Universität Basel ein, die er bis 1726 besuchte.

Nach dem Willen seines Vaters widmete er sich eine Zeitlang ausschließlich der Theologie und orientalischen Sprachen, hörte aber dann medizinische Vorlesungen und wurde Schüler von Joh. Bernoulli. So lag es nahe, dass Leonhard entweder Pfarrer, Mediziner, Orientalist oder Mathematiker würde. Gottlob hat er sich für letzteres entschieden.

Er hatte bei seinem Austritt bereits viele mathematische Arbeiten gelesen, etwa von Varignon, Descartes, Newton, Galilei und einige kleinere Artikel selbst publiziert. Im November erhielt er auf Betreiben von Daniel und Nicolaus II Bernoulli einen Ruf (als Mediziner!) an die von Katharina I. neu gegründete Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg.



Euler nahm den Ruf an, teilte der St. Petersburger Akademie aber mit, dass er die beschwerliche Reise nach Russland erst im folgenden Frühling antreten könne. Damit wollte er einerseits Zeit gewinnen, um sich mit den bevorstehenden neuen Aufgaben vertraut zu machen, andererseits hoffte er noch auf den physikalischen Lehrstuhl der Universität Basel berufen zu werden, um den er sich mit einer herausragenden Arbeit über den Schall

beworben hatte.

Als er im Losverfahren, oder seiner Jugend wegen, bei seiner Bewerbung an der Basler Universität erfolglos blieb, nahm Euler die Stelle in St. Petersburg an.

Euler hatte kein Heimweh nach Basel. In seinem Brief an seinen Vater vom 25. Mai 1734 schrieb er mit einem gewissen Groll:

“...Sollten wir allhier Kinder bekommen, so werden dieselben gleich als Bürger des hiesigen Reiches angesehen. Und würden schwerlich jemals werden Lust haben

noch Erlaubnuss bekommen sich in Basel zu etablieren.

Dann Leute so hier aufgezogen worden, können sich unmöglich an einen andern Ort am wenigsten aber nach Basel schicken. ...Wer wollte denn noch Geld geben, dass er in Basel frey darben dorfte..."

Dennoch bemühte sich Euler später stets alle seine 13 Kinder in Basel einbürgern zu lassen.

Double Reflecting Microscope

1724 führte Edmund Culpeper (1666 - 1738) ein Dreibeinmikroskop ein, das über hundert Jahre den Markt beherrschte und von zahlreichen Herstellern kopiert wurde. Dieses Mikroskop eignete sich für Durch- und Aufsichtbeobachtungen und wurde aus diesem Grund von Culpeper als "Double Reflecting Microscope" bezeichnet.



Lieberkühnspiegel



Um 1700 entwickelte Cosmus Conrad Cuno (1652 - 1745) das erste Zirkelmikroskop, ein einfaches Mikroskop, das in unzähligen Varianten kopiert und bis weit in das 18. Jahrhundert hinein hergestellt wurde. Publik wurde diese Erfindung 1702 durch das Werk "Oculus artificialis teledioptricus" von Johannes Zahn (1641 - 1707).

Im Jahre 1738 baute Lieberkühn um die Objektivlinse einen ringförmigen versilberten Hohlspiegel. Mit diesem Spiegel konnte man

undurchsichtige Objekte ohne störende Schatten beleuchten.

Dieses Hilfsmittel wird als Lieberkühnspiegel bezeichnet. Offenbar geht die Idee auf Descartes zurück und nach anderen Quellen wurde das System bereits 1689 von Leeuwenhoek benutzt.

Das einfache Mikroskop war dem zusammengesetzten Instrument überlegen, da es durch eine einzige Kugellinse keine optischen Fehler aufwies. Es war allerdings sehr unbequem zu bedienen, da es sehr nahe am Auge liegen musste. Je näher, desto grösser die Vergrößerung der Linse. Bedingt durch die Lupenformel $v = 250/f$ erhält man bei kurzer Brennweite (mm) eine hohe Lupenvergrößerung (v). Ob diese winzigen Kugellinsen geschliffen werden konnten, wird sehr stark bezweifelt. Vieles spricht dafür, dass sie geschmolzen wurden.

Schraubenmikrometer

1739 baute Benjamin Martin (1704 - 1782) sein erstes Trommelmikroskop, auf Wunsch mit Schraubenmikrometer, das aufgrund der einfachen und robusten Bauweise weite Verbreitung in England fand. Auf dem Festland (Paris) griff Georg Oberhäuser (1798 - 1868) dieses Prinzip gegen Anfang des 19. Jahrhunderts auf.

Durch abzählen der Schraubenumdrehungen, mit einem Zeiger auf der Seite des Mikroskops sichtbar gemacht, konnte man, wenn die Vergrößerung bekannt war, Distanzen messen. Die Schraubenmikrometer wurden von Brandner in Augsburg, Tiedemann in Stuttgart und Schröter in Gotha, also besonders von deutschen Instrumentenbauern optimiert.



Ruf nach Berlin

Im russischen Reich ging es politisch drunter und drüber. So nahm Euler einen Ruf

Friedrichs II an die Akademie der Wissenschaften in Berlin an.

Er siedelte mit seiner Familie nach Berlin über und leitete dort das Fach Mathematik und Vertreter von Maupertuis dem Präsidenten der Akademie.

Friedrich war nicht fähig, die Kapazitäten Eulers für echten wissenschaftlichen Fortschritt einzusetzen. Im Grund fühlte er sich von Euler nur genervt.

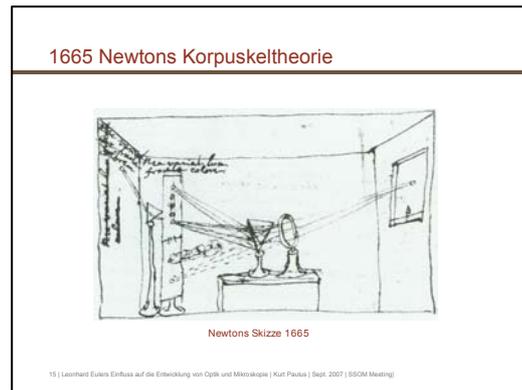


Etwas Vorgeschichte zu Newtons Korpuskel- oder Emissionstheorie und ein daraus entstandene Zwist

Newton hatte erkannt, dass die Achromasie durch die Dispersion der Lichtstrahlen beim Übergang in ein anderes Medium verursacht wurde.

Inspiriert von seinem Versuch mit dem Prisma, hatte er eine Erklärung parat: Im weißen Sonnenlicht, so vermutete er, waren fein verteilte Lichtkorpuskeln verschiedener Farben enthalten. Diese Korpuskeln besaßen unterschiedliche Brechbarkeiten, wobei die Partikelgröße eine Rolle spielen könnte und wurden deshalb beim Eintreffen in das Prisma verschieden stark abgelenkt. Zudem konnte der Vorgang des Aufspaltens der Farben wieder rückgängig gemacht werden, indem man das farbige Licht erneut durch ein Prisma schickte. Wählte man den Winkel zwischen den Prismen richtig, so kam am anderen Ende wieder weißes Licht heraus. Im Jahre 1704 veröffentlichte Newton sein Werk OPTICS, in dem er seine Korpuskulartheorie des Lichts und die Erklärung der Farben des Regenbogens ausführlich darlegte. Zeitgenössische Hauptopponenten, oder zumindest

Diskutanten, der Korpuskeltheorie waren Gaston Pardies, Robert Hooke und Christian Huygens. Über den Streit, aus dem Newton als klarer Gewinner hervorging, wurde breit in „PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS“ berichtet. 1681, drei Jahre nach der Debatte, konnte Mariotte in Frankreich in einem besser ausgelegten Experiment belegen, dass man violette weiter in rotes und gelbes Licht und rotes Licht weiter in blaues und violette Licht aufspalten konnte. Das widerlegte Newtons Hypothese der absoluten Farbpartikel. Die erneut daraus entstandene Diskussion mit Wolff, Leibnitz und anderen, führte dazu, dass Newton an eine Verschwörungstheorie glaubte.



Träger des Lichtes



Aether galt als Träger des Lichtes und als feinste Materie im physikalischen Sinne. Er füllte den gesamten Weltraum aus und hatte keinerlei okkulte Qualitäten.

Eine erste detaillierte Beschreibung des Äthers findet man 1638 bei René Descartes. Sein Äther bestand aus drei verschiedenen flüssigen Ätherstoffen, aus denen das gesamte Universum gebildet ist. So war beispielsweise das Licht eine Druckwelle aus dem ersten dieser drei Ätherstoffe. Ferner beschrieb er die

Beugungs- und Reflexionserscheinungen des Lichts mit seinem Dreistoffmedium. Farben entstehen dabei aus runden Partikeln, die sich unterschiedlich schnell drehen.

Die "ätherfreie" Formulierung der Physik ist knapp einhundert Jahre alt. Bis zum Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts wurde der Äther als realer Bestandteil der Welt angesehen und auch heute noch hat sie ihre Verfechter.

Huygens Lichtäther besteht aus extrem kleinen Partikeln, nicht unbedingt sphärisch, sehr hart und in Kontakt zueinander. Die Schwingungen des Aethers wurde durch eine sehr starke Kraft bewirkt.

Er untersuchte in seinem hervorragend ausgestatteten Labor, warum Licht sich nur geradlinig fortpflanzt und warum sich Lichtstrahlen, die laut Newton aus Partikeln bestehen, sich nicht gegenseitig stören.

All die Eigenschaften des Lichtes, so fand Huygens, ließen sich dann erklären, wenn man es als gepulste Welle betrachtete. Diese Welle breitete sich Huygens zufolge wie Schall im Aether aus, und jeder Punkt einer Wellenfläche wurde dabei zum Mittelpunkt einer neuen Welle.

Zitat Huygens: "Wenn nun, wie wir bald untersuchen werden, das Licht zu seinem Wege Zeit braucht, so folgt daraus, daß diese dem Stoff mitgeteilte Bewegung eine allmähliche ist und darum sich ebenso wie diejenige des Schalles in kugelförmigen Flächen oder Wellen ausbreitet; ich nenne es nämlich Wellen, wegen der Ähnlichkeit mit jenen, welche man im Wasser beim Hineinwerfen eines Steines sich bilden sieht."

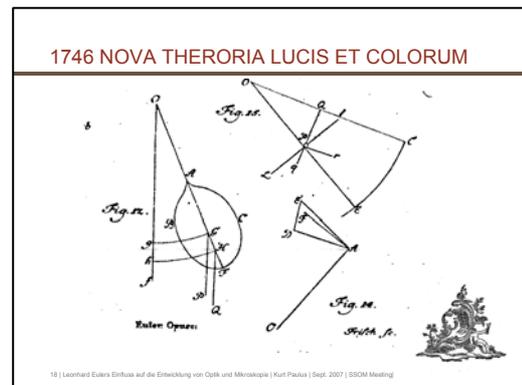
Allein auf Grund dieser einfachen Annahmen konnte Huygens sowohl die Reflexion als auch die Brechung des Lichts mit Hilfe rein geometrischer Argumente erklären. Zwingend beweisen, dass das Licht eine Welle ist, konnte er allerdings nicht.

NOVA THERORIA LUCIS ET COLORUM

In seiner Studie "NOVA THERORIA LUCIS ET COLORUM" von 1746 übernahm und berechnete Euler Huygens Theorie zur Ausbreitung von Schallwellen für die Lichtwellen. Eulers Beitrag stellt den Link her zwischen Huygens gepulster Welle und der Wellentheorie die von Young und Fresnel im folgenden 19. Jahrhundert propagiert wurde. In diesem Sinne hat Euler Huygens unfertige Arbeit zu Ende geführt. Durch seine Berechnungen hat Huygens Wellentheorie einen theoretischen Unterbau bekommen. Warum hat Euler nicht Huygens sondern Descartes in seiner 45 seitigem Abhandlung erwähnt und war es eine neue Theorie?

Nun, bei näherer Betrachtung gibt es mehr Unterschiede zwischen Euler und Huygens als Gemeinsamkeiten. Huygens Theorie hatte drei Schwachpunkte:

1. er erkannte nicht die Periodizität der Lichtwelle
2. er stellte die Natur der Farben zurück, weil ihm eine Erklärung zu schwierig erschien
3. Huygens hing viel zu starr an der Analogie der optischen Erscheinungen mit den akustischen. Er nahm an, dass die Lichtwellen analog den Schallwellen, nur geradlinig schwingen (Longitudinalwellen). Mit dieser Annahme konnten manche Erscheinungen, z.B. die Polarisation des Lichtes, nicht erklärt werden.



Der gemeinsame Nenner ist letztlich die Analogie der Wellenbasis für Schall und Licht, wenn auch beide fälschlicherweise den Aether voraussetzten.

Messing als Baumaterial



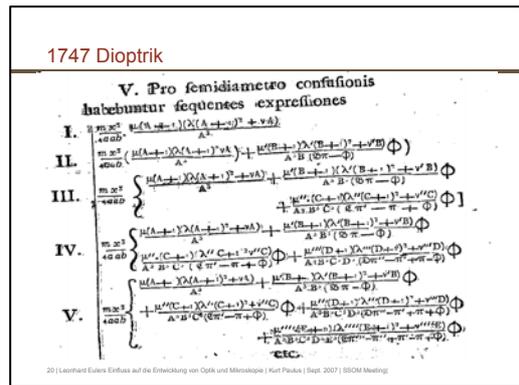
1744 setzte sich endlich Messing als Baumaterial für Mikroskope durch, als John Cuff (1708 - 1772) ein Mikroskop mit hohem Bedienungskomfort baute, bei dem sehr hohes Gewicht auf ein leicht zugängliches Präparat gelegt wurde.

Das Gerät fand weite Verbreitung, es hatte einen senkrechten Tubusträger mit Grob- und Feintrieb sowie einen Beleuchtungsspiegel unterhalb des Objektisches.

DIOPTRIK

Zur Lösung des Farbfehlers, sowie der sphärischen Aberration nahm sich Euler das menschliche Auge als Vorbild für seine Berechnungen. Er sah es als ein System

aus eine Kombination aus Linsen und Wasser an, das ihm achromatische Eigenschaften verlieh und das ihm daher als Vorlage diente. Hierzu zitiere ich aus Gehlers Physicalischem Wörterbuch von 1787: "Bey dem großen Ansehen, in welchem Newtons Behauptungen und Versuche standen, blieb die Frage von Vermeidung der Farbenzerstreuung bey Objectivgläsern auf achtzig Jahre lang unberührt, bis endlich Euler im Jahre 1747 den Vorschlag that, die Objectivgläser zu Vermeidung der Farbenzerstreuung aus verschiedenen Materien zusammensetzen, und statt eines Glases, deren zwey, mit dazwischen gefülltem Wasser, zu gebrauchen. (Zitat Ende)



Zurück ans Rheinknie?

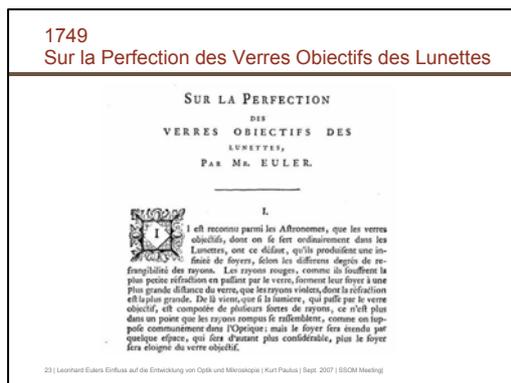
1748 Joh. I Bernoulli stirbt im Alter von 81 Jahren



Quelle: Ein Mann mit dem man rechnen muss, Birkhäuser Verlag Basel

In Basel hatte man inzwischen erkannt, wen man hatte ziehen lassen: nach Johann I Bernoullis Tod im Jahre 1748 berief man Euler als dessen Nachfolger auf den mathematischen Lehrstuhl. Euler lehnte ab, was verständlich ist, betrachtet man seine hohe Position in Berlin und sein internationales Renommée. (Vielleicht war es auch seine Frau, die ihn davon abhielt, eine schlechter bezahlte Stelle anzunehmen.)

Sur la perfection des verres objectifs des lunettes



Mit der Abhandlung „Sur la perfection des verres objectifs des lunettes“, begann nach Fellmann „die Theorie der Achromasie“. Zunächst war Euler, wie Newton der Meinung, dass ein eindeutige Beziehung zwischen Brechungs- und Dispersionsvermögen bestünde. Verfolgt man die Entwicklung von Eulers Berechnungen, ist man erstaunt, wie einfach und wenig ambitös seine Sprache ist. Die vielen, manchmal über mehrere Seiten sich ziehenden Tabellen zeigen die ausgeprägte

Akribie des Wissenschaftlers Euler.

Im Laufe der Berechnungen kam er aber zu dem Schluss, dass es sich um zwei unterschiedliche Phänomene handelt, und dass das daraus resultierende Problem der Achromasie durch Kombination verschieden brechender Medien zu lösen sei. Diese Schlussfolgerung richtete sich frontal gegen Newtons Theorie und führte sofort zu breiten Reaktionen.

John Dollond prüfte die Berechnungen nach Newtons Ansatz und bestätigte dessen Ergebnis. Öffentlich nahm er nun polemisch Stellung gegen Euler.

Euler wagte noch nicht, Newtons Versuche öffentlich anzuzweifeln und antwortete allgemein in einem Brief mit dem Argument, dass der Bau des menschlichen Auges nach Newtons Lehre unmöglich wäre.

294

XXXIII. Cette Table servira donc à trouver d'abord le rapport entre les rayons des courbures f & g , quelle que soit la loi de réfraction de l'air dans les deux milieux, dont on veut composer l'objectif: & cette proportion entre f & g fera propre, tant pour les objectifs plans d'un côté, que pour ceux qui sont composés de deux pièces semblables. La raison moyenne de réfraction de l'air dans le verre semble être exactement établie comme 31 à 20, de sorte que $m = 1,55$ & $m \ln = 0,295014$. Pour la réfraction de l'air dans l'eau, Mr. Newton a aussi trouvé cette valeur $n = \frac{529}{396} = 1,3358$, d'où l'on tire par interpolation $n \ln = 0,167955$, & partant on aura $f : g = 295014 : 127059$, dont les raisons les plus approchantes sont en moindres nombres

$\frac{f}{g} = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}, \frac{1}{10}, \frac{1}{11}, \frac{1}{12}, \frac{1}{13}, \frac{1}{14}, \frac{1}{15}, \frac{1}{16}, \frac{1}{17}, \frac{1}{18}, \frac{1}{19}, \frac{1}{20}$

d'où l'on voit que la raison 10 : 23 pourra être employée aussi bien dans cette hypothèse que dans la précédente. Donc si $f = \frac{23}{10} g$, nous aurons pour les objectifs plano-convexes la distance du foyer $= \frac{23}{5734} g = 40 \frac{1}{2} g$ & pour les convexes elle sera $= 20 \frac{1}{8} g$.

Brief Eulers an John Dollond

...The marvelous structure of the eye, and the various humours of which it is composed, innitely confirms me in this sentiment. For if it acted only to produce a representation on the back of the eye, one humour alone would have been sufficient; and the Creator would surely not have employed more.

Further, I conclude that it is possible to eliminate the effect of the different refrangibility of the light rays by an appropriate arrangement of several transparent media. . .

“die erstaunliche Struktur des Auges und die verschiedenen Komponenten (humour=Kammerwasser, Körpersaft), aus denen es besteht, bestätigt mich in meiner Ansicht.

Wäre es nur gemacht, um am Augenhintergrund eine Abbildung zu erzeugen, würde eine Komponente allein ausreichend sein und der Schöpfer hätte nicht weitere hinzugefügt.

Weiter stelle ich fest, daß es möglich ist, den Effekt des unterschiedlichen Brechungsverhaltens der Lichtstrahlen durch eine passende Anordnung transparenter Medien zu beseitigen...”

Goethe schreibt über den Streit und meint Newton

Joh. Wolfgang von Goethe, ein ausgezeichnete Wissenschaftler, schreibt über den Streit:

Euler, einer von denjenigen Männern, die bestimmt sind, wieder von vorn anzufangen, wenn sie auch in eine noch so reiche Ernte ihrer Vorgänger geraten (er meint Newton), ließ die Betrachtung des menschlichen Auges, das für sich keine apparenten Farben erblickt, ob es gleich die Gegenstände durch bedeutende



Brechung sieht und gewahrt wird, nicht aus dem Sinne und kam darauf, Menisken, mit verschiedenen Feuchtigkeiten angefüllt, zu verbinden, und gelangte durch Versuche und Berechnung dahin, dass er sich zu behaupten getraute: die Farbenercheinung lasse sich in solchen Fällen aufheben und es bleibe noch Brechung übrig.

Die Newtonische Schule vernahm dieses, wie billig, mit Entsetzen und Abscheu; im stillen aber, wir wissen nicht ob auf Anlass dieser Eulerischen Behauptung oder aus eigenem

Antriebe, ließ Chester- Morehall in England heimlich und geheimnisvoll achromatische Fernröhre zusammensetzen, so dass 1754 schon dergleichen vorhanden, obgleich nicht öffentlich bekannt waren.

Dollond, ein berühmter optischer Künstler, widersprach gleichfalls Eulern aus Newtonischen Grundsätzen und fing zugleich an, praktisch gegen ihn zu operieren; allein zu seinem eignen Erstaunen entdeckt er das Gegenteil von dem, was er behauptet; die Eigenschaften des Flint- und Crownlasses werden gefunden, und die Achromasie steht unwidersprechlich da.

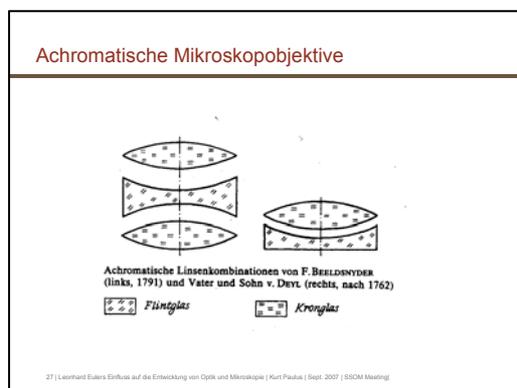
Bei alledem widerstrebt die Schule noch eine Zeitlang; doch ein trefflicher Mann, Klingensjerna, macht sich um die theoretische Ausführung verdient.

Niemanden konnte nunmehr verborgen bleiben, dass der Lehre eine tödliche Wunde beigebracht sei.

Einsicht und Fortschritt

Glücklicherweise kam Dollond in den Besitz einer grösseren Menge für optische Zwecke brauchbaren, und daher mehr als raren, Flintglases. Durch Experimente fand er die optimale Relation zwischen Kron- und Flintglas, und dass die Dispersion behoben wurde, wenn das Verhältnis der Ablenkung 2:3 betrug. Die sphärischen Ablenkungen konnten durch je eine positive und negative Einzellinse weitgehend aufgehoben werden.

Die Verbesserungen wurden von Dollond ab 1758 beim Bau von Fernrohren angewendet. Diese Technik war revolutionär und Dollond verkaufte, auch als Lizenzgeber, seine Geräte in ganz Europa. Bereits 1761 baute Passement achromatische Objektive in Paris.



Andere Techniker in Europa beschäftigten sich mit der Problematik nun auch beim Mikroskop. In Holland waren Beelsnyder und Jan und Harmanus v. Deyl, deren Linsenkombinationen für Mikroskope hier zu sehen sind, erwähnenswerte Pioniere.

Einige Worte zu der Patentsituation in England: John Dollond starb 1761, sein Sohn Peter verklagte den Optiker Champness 1766 wegen Patentverletzung.

Die Verteidigung führte an, dass Hall der Erfinder war. Das Gericht entschied trotzdem, dass das Dollond Patent gültig blieb, da Hall es versäumt hatte, seine Erfindung zu veröffentlichen.

Skepsis

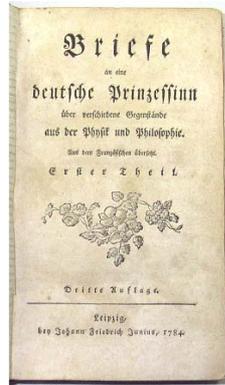
Euler, war überraschenderweise nur schwer von der Richtigkeit der Dollond'schen Versuche und Erfindungen zu überzeugen obwohl er doch den theoretischen Unterbau geliefert hatte. Er schrieb den Fortschritt Dollonds, der von Fachkreisen bezeugt war, im wesentlichen der Krümmung der Linsen zu, die durch einen glücklichen Zufall so ausgefallen sei, daß sie eben dieselbe Wirkung hätten, wenn sie auch nur aus einer Glasart bestünden. Weiterhin hielt er, wie am Auge, Wasser für notwendig.

Erst durch Clairaut konnte er von der Richtigkeit des Dollond-/Hall'schen Prinzips überzeugt werden.

Die Briefe an eine deutsche Prinzessin, die jugendliche Markgräfin Sophie Charlotte von Brandenburg-Schwedt sind eine einmalige Sammlung wissenschaftlicher und philosophischer Erkenntnisse des 18. Jahrhunderts. in üppiger Vielfalt. Das Buch, übersetzt in alle Kultursprachen, hatte einen riesigen Erfolg.

Am 16. März 1762 schrieb Euler über Dollonds Erfolg, den er nun wenigstens theoretisch für sich in Anspruch nahm:

Briefe an eine deutsche Prinzessin



Aber im vergangenen Jahre hat die Societät der Wissenschaften in London angekündigt, daß ein sehr geschickter Künstler, Namens Dollond, glücklich damit zu Stande gekommen; und nunmehr werden seine Ferngläser aller Orten bewundert. In Paris rühmt sich ein eben so grosser Künstler, Namens Passement, eines ähnlichen Erfolgs; beyde haben mir ehemals die Ehre erzeigt, über diese Materie einen Briefwechsel mit mir zu unterhalten; allein, da es hauptsächlich darum zu thun war, einige grosse Hindernisse in der Ausföhrung zu übersteigen, womit ich mich niemals abgegeben hatte, so ist es wohl billig, daß ich ihnen die Ehre der Entdeckung überlasse: nur der theoretische Theil gehört mir zu, und der hat mich sehr tief geholte Untersuchungen und die mühsamsten Berechnungen gekostet, vor deren bloßen Anblick Ew. Hoheit erschrecken würden; also werde ich mich wohl hüten, Dieselben über diese schreckliche Materie zu unterhalten.

den 16ten März 1762.

28 | Leonhard Eulers Einfluss auf die Entwicklung von Optik und Mikroskopie | Kurt Paulus | Sept. 2007 | SSOM Meeting|

Vielfalt



Im gesamten 18. Jahrhundert standen die Optiker und Instrumentenbauer ganz unter dem Eindruck von Newtons Postulat, dass der Farbfehler nicht zu beseitigen sei. Daher bestanden, wie auf dieser Folie zu sehen ist, noch bis in das folgende Jahrhundert riesige Unterschiede zwischen den angebotenen Mikroskopen, die alle angeblich nach neuesten Gesichtspunkten konstruiert waren.

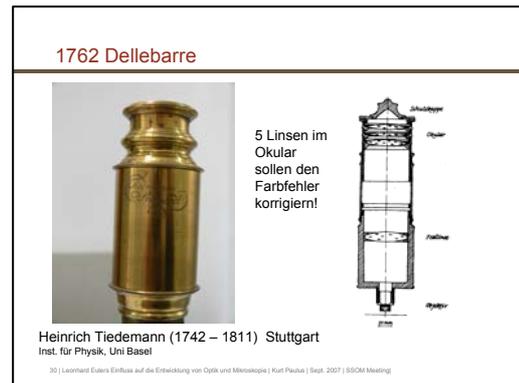
Chromatische Aberration- ein gutes Geschäft

Um 1760 behauptete Louis Francois Dellebarre (1726 - 1805), daß er die chromatische Abberation durch die Kombination von 4 bis 6 bikonvexen Kron-/Flintglaslinsen im Okular und Tubus aufheben könne.

Er berief sich dabei auf die mathematischen Theorien von Leonhard Euler, die er aber offenbar nur halbherzig studiert hatte.

Heute wissen wir, daß seine Mikroskope nicht achromatisch korrigiert waren, da er das Objektiv nicht mit einbezogen hatte. Die Französische Akademie der

Wissenschaft und Künste erkannte den Irrtum nicht und verlieh ihm eine Silbermedaille. Daraufhin wurde dieser Mikroskoptyp überall gebaut. Hier z.B. das überbreite Okular mit 5 Linsen eines Mikroskops von 1765 von Tiedemann in Stuttgart. 1796 zog Dellebarre selbst das Prädikat "achromatisch" zurück.



Wahrlich königlich!

Friedrich II. hatte nur Spott für den einäugigen Euler übrig. Überhaupt hielt er von Mathematikern sehr wenig. Das Unverständnis und Fehlverhalten Friedrichs des Grossen erleichterte Euler die Annahme eines Rufes der russischen Kaiserin Katharina II. nach Petersburg, wo er bis zu seinem Tod bleiben sollte. Selbst ein Schiffsunglück, bei dem wertvolle Arbeiten Eulers verloren gingen, diente dem König dazu, seine Schadenfreude auszudrücken.

1766 Rückkehr nach St. Petersburg

Anzüglicher Brief Friedrichs II. an d'Alembert vom 26. Juli 1766:
„... und ihren Bemühungen sowie ihrer Empfehlung (Louis Lagrange) verdanke ich es, dass bei meiner Akademie der einäugige Messkünstler durch einen anderen, der zwei Augen hat, ist ersetzt worden: welches besonders der anatomischen Klasse sehr behagen wird...“

.... Ein Schiff, das seine $x - z$ und seine kk geladen hatte, hat Schiffbruch gelitten; alles ist verloren gegangen: welches zu beklagen steht, weil daraus sechs Folianten mit Abhandlungen, voll von Zahlen von Anfang bis zu Ende, hätten können ausgefüllt werden, und itzt wahrscheinlich Europa dieser anmuthigen Lektur wird beraubt bleiben.

Bei seiner Ankunft in Petersburg, wurde Euler ein triumphaler Empfang bereitet.

Milestone

Endlich wurde der bei den Fernrohren erzielte Fortschritt auch auf die Mikroskopie übertragen.

Das erste achromatische Linsensystem wurde von den Holländern van Deijl bereits 1770 in ein Mikroskop eingesetzt aber erst 1807(!) publiziert. Schneller war da Benjamin Martin, der sein Mikroskop 1774 optimierte und seine Entwicklung sofort vermarktete.

Wie auch immer, das achromatische Linsensystem erzielte eine erhebliche Steigerung der Abbildungsqualität und manifestierte damit, nach mehr als 100 Jahren Mikroskopentwicklung, den grossen Vorteil des zusammengesetzten vor dem einfachen Mikroskop und, Euler hatte einen wesentlichen Beitrag dazu geleistet.

Weitere Pioniere bei der Herstellung achromatischer Mikroskopobjektive waren Nicolaus Fuess (1755 - 1826) und Francois G. Beeldsnyder (andere Schreibweise: Francois G. Beeldsnijder, 1755 - 1808) im Jahre 1784 bzw. 1791

Leonhard Euler starb am 18. September 1783 in St. Petersburg an den Folgen eines Schlaganfalls rasch und schmerzlos im Kreise seiner Familie.



Eulers Grab in St. Petersburg

Fazit eines genialen Lebens

Euler war ein Mensch, der alle Probleme durch reine Kopfarbeit löste. Experimente hat er nur spärlich durchgeführt oder liess sie durchführen. Das Phänomen Euler ist nach Fellmann wesentlich an vier Faktoren gebunden:

1. ein hervorragender Lehrer
2. die Gabe eines wohl einmaligen Gedächtnisses. Was er einmal gehört, gesehen

oder geschrieben hatte, blieb für immer haften.

3. ungewöhnliche Konzentrationsfähigkeit, Lärm und Betrieb in seiner Umgebung (13 Kinder!) störten ihn kaum in seiner Gedankenarbeit.

4. stetige Arbeit

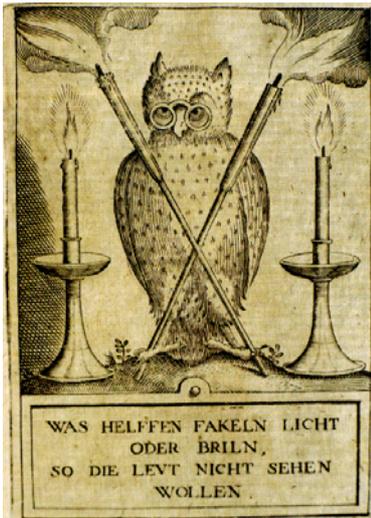
Im Falle der Optik sind es zwei Leistungen, die der Wissenschaft zur richtigen Erkenntnis verhalfen:

1. er stützte und bewies die Wellennatur des Lichtes.

2. er trug wesentlich dazu bei, die Hauptfehler der optischen Linsen, die chromatische und die sphärische Aberation zu beseitigen.

Leider wurden in den zeitgenössischen Forschungsberichten über Eulers Arbeit zwar die theoretischen Fakten aufgenommen, diskutiert und verglichen, die hochkomplizierte mathematische Seite, die der Beweisführung diente, führte aber eher ein bescheidenes Dasein. Dadurch erklärt sich zum Teil auch, dass Euler in der Optik fast vergessen wurde.

Euler rechnete wie andere atmen



3. Pour le champ apparent $\phi = \frac{\pi + \pi' + \pi'' + \pi''' + \dots}{m a + l} l$,

ou pour avoir un grand champ, on n'a qu'à prendre pour π , π' , π'' , π''' , &c. des quantités positives aussi grandes, qu'il est possible, pourvu qu'elles n'excèdent pas les fractions θ , θ' , θ'' , θ''' , &c.

4. Les conditions, pour que les distances des verres deviennent positives :

$$\begin{aligned}
 & + \frac{A B a \pi}{B \pi - (B + 1) \phi} > 0 \\
 & + \frac{A B a \phi [C(B + 1) \pi' + (C + 1) \pi]}{[B \pi - (B + 1) \phi] [C \pi' + (C + 1) (\pi - \phi)]} > 0 \\
 & - \frac{A B C a \phi [D(C + 1) \pi' + (D + 1) \pi]}{[C \pi' + (C + 1) (\pi - \phi)] [D \pi'' + (D + 1) (\pi' + \pi - \phi)]} > 0 \\
 & + \frac{A B C D a \phi [E(D + 1) \pi''' + (E + 1) \pi'']}{[D \pi'' + (D + 1) (\pi' + \pi - \phi)] [E \pi''' + (E + 1) (\pi'' + \pi' + \pi - \phi)]} > 0.
 \end{aligned}$$

où après la première formule les signes des autres changent alternativement.

5. LA

Protagonisten

Protagonisten	
<i>Euklid (ca. 322-285)</i>	<i>René Descartes</i>
<i>Heron von Alexandria (1. Jhd. n. Chr.)</i>	<i>Pierre de Fermat (1601-1665)</i>
<i>Ptolmaios (ca. 100-170)</i>	<i>Francesco Grimaldi (1618-1663)</i>
<i>ibn Sahl (um 985)</i>	<i>Christian Huygens (1629-95)</i>
<i>ibn al-Heitham (lt. Alhazen, 965-1039)</i>	<i>Robert Hooke (1635-1703)</i>
<i>Robert Grosseteste (1168-1253)</i>	<i>Isaac Newton (1642-1727)</i>
<i>Roger Bacon (ca. 1212-94)</i>	<i>Olaf Römer (1644-1710)</i>
<i>Witelo (geb. ca. 1230)</i>	<i>Leonhard Euler (1707-83)</i>
<i>Leonardo da Vinci (1452-1519)</i>	<i>Étienne Malus (1775-1812)</i>
<i>Francesco Maurolico (1494-1575)</i>	<i>Thomas Young (1773-1829)</i>
<i>Felix Plattner (1536-1614)</i>	<i>Dominique Arago (1786-1853)</i>
<i>Johannes Kepler (1571-1630)</i>	<i>Augustin Fresnel (1788-1827)</i>
<i>Willebrord Snellius (1591-1626)</i>	<i>Jean Foucault (1819-1868)</i>
<i>J. Marcus Marci (1595-1667)</i>	<i>Hippolyte Fizeau (1819-96)</i>

35 | Leonhard Eulers Einfluss auf die Entwicklung von Optik und Mikroskopie | Kurt Paulus | Sept. 2007 | SSOM Meeting|

Auf dieser Folie sind die wichtigsten Protagonisten bei der Erforschung des Phänomens Licht aufgeführt.

Ich hoffe, ich habe Ihnen, den Fachleuten, die Entwicklung der Theorie der angewandten Optik im 18. Jahrhundert und insbesondere die Leistung Eulers, die er, betrachtet man sein Gesamtwerk, fast nebenher erbracht hat, etwas näher gebracht. Für ihr Interesse vielen Dank.

Kurt Paulus

Basel, 11. September 2007

Tagung der Schweizer Gesellschaft für Optik und Elektronenmikroskopie