



Lichtenberg Gesellschaft e.V.

www.lichtenberg-gesellschaft.de

Der folgende Text ist nur für den persönlichen, wissenschaftlichen und pädagogischen Gebrauch frei verfügbar. Jeder andere Gebrauch (insbesondere Nachdruck – auch auszugsweise – und Übersetzung) bedarf der Genehmigung der Herausgeber. Zugang zu dem Dokument und vollständige bibliographische Angaben unter [tuprints](http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de), dem E-Publishing-Service der Technischen Universität Darmstadt: <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de> – tuprints@ulb.tu-darmstadt.de

The following text is freely available for personal, scientific, and educational use only. Any other use – including translation and republication of the whole or part of the text – requires permission from the Lichtenberg Gesellschaft.

For access to the document and complete bibliographic information go to [tuprints](http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de), E-Publishing-Service of Darmstadt Technical University: <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de> – tuprints@ulb.tu-darmstadt.de

© 1987-2006 Lichtenberg Gesellschaft e.V.

Lichtenberg-Jahrbuch / herausgegeben im Auftrag der Lichtenberg Gesellschaft.

Erscheint jährlich.

Bis Heft 11/12 (1987) unter dem Titel: Photorin.

Jahrbuch 1988 bis 2006 Druck und Herstellung: Saarbrücker Druckerei und Verlag (SDV), Saarbrücken

Druck und Verlag seit Jahrbuch 2007: Winter Verlag, Heidelberg

ISSN 0936-4242

Alte Jahrbücher können preisgünstig bei der Lichtenberg Gesellschaft bestellt werden.

Lichtenberg-Jahrbuch / published on behalf of the Lichtenberg Gesellschaft.

Appears annually.

Until no. 11/12 (1987) under the title: Photorin.

Yearbooks 1988 to 2006 printed and produced at: Saarbrücker Druckerei und Verlag (SDV), Saarbrücken

Printer and publisher since Jahrbuch 2007: Winter Verlag, Heidelberg

ISSN 0936-4242

Old yearbooks can be purchased at reduced rates directly from the Lichtenberg Gesellschaft.

Im Namen Georg Christoph Lichtenbergs (1742-1799) ist die Lichtenberg Gesellschaft ein interdisziplinäres Forum für die Begegnung von Literatur, Naturwissenschaften und Philosophie. Sie begrüßt Mitglieder aus dem In- und Ausland. Ihre Tätigkeit umfasst die Veranstaltung einer jährlichen Tagung. Mitglieder erhalten dieses Jahrbuch, ein Mitteilungsblatt und gelegentliche Sonderdrucke. Weitere Informationen und Beitrittsformular unter www.lichtenberg-gesellschaft.de

In the name of Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799) the Lichtenberg Gesellschaft provides an interdisciplinary forum for encounters with and among literature, natural science, and philosophy. It welcomes international members. Its activities include an annual conference. Members receive this yearbook, a newsletter and occasionally collectible prints. For further information and a membership form see www.lichtenberg-gesellschaft.de

Horst Zehe

„Wenn sich das violette Licht z. B. langsamer bewegte
als das rothe“¹

(Bemerkungen zu Lichtenbergs Sudelbuchnotiz J 1808)

Horst Gravenkamp zum 75. Geburtstag

„Wenn sich das violette Licht z. B. langsamer bewegte als das rothe, so würde[n] sich bey der Aberration verschiedene Farben zeigen müssen nicht wechselnd sonder[n] stet, vielleicht so was wie Doppelsterne“, hat Lichtenberg im Frühjahr 1792 in seinem Sudelbuch notiert. Am Ende der Notiz steht ein Verweisungszeichen (#), Lichtenberg wollte den Eintrag wohl an anderer Stelle fortsetzen, hat es aber nicht getan.²

Auch wenn an Ort und Stelle keine weitergehende Erläuterung zu finden ist, so ist doch klar, daß dieser Notiz eine bestimmte Hypothese von der Natur des Lichtes zu Grunde liegt, eine Hypothese, nach der rotes Licht sich rascher fortpflanzen muß als violettes. Und offensichtlich muß sich die Stichhaltigkeit dieser Hypothese an Hand astronomischer Beobachtungen prüfen lassen – das jedenfalls legt Lichtenbergs Behauptung nahe, es müsse „bey der Aberration“ dann „so was wie Doppelsterne“ zu sehen sein.

*

Welche Vorstellungen man am Ende des 18. Jahrhunderts von der Natur des Lichtes hatte und welcher von ihnen Lichtenberg den Vorzug gab, darüber können wir uns von ihm selbst belehren lassen. In seinen Notizen für die Vorlesung heißt es:³

„Ich sehe nur 2 Wege. Man muß annehmen, es fahren Körper in Graden Linien aus, und treffen unser Auge und erwecken auf diese Weise die Idee vom Licht, so wie etwa die riechenden Körper Theilchen ausschicken. Oder man muß eine dünne elastische (nicht harte) Materie annehmen, die sich schon überall befindet, und die das Licht so fortpflanzet, wie die Luft den Schall. Das erste ist das *Emanations* System, und sein großer Stifter Sir Isaac Newton, das andere das *Vibrations* System, und sein großer Vertheidiger HE. Leonhard Euler. Sie können sich eines Wählen was sie für eins wollen. [...] Wenn ich meine Meinung offenherzig sagen soll so bin ich grade der Meinung des HE. Prof. Erxlebens entgegen⁴ mehr für das Newtonische“.

Um Genaueres über das von Newton gestiftete und von Lichtenberg favorisierte Emanationssystem zu erfahren, werden wir am besten Newtons „Optik“, jene große „Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts“ zu Rate ziehen. An deren Eingang aber steht die programmatische Erklärung:

„Es ist nicht meine Absicht, in diesem Buche die Eigenschaften des Lichts durch Hypothesen zu erklären, sondern nur, sie anzugeben und durch *Überlegung* und Experiment zu bestätigen“ (Optik, 5).⁵

Und in der Tat finden wir nur wenige (versteckte) Hinweise auf Newtons Ansicht von der Natur des Lichts, Klarheit können wir uns erst im Anhang zur „Optik“ verschaffen. Dort hat Newton in 31 Fragen niedergelegt, „was über das Licht und seine Wirkungen auf die Naturkörper noch zu entdecken übrig ist“, mit der Absicht, „den Wißbegierigen diese Andeutungen zur Prüfung und zum Nachweise durch weitere Versuche und Beobachtungen [zu] überlassen“ (Optik, 270).⁶ In einer dieser Fragen, es ist die neunundzwanzigste, spekuliert er über die Natur des Lichts:

„Bestehen nicht die Lichtstrahlen aus sehr kleinen Körpern, die von den leuchtenden Substanzen ausgesandt werden (und durch irgendwelche Anziehungen gebrochen werden, durch die Körper und Licht wechselseitig aufeinander einwirken)? Denn solche Körper werden sich durch ein gleichförmiges Medium in geraden Linien fortbewegen [...], wie es eben die Natur der Lichtstrahlen ist. [...] Durchsichtige Substanzen wirken aus der Entfernung auf die Lichtstrahlen, indem sie dieselben brechen, zurückwerfen und beugen, und die Strahlen wirken umgekehrt auf die Theilchen dieser Substanzen [...]. Diese Wirkung und Gegenwirkung aus der Entfernung gleichen doch außerordentlich einer zwischen den Körpern wirkenden anziehenden Kraft. Wenn die Brechung durch eine Anziehung der Strahlen zu Stande kommt, so muß der Sinus des Einfalls in einem gegebenen Verhältnisse zum Sinus der Brechung stehen, wie wir in den ‚Principien der Philosophie‘ gezeigt haben; und die Erfahrung bestätigt dies Gesetz“ (Optik, 244 f.).⁷

Das heißt: Wenn zwischen den Lichtkorpuskeln und den durchsichtigen Körpern Kräfte wirken, die nur von der Entfernung abhängen, muß sich daraus das Snelliussche Brechungsgesetz ableiten lassen. Das beweist Newton aber nicht hier, in der „Optik“, sondern er beruft sich auf die „Principia Mathematica“, sein großes Werk über die *Mechanik*. Dort handelt er im Abschnitt 14 am Ende des ersten Buches „Von der Bewegung sehr kleiner Körper, welche durch Centripetalkräfte⁸ bewegt werden, die nach den einzelnen Theilen irgendeines großen Körpers gerichtet sind“ (Principien, 222).⁹

Unter der Voraussetzung, daß diese Kräfte senkrecht gegen die Grenzfläche des großen Körpers wirken, beweist Newton, daß der Sinus des Winkels, unter dem ein solch kleiner Körper auf den großen Körper auftrifft, zum Sinus des

Winkels, unter dem er in den großen Körper eintritt (und seinen Weg fortsetzt), in einem konstanten Verhältnis steht (Satz 94); ferner, daß die Geschwindigkeit mit der er auftritt, sich zur Geschwindigkeit mit der er eintritt, verhält wie der Sinus des Eintrittswinkels zum Sinus des Auftreffwinkels (Satz 95).

Auf die Verhältnisse beim Licht übertragen, heißt das: Die Lichtkorpuskeln bewegen sich innerhalb eines homogenen Mediums – zum Beispiel in der Luft – geradlinig-gleichförmig. An der Grenze zu einem anderen Medium – zum Beispiel zu Glas – erfahren sie eine konstante Kraft, die senkrecht zur Grenzlinie zwischen den beiden Medien gerichtet ist. Innerhalb eines schmalen Bereiches – ein wenig vor und ein wenig nach der Grenze – werden die Korpuskeln durch die anziehende Kraft beschleunigt und bewegen sich auf einer gekrümmten Bahn. Wenn sie tief genug in das andere Medium eingedrungen sind, heben die Anziehungskräfte einander im Mittel auf, und die Lichtkorpuskeln setzen ihren Weg geradlinig-gleichförmig fort, und zwar mit *der* Geschwindigkeit, die sie am Ende der Beschleunigung erreicht haben.¹⁰

Daß die Übertragung dieser Ergebnisse auf die Verhältnisse beim Licht nicht nur erlaubt, sondern von Newton beabsichtigt ist, können wir dem Scholium, der erklärenden Anmerkung zu den vorangehenden Lehrsätzen 94 und 95, entnehmen. Dort heißt es:

„Nicht sehr unähnlich sind diesen Anziehungen die Zurückwerfung und Brechung des Lichtes, welche in einem constanten Verhältnis der Secanten stattfinden, wie Snellius gefunden, folglich auch in einem constanten Verhältnis der Sinus stattfinden, wie Cartesius auseinander gesetzt hat“ (Principien, 225).¹¹

In seiner „Optik“ hat Newton durch Experimente bewiesen, daß sich das Sonnenlicht aus Strahlen verschiedener Brechbarkeit zusammensetzt, und daß Lichtstrahlen *unterschiedlicher* Farbe¹² *unterschiedliche* Brechbarkeit besitzen. Das Snelliussche Brechungsgesetz muß daher für jede Art homogener Strahlen, das heißt für jede Farbe des Spektrums einzeln gelten. In Newtons entsprechendem Lehrsatz in der „Optik“ heißt es: „Der Sinus des Einfalls steht bei jedem für sich betrachteten Strahle in einem gegebenen Verhältnisse zum Sinus der Brechung“ (Optik, 50).¹³ Newton hat aber nur gezeigt, daß sich in seinem Korpuskelmodell unter den angegebenen Bedingungen das Snelliussche Brechungsgesetz ableiten läßt; wie aber beim Übergang vom einen zum anderen Medium – etwa von Luft zu Glas – bei *gleichem* Einfallswinkel *unterschiedliche* Brechungswinkel zustande kommen, warum also die Korpuskeln von ein und derselben Kraft unterschiedliche Ablenkungen erfahren, hat er (noch) nicht gezeigt. In der schon zuvor angeführten Frage 29 im Anhang der „Optik“ versucht er das Problem zu lösen:

„Um alle Verschiedenheiten in den Farben und den Graden der Brechbarkeit hervorzubringen, ist nichts weiter erforderlich, als, daß die Lichtstrahlen aus Körperchen von verschiedener Größe bestehen, von denen die kleinsten das Violett erzeugen, die schwächste und dunkelste der Farben, welche auch am

leichtesten durch brechende Flächen vom geradlinigen Wege abgelenkt wird, und von denen die übrigen in dem Maße, wie sie größer und größer werden, die stärkeren und leuchtenderen Farben, Blau, Grün, Gelb und Roth bilden und immer schwerer abgelenkt werden“ (Optik, 246).¹⁴

Es scheint, als sei das Problem damit gelöst.¹⁵ Aber es scheint nur so.

*

Im Februar 1753 wendet sich der junge schottische Physiker Thomas Melvill (1726-1753) an den Astronomen James Bradley und legt ihm eine Abhandlung vor, in der er sich „Über die Ursache der unterschiedlichen Brechbarkeit der Lichtstrahlen“ Gedanken macht. Die Abhandlung wird der Royal Society vorgelegt und anschließend in den „Philosophical Transactions“ für das Jahr 1753 gedruckt.¹⁶

Melvill knüpft bei seiner Untersuchung ausdrücklich an die Frage 29 der Newtonischen „Optik“ an, wenn er schreibt:

„Um die unterschiedliche Brechbarkeit von Strahlen unterschiedlicher Farbe zu erklären, haben Sir Isaac Newton und einige seiner Schüler angenommen, daß deren Partikeln unterschiedliche Größe oder Dichte haben; nimmt man jedoch an, daß die brechende Kraft auf gleiche Weise wirkt, wie die Gravitation, dann bekommen alle Partikeln auf diese Weise die gleiche Geschwindigkeit, wie groß auch immer ihre Größe oder Dichte sein mag; und alle Strahlenarten werden gleich stark abgelenkt“.¹⁷

Melvill hält es daher für weit wahrscheinlicher, daß „Strahlen von unterschiedlicher Farbe mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ausgestoßen werden: die roten mit der größten, die violetten mit der geringsten und die dazwischen liegenden Farben mit Zwischenstufen der Geschwindigkeit“.¹⁸

Unter der Voraussetzung, daß die unterschiedliche Brechbarkeit des Lichts einzig und allein von der unterschiedlichen Geschwindigkeit der Strahlen vor dem Einfall herrührt, muß – so wieder Melvill – die folgende Aufgabe gelöst werden:

„Zwei Körper sollen unter gleichen Einfallswinkeln auf einen von zwei parallelen Ebenen begrenzten Raum auftreffen, in welchem – in Übereinstimmung mit der Hypothese in Satz 94 im 1. Buch der »Principia« – eine Kraft senkrecht zu diesen Ebenen wirkt. Gegeben sei das Verhältnis der Brechungssinus zum gemeinsamen Einfallssinus (und damit das Verhältnis zueinander); zu bestimmen ist das Verhältnis ihrer Geschwindigkeiten zum Zeitpunkt ihres Einfalls auf die erste Ebene“.¹⁹

Wenn diese Geschwindigkeiten für irgendein Medium – zum Beispiel für Luft – bekannt sind, können sie für jedes andere Medium berechnet werden, vorausgesetzt, die (relativen) Brechungsindizes n dieses Mediums gegenüber Luft sind bekannt. Während aber die unterschiedliche Brechbarkeit der farbigen Lichtstrahlen eine aus Experimenten gefolgerte, unbestreitbare Tatsache ist, die zu den

Grundlagen der Newtonischen Optik gehört, ist die von Melvill postulierte unterschiedliche Geschwindigkeit unterschiedlich farbiger Strahlen (das heißt der sie zusammensetzenden Korpuskeln) nur eine Hypothese, eine begründete Vermutung, die geprüft werden muß.

*

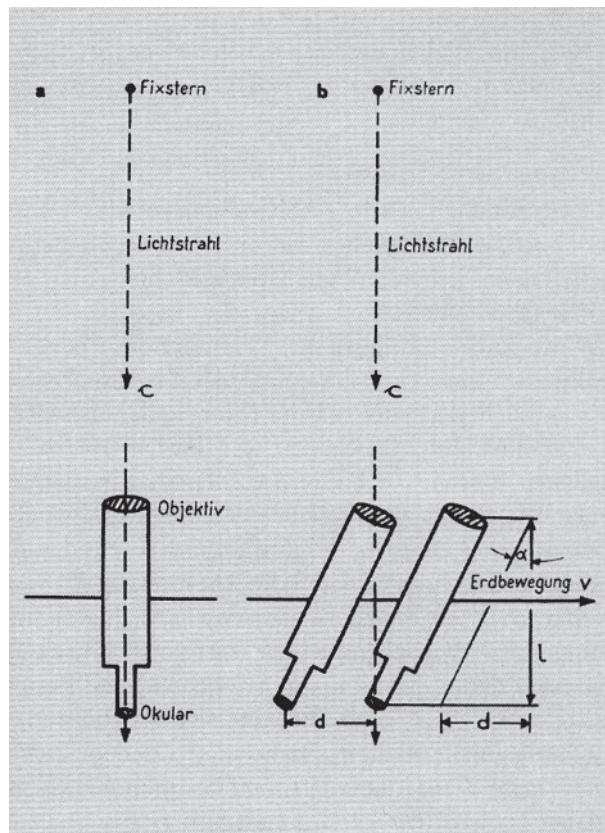
Melvill hat sich nicht zufällig mit seiner Abhandlung gerade an Bradley gewandt. Eine der Möglichkeiten, seine Hypothese zu prüfen, sieht er in der Aberration des Lichts; er kann sich daher keinen kompetenteren Richter vorstellen als Bradley, den Entdecker dieses Phänomens.²⁰

Im Jahre 1729 war in den „Philosophical Transactions“ James Bradleys „Bericht über eine kürzlich entdeckte Bewegung der Fixsterne“ erschienen,²¹ ein Bericht über ein eigentlich gescheitertes Unternehmen, das aber zu einer unerwarteten Entdeckung geführt hatte. Gescheitert war das Unternehmen in Bezug auf seinen ursprünglichen Zweck, die Fixsternparallaxe zu bestimmen, den schon lang gesuchten Beweis für die Richtigkeit der copernicanischen Hypothese;²² einen glücklichen Ausgang nahm es durch die Entdeckung der Aberration des Lichts der Fixsterne, weil es Bradley dadurch nicht nur möglich war, die Lichtgeschwindigkeit genauer zu bestimmen, sondern weil er zugleich auch etwas über die Größenordnung der vergeblich gesuchten Fixsternparallaxe sagen konnte.

Auf der Suche nach dieser Fixsternparallaxe beobachtete Bradley – zunächst gemeinsam mit Molineux – über einen längeren Zeitraum hinweg den Meridiandurchgang eines Sterns im Sternbild des Drachen (γ Draconis), der im Beobachtungsort Kew nahe beim Zenit kulminiert, und bestimmte jeweils dessen Zenitdistanz.²³ Die dabei beobachtete Veränderung unterschied sich in Größe und Richtung von der erwarteten parallaktischen Bewegung des Sterns.²⁴ Es war aber ganz offensichtlich eine periodische Veränderung, denn nach Ablauf eines Jahres hatte der Stern wieder seine ursprüngliche Position erreicht. „Die große Regelmäßigkeit der Beobachtungen ließ keinen Raum für Zweifel“, schreibt Bradley in seinem Bericht, „daß es irgendeine regelmäßige Ursache gab, die diese unerwartete Bewegung hervorrief“.²⁵

Bradley setzte seine Beobachtungen später mit verbessertem Instrumentarium allein fort und konnte auch an anderen Sternen entsprechende Positionsveränderungen bemerken. Nach Auswertung seiner Beobachtungsdaten kommt er zu dem Schluß,

„daß alle bisher angeführten Erscheinungen von der fortschreitenden Bewegung des Lichts und der jährlichen Bewegung der Erde in ihrer Bahn herrühren. Denn ich stellte fest, wenn das Licht zu seiner Ausbreitung Zeit braucht, dann wird, wenn das Auge in Ruhe ist, der scheinbare Ort eines unbeweglichen Objekts ein anderer sein, als wenn es sich in einer von der Verbindung zwischen Auge und Objekt abweichenden Richtung bewegt; und wenn das Auge sich in unterschiedliche Richtungen bewegt, wird auch der scheinbare Ort des Objekts unterschiedlich sein“.²⁶



a) Beobachtung eines Fixsterns von der ruhenden Erde.
 b) Beobachtung eines Fixsterns von der bewegten Erde. Das Fernrohr muß so geneigt werden, daß das Licht durch Objektiv und Okular tritt.
 (Veränderte Abb. 53 aus Max Born.)

Man kann sich das Geschehen leicht an der Abbildung klar machen: Richtet der Beobachter sein Fernrohr auf einen Fixstern und trifft ein von diesem Stern ausgehender Lichtstrahl senkrecht auf die Mitte des Fernrohrobjektivs, dann wird er die Mitte des Okulars (und das Auge des Beobachters) nur dann treffen, wenn der Beobachter ruht oder sich in gleicher Richtung wie der Lichtstrahl bewegt. Bewegt sich der Beobachter senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl, wird der Lichtstrahl nicht mehr in der Mitte des Okulars austreten, sondern etwas seitlich davon, entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung. Das Fernrohr muß dann um den Winkel α , den der Lichtstrahl mit der Fernrohrachse bildet, in Bewegungsrichtung geneigt werden, damit der Stern wieder genau im Fadenkreuz des Okulars zu sehen ist, und um diesen Winkel α scheint er für den Beobachter aus seinem wahren Ort verrückt. Nun legt aber der Beobachter in der Zeit t , in der das Licht

mit der Geschwindigkeit c den Weg $l = c \cdot t$ zwischen Objektiv und Okular durchläuft, mit der Geschwindigkeit v (mit der sich die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne bewegt) den Weg $d = v \cdot t$ zurück (s. Abb.). Die Größe des Winkels α , um die das Fernrohr geneigt werden muß, ergibt sich dann aus dem Verhältnis der Bahngeschwindigkeit v der Erde zur Lichtgeschwindigkeit c . Wie man der Abb. entnehmen kann, gilt: $d/l = v/c = \tan \alpha$.²⁷ Der größtmögliche Wert von α ist die sogenannte Aberrationskonstante $\epsilon = 20,5''$.²⁸

*

Wenn alle Arten von Lichtkorpuskeln im leeren Raum nur eine einzige, gemeinsame Geschwindigkeit haben, ist von der Aberration bei einer einzigen Beobachtung nichts zu bemerken. Etwas anderes aber ist es, wenn die Korpuskeln unterschiedliche Geschwindigkeiten haben, wie es Melvills Hypothese verlangt. Melvill schreibt:

„Nach Dr. Bradleys schöner Theorie von der Aberration des Lichts scheinen die Sterne um eine gewisse Distanz von ihrem wahren Ort verrückt, gemäß dem Verhältnis zwischen der Transversalbewegung des Auges des Beobachters und der Lichtgeschwindigkeit.²⁹ Es ist daher klar, daß nach unserer Hypothese ein Stern für jede Farbe einen anderen scheinbaren Ort haben muß, das heißt, sein scheinbarer Durchmesser wird durch die Aberration in die Länge gezogen und gleicht einem prismatischen Spektrum, wobei das rote Ende dem wahren Ort des Sterns am nächsten liegt. Bei Sternen, die in der Nähe des Pols der Ekliptik liegen, verändert sich die Länge nicht, wohl aber im Laufe des Jahres die Richtung.³⁰ Bei Sternen, die auf der Ekliptikebene liegen, oder nahe bei ihr, hat diese Länge bei der äußersten östlichen oder westlichen Aberration den größten Wert; wenn aber wahrer und scheinbarer Ort zusammenfallen, gewinnt der Stern seine eigentliche Form und Farbe zurück.“³¹

Nach Melvills Rechnung beträgt aber der Abstand zwischen rotem und violetterm Beugungsscheibchen – also zwischen den Gebilden, die Lichtenberg „so was wie Doppelsterne“ nennt – weniger als eine halbe Bogensekunde und entzieht sich der Wahrnehmung. „Herauszufinden, ob unser System richtig oder falsch ist, ist hoffnungslos“,³² bemerkt Melvill und sieht sich nach anderen Möglichkeiten um: Vorausgesetzt, das rote Licht bewegte sich rascher als das violette, welche Folgen hätte das für die Erscheinungen, die wir bei Verfinsterung der Jupitermonde beobachten können? Melvill überlegt, was bei der Verfinsterung des innersten der damals bekannten Monde, der Io, geschehen müßte, der in 42,5 h den Jupiter umkreist und bei jedem Umlauf in dessen Schattenkegel eintaucht:

„Die Zeit die das äußerste Violett benötigt, um aus einer bestimmten Entfernung das Auge zu erreichen, verhält sich zu der, die das äußerste Rot benötigt, um aus derselben Entfernung anzulangen, wie 78 zu 77. Der Jupiter stehe in Quadratur zur Sonne;³³ in dieser Stellung sind die Verfinsterungen sei-

ner Satelliten am bequemsten zu beobachten. Sein Abstand von der Erde entspricht dann etwa demjenigen von der Sonne, und das Licht braucht dann von ihm bis zur Erde etwa 41^m . Das äußerste noch wahrnehmbare violette Licht, das der Satellit vor seinem vollständigen Eintauchen in den Jupiterschatten reflektiert, müßte das Auge also noch nach dem 77sten Teil von 41^m , das heißt etwa 32^s nach dem äußersten noch wahrnehmbaren Rot affizieren. Es folgt also aus unserer Hypothese mit Gewißheit, daß ein von der Erde aus gesehener Satellit während etwa einer halben Minute vor seiner vollständigen Immersion³⁴ seine Farbe ändern muß: von weiß über blaugrün zu blau, um zuletzt violett zu verschwinden. Es bedarf keiner Erwähnung, daß das Gleiche bei der Emersion in umgekehrter Reihenfolge geschehen muß, zu Beginn rot und am Ende weiß.

Sollten die Astronomen diese Phänomene beobachten, haben wir einen direkten Beweis für die unterschiedliche Geschwindigkeit unterschiedlich farbiger Strahlen, und infolgedessen eine mechanische Erklärung ihrer unterschiedlichen Brechbarkeit, denn ich sehe keine andere Ursache, der man ein solches Phänomen vernünftigerweise zuschreiben könnte. Sollte es nicht so sein, dann können wir schließen, daß die Strahlen aller Farben vom leuchtenden Körper mit ein und derselben Geschwindigkeit emittiert werden“.³⁵

Die Royal Society reichte Melvills Abhandlung an ihr Mitglied James Short weiter, mit der Bitte, den von Melvill empfohlenen Beobachtungen seine Aufmerksamkeit zu schenken. Nach einiger Zeit, während derer er die Emersionen des innersten Jupitersatelliten mit einem Spiegelteleskop verfolgt hatte, erstattete Short der Royal Society Bericht.³⁶ Er habe, so teilt er lapidar mit, nicht die geringste Veränderung in der Farbe des vom Satelliten reflektierten Lichts wahrgenommen und habe auf Grund seiner Beobachtungen auch nicht den Eindruck, als ob sich Strahlen unterschiedlicher Farbe mit unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegten.³⁷ – Mehr als ein halbes Jahrhundert zuvor, im August 1691, bittet Newton den Astronomen John Flamsteed, bei der Beobachtung der Jupitersatelliten darauf zu achten, ob sie unmittelbar vor ihrem Verschwinden dazu neigten, sich rot oder blau zu verfärben oder rötlicher oder blasser zu werden.³⁸ Flamsteed antwortet im Februar 1692, daß die Satelliten zwei bis drei Minuten vor ihrem Verschwinden an Helligkeit zu verlieren begännen und zunehmend schwächer, trüber und kleiner würden, bis sie endlich völlig verschwänden; er habe jedoch nie eine Änderung der Farbe zu Blau oder Rot bemerken können.³⁹ Newton hat also die gleichen Überlegungen angestellt, wie nach ihm Clairaut und Melvill. Auf Grund von Flamsteeds Bericht hat er die Hypothese von der unterschiedlichen Geschwindigkeit der unterschiedlich farbigen Strahlen (Korpuskeln) stillschweigend fallen lassen.⁴⁰ Melvill konnte seine Theorie nicht mehr revidieren. Er starb, erst 27jährig, im Dezember 1753 in Genf, noch ehe Short's Bericht in den „Philosophical Transactions“ erschien.

*

Fazit

Nimmt man an, daß das Licht korpuskulare Struktur besitzt, daß also jeder Lichtstrahl aus einem Hagel von Korpuskeln besteht, die sich in gleicher Richtung bewegen, und nimmt man ferner an, daß bei der Lichtbrechung Geschwindigkeit und Richtung jener Korpuskeln durch Kräfte von der Art der Gravitationskraft verändert werden, dann läßt sich – wie Newton gezeigt hat – das Snelliussche Brechungsgesetz ableiten. Um die unterschiedliche Brechung der einzelnen Korpuskelarten erklären zu können, die nach Newtons Auffassung unveränderlich im (weißen) Licht stecken und durch die Brechung nur voneinander getrennt werden, muß ein und dieselbe Attraktionskraft unterschiedlich auf die einzelnen Korpuskelarten wirken. Das ist aber nur möglich, wenn sie mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus den leuchtenden Körpern herausgeschleudert werden: am raschesten die rot(machend)en, am langsamsten die violett(machend)en. Das weiße Licht ist in einer solchen Theorie ein Gemisch von Partikeln unterschiedlicher Geschwindigkeit.

An Hand zweier astronomischer Erscheinungen, der Aberration der Fixsterne und der Verfinsterung der Jupitermonde, hat man versucht, die Konsequenzen dieses Modells zu prüfen: Bei der Aberration müßte wegen der unterschiedlichen Geschwindigkeiten jede Korpuskelart (jede Spektralfarbe) eine andere Aberrationskonstante haben, und das ergäbe ein *räumliches Nebeneinander* der Farben des Spektrums, das heißt, daß sich „verschiedene Farben zeigen müssen nicht wechselnd sondern stet, vielleicht so was wie Doppelsterne“, genauer: ein ganzes Spektrum von Sternen. Bei den Jupitermonden müßte der Zeitunterschied zwischen der Ankunft des roten und der des blauen Lichts zu einer sukzessiven Verfärbung vor ihrer Verfinsterung und nach ihrem Wiederauftauchen führen, und das ergäbe ein *zeitliches Nacheinander* der Farben des Spektrums. Weder vom einen noch vom anderen war etwas zu entdecken: der zu erwartende Effekt bei der Aberration lag ohnehin außerhalb der Beobachtungsmöglichkeit und von einer Verfärbung der Jupitermonde war nichts zu bemerken. Es blieb also nur der Schluß, „daß die Strahlen aller Farben vom leuchtenden Körper mit ein und derselben Geschwindigkeit emittiert werden“.⁴¹

Lichtenberg kannte das Problem wohl aus den einschlägigen Arbeiten in den „Philosophical Transactions“ oder aus dem Bericht in Priestleys „Geschichte der Optik“. Vielleicht hat er sich die Notiz gemacht, um sie für die Vorlesung zu verwenden. In Gamaufs „Erinnerungen“ ist davon allerdings keine Rede, danach hat Lichtenberg zwar ausführlich die Aberration behandelt, von unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeiten aber kein Wort gesagt.⁴² Es findet sich jedoch ein Hinweis in der zweiten Auflage des Gehlerschen „Wörterbuch der Physik“, im Artikel „Abirring des Lichtes“. Dort schreibt Heinrich Wilhelm Brandes, der im Wintersemester 1797/98 bei Lichtenberg Astronomie gehört hat: „Übrigens warf schon Lichtenberg die Frage auf, ob denn die Abirring bei allen Sternen gleich, und ob sie zum Beispiel bei den rothen nicht anders als bei den bläulich erscheinenden Sternen seyn möge“.⁴³

*

„Wenn sich das violette Licht z. B. langsamer bewegte als das rothe“ – wo Lichtenberg bloß zu spekulieren scheint, liegt, wie wir gesehen haben, ein Problem verborgen. Wir mußten uns keiner Wünschelrute bedienen, um es zu entdecken; es genügte, den Indikativen von Physik und Astronomie die gleiche Beachtung zu schenken, wie den Lichtenbergschen Konjunktiven.⁴⁴

Literatur

Jean Baptiste Biot: Lehrbuch der Experimental-Physik oder Erfahrungs-Naturlehre. Zweite Auflage der deutschen Bearbeitung. Mit Hinzufügung der neuern und einheimischen Entdeckungen von Gustav Theodor Fechner. Vierter Band. Mit acht Kupfertafeln. Leipzig 1829.

Johann Elert Bode: Kurzgefaßte Erläuterung der Sternkunde und den dazu gehörigen Wissenschaften. Zweyter Theil. Mit 8 Kupfertafeln. Berlin 1778.

Max Born: Die Relativitätstheorie Einsteins. Unter Mitarbeit von Walter Biem. Fünfte, unveränderte Auflage. Mit 143 Abbildungen. Berlin, Heidelberg, New York 1969.

James Bradley: A Letter from the Reverend Mr. James Bradley Savilian Professor of Astronomy at Oxford, and F. R. S. to Dr. Edmond Halley Astronom. Reg. &c. giving an Account of a new discovered Motion of the Fix'd Stars. In: Philosophical Transactions 35 (1728), 637-661. London 1729.

Heinrich Wilhelm Brandes: Abirring des Lichtes. In: Johann Samuel Traugott Gehler's Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet von Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff. Erster Band A und B. Mit Kupfertafeln I-XXI. Leipzig 1825.

Alexis Claude Clairaut: Sur les explications Cartésienne et Newtonienne de la Réfraction de la Lumière. In: Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année 1739. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année. Tirés des Registres de cette Académie. Paris 1741, 259-275.

Alexis Claude Clairaut: A Letter from Monsieur Clairaut, Member of the Royal Academy of Sciences at Paris, and F. R. S. to Thomas Birch, D. D. Secret. R. S. containing a Comparison between the Notions of M. de Courtivron and Mr. Melvill, concerning the Difference of Refrangibility of the Rays of Light. In: Philosophical Transactions 48. 2 (1754), 776-780. London 1755.

Gaspar le Compasseur de Créquy-Montfort Marquis de Courtivron: *Traité d'Optique, Où l'on donne la Théorie de la Lumière dans le système Newtonien, avec de nouvelles solutions des principaux Problèmes de Dioptrique & de Catoptrique.* Paris 1752.

Johann Christian Polykarp Erxleben: *Anfangsgründe der Naturlehre.* Sechste Auflage. Mit Verbesserungen und vielen Zusätzen von G. C. Lichtenberg. Göttingen 1794.

Hildegard und Heinz Fabritius: *Johann Friedrich Benzenbergs Nachschrift der Astronomievorlesung Lichtenbergs.* Druckmanuskript (erscheint demnächst in den Lichtenbergstudien).

Gottlieb Gamauf: *Erinnerungen aus Lichtenbergs Vorlesungen über Astronomie.* Wien und Triest 1814.

Johann Samuel Traugott Gehler: *Beobachtung.* In: *Physikalisches Wörterbuch oder Versuch einer Erklärung der vornehmsten Begriffe und Kunstwörter der Naturlehre mit kurzen Nachrichten von der Geschichte der Erfindungen und Beschreibungen der Werkzeuge begleitet in alphabetischer Ordnung.* Erster Theil von A bis Epo mit sieben Kupfertafeln. Leipzig 1787.

Johann Samuel Traugott Gehler: *Versuch.* In: *Physikalisches Wörterbuch etc.* Vierter Theil von See bis Z mit sechs Kupfertafeln. Leipzig 1791.

A. Rupert Hall: *Le problème de la vitesse de la lumière dans l'œuvre de Newton.* In: *Roemer et la vitesse de la lumière.* Paris 1978, 179-194.

Friedrich Klemm: *Die Geschichte der Emissionstheorie des Lichts.* Weimar 1932.

Thomas Melvill: *A letter from Mr. T. Melvill to the Rev. James Bradley, D. D. F. R. S. With a Discourse concerning the Cause of the different Refrangibility of the Rays of Light.* In: *Philosophical Transactions* 48. 1 (1753), 262-268. London 1754.

Thomas Melvill: *Observations on Light and Colours. Sect. VI. Concerning the Cause of the different Refrangibility of the Ray of Light.* In: *Essays and Observations, Physical and Literary. Read before a Society in Edinburgh and published by them.* Vol. 2. Edinburgh 1756, 40-53.

Isaac Newton: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. Perpetuis commentariis illustrata, communi studio PP. Thomae Le Seur & Francisci Jacquier. Editio nova, summa cura recensita.* Vol. 1. Glasgow 1822.

Isaac Newton: *Mathematische Principien der Naturlehre*. Mit Bemerkungen und Erläuterungen herausgegeben von J. Ph. Wolfers. Berlin 1872 (Reprint Darmstadt 1963).

Isaac Newton: *Optice: sive de reflexionibus, refractionibus, inflexionibus et coloribus lucis, libri tres*. Latine reddidit Samuel Clarke. Editio novissima. Lausannae & Genevae 1740.

Isaac Newton: *Optik oder Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts*. Übersetzt und hg. v. William Abendroth. Leipzig 1898 (Reprint Braunschweig 1983).

Isaac Newton: *The Correspondence of Isaac Newton*. Vol. 3. 1688-1694. Edited by H. W. Turnbull. Cambridge 1961.

Joseph Priestley: *Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik, vorzüglich in Absicht auf den physikalischen Theil dieser Wissenschaft*. Aus dem Englischen übersetzt und mit Anmerkungen und Zusätzen begleitet von Georg Simon Klügel. Zweyter Theil. Leipzig 1776.

Albrecht Schöne: *Aufklärung aus dem Geist der Experimentalphysik*. Lichtenbergsche Konjunktive. Zweite, überarbeitete Auflage. München 1983.

- 1 Der auf der Tagung der Lichtenberg-Gesellschaft in Ober-Ramstadt 1995 gehaltene Vortrag wurde für den Druck erweitert und ergänzt. Für kritische Lektüre danke ich Peter Brix, Horst Gravenkamp, Friedemann Rex und – last not least – Antje Windhorst, die meine Übersetzungen aus dem Englischen durchgesehen hat.
- 2 Vgl. NSuUB Nachlaß Lichtenberg: Ms. Cod. Lich. IV 31, 559 = Sudelbuch J 1808. (Zählung nach SB.)
- 3 Vgl. NSuUB Nachlaß Lichtenberg: Ms. Cod. Lich. VIII D 2, 4.
- 4 „Mir kömmt noch immer die Eulerische Theorie von der Natur des Lichtes wahrscheinlicher vor als die Newtonische, und es scheint mir, als ob verschiedene Schwierigkeiten bey ihr nicht Statt finden, die bey Newton's Theorie vorhanden sind“, schreibt Erxleben im §. 313. seiner *Naturlehre*. – Zu Eulers Theorie vgl. die Briefe 17-27 im ersten Bande der *Lettres à une Princesse d'Allemagne*. St. Petersburg 1768-1772.
- 5 „In hoc libro conscribendo, non mihi id institutum fuit, ut positis certis hypothesibus, luminis proprietates exinde explicarem; sed ut istas proprietates simpliciter propositas, ratione duntaxat experimentisque comprobarem“ (*Optice*, 1).
- 6 „quae adhuc investigandae restant, circa lumen circaque effectus quos id obtinet in corporibus naturalibus: multa attingens leviter, & quae submonui, aliis examinanda relinquens, & promovenda usque experimentis atque observationibus curiosorum“ (*Optice*, 330).

- 7 „Annon radii luminis exigua sunt corpuscula, e corporibus lucentibus emissa (& refracta Attractionibus quibusdam, quibus Lumen & Corpora in se mutuo Agunt)? Etenim istiusmodi corpuscula per media uniformia transmitti debebunt in lineis rectis [...]; quo quidem modo transmittuntur radii luminis. [...] Corpora pellucida agunt in radios luminis, per intervallum aliquod interjectum; quum eos refringunt, reflectunt, & inflectunt: radiique vicissim corporum istorum particulas, per interjectum aliquod intervallum, agitant [...]: atque haec quidem actio & reactio, quae est per intervallum aliquod interjectum, ad vim attrahentem corporum valde admodum videtur similitudine accedere. Si refractionis efficiatur attractione radiorum; consequens erit, ut sinus incidentiae debeant ad sinus refractionis in data esse proportione; sicuti in *Principiis* nostris *Philosophiae* ostensum est: atque haec quidem regula, experientia comprobatur“ (*Optice*, 298 f.) – Die in () gesetzte Passage: „& refracta Attractionibus quibusdam, quibus Lumen & Corpora in se mutuo Agunt“ steht nur in der *Optice* von 1706 und ist in allen späteren Ausgaben gestrichen. Vgl. *Optice* (1706), 315.
- 8 Die Zentripetalkraft definiert Newton in Def. 5. von Lib. 1 der *Principia* als eine Kraft, „quâ corpora versus punctum aliquod tanquam ad Centrum undique trahuntur, impelluntur, vel utcunque tendunt [durch die Körper gegen irgendeinen Punkt als Centrum gezogen oder gestoßen werden, oder auf irgendeine Weise dahin zu gelangen streben]“. – Als Beispiele für solche Kräfte nennt Newton: „Gravitas, quâ corpora tendunt ad centrum terrae [...] et Vis illa, quaecunque sit, quâ Planetæ perpetuo retrahuntur a motibus rectilineis, et in lineis curvis revolvi coguntur [die Schwere, vermöge welcher Körper sich dem Erdmittelpunkt zu nähern suchen [...] und jene Kraft, welche es auch immer sei, durch welche die Planeten beständig von der geradlinigen Bewegung abgezogen und gezwungen werden, sich in krummen Linien zu bewegen]“.
- 9 „De motu corporum minimorum, quae viribus centripetis ad singulas magni alicujus corporis partes tendentibus agitantur“.
- 10 Newton löst das Problem auf folgende Weise (Prop. 94. Theor. 48. und Prop. 95. Theor. 49.): Man denke sich zwischen den beiden Medien eine neutrale, von zwei parallelen Ebenen begrenzte Zone, innerhalb derer die Korpuskeln senkrecht gegen eines der beiden Mittel gezogen oder gestoßen werden und stelle sich vor, daß dort eine konstante Kraft auf sie wirkt. Dann beschreiben die Korpuskeln innerhalb der neutralen Zone eine (Wurf-)Parabel, deren konvexe Seite dem dichteren Medium zugewandt ist („et primò si attractio vel impulsus ponatur uniformis, erit (ex demonstratis Galilaei) curva parabola“). Aus den geometrischen Eigenschaften der Parabel aber folgt, daß der Sinus des Einfallswinkels auf die erste der beiden Ebenen zum Sinus des Austrittswinkels aus der anderen Ebene in einem konstanten Verhältnis steht („quod sinus incidentiae in planum alterutrum erit ad sinum emergentiae ex plano altero in ratione datâ“). Newton zeigt, daß das auch dann gilt, wenn die Korpuskeln durch beliebig viele solcher Zonen nacheinander gehen und in jeder Zone eine andere (konstante) Kraft wirkt. Werden dann die gegenseitigen Abstände der Ebenen vermindert und ihre Anzahl ins Unendliche vermehrt, so wird die Wirkung der Anziehung kontinuierlich, die Parabel verschwindet und es bleiben nur die beiden Tangenten – die geradlinigen Bahnen bei Eintritt in die neutrale Zone und beim Austritt aus ihr – und das konstante Verhältnis der Sinus („Minuantur jam planorum intervalla et augeatur numerus in infinitum, eò ut attractionis vel impulsus actio, secundum legem quamcunque assignatam, continua reddatur; et ratio sinus incidentiae in planum primum ad sinum emergentiae ex plano ultimo, semper data existens, etiamnum dabitur“). Zerlegt man die Geschwindigkeit des einfallenden Strahls in eine Horizontalkomponente parallel zur Grenzfläche und eine Vertikalkomponente senkrecht zu dieser Grenzfläche, so ist klar, daß eine zur Eintrittsfläche senkrecht wirkende Kraft nur auf

die Vertikalkomponente dieser Geschwindigkeit wirken kann. Daraus leitet Newton ab, daß sich die Geschwindigkeit der Korpuskel vor Eintritt in das zweite Medium zu der nach dem Austritt aus diesem Medium verhält wie der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Austrittswinkels („quod velocitas corporis ante incidentiam est ad ejus velocitatem post emergentiam, ut sinus emergentiae ad sinum incidentiae“). – Die Geschwindigkeit ist um so größer, je dichter das Medium ist: das Licht ist in dieser Theorie im materieerfüllten Raum also schneller als im leeren.

- 11 „Harum attractionum haud multum dissimiles sunt lucis reflexiones et refractiones, factae secundum datam secantium rationem, ut invenit Snellius, et per consequens secundum datam sinuum rationem, ut exposuit Cartesius“. – (Über die Formulierung des Brechungsgesetzes bei Snellius vgl. Dirk J. Struik im Artikel *Snellius*) in Vol. 12 des *Dictionary of Scientific Biography*, 501.)
- 12 „Et quodocunque lumen sive radios, coloratos vel coloribus imbutos dicere videar“, schreibt Newton, „id semper ita dictum velim, ut non philosophice & proprie, sed ad vulgus id dictum intelligatur; sive congruenter ideis istis, quas vulgus, cum hujusmodi experimenta videant, sibi animo fingere solent. Etenim radii, si proprie loqui velimus, non sunt colorati. In eis nihil aliud inest, nisi potentia quaedam sive dispositio, qua ita comparati sunt, ut sensum hujus vel illius coloris in nobis excitent (*Optice*, 89) [Und wenn ich einmal von Lichtstrahlen als farbigen oder gefärbten Strahlen spreche, so ist dies nicht wissenschaftlich oder im strengsten Sinne zu verstehen, sondern als gewöhnlicher, volkstümlicher Ausdruck, entsprechend der Vorstellung, die sich das gemeine Volk beim Anblick dieser Versuche bilden würde. Denn streng genommen sind die Strahlen nicht gefärbt; in ihnen liegt nichts, als eine gewisse Kraft und Fähigkeit, die Empfindung dieser oder jener Farbe zu erregen (*Optik*, 81)]“.
- 13 „Sinus incidentiae cujusque radii seorsum, est ad sinum refractionis suae in data ratione“ (*Optice*. Lib. 1. Pars 1. Prop. 6. Theor. 5.).
- 14 „Porro, ad colorum varietatem omnem, diversosque refrangibilitatis gradus producendos; nihil aliud opus est, quam ut radii luminis sint corpuscula diversis magnitudinibus: quorum quidem ea, quae sint minima, colorem constituent violaceum, utique tenebricosissimum & languidissimum colorum; eademque omnium facillime, superficialium refringentium actione, de via recta detorqueantur: reliqua autem, ut eorum quodque in magnitudinem excedit, ita colores exhibeant fortiores & clariores, utique caeruleum, viridem, flavum, & rubrum; itemque eadem proportione difficiliter usque & difficiliter de via detorqueantur“ (*Optice*, 300).
- 15 Vgl. dazu auch den Aufsatz von A. Rupert Hall.
- 16 *Concerning the Cause of the different Refrangibility of the Rays of Light*, by Mr. T. Melvill. Read March 8, 1753.
- 17 „In order to account for the different refrangibility of the differently-colour'd rays, Sir Isaac Newton, and several of his followers, have supposed, that their particles are of different magnitudes or densities; but if there be any analogy between the refractive power and gravity, it will produce equal velocities in all particles, whatever their magnitude or density be; and so all sorts of rays would be equally bent from their rightlined direction“ (Melvill 1753, 262).

NB. Für die beschleunigende (ablenkende) Kraft F , die einer Lichtkorpuskel mit der trägen Masse m_t die Beschleunigung b erteilt, gilt: $F_t = m_t \cdot b$. Soll diese Kraft die Gravitationskraft F_g sein, dann gilt, wenn M die Masse des anziehenden Körpers, m_s die schwere Masse der Lichtkorpuskel und r der Abstand zwischen anziehender Masse und Lichtkorpuskel und γ die Gravitationskonstante ist: $F_g = \gamma \cdot m_s \cdot M/r^2$. Also ist: $m_t \cdot b = \gamma \cdot m_s \cdot M/r^2$. Wegen der Äquivalenz von träger und schwerer Masse gilt $m_t = m_s$, und die Beschleunigung b wird $b = \gamma \cdot M/r^2$. Also ist die durch die anziehende Masse erzeug-

te Beschleunigung bzw. Ablenkung unabhängig von der jeweiligen Masse der Lichtkorpuskeln. Aus dem nämlichen Grunde, aus dem alle Körper im Vakuum (also bei Abwesenheit äußerer Kräfte) gleich schnell fallen, werden unter diesen Bedingungen alle Arten von Lichtkorpuskeln gleich beschleunigt bzw. abgelenkt, und es gibt keine Dispersion.

- 18 „that the differently-colour'd rays are projected with different velocities from the luminous body; the red with the greatest, violet with the least, and the intermediate colours with intermediate degrees of velocity“ (Melvill 1753, 262).
- 19 „If two bodies fall, in equal angles of incidence, on a space terminated by parallel planes, in which any power acts perpendicularly to the planes (according to the hypothesis in Prop. 94. Lib. I. of the *Principia*) the ratio of the sines of emergence to the common sine of incidence, and consequently to one another, being given, to determine the proportion of their velocities at the time of their incidence on the first plane“ (Melvill 1753, 263).
- 20 „I could think of no abler judge to consult on these matters, than the author of the »Aberration of light«“, schreibt Melvill in dem Brief, der seine Abhandlung begleitet (Melvill 1753, 261). – Die in den *Philosophical Transactions* entwickelten Gedanken sind im Jahre 1756 noch einmal publiziert worden, und zwar im zweiten Bande der *Essays and Observations* der Medical Society of Edinburgh. Sie bilden dort den sechsten Abschnitt von Melvills *Observations on Light and Colours*. Die Herausgeber merken zu den dort auf pp. 40-53 unter dem Titel *Concerning the Cause of the different Refrangibility of the Rays of Light* wieder abgedruckten Überlegungen an: „Altho' the doctrine contained in this section has been already published in the Philosophical Transactions for 1753, (vid. vol. xlvi. part 1. p. 262, &c.) having been communicated to the Royal Society, by the Author, in a letter to the Reverend Dr. James Bradley D. D. F. R. S.; yet it could not be omitted here, on account of its connexion with some of the queries that follow; besides that it contains several illustrations not to be found in the Transactions“. – Von Thomas Melvills kurzem Leben berichten J. D. North in Vol. 9 des *Dictionary of Scientific Biography* und G.-L. Lesage in einem Brief an d'Alembert vom 12. Juli 1754, abgedruckt in Pierre Prevosts *Notice de la vie et des écrits de George-Louis Le Sage de Genève*. Genève 1805.
- 21 *A Letter from the Reverend Mr. James Bradley Savilian Professor of Astronomy at Oxford, and F.R.S. to Dr. Edmond Halley Astronom. Reg. &c. giving an Account of a new discovered Motion of the Fix'd Stars*.
- 22 Unter der Fixsternparallaxe, genauer, unter der jährlichen Parallaxe π eines Fixsterns versteht man den Winkel, unter dem von diesem Fixstern aus gesehen die große Halbachse a der Erdbahn erscheint. Er ist (wegen der Kleinheit des Winkels) annähernd gleich dem Verhältnis zwischen dieser Achse a und der Entfernung r des Fixsterns von der Sonne: $\pi = a/r$. Der von der (bewegten) Erde aus beobachtete Stern wird im Laufe eines Jahres von den verschiedenen Punkten der Erdbahn an die Himmelskugel projiziert und beschreibt dort eine Ellipse, ein verkleinertes Abbild der Erdbahn. Steht der Stern in der Ekliptik, degeneriert die Ellipse zu einer Geraden, steht er im Pol der Ekliptik, wird sie zu einem Kreis. (Vgl. dazu auch Anm. 28.)
- 23 Einen Stern auszuwählen, dessen Kulminationspunkt (der höchste Punkt seiner scheinbaren Bewegung an der Himmelskugel) nahe beim Zenit (dem Punkt genau senkrecht über dem Beobachter) liegt, hat den Vorteil, daß bei Bestimmung der Zenitdistanz (des Winkels zwischen Zenit und Kulminationspunkt) die astronomische Refraktion (die Verrückung des Sterns infolge der Krümmung der Lichtstrahlen in der Erdatmosphäre) nicht berücksichtigt werden muß.
- 24 Vgl. die Anm. 22 und 28.

- 25 „The great Regularity of the Observations left no room to doubt, but that there was some regular Cause that produced this unexpected Motion, which did not depend on the Uncertainty or Variety of the Seasons of the Year“ (Bradley, 641 f.).
- 26 „[At last I conjectured,] that all the *Phænomena* hitherto mentioned, proceeded from the progressive Motion of Light and the Earth's annual Motion in its Orbit. For I perceived, that, if Light was propagated in Time, the apparent Place of a fixt Object would not be the same when the Eye is at Rest, as when it is moving in any other Direction, than that of the Line passing through the Eye and Object; and that, when the Eye is moving in different Directions, the apparent Place of the Object would be different“ (Bradley, 646).
- 27 Da die Bahngeschwindigkeit v der Erde sehr klein gegen die Lichtgeschwindigkeit c ist, darf man für den Tangens des Winkels den Winkel selbst setzen.
- 28 $\alpha = \varepsilon$, wenn sich der mit der Erde bewegte Beobachter – wie in der Abbildung – genau senkrecht zur Beobachtungsrichtung bewegt; bewegt er sich *nicht* genau *senkrecht* zu dieser Richtung, geht statt der Geschwindigkeit v die zur Beobachtungsrichtung senkrechte Geschwindigkeitskomponente v_s in das Verhältnis ein. Bewegt sich der Beobachter genau *in* Beobachtungsrichtung, wird die Verrückung Null, das heißt der Stern erscheint an seinem wahren Ort. Im Verlauf eines Jahres beschreibt ein Stern, der zwischen der Ekliptikebene und dem Pol der Ekliptik steht, eine Ellipse, deren große halbe Achse gleich der Aberrationskonstanten ε , und deren kleine Halbachse gleich $\varepsilon \cdot \sin \beta$ ist, d. i. die Aberrationskonstante multipliziert mit dem Sinus der Breite des Sterns. Im Pol der Ekliptik wird die Breite $\beta = 90^\circ$, der Sinus hat also den Wert 1, die beiden Achsen werden gleich groß und die Aberrationsellipse wird zum Kreis; in der Ekliptikebene ist die Breite $\beta = 0$, der Sinus hat den Wert Null, und die Aberrationsellipse degeneriert zu einer Geraden. Für alle Sterne aber hat die große Achse der Aberrationsellipse den Wert 2ε und liegt parallel zur Ekliptikebene; die Größe der kleinen Achse ist abhängig von der ekliptikaln Breite des Sterns. (Vgl. dazu etwa Bode, §§. 615.-618. und die Figg. 133. f.)
- Der von Bradley beobachtete Stern γ Draconis steht nahe beim Pol der Ekliptik, war also eine besonders glückliche Wahl, weil sich die durch die Aberration verursachten Positionsänderungen schon nach wenigen Beobachtungen bemerkbar machten. Daß es sich bei diesen Positionsänderungen nicht um parallaktische Verschiebungen handeln konnte, konnte Bradley nicht nur an der Größe der scheinbaren Verschiebung bemerken, sondern auch daran, daß die Bewegung in einer zur parallaktischen Verschiebung entgegengesetzten Richtung erfolgte: der Stern nimmt in der Aberrationsellipse erst ein Vierteljahr später die gleiche Position ein, wie in der Parallaxenellipse. (Vgl. dazu Bode, §§. 621. und Fig. 134.). Bradley war sich seiner Sache aber erst dann völlig sicher, als er eine Reihe weiterer Sterne beobachtet hatte und feststellte, daß bei allen die große Achse dieser jährlichen Aberrationsellipse konstant gleich $40,5''$ war. Bei der parallaktischen Ellipse dagegen hätte sie von Stern zu Stern verschieden sein müssen, denn je weiter ein Stern entfernt ist, desto kleiner muß deren große Achse sein. – Bradley gibt als Mittelwert der Aberrationskonstanten $\varepsilon = 20,25''$ an; das Licht braucht nach seinen Angaben von der Sonne zur Erde $8^m 12^s$. Nimmt man für die Sonnenparallaxe den damals gängigen Wert von $9,5''$, so ergibt das eine Lichtgeschwindigkeit von $c = 281700$ km/s; mit dem von Gehler benutzten Wert für die Sonnenparallaxe von $8,5''$ wird $c = 314830$ km/s. Für die Parallaxe von γ Draconis nimmt Bradley einen Wert von weniger als $1''$ an. (Die größte Fixsternparallaxe ist die von α Centauri mit $\pi = 0,75''$; die Größe der Parallaxe für γ Draconis ist $\pi = 0,017''$.)
- 29 Das heißt, gemäß dem Verhältnis v/c . Vgl. Anm. 27.

- 30 Dieses „Spektrum“ liegt stets auf der Verbindungslinie zwischen wahrem und scheinbarem Ort des Sterns.
- 31 „By Dr. Bradley’s beautiful theory of the aberration of light, the stars appear to be removed from their true place to a certain distance, according to the proportion which the transverse motion of the spectator’s eye bears to the velocity of light. It is plain therefore, that, on our hypothesis, any star must have a different apparent place for every different colour; that is, its apparent disk must be drawn out by the aberration into a longitudinal form, resembling the prismatic spectrum, having its red extremity nearest its mean place. In the stars situated about the pole of the ecliptic, its length should continue always the same, tho’ directed along all the different secondaries of the ecliptic in the course of a year: but in those which lie in or near the plane of the ecliptic, it should be greatest at the limits of the eastern and western aberrations, the star recovering its colour and figure, when the true and mean place coincide“ (Melvill 1753, 266 f.).
- 32 „But there is no hope of discovering, whether our system be true or false“ (Melvill 1753, 267).
- 33 Erde, Sonne und Jupiter bilden dann miteinander einen rechten Winkel, in dessen Scheitel die Sonne steht. Der Abstand des Jupiter von der Sonne beträgt unter dieser Bedingung 5,2 AE, der von der Erde 5,3 AE. (1AE = mittlere Entfernung Erde-Sonne = 149597870 km.)
- 34 „Immersion“ nennt man das Eintauchen des Mondes in den Schatten; das Auftauchen heißt „Emersion“.
- 35 „The time which the extreme violet light takes in arriving from any distance to the eye, will be to that which the extreme red takes in coming from the same, as 78 to 77. If Jupiter be supposed in a quadrature aspect with the sun, in which position the eclipses of his satellites are most commodiously observed, his distance from the earth being nearly equal to his distance from the sun, light takes about 41' in passing from him to the earth; therefore the last sensible violet-light, which the satellite reflects before its total immersion into Jupiter’s shadow, ought to continue to affect the eye for a 77th of 41'; that is, about 32'' of time after the last sensible red light is gone. It is therefore a certain consequence of our hypothesis, that a satellite, seen from the earth, ought to change its colour about half a minute before its total immersion, from white to a livid greenish colour; thence into blue, and lastly vanish in violet. I need hardly observe, that the same phaenomenon must take place in the time of emersion by a contrary succession of colours, beginning with red, and ending in white.
If this phaenomenon be perceived by astronomers, we shall have a direct proof of the different velocities of the differently-colour’d rays, and, consequently, a mechanical account of their different degrees of refrangibility; for I see not, to what other cause such an appearance could be reasonably ascribed. If be not, we may conclude, that rays of all colours are emitted from the luminous body with one common velocity“ (Melvill 1753, 267 f.).
- 36 James Short’s Bericht steht in den Philosophical Transactions 49. 1 (1753), 268 ff. „This paper“, heißt es dort in Bezug auf Melvill’s Aufsatz, „was delivered to Mr. Short, in order to attend to the particular observation of Jupiter’s satellites recommended by Mr. Melvill, who after some time made the following report to the Society“.
- 37 Bald nach dem Erscheinen von Melvill’s Abhandlung und von Short’s Bericht teilt der französische Mathematiker Clairaut der RS mit, daß der Gegenstand schon von einem seiner Freunde, dem Marquis de Courtivron, in dessen *Traité d’Optique* behandelt worden ist. Clairaut würdigt das Bemühen der beiden Autoren und schreibt:
„Both of these gentlemen thought of accounting for the difference of refrangibility, by the difference of velocity in the rays of light; which, if it really agreed with the obser-

vations, would give a great simplicity to the theory of refraction, as reducing it under the same laws as the theory of gravity.

[Beide Gentlemen haben die Erklärung für die unterschiedliche Brechbarkeit in der unterschiedlichen Geschwindigkeit der Lichtstrahlen gesucht. Das würde, wenn es tatsächlich mit den Beobachtungen übereinstimmte, für die Theorie der Brechung eine große Vereinfachung bedeuten, da sie unter dieselben Gesetze wie die Gravitation gestellt würde]“ (Clairaut 1754, 777).

Clairaut macht aber die RS darauf aufmerksam, daß er das von Melvill aufgeworfene Problem längst gelöst (vgl. Clairaut 1739), und daß sein Freund Courtivron, der von dieser Lösung Gebrauch gemacht habe, zu einem anderen Ergebnis komme als Melvill:

„If p denotes the ratio of the sines of incidence to the sine of refraction for one of the colours, and q the same ratio for any other, $1/(1-pp)$ to $1/(1-qq)$ will express the ratio, which the velocity of the first rays bears to the velocity of the others.

Now, in order to make use of such a theorem, if p and q are made equal to $77/50$ and $78/50$, which are the proportions between the sines of incidence and refraction for the red and violet rays, the ratio of the velocities sought will come out in even numbers, that of 45 to 44, which differs entirely from Mr. Melvill's.

Thus, if Mr. Short's observations have led him to conclude, from Mr. Melvill's principles, that the difference of refrangibility cannot be caused by the difference of velocities (when the motion of light is performed in the manner of a projectile), how surer may not his assertion be after Mr. de Courtivron's calculation, since they give a difference of time considerably greater?

[Wenn p das Verhältnis des Einfallssinus zum Brechungssinus für eine der Farben bezeichnet und q dasselbe Verhältnis für eine andere, dann wird $1/(1-pp)$ zu $1/(1-qq)$ das Verhältnis ausdrücken, das die Geschwindigkeit des ersten Strahls zu der des anderen aufweist.

Um nun Gebrauch von solch einem Theorem zu machen: wenn p und q gleich $77/50$ und $78/50$ gesetzt werden, also gleich den Verhältnissen zwischen den Einfalls- und Brechungssinus für die roten und die violetten Strahlen, dann wird das gesuchte Verhältnis der Geschwindigkeiten in ganzen Zahlen ausgedrückt wie 45 zu 44, was sich gänzlich von demjenigen des Herrn Melvill unterscheidet.

Folglich, wenn seine Beobachtungen Herrn Short dazu gebracht haben, aus Herrn Melvills Prinzipien den Schluß zu ziehen, daß die unterschiedliche Refrangibilität nicht durch Unterschiede der Geschwindigkeiten verursacht sein kann (wenn die Bewegung des Lichts sich nach der Art von Geschossen vollzieht), wieviel sicherer kann nicht seine Behauptung nach Herrn de Courtivrons Berechnung sein, da sich eine beachtlich größere Zeitdifferenz ergibt?]“ (Clairaut 1754, 779 f.).

Courtivron behandelt das von Melvill aufgeworfene Problem in Part. 1 Chap. 2., Art. 12. („Supposition sur les rapports des sinus d'incidence & de réfraction des rayons de différentes sortes“) und Art. 13. („Rapport de la vitesse du rayon rouge à celle du rayon violet“) seines *Traité d'Optique*. Im Artikel 14. erörtert er die sich daraus ergebende Verfärbung bei Immersion und Emersion der Jupitermonde und die Möglichkeit von deren Beobachtung. In einer Anmerkung in Priestleys *Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik* sagt Klügel: „Melvilles und des Marquis Hypothesen sind eigentlich einerley; jener aber hat unrichtig gerechnet, dieser richtig“ (Priestley, 292, Note f.). – Clairaut und Courtivron verwenden beide die Brechungsindizes, die Newton in *Optice*. Lib. 1. Pars 1. Prop. 7. Theor. 6. für die Brechung beim Glas bestimmt hat.

38 „When you observe ye eclipses of Jupiter's satellits I should be glad to know if in long Telescopes ye light of ye Satellit immediately before it disappears incline either to red

- or blew, or become more ruddy or more pale then before“ (Newton. *Correspondence* 3, 164).
- 39 „There remains but one particular of your letter to Answer & that relates to Jupiter’s satellits. I am so intent whilst observeing on ye moments they disapeare, that I seldome give heed to such circumstances as you enquire only thus much I can say that they begin to lose their light 2 or 3 minutes before they disappear & grow fainter & duller & smaller till they diminish to a point & vanish. I cannot say that I ever saw any change to a blewish colour or red but duskish when I used a glass of 27 foot. I cannot make use of it now because the planet moves too high but when I doe next I shall be mindful of your Query“ (Newton. *Correspondence* 3, 202).
- 40 Die Korpuskulartheorie des Lichtes ist aber so rasch nicht aufgegeben worden, ihre Anhänger suchten vielmehr nach Auswegen aus dem Dilemma: „Was die Ursache anlangt, welche bewirkt, daß gewisse Lichttheilchen mehr, andre weniger, durch die Brechung abgelenkt werden“, schreibt etwa J. B. Biot, „so läßt sich mit Bestimmtheit darüber nichts angeben. Man könnte versucht seyn zu schließen, daß diese Ungleichheit von einer Verschiedenheit in der Masse oder Geschwindigkeit herrühre; dann aber müßten die Körper, welche in der Brechung einer und derselben Klasse von Stralen übereinstimmen, auch in der aller andern sich gleich kommen. Dies aber findet nicht Statt, wie wir bald durch positive Versuche nachgewiesen sehen werden. So giebt es Körper, welche die grünen Stralen nur eben so stark oder selbst schwächer als andre Körper brechen, während sie die violetten Stralen stärker brechen. Man muß also glauben, daß die chemische Beschaffenheit der Lichttheilchen, vielleicht auch ihre Gestalt, an dieser Erscheinung Theil hat, und bewirkt, daß bei ihrem Hindurchgange durch verschiedene Körper ihre Anziehungen [Affinitäten] dazu nicht in beständigen Verhältnissen unter einander bleiben“ (Biot, 387 f.). Vgl. dazu auch P. S. Laplace. *Traité de mécanique céleste*. Paris 1805. Tome 4. Livre 10. Chap. 1: *De réfractions astronomiques*. – Zur Geschichte der Emissionstheorie insgesamt vgl. Klemm.
- 41 Vgl. die Anm. 35 und 40.
- 42 Vgl. Gamauf, 160-184. – „Jeder Stern am Himmel beweist also die Umwälzung der Erde um die Sonne“, das ist für Lichtenberg die Quintessenz der Bradleyschen Entdeckung (Gamauf, 184).
- 43 Brandes, 21. – Dazu paßt eine Notiz von Johann Friedrich Benzenberg, der zur gleichen Zeit wie Brandes die Lichtenbergsche Astronomie-Vorlesung gehört hat: „Verschiedene wollen den Unterschied der Farben von der verschiedenen Schnelligkeit des Lichts herleiten. Dieses ist aber wohl ungegründet dann müßten wir die weiße[n] Sterne in die Siebenfarben des Regenbogens gehüllt sehen“ (zitiert nach Fabricius). – Vgl. dazu auch L 841: „Séjour hat gemutmaßet, daß das rote Licht mancher Sterne ihre Refraktion affizieren könnte (Bailly Hist. de l’astr. moderne p. 336) wie steht es dabei um die Aberration?“ (NB. Im dritten Bande der *Histoire de l’astronomie moderne depuis la fondation de l’école d’Alexandrie jusqu’à l’époque de M. DCC. LXXXII*. von Jean Silvain Bailly heißt es auf Seite 336: „La lumière de quelques étoiles est colorée; cette couleur peut produire des phénomènes qu’il est utile de connoître. M. du Séjour soupçonne que la réfraction des étoiles pourroit en être altérée. Ce phénomène délicat & très-difficile à saisir, seroit infiniment curieux“).
- 44 In Albrecht Schönes *Aufklärung aus dem Geist der Experimentalphysik* dient J 1808 als Exempel für einen bestimmten Typus von Experiment. Dort heißt es:
 „Daß nun Lichtenbergs konjunktivische Konditionalgefüge, die in den Sudelbüchern ja nicht mehr nur vereinzelt, sondern in ganz außerordentlicher, höchst charakteristischer Häufung auftreten, ihre Pflanzschule tatsächlich auf dem Arbeitsfeld des Experimentalphysikers hatten, läßt der bisher erörterte Typus des Demonstrationsversuchs

allenfalls vermuten. In der Mehrzahl seiner Verwendungsfälle aber wird das »heuristische Hebzeug« dieser grammatischen Konstruktion für Versuche mit durchaus ungewissem Ausgang eingesetzt: für das Experiment also im eigentlichen Sinn des Wortes, das auf Entdeckung zielt. Den Übergang dorthin bezeichnen Fälle, in denen der bedingte Hauptsatz keineswegs mehr ein schon vorab vollständig und sicher Gewußtes mitteilt, der Versuch also nicht mehr nur als »Kompliment« an die Natur erscheint (»Wir wissen ihre Antwort vorher«): »Wenn sich das violette Licht z. B. langsamer bewegte als das rote, so würde[n] sich bei der Aberration verschiedene Farben zeigen müssen nicht wechselnd sonder[n] stet, vielleicht so was wie Doppelsterne«. Hier, meint Schöne, „erscheint das Versuchsergebnis zwar grundsätzlich absehbar. Verschiedene Farben würden [...] sich »zeigen müssen«. [...] Aber im Detail bleibt das Resultat der vorgestellten Bedingung [...] doch offen – »vielleicht so was wie Doppelsterne«“ (Schöne, 90 f.).

„Die sehr feinen *falschen* Bemerkungen sind es“, sagt Lichtenberg, „die [die] Läuterung der Wahrheit aufhalten“ (F 552): Es handelt sich nicht um einen *Versuch*, sondern um eine *Beobachtung*. „Erfahrungen, welche wir mittelst unserer Sinne an den Körpern anstellen“, definiert Gehler, „heißen *Versuche*, wenn wir dabey die Körper nicht bloß in dem Zustande lassen, in welchem sie sich von Natur und ohne unser Zuthun befinden, wenn wir sie vielmehr mit Vorsatz in einen andern Zustand versetzen, um zu sehen, wie sie sich dabey verhalten werden“ (Gehler. *Versuch*, 469). Sowohl die Aberration der Fixsterne, als auch die Verfinsternung der Jupitermonde gehen „von selbst und ohne unser Zuthun“ vor sich; und „Erfahrungen, welche wir mittelst unserer Sinne an den Körpern anstellen“, so wieder Gehler, „heißen *Beobachtungen*, wenn wir dabey die Körper nur bloß in dem Zustande betrachten, in welchem sie sich von selbst und ohne unser Zuthun befinden“ (Gehler. *Beobachtung*, 290).

Schönes Argumentation wird durch diesen Irrtum nicht wesentlich beeinträchtigt, es ist nur bedauerlich, daß das Vergnügen an seiner erhellenden Untersuchung durch solche „falschen Bemerkungen“ ein wenig getrübt wird. (An einer anderen Stelle, auf Seite 93 seines Buches, interpretiert er Probleme der Himmelsmechanik, also durch *Rechnung* zu lösende Aufgaben, als „Experimente, die mit Rücksicht auf die versuchs-technischen Möglichkeiten der Zeit nicht ausführbar waren oder in der Realität prinzipiell nicht möglich, etwa durch ein entgegenstehendes positives Naturgesetz ausgeschlossen sind“.)