

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 20**

Reprint der Bände 20 und 205

**Versuche mit dem
doppeltbrechenden isländischen
Kristall**

Abhandlung über das Licht

**Erasmus Bartholinus
Christian Huygens**

Verlag Harri Deutsch

OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 20



Erasmus Bartholomaeus
13.8.1625—4.11.1698



Christian Huggens
14.1.1629—2.7.1695

OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN

Band 20

Reprint der Bände 205 und 20

Versuche mit dem
doppeltbrechenden isländischen Kristall,
die zur Entdeckung einer wunderbaren und
außergewöhnlichen Brechung führten
(1669)

Erasmus Bartholinus

Abhandlung über das Licht

Warin die Ursachen der Vorgänge bei seiner Zurückwerfung
und Brechung und besonders bei der eigentümlichen Brechung
des isländischen Spates dargelegt sind
(1690)

Christian Huygens

Einführung
Johannes Grebe-Ellis



Verlag Harri Dostsch

Bildungsreihe Geographie Der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzichtet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie, digitalisierte Kartografie
Dieser sind im Internet über <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:5:1-63973-p0011-7>

ISBN 978-3-8171-3423-6

Jede Vervielfältigung außerhalb des Grenzen der Urheberrechtsgesetze ist ohne
Zustimmung des Verlags strafbar und strafbar. Das gilt insbesondere für
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und für die Einspeicherung
und Verarbeitung in elektronischen Systemen

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig geprüft. Dennoch übernimmt der
Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und
Kartellagen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Das Druckwerk wurde freundlicherweise von der Bibliothek des Instituts für
Geschichte der Naturwissenschaften der Universität Frankfurt/M. zur Verfügung
gestellt.

© Wissenschaftlicher Verlag Harz GmbH
Frankfurt am Main, 2011

1. Auflage 2011

Druck: Risch - Buch Drucker GmbH, Schmitt
Printed in Germany

Inhalt

J. Grebe-Ellis	
Bild und Strahl	
Perspektiven der Optik bei Bartholinus und Huygens	VII
Erasmus Bartholinus	
Versuche Mit dem doppelbrechenden isländischen Kristall, die zur Entdeckung einer wunderbaren und außergewöhnlichen Brechung führten	1
Vorwort	3
Übersetzung des lateinischen Textes	5
Christian Huygens	
Abhandlung über das Licht, Worauf die Ursachen der Vorgänge bei seiner Zurückwerfung und Brechung und besonders bei der ungewöhnlichen Brechung des isländischen Spätes dargelegt sind	35
Vorrede	37
Inhaltsverzeichnis der Abhandlung	39
Kapitel I	
Ueber die geradlinige Ausbreitung der Strahlen	43
Kapitel II	
Ueber die Reflexion	60
Kapitel III	
Ueber die Brechung	64
Kapitel IV	
Ueber die atmosphärische Strahlenbrechung	77
Kapitel V	
Ueber die eigenthümliche Brechung des isländischen Spätes	83

Kapitel VI.

Ueber die Gestalt der durchsichtigen Körper, welche zur Brechung und Zurückwerfung dienen 123

Anmerkungen 141

**Bild und Strahl –
Perspektiven der Optik bei
Bartholinus und Huygens**

Johannes Grebe-Ellis

I. Einleitung	IX
II. Bild und Strahl in der <i>Optik</i> Newtons	XII
III. Bild und Strahl bei Bartholinus und Huygens	XVIII
1. Ein Blick auf Bartholinus' <i>Versuche</i>	XX
2. Ein Blick auf Huygens' <i>Abhandlung</i>	XXVI
IV. Das <i>phénomène merveilleux</i>	XXVIII
1. Doppelbilder	XXX
2. Doppelbilder von Doppelbildern	XXXII
3. Die Verallgemeinerung des <i>phénomène merveilleux</i>	XXXVIII
V. Das Lichtspurenvierseit	XXXIX

I. Einleitung

Die erste und bisher einzige deutsche Übersetzung der *Versuche mit dem doppelbrechenden isländischen Kristall* von Erasmus Bartholinus aus dem 1669 in Kopenhagen veröffentlichten lateinischen Original wurde von Karl Münteiner angefertigt und erschien 1922 als Band 205 in der Reihe der Ostwalds Klassiker. Das Büchlein ist seit langem vergriffen und die Frage nach einer Neuauflage veranlasste den Verlag zu dem Vorschlag, den Text des Bartholinus, eine aus siebzehn Versuchsbeschreibungen und zehn Lehnsätzen bestehende Untersuchung, mit der berühmten *Abhandlung über das Licht* seines Freundes Christian Huygens zu einem Doppelband zusammenzufassen.¹ Dieser wird hiermit vorgelegt. Die editorische Verknüpfung der Texte liegt aus verschiedenen Gründen nahe: Sie sind in der zweiten Hälfte eines Jahrhunderts entstanden, an dessen Beginn die optischen Schriften Keplers stehen, in dessen erster Hälfte Descartes seine *Dioptrik* verfaßt und an dessen Ende Newton das Erscheinen seiner *Optik* vorbereitet. Das umfangreichste Kapitel, den Glanz und Mittelpunkt seiner *Abhandlung* widmet Huygens der Entdeckung des Bartholinus. Er erhebt die „eigentümliche Brechung des isländischen Spats“ zum methodischen Prüfstein seiner in den vorangehenden Kapiteln der *Abhandlung* entwickelten Wellentheorie des Lichts. „Ich war gewissermaßen gezwungen, diese Untersuchung anzustellen,“ schreibt er zu Beginn des Kapitels, „weil die Brechungen in diesem Kristall meine vorstehende Erklärung der regelmäßigen Brechung umzustürzen schienen.“ Damit ist die thematische Gemeinsamkeit der Texte, ihre methodische Beziehung und zugleich ihr Unterschied bereits gekennzeichnet. Es handelt sich um Grün-

¹ Die *Abhandlung über das Licht* im französischen Originaltitel *Traité de la Lumière*, von Huygens 1678 verfaßt und 1690 in Leiden veröffentlicht, erschien erstmals in deutscher Übersetzung von Rodolf Mewes und mit Anmerkungen von Ernst Lommel 1890 als Band 20 in der Reihe Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften bei Engelmann, Leipzig, 4. Auflage 1996.

dungsdokumente der physikalischen Optik, die sich in gewisser Weise zueinander verhalten wie Experiment und Theorie, wie Beobachtung und Begriff. Als Texte haben sie darüber hinaus den Rang zeitlos gültiger Zeugnisse der europäischen Wissenschaftskultur erlangt. Die methodische Klarheit und die Schönheit ihrer begrifflichen und sprachlichen Form sind von einer Prägnanz, die nicht nur den Historiker oder den historisch interessierten Physiker, sondern auch diejenigen begeistern kann, die sich für Stile naturwissenschaftlicher Erkenntnis unter wissenschaftsphilosophischen und didaktischen Gesichtspunkten interessiert.

Eine angemessene historische Einordnung² der beiden Texte in die Optik des 17. Jahrhunderts und eine Darstellung ihrer wechselvollen Wirkungsgeschichte kam im Rahmen dieser Einführung nicht gegeben werden.³ Stattdessen möchte ich die Texte unter einem systematischen Gesichtspunkt der Optik betrachten. Dieser betrifft eine charakteristische Verschiedenheit von Bartholinus und Huygens im methodischen Vorgehen bei der Beachtung der phänomenologischen Befunde. Während Bartholinus von der unmittelbaren Anschauung ausgeht und vorwiegend von *Bildern* spricht, die im Durchblick durch den Spalt verdoppelt und verschoben stark gehoben gesehen werden, beruht Huygens' reine Beobachtungen von vornherein auf einer explizit wellen- und stoff-

2. Siehe z.B. Dijksterhuis (2004, 140–176), die Einleitung von Büchwald & Pedersen in Bartholinus (1991, 9–24), James Salter (1981, 221–229), Frankel (1974), Garbo (1954, 33–42).

3. „Habetis ma fata!“ schreibt Lohse über die Texte in seinem Kommentar zu dem Manuskript der *Vermaene* von Bartholinus, das er in den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts in der Dänischen Königlichen Bibliothek zu Kopenhagen entdeckte. „Before they came to full fruition the discoveries of Bartholin and Huygens were doomed to a very long period of incubation.“ (Lohse 1977, 147). Das Manuskript der *Vermaene* weist gegenüber der gedruckten *Vermaene* von 1669 eine etwas andere Reihenfolge der Experimente auf; die zehn Propositionen mit den dazugehörigen Erläuterungen fehlen ganz. Der Text erschien 1977 mit einer englischen Übersetzung von Lohse und aufschlussreichen Anmerkungen von ihm zu historischen und experimentellen Details.

mechanische Lichtvorstellung. Er spricht von *Lichtstrahlen*, die sich mit hoher Geschwindigkeit ausbreiten, an optischen Grenzflächen gebrochen und reflektiert werden und die sich beim Eintritt in den Doppelspat in zwei verschieden stark gebrochene Teilstrahlen aufspalten. – Die erste Perspektive bleibt näher am beobachtbaren Phänomen mit fragt nach den geometrischen Bedingungen der Bildverdopplung; sie wird im Folgenden als *bildoptisch* bezeichnet. Demgegenüber abstrahiert die zweite *strahlenoptisch* genannte Perspektive stärker von der Phänomenologie der Bildentstehung, sie reduziert den Rahmen der Beschreibung auf vorgestellte Strahlverläufe, die typischerweise in Seitenansichten dargestellt sind als Wirkungen der in Analogie zum Schall kugelwellenformig angenommenen Lichtausbreitung betrachtet werden.

Ein markantes Beispiel für die Verwendung der genannten Perspektiven geben die experimentellen Darlegungen und theoretischen Erörterungen Newtons im ersten Buch der *Optik*. Dadurch, dass Newton zwischen bild- und strahlenoptischer Argumentation mehrfach wechselt und den genannten Perspektiven unterschiedliche erkenntnistheoretische Bedeutungen zuweist, treten deren Merkmale besonders prägnant hervor. Ich beginne deshalb mit einer Beschreibung der bild- und strahlenoptischen Betrachtungsweise Newtons in der *Optik* und beziehe die damit gewonnene Unterscheidung im Folgenden auf die *Versuche* von Bartholinus und die *Abhandlung* von Huygens.

Vor diesem Hintergrund möchte ich in einem weiteren Schritt auf eine Entdeckung eingehen, die Huygens am Doppelspat gelang und die ihn auf die Spur der optischen Polarisation brachte: Nachdem er seine Theorie der Lichtbrechung durch die Annahme einer räumlichelliptischen Ausbreitung des Lichtes im doppelbrechenden Medium so modifiziert hatte, dass sie nicht nur den Verlauf des ordentlichen, sondern auch den des außerordentlichen Strahls vorherzusagen gestattete, berichtet er von einer ihm unerklärlichen Erscheinung, dem *phénomène merveilleux*. Dieses besteht in der überraschenden Tatsache, dass der ordentliche und der außerordentliche Strahl, in die sich ein Lichtstrahl beim Durchgang durch einen Doppelspat zerlegt, einem *zweiten* Doppelspat durchlaufen

können, ohne sich, wie Huygens zunächst erwartet hatte, ein weiteres Mal zu zerlegen. Dies ist nur dann der Fall, wenn die Hauptschnitte der Kristalle nicht in derselben Ebene liegen, sondern gegeneinander verdreht werden. Die dabei auftretenden vier Strahlen durchlaufen paarweise verschiedene Stadien der Sichtbarkeit, die in Abhängigkeit des Drehwinkels zwischen Erscheinung und Auslöschung schwankt. – Weyhalb Bartholinus diese Entdeckung bei seiner aussonstern umfassenden Untersuchung des Spaltstrahlungsphänomens, ist rätselhaft, mit die Beobachtung von Doppelbildern eines Lichtbildes durch einen zweiten Spalt findet sich jedenfalls bei ihm kein Hinweis. Dies hat indessen zur Folge, dass man das genannte *phénomène merveilleux*, eine *Act experimentalis crucis* der Polarisation, nur in der strahlenoptischen Perspektive und zudem in einer Knappheit vorge stellt bekommt, die der Schönheit, vor allem aber der Bedeutung des Phänomens für die Polarisations-eigenschaften der Doppelbilder nicht gerecht wird. Es erhebt sich deshalb die Frage nach einer Beschreibung des *phénomène merveilleux* aus der bildoptischen Perspektive des Bartholinus. Eine solche ist erstmals 1964 von Howald-Haller skizziert worden (Howald-Haller 1964). Ich werde sie als Ergänzung der Darlegung zum *phénomène merveilleux* von Huygens in dieser Einführung vorstellen und um einige polarisationsoptische Aspekte erweitern.

Howald-Haller ist bei seinen Untersuchungen am Doppelspalt selbst auf ein bisher nicht beschriebenes Phänomen gestoßen, in dem sich bild- und strahlenoptische Aspekte der Betrachtung in gewisser Weise experimentell verschränken. Es handelt sich um das so genannte *Lichtspaltenversetzen*. Die Beschreibung dieses Phänomens wird den Abschluss der vorliegenden Einführung bilden.

II. Bild und Strahl in der „Optik“ Newtons

An den Beschreibungen der Versuche, mit denen Newton im ersten Buch seiner *Optik* die Grundlage für die Dispersions-theorie der physikalischen Optik legt, fällt auf, dass er wiederholt und unvermittelt zwischen zwei Ebenen der Betrachtung wechselt: einer

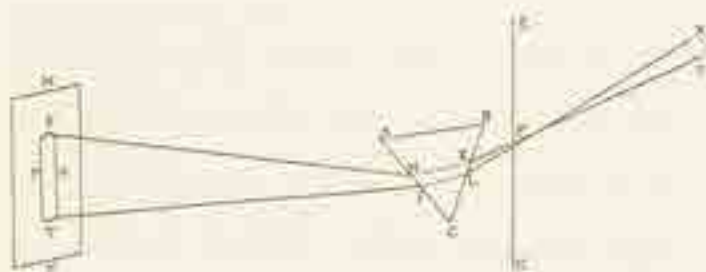


Bild 1: Newtons schematische Darstellung der Grundanordnung zur Erzeugung des Sonnenspektrums (Fig. 13. 3. Versuch zum Beweis von Prop. II im ersten Buch der *Optik*). Im Unterschied zu anderen Darstellungen (vgl. Bild 2) sind hier die *abbildungsoptischen* Verhältnisse eingetrennt, welche die abbildende Funktion der Blende *EFG* hervorheben und verdeutlichen, dass es sich beim Sonnenspektrum *PT* um das *zweite* Prisma *ABC* umgekehrte und gestreckte punktsymmetrisch gespiegelte Bild der Sonne *XY* handelt. Begibt man sich an den Ort des Prisma, kennzeichnen *ZEX* und *KFY* Visierlinien, welche den Raumbereich begrenzen, von dem aus die Sonne sichtbar ist. Sie geben folglich den Verlauf der Schattengrenzen hinter der Blende *EFG* in Bezug auf den optischen Kontrast der Sonne an. Der Schattipunkt vor *F* wirkt als Projektionszentrum für das Sonnenbild *PT*.

bildoptisch-geometrischen und einer mechanistisch-physikalischen. Erstere beherrscht die Abschnitte, in denen die experimentellen Verhältnisse und Operationen sowie die zu beobachtenden Phänomene in ihren geometrischen Eigenschaften dargestellt werden. Im Wesentlichen geht es dabei um die abbildungsoptischen Bedingungen, unter denen die Lochkameraabbildung der Sonne zustande kommt, d.h. um den funktionalen Zusammenhang zwischen scheinbarem Sonnendurchmesser, Blendenweite, Geometrie des verwendeten Prismas, dem Abstand zwischen Blende und Prisma zur Wand und der Größe des Sonnenbildes (vgl. Bild 1). Die zentralen Begriffe in diesem Zusammenhang sind *Bild der Sonne*, *Bild der Öffnung*, *Kerzsbild*, *Kerzrandes*, *färbiges*, *langliches*, *abgeleaktes*, *gebrochenes* Sonnenbild, *Farbenspektrum der*

Somit schenkt der Durchmesser der Öffnung, dementselbe Newton entwickelt mit diesen Begriffen eine bildoptische Beschreibung der Dispersionsphänomene, die alle Ansprüche an eine phänomenologische Theorie erfüllt: Der funktionale Zusammenhang zwischen den in Frage kommenden Observablen wird durch exakte Beobachtung und Messung aufgeklärt, geometrisch beschrieben und rechnerisch überprüft. Die untersuchten Phänomene sind im Experiment reproduzierbar, manipulierbar und vorhersehbar. – Das auffälligste Merkmal dieses Vorgehens, mit dem Newton in der Tradition der geometrischen Optik steht, besteht indes in dem darin, dass keine expliziten Annahmen über die Natur des Lichts gemacht werden. Eine Abbildung der beobachtbaren Phänomene auf selbst nicht beobachtbare, quasi-mechanische Ursachen mit dem Ziel einer physikalischen Erklärung kommt erst im Wechsel von der bild- zur strahlenoptischen Betrachtung ins Spiel.⁴

In diesem Zusammenhang spricht Newton von *Lichtstrahlen*, die sich *auflösen*, die aus *verschieden brechbaren Strahlen* zusammengesetzt sind, *ein- und austreten*, *vermischen*, *zerstreuen*, *gestülten*, *gebrochen*, *abgelenkt* oder *reflektiert* werden, d. h. die verschiedenen mechanisch vorgestellte Wechselwirkungen erfahren. Diese sind allerdings, wie die Lichtstrahlen selbst, nicht direkt beobachtbar. Sie werden von Newton aber auch nicht, wie etwa von Kepler, vorwiegend als geometrische Operatoren verwendet. Vielmehr wird ihnen durch die Formulierungen, mit denen sie zu den Observablen in Beziehung gesetzt werden, selbst ein quasi-empirischer Status zugesprochen. Gleichzeitig lässt Newton keinen Zweifel daran, dass Lichtstrahlen als die zugrundeliegenden, tatsächlichen Bestimmtheits des Bildes anzusehen sind. Im Axiom 7 heißt es: „Wo immer die von allen Punkten eines Objekts kommenden Strahlen, nachdem sie durch Reflexion oder Brechung

4. Der Wechsel zwischen Bild und Lichtstrahl durchzieht große Teile des ersten Buchs der Optik. Besonders aufschlussreich sind u. a. die folgenden Passagen: Axiom 7 und 8, die Versuche 3–6 sowie Aufgabe 1 zu Proposition IV.

konvergent gemacht sind, in ebenso vielen Punkten zusammen-
treffen, da erzeugen sie auf einem weißen Körper, auf den sie fal-
len, ein Bild des Objekts.“ „Unter Lichtstrahlen“ so Newton in der
ersten Definition des ersten Buches der *Optik*: „verstehe ich die
kleinsten Teilchen des Lichts – [...] Das kleinste Licht oder Licht-
teilchen, welches getrennt von dem übrigen Lichte für sich allein
aufgefangen oder ausgesandt werden kann, oder allem etwas tut
oder erleidet, was das übrige Licht nicht tut, noch erleidet. – dies
nenne ich einen Lichtstrahl.“⁵

Diesen Lichtstrahl über die funktionale Beziehung zwischen
seiner Farbe und seinen Brechungseigenschaften als nicht weiter
zerlegbaren Bestandteil des Sonnenlichts zu identifizieren und
messbar zu machen, ist das erklärte Ziel Newtons im ersten Buch
der *Optik* (vgl. Bild 2). Inwiefern ihm vorgetaucht werden kann,
seiner ausdrücklichen „Absicht, in diesem Buche die Eigenschaf-
ten des Lichts (nicht) durch Hypothesen zu erklären, sondern nur
sie anzugeben und durch Rechnung und Experiment zu bestäti-
gen“, nicht konsequent genug gefolgt zu sein, ist verschiedentlich
kritisch erörtert worden.⁶ In einer Nebenbemerkung zur zweiten
Definition über die Brechungseigenschaften der Lichtstrahlen
grenzt er sich gegen die „Mathematiker“ ab – gemeint sind die

5. Newton (1996, 33. Eine weiterführende Definition beginnt Newton im
zweiten Teil des ersten Buchs mit dem Hinweis, dass seine Rede von
„Lichtstrahlen als farbigen oder gefärbten Strahlen“ nicht wissenschaft-
lich, sondern als vollständiger Ausdruck zu verstehen sei (Newton
1996, 81). Im Folgenden werden – gemäß der Lehre von den *primären*
und *sekundären Qualitäten* – alle wahrnehmungsbezogenen Aspekte
des Lichtstrahlkonzepts auf selbst nicht wahrnehmbare Bewegungen
zurückgeführt. „Denn ebenso wie der Schall einer Glocke oder Saite
[...] nichts anderes ist, als eine zitternde Bewegung des Körpers [...], so
sind die Farben an den Objekten nichts anderes, als die Fähigkeit, diese
oder jenen Strahlenerreichter zu reflektieren als die andere, und in
den Strahlen nichts anderes als ihre Fähigkeit, diese Bewegung bis in
unser Empfindungsorgan zu verbreiten, und im letzteren die Empfin-
dung dieser Bewegungen in Gestalt von Farben.“ (ebd.)

6. Vgl. z. B. Dijksterhuis (1956), Salmon (1981, 278–297).

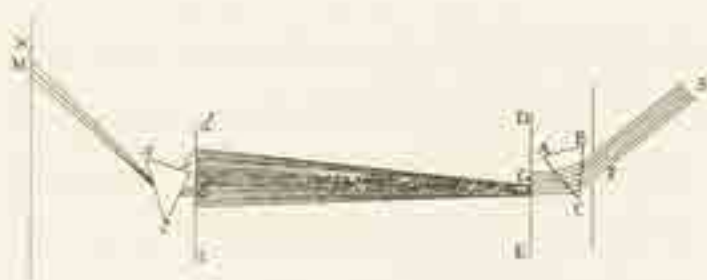


Bild 2: Newtons Skizze zum *experimentum crucis*, mit dem die unterschiedliche Brechbarkeit verschiedenfarbiger Strahlen nachgewiesen wird (Fig. 18, 6. Versuch zum Beweis von Prop. II). Im Gegensatz zu Bild 1 hat Newton hier nicht die Abbildungsoptik dargestellt; die durch die sämtlichen Verhältnisse der Hindleneinrichtung relativ zum scheinbaren Sonnendurchmesser festgelegt ist. Vielmehr hat er Strahlen eingezeichnet, die andeuten sollten, dass sich die Sonne in großer Entfernung befindet (paralleler Einfall) und wie man sich die Selektion (Blende *g*) aus dem entwickelten Spektrum und die Analyse der selektierten Strahlen durch das zweite Prisma *abc* bei Drehung des ersten Prismas *ABC* vorstellen kann. Unklar ist, weshalb das von rechts einfallende Strahlenbündel durch das erste Prisma zwar eine Ablenkung aber keine Aufspaltung erfährt, was es wegen der unterschiedlichen Brechbarkeit der Sonnenstrahlen zu erwarten wäre. Ebenso fraglich ist der Bruch in der Strahlendarstellung an der Blendeöffnung *G*. In der Divergenz des von dort aus sich in Richtung der zweiten Blende entfallenden Spektrums macht sich die Raumwinkelgröße des scheinbaren Sonnendurchmessers geltend, die aber in der Darstellung des Lichteinfalls durch parallele Strahlen gerade unterdrückt ist. Abbildungsoptisch betrachtet, entfällt die Lichtblende *DGE* auf der Blende *g* mit farbigem und in die Länge gezogenem Lochkammerbild der Sonne (Sonnenpektrum). Für die Selektionslochblende *g* wirkt die Abbildungslochblende *G* wie eine Punktlichtquelle, so dass auf dem Schirm in *MN* ein einigermaßen scharfes und je nach Hindleneinrichtung *g* einfarbiges Schattenbild der Selektionsblende zu erwarten ist.

Vertreter der geometrischen Optik in der Tradition Euklids und Alhazens. Diese würden gewöhnlich die Lichtstrahlen als Linien betrachten, die vom leuchtenden Körper bis zum erleuchteten reichen; insbesondere würden sie annehmen, dass „die Ausbreitung des Lichts eine augenblickliche ist.“ 1676 hatte Ole Rømer, ein Schüler des Bartholomäus, seine Zeitvergleiche über die Verfinsternung der Jupitermonde veröffentlicht und damit den ersten experimentellen Nachweis für die Endlichkeit der Geschwindigkeit erbracht, mit der sich Licht ausbreitet. Dieser für die Entwicklung der physikalischen Optik eminent wichtigen Entdeckung wollte Newton mit einer möglichst allgemeinen Definition des Lichtes Rechnung tragen: „Deshalb habe ich für gut befunden, Lichtstrahlen und Brechungen so allgemein zu definieren, dass sie auf das Licht in jedem Falle passen.“⁷

Mit seinem Vorgehen, Phänomene durch Mechanisierung einer mathematischen Behandlung zugänglich zu machen, prägt Newton in methodischer Hinsicht ein Erkenntnisverfahren, das weit über die Begründung der physikalischen Optik hinaus zum Vorbild erfahrungsbasierter Erkenntnisgewinnung schlechthin werden sollte.⁸

Dass er dieses Vorgehen an der Optik exemplifiziert, indem er die bildoptischen Erkenntnisse seiner Zeit unter das vereinheitlichende Regime quasi-mechanischer Begriffe stellte, war indessen für die spätere Entwicklung der Optik nicht nur von Vorteil. Zum Einen blieb sie dem Vorbehalt ausgesetzt, kein auf empirisch di-

⁷ Aufschlussreich für die Entwicklung von Newtons Vorstellungen über die Natur des Lichts sind seine begrifflich tastenden Ausführungen in der Abhandlung *A new Theory about Light and Colours* von 1672. Er beruht dort den Verlauf der Lichtstrahlen nach dem Durchgang durch ein Prisma auf die Bedingungen, unter denen die Flugbahn eines Tennisballs nicht geradlinig, sondern gekrümmt verläuft und erwägt als Ursache für die Ablenkung der Lichtstrahlen unter der Annahme, dass diese „mit kugelförmigen Körperchen besetzen“ (Newton 1978: 30), eine Art optischen Magneteffekt.

⁸ Vgl. z.B. Pfämk (1919, 903ff.), Weizsäcker (1990, 11ff. und 80ff.).

rekt überprüfbareren Sätzen aufgebauter Zweig der Physik zu sein.⁹ Durch die physikalische Vereinheitlichung des Lichtstrahlmodells blieben zum Anderen, gerade auf dem Gebiet der Dispersionsoptik, die in *abbildungsoptischer* Hinsicht sich ergebenden Klassen geometrisch isomorpher Spektralphänomene auf einen Spezialfall beschränkt: das klassische Spaltspktrum im Dunkelfeld – eine Verzeichnung der tatsächlichen, experimentell überprüfbareren und hochsymmetrischen Struktur spektraler Phänomene, die bis in heutige Lehrbuchdarstellungen überlebt hat.¹⁰

III. Bild und Strahl bei Bartholinus und Huygens

Ein Vergleich der *Verfuche* von Bartholinus und der *Abhandlung* von Huygens in Bezug auf den methodischen Gesichtspunkt, der im vorangegangenen Abschnitt an dem Vorgehen Newtons in der *Optik* entwickelt wurde, muss zuerst berücksichtigen, dass die Intentionen der Texte und damit auch ihr Aufbau verschieden ist. Bartholinus' Ziel ist es, die Schritte seiner experimentellen Untersuchungen mitzuteilen und seinen phänomenologischen Ergebnissen eine Form zu geben, die ermöglicht, eine theoretische, d.h. me-

9 Dazur äußerte sich auch nicht durch die Neuformulierung der physikalischen Optik im Rahmen der Maxwell'schen Strahlungstheorie: „Classical optics is not based on empirical laws but on a hypothesis, i.e., the wave theory. Since electric and magnetic fields of a light beam, its frequency and phase are unobservable quantities, the wave theory is not a logical foundation of optics.“ (Mueller 1948; 56f); vgl. auch Collett (1993; xiv). Als observablenbasierte Beschreibung von Polarisationszuständen haben seit ihrer Wiederentdeckung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts die 1850 von Stokes entwickelten Parameter-Bedeutung erlangt, vgl. auch die *Matrix-Optik* von Mueller und Jones (s. z.B. Collett 1993; Brodieau 1998).

10 Zur kritischen Würdigung und zur abbildungsoptischen Verallgemeinerung des *experimentum crucis* Newtons siehe Holtmark (1970) und Rang (2009).

chronistische Erklärung der Doppelbrechung daran anzuknüpfen.¹¹ Zwar lässt er seine Beobachtungen, dem mathematischen Vorbild folgend, abschließend in eine Folge von Lehrsätzen zusammen, an deren Beweis er unter Bezugnahme auf die *Dioptrik* des Descartes von zwei Hypothesen Gebrauch macht. Ferner stellt er einige Mutmaßungen darüber an, weshalb ihm der Doppelspat geeignet erscheint, die Hypothesen der Korpuskulartheorie zu bestätigen. Er ist sich aber bewusst, dass damit noch keine Erklärung im Sinne einer erfolgreichen Deduzierbarkeit der Phänomene aus Annahmen über die Natur des Lichts gegeben ist.

Demgegenüber ist Huygens' Anliegen in der *Abhandlung* kein vorrangig experimentelles, sondern ein explizit theoretisches. Sein Ziel ist es, die grundlegenden, bisher nur geometrisch beschriebenen Eigenschaften des Lichts, Ausbreitung, Reflexion und Brechung auf eine mathematisch ausformulierte quasi-mechanische Theorie des Lichts zurückzuführen. Der argumentative Weg, den er dabei verfolgt, indem er die Lichtausbreitung in Analogie zur Schallausbreitung denkt, und die wiederholte Reflexion auf die erkenntnistheoretische Struktur seiner Argumentation zwischen empirischem Faktum, geometrischer Deutung, Hypothese und Prüfung derselben am konkreten Fall machen die *Abhandlung* zu einem frühen Vorbild für das Erkenntnisverfahren der mathematischen Physik.

Mit Rücksicht auf die damit angedeutete Verschiedenheit der beiden Texte möchte ich im Folgenden auf die Frage eingehen, inwiefern das methodische Vorgehen von Bartholinus als *bildoptisch* bezeichnet werden kann und welche Ausprägung der *strahlenoptische*, auf physikalische Vereinfachung zielende Denkansatz im Vorgehen von Huygens erfährt.

¹¹ Vgl. die „Beobachtungen zum Beweiz des Vorhergehenden“ in Bartholinus (1922, 265).

1. Ein Blick auf Bartholinus' „Versuche“²¹

Am auffälligsten an Bartholinus' Text, im Vergleich mit der *Abhandlung*, ist der durchgängige Gebrauch des Begriffes Bild (*imago ipsorum*). Alle Versuche (7–17), in denen die doppelbrechende, d. h. zwei Bilder eines gemeinsamen Objektpunktes hervorbringende Eigenschaft des Spats beschrieben wird, handeln von gesehenen Bildern, die in Bezug auf ihr Verhalten unter verschiedenen Operationen mit dem Spat als ruhend und bewegt unterschieden und dementsprechend der regelmäßigen und unregelmäßigen Brechung zugeordnet werden. Dies bedeutet nicht, dass im Zusammenhang mit Beschreibungen zur Bildentstehung nicht gelegentlich auch von Strahlen die Rede ist. Die Propositionen, in denen Bartholinus abschließend seine Beobachtungen zusammenfasst und in der Struktur von Satz und Beweis, mit Bezug auf seine vorangegangenen Experimente erläutert, handeln indessen von Bildern, sie lesen sich wie Axiome einer Bildoptik des Doppelspats.²² Dort heißt es u.a.: *Die Bilder erscheinen doppelt* (1. Satz), *Die Bilder erscheinen von schwächerer Farbe* (2. Satz), *Ein Bild scheint tiefer zu liegen als das andere* (4. Satz), *Das bewegliche Bild muss notwendig immer in Richtung gegen denjenigen Teil des Prismas liegen, der gegen die Tischfläche hin geneigt ist* (7. Satz). – Jeder, der die Gelegenheit hat, sich ein Exemplar des Spats in ausreichender Größe und Reinheit zu beschaffen, kann ihn mit diesen Sätzen aufgestellte Phänomenologie des Doppelspats gewissermaßen parallel zur Lektüre des Texts selbst unmittelbar und Schritt für Schritt nachvollziehen und überprüfen.

Dieser ersten Lektüre, die der methodischen Perspektive der *Versuche* gilt, soll man eine zweite, eingehendere folgen, die sich von der Frage leiten lässt: Was genau bezeichnet Bartholinus als Bild, wie unterscheidet er Bild und Strahl (*linea ab oculis, linea ab objectum, radius visualis*) und welchen geometrischen Ort weist er den Doppelbildern eines durch den Spat gesehenen Objektpunktes

an?

²¹ Bartholinus (1922, 29–35).