

Roman Göbel

Newton's Prismen und Goethes weiße Mitte

Ein Erfahrungsbericht aus dem experimentellen Nachvollzug

*Ist erst eine dunkle Kammer gemacht,
Und finstrer als eine ägyptische Nacht,
Durch ein gar winzig Löchlein
Bringe den feinsten Sonnenstrahl herein,
Daß er dann durch das Prisma dringe,
Als bald wird er gebrochen sein.
Aufgedrösel't bei meiner Ehr'
Siehst ihn, als ob's ein Stricklein wär',
Siebenfarbig statt weiß, oval statt rund,
Glaube hierbei des Lehrers Mund:
Was sich hier aus einander reckt,
Das hat alles im Einem gesteckt.
Und dir, wie manchem seit hundert Jahr,
Wächst darüber kein graues Haar.*

Johann Wolfgang von Goethe¹

1 Einleitung

Die Mechanik Isaak Newtons (1642-1726) gilt in den Schulbüchern der Physik bis heute als ein mustergültiges Beispiel, sowohl für die Mechanik als physikalische Disziplin, als auch für eine ganz bestimmte Art wissenschaftlicher Vorgehensweise. Hinter die Überlieferung, die Newton als den Urvater der Mechanik im modernen Sinne ausweist, tritt jedoch fast immer zurück, dass Newton sich vor allem auch mit optischen Phänomenen wie etwa der Refraktion des Lichts beschäftigt hat. Linsenfernrohre, wie sie seinerzeit Verwendung fanden, zeigten sowohl an den Rändern der Abbildung, als auch an den Umrissen der betrachteten Gegenstände verschwommene farbige Säume, welche die Abbildungsleistung beeinträchtigten. Newton widmete unzählige opti-

¹ Goethe, Johann Wolfgang von: *Literarische Werke*, S. 177.

sche Experimente der Suche nach einer praktischen Lösung für dieses Problem.² Die farbigen Säume, welche an den Fernrohlinsen als Randerscheinung auftraten, zeigten sich für Newton auch am Glasprisma, dort allerdings in einer Weise, welche sie zum zentralen Moment der Abbildung werden lässt. Der Effekt, den Newton am Prisma darzustellen sucht, rührt dabei weder von der geometrischen Gestalt, noch von einer besonderen Beschaffenheit des Glases her, sondern lag nach seiner Auffassung vielmehr in der Natur des Lichtes selbst begründet. Das weiße Licht der Sonne war für Newton aus einzelnen, verschiedenfarbigen Anteilen zusammengesetzt, welche durch optisch wirksame Medien wie etwa Glas wieder in ihre ursprünglich einzelnen Bestandteile aufgetrennt sichtbar gemacht werden können. Mit dieser Annahme löste er eine Kontroverse aus, die von der ersten Veröffentlichung seiner *New Theory about light and colours* von 1672 bis zum Erscheinen der späteren, umfangreicher ausgearbeiteten Fassung seiner *Optik oder Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen und Farben des Lichts*³ im Jahre 1704 andauern sollte und auf verschiedenen Ebenen geführt wurde. Die Kontroverse stand dabei oft auch in engem Zusammenhang mit einer Diskussion über die Reproduktion der Experimente, die Newton zur Geltung seiner Theorie anführt, da diese vielen Experimentatoren aus verschiedenen Gründen nicht in der Weise gelang, wie Newton es vorgeesehen hatte.⁴ Wie Schaffer zeigt, lag dies sowohl an den zum Teil komplizierten Versuchsaufbauten, als auch an der Qualität der seinerzeit verwendeten Prismen, und der generellen Frage, ob diese überhaupt als wissenschaftliche Instrumente anerkannt werden dürfen. Die Prismen, welche zumeist als Spielzeug im Handel erhältlich gewesen sind, waren weder hinsichtlich der Brechkraftverhältnisse, noch hinsichtlich der Reinheit des Glases normiert. Sie zeigten zahlreiche Schlieren, Bläschen und sonstige Unreinheiten, welche den Strahlengang, und damit offenbar die Evidenz der Theorie Newtons beeinflussten. In der Debatte ging

2 In diesem Zusammenhang hatte er beobachtet, dass die farbigen Erscheinungen bei der Reflexion von weißem Licht an verspiegelten Flächen nicht auftraten, sondern nur beim Durchgang durch optische Medien wie etwa Glas. Eine pragmatische Schlussfolgerung aus dieser Beobachtung führte ihn schließlich zur Herstellung eines Spiegelteleskopes, bei dem ein konkav geschliffener Hohlspiegel statt einer Linse die lichtsammelnde Funktion übernahm. Dieses Spiegelteleskop präsentierte Newton am 11. Januar 1672 in Gegenwart des Königs und Robert Hookes, und wurde daraufhin als Fellow in die Royal Society aufgenommen. Vgl. auch: Priestley, Joseph: *Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik*, S. 248, sowie: The Royal Society Library and Information Services, List of Fellows of the Royal Society 1660 – 2006, p. 163.

3 Folgend kurz: *Optik*.

4 Vgl. z.B.: Fischer, Johann Carl: *Physikalisches Wörterbuch* [...], S. 341 in: Nawrath, Dennis: *Die Analyse von Newtons Prismenexperimenten zur Untersuchung von Licht und Farben (1672) mit der Methode der Replikation - Ein Erfahrungsbericht*, S. 75.

es also auch um die Frage der Etablierung von Standards einer bestimmten instrumentellen Praxis.⁵ Newton legt in seiner *Optik* selbst Zeugnis dafür ab, indem er ausdrückliche Bemerkungen zur Qualität der verwendeten Prismen und deren Einfluss auf die Experimente anfügt, welche als indirekte Reaktion auf die Einwände seiner Kritiker gelesen werden können.

Um einen anschaulichen Eindruck von der hier nur sehr verkürzt dargestellten Problematik zu erhalten, sollten die maßgeblichen optischen Versuche und Versuchsaufbauten aus Newtons *Optik* auch experimentell rekonstruiert werden.⁶ Die experimentelle Rekonstruktion, deren Ergebnisse hier wiedergegeben werden sollen, orientierte sich dabei so eng wie möglich an den historischen Bedingungen und Gegebenheiten. So wurde beispielsweise weitestgehend auf zeitgenössisch verwendete Materialien zurückgegriffen, und die Versuchsaufbauten wurden genau nach der überlieferten Anordnung rekonstruiert. Diese Art der Rekonstruktion von historischen Experimentalanordnungen hat sich inzwischen als eigenständige Methode innerhalb der Wissenschaftsgeschichte etabliert. Methodisch unterscheidet sie sich wesentlich von einem bloßen Nachbau der Geräte mit modernen Mitteln, welche unter Rückgriff auf normierte, industriell gefertigte Materialien und Instrumente für Demonstrationsexperimente mit klar definiertem Ausgang durchgeführt werden. Diese Abgrenzung geschieht nicht ohne Grund, denn Prismen, die nach modernen Herstellungsverfahren gefertigt werden, sind hinsichtlich ihrer optischen Güte auf Reinheit optimiert. Dementsprechend sind die Effekte der Refraktion des Lichts im Sinne der Theorie Newtons mit modernen Mitteln um vieles klarer darzustellen. Mit Prismen dieser Beschaffenheit ist es jedoch nicht möglich, die Experimentalsituation in ihrem historischen Kontext angemessenen nachzustellen. Ziel der hier zugrundeliegenden Untersuchungen war daher, Prismen nach historischer Fertigungstechnik und -qualität herzustellen, um den Einfluss der benannten Faktoren auf die Abbildung praktisch nachvollziehen zu können.

5 Vgl. dazu auch: Schaffer, Simon: *Glass work: Newton's prisms and the uses of experiment.*

6 Die Rekonstruktion begann zunächst 2007 innerhalb eines Praktikums zur Experimentellen Wissenschaftsgeschichte im Institut für Geschichte der Naturwissenschaften, Medizin und Technik, Ernst-Haeckel-Haus, und wurde später im Rahmen und mit Mitteln des Sonderforschungsbereiches 482 *Ereignis Weimar – Jena. Kultur um 1800*, Teilprojekt E2: Empirie versus Spekulation? Begriffene und erfahrene Natur, unter der Leitung von Prof. Dr. Dr. Olaf Breidbach und Dr. Heiko Weber fortgesetzt.

2 Newtons optische Versuche

Wie zuvor angedeutet, hat Newton zahllose optische Versuche durchgeführt. Für den hier geschilderten experimentellen Nachvollzug waren jedoch vor allem zwei Versuche mit Glasprismen maßgeblich, welche zur Stützung der Theorie Newtons einschlägig herangezogen werden, die Versuche 3 und 6 seiner späteren *Optik*. Beide Versuche hat er im verdunkelten Zimmer allein mit dem Licht der Sonne durchgeführt. Im ersten Versuch fällt zunächst das Licht der Sonne durch ein kleines Loch im Fensterladen, geht durch ein Glasprisma mit einem brechenden Winkel von 62° , und soll in einem bestimmten Abstand hinter dem Prisma ein Bild auf der Wand erzeugen. Die zeitgenössischen strahlenoptischen Modelle legten an dieser Stelle eine Erwartungshaltung nahe, nach der auf der Wand ein rundes, einfarbiges, dem verkleinerten Abbild der Sonne entsprechendes Bild entstehen sollte. Das Bild, welches an der gegenüberliegenden Wand in ca. $18 \frac{1}{2}$ Fuß Entfernung vom Prisma entstand, war jedoch nach der Beschreibung Newtons nicht rund, sondern länglich oval und farbig, wobei die horizontalen Enden des farbigen Bildes fließend in den Hintergrund der Projektion übergingen. Die Verteilung der Farben in dem ovalen Bild gibt er in der Reihenfolge Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett an.

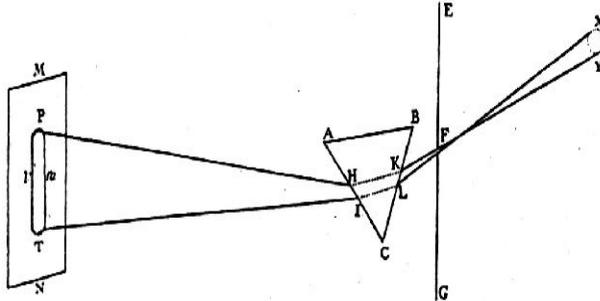


Fig. 13.

Abb. 1: Newtons Darstellung des 3. Versuchs seiner *Optik*

Dieses Bild stellt für Newton jedoch nicht nur eine amorphe Verteilung von farbigen Flecken auf der Wand dar, vielmehr entsprechen diese einer nach dem Grad ihrer Brechbarkeit geordneten Aufreihung verschiedenfarbiger verkleinerter Abbilder der Sonne. Für Newton ist damit bereits eindrücklich bewiesen, dass das weiße Licht der Sonne aus verschiedenen Anteilen spezifischer Brechbarkeit bestehen muss.

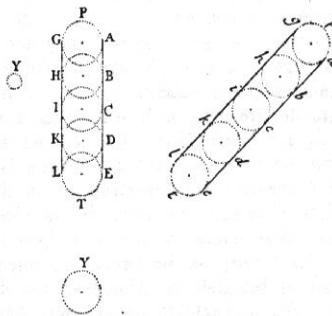


Fig. 15.

Abb. 2: Reihe der farbigen Sonnenabbilder bei Newton

Im Versuch 6 der *Optik* Newtons wird kurz gesagt hinter das erste ein weiteres Prisma in den Strahlengang eingebracht, um die im ersten Prisma bereits gebrochenen Lichtstrahlen einer zweiten Brechung zu unterziehen. Außerdem führt Newton eine Reihe von Lochblenden in den Strahlengang ein, welche ihm in Verbindung mit den entsprechend gelagerten Prismen durch Drehung derselben ermöglichen, die einzelnen Farbanteile des Spektrums zu selektieren und separat ein zweites Mal zu brechen. Neben der Auswahlfunktion soll dadurch der Strahlengang vor dem Eintritt in das zweite Prisma ‚begradigt‘ werden, womit Newton dann auch gewährleistet sieht, dass alle Strahlen im gleichen Einfallswinkel auf das zweite und in diesem Versuch entscheidende Prisma treffen. Damit hat Newton zwei experimentelle Randbedingungen in den Griff bekommen. Zum einen kann er die Lichtstrahlen nach Farben separiert darstellen, und deren Brechbarkeit in Abhängigkeit der Farbe selektiv nachweisen. Zum zweiten kann er die Strahlen vor dem Eintritt in das zweite Prisma durch entsprechende Drehung des ersten Prismas auf einen einheitlichen Eintrittswinkel in das zweite Prisma normieren und damit ausschließen, dass die unterschiedlichen Austrittswinkel der Lichtstrahlen lediglich auf unterschiedliche Eintrittswinkel zurückzuführen sind. Auf der Projektionsfläche sieht der Betrachter nun, dass die Farbanteile auch isoliert verschiedene Stellen auf der Projektionsfläche einnehmen und damit unterschiedlich stark gebrochen werden. Dementsprechend wurden beispielsweise blaue Lichtstrahlen beim Durchgang durch das zweite Prisma stärker gebrochen als rote. Dieses Ergebnis spricht nun unter Einbezug der Normierung und Selektion durch den erweiterten Aufbau für Newton umso deutlicher dafür, dass die unterschiedlich farbigen Anteile des Lichts unterschiedlich stark gebrochen werden.

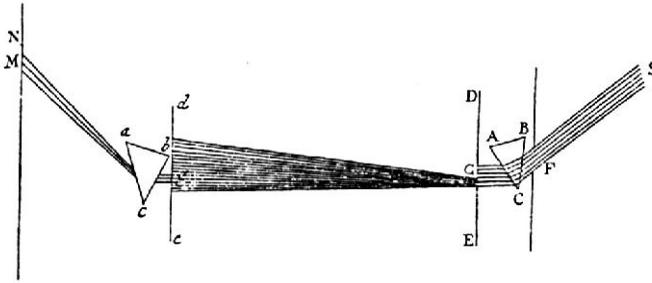


Fig. 18.

Abb. 3: Newtons Darstellung des 6. Versuchs

3 Goethe, Newton und der weiße Keil

Fast einhundert Jahre nach dem Erscheinen der ersten Arbeiten Newtons zur Optik kommt Johann Wolfgang von Goethe während seiner Italienreise mit der italienischen Malerei in Berührung. Dieser Initialkontakt löst in ihm eine besondere Aufmerksamkeit für Farbempfindungen am Himmel aus und vermittelt ihm Einblicke in die Methoden der Farbmischung in der Malerei. Die Eindrücke seiner Reise fallen in eine Zeit, in welcher die Deutung der meisten optischen Phänomene bereits unter dem Monopol der inzwischen etablierten Theorie Newtons steht. Goethe stellt dieses Theoriegebäude nun auf seine Weise erneut in Frage, und setzt ihm eine Deutung entgegen, welche von einem grundlegend anderen Naturverständnis ausgeht. Für Goethe sind die farbigen Erscheinungen am Prisma nur mittelbare Indikatoren einer hintergründig wirkenden, im Kern polar organisierten Natur, und daher überhaupt nicht sinnvoll in der gängigen physikalischen Sprache zu beschreiben.⁷ Für Goethe ist es vielmehr die Wechselwirkung von Licht und Schatten, welche die grundlegende polare Struktur der Natur anzeigt, und die farbigen Effekte in Erscheinung treten lässt, und nicht eine Eigenschaft des Lichtes im Besonderen. In diesem Sinne ist Refraktion für Goethe auch nicht die Aufspaltung des Lichtes in einzelne Farbanteile, sondern lediglich die Verbiegung oder – wie er selbst sagt – *Verrückung* von vormalig geradlinigen Lichtstrahlen durch optisch wirksame Medien, wie etwa Glas. Das Phänomen der Farbentstehung ist dabei also im eigentlichen Sinne nur eine Begleiterscheinung des Aufeinandertreffens polarer Zustände, dem Wechselspiel zwischen Licht und Finsternis an deren jeweiligen Grenzflächen.⁸ So wirkt das Schwarze in das Weiße und an der Grenzfläche erscheint zunächst ein gelbroter Saum, dann die Haupt-

⁷ Vgl. auch: Breidbach, Olaf: *Goethes Naturverständnis*, S. 128 f.

⁸ Goethe: *Zur Farbenlehre*, §§195 f., S. 74.

farbe Gelb. Wirkt dagegen das Weiße in das Schwarze, erscheint an der Grenzfläche die Hauptfarbe Blau, gesäumt von Violett.

Seine Überzeugungen zur Entstehung der Farben sieht der Autodidakt Goethe dabei auch in den Ergebnissen seiner eigenen Rekonstruktion der optischen Versuche Newtons bestätigt. Im Zuge seiner ersten Versuche mit Prismen hatte Goethe unter anderem festgestellt, dass statt der von Newton beschriebenen kontinuierlichen Aufreihung der Farben nur ein heller weißer Fleck mit farbigen Säumen auf der Tafel zu erkennen ist, wenn man diese in kurzer Entfernung hinter dem Prisma aufstellt. Nach seiner Deutung wird darin anschaulich erfahrbar, wie zunächst die Finsternis in das Bild und damit in das Helle hineinwirkt, dabei den unteren, gelben Farbsaum erscheinen lässt, und daran anschließend das Helle aus dem Bild hinaus ins Finstere wirkt, und dabei den oberen, blauen Farbsaum erzeugt. Mit dieser Deutung wandte Goethe sich seinerzeit an einen Physiker, der ihm erklärte, „daß diese Phänomene bekannt und aus der Newtonischen Theorie vollkommen erklärt seien [...] welches alles bei Newton selbst und in den nach seinem Sinn verfaßten Büchern umständlich zu lesen sei.“⁹

Tatsächlich hat Newton in seiner *Optik* durchaus den Fall registriert, dass sich das farbige Bild in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Prisma und Tafel unterschiedlich zeigen kann. Am Ende des ersten Buches seiner *Optik* gibt er eine Beschreibung, welche die von Goethe dicht hinter dem Prisma beobachtete weiße Mitte als einen vom Prisma ausgehenden Keil im Strahlengang in sein Paradigma eingebunden zu erklären vermag. Dieser Keil zeigt sich für Newton in einem gewissen Abstand hinter dem Prisma, in welchem die Farbanteile des Lichts noch ungetrennt sind, und auf der Tafel (im Bild die Linie MN) additiv

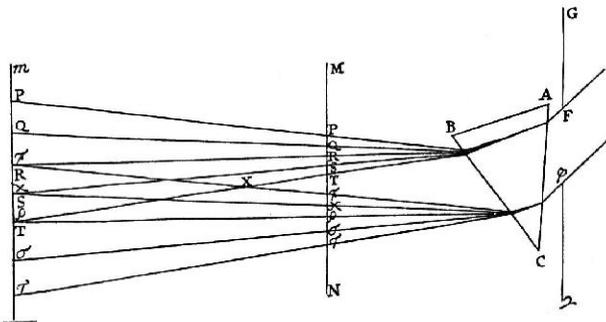


Fig. 41.

Abb. 4: Newtons detailliertere Darstellung des Strahlengangs hinter dem Prisma mit weißem Keil

⁹ Goethe: *Confession des Verfassers*, S. 298.

vermischt als weißes Licht erscheinen. Bewegt man nun die Tafel immer weiter vom Prisma weg, so stellt sich irgendwann ein Punkt ein, an dem alle grundlegenden Farbanteile auseinandertreten und endlich, in Abfolge ihrer spezifischen Brechbarkeit, eine kontinuierliche Reihe ergeben.¹⁰

Goethe hielt Newtons Ausführungen an besagter Stelle jedoch mit Verweis auf die Farbmischung in der Malerei für wenig überzeugend: „Man stelle sich diese Farben liquid vor und sehe, was herauskommt, wenn man sie zusammenstreicht.“¹¹ In diesem Sinne stellt die besagte weiße Mitte für Goethe eines der zentralen Momente seiner Argumentation gegen Newton dar.

In gewisser Weise läuft Goethes Hauptkritik an Newtons Versuchen jedoch leer, da diese eigentlich keinen Punkt trifft, der im Rahmen des Newton'schen Paradigmas nicht konsistent zu beschreiben ist. Viel spannender erscheint bei genauerer Lektüre der *Optik* die Feststellung Newtons, dass sich beim Blick durch ein Prisma auf ein Papier mit schwarzem Fleck auf weißem Grund am Rand des Fleckes die Farben sowohl in ihrer Reihenfolge, als auch in ihrer Anordnung umkehren und damit vollkommen konträr zu der in Newtons zentralen Versuchen angegebenen Weise erscheinen. Dasselbe zeigt sich in dem Bild auf der Leinwand, wenn dicht hinter dem Prisma ein Gegenstand in den weißen Teil des prismatischen Bildes gebracht wird, der einen Schatten verursacht. Newton kommentiert dazu: „Ist aber ein schwarzer Gegenstand von Weiss begrenzt, so sind die durch ein Prisma erscheinenden Farben aus dem Lichte des Weiss, welches sich in das Gebiet des Schwarz verbreitet, herzuleiten und erscheinen deshalb in umgekehrter Folge, wie wenn ein weisses Objekt von Schwarz begrenzt ist.“¹² Dieser Kommentar wirkt jedoch in doppelter Hinsicht merkwürdig. Zum einen scheint es Newton nicht zu gelingen, das Phänomen der Farbumkehr am Schatten konsistent in sein Paradigma einzubinden, oder sonst adäquat strahlenoptisch darzustellen. Zum anderen ähnelt diese Deutung sehr stark einer zeitgenössischen Auffassung von der Entstehung der Farben am Prisma im Sinne einer temporären Modifikation des weißen Lichts durch die Einwirkung von Schatten, von der er sich an anderer Stelle in der *Optik* explizit abzugrenzen sucht: „Die Farberscheinungen bei gebrochenem oder reflectirtem Lichte entstehen nicht durch neue Modificationen des Lichts, die ihm gemäss den verschiedenen Begrenzungen von Licht und Schatten in verschiedener Weise aufgeprägt werden.“¹³

10 Newton: *Optik*, S. 104.

11 Goethe: *Beiträge zur Chromatik*, S. 68.

12 Newton: *Optik*, S. 106.

13 Newton: *Optik*, S. 74.

Goethe kann dagegen vollkommen konsistent beschreiben, was passiert, wenn man durch ein Prisma auf Tafeln blickt, welche die Grenzflächenphänomene von Schwarz und Weiß in verschiedener Weise zum Vorschein bringen. Eine schwarze Tafel mit weißem Kreis zeigt zum Beispiel an den Rändern des Kreises jeweils eine Farbverteilung, die veranschaulicht, wie erst das Schwarze in das Weiße wirkt, und dann das Weiße in das Schwarze. Betrachtet man dagegen eine weiße Tafel mit schwarzem Kreis, zeigt sich wie zunächst das Weiße in das Schwarze, und hernach das Schwarze in das Weiße wirkt. Dementsprechend erscheint die Reihenfolge der Farbverteilung dann auch umgekehrt. Selbiges passiert nun auch, wenn man einen Schatten in das Bild dicht hinter einem Prisma führt. Die Farberscheinungen an dem Schatten im weißen Teil des Bildes erscheinen sowohl in ihrer Reihenfolge, als auch in ihrer Anordnung umgekehrt. Für Goethe ist auch dies kein ein Sonderfall, sondern durch einfache Umkehr der Wirkrichtung von Weiß in Schwarz erklärbar, und bleibt damit im Kontext der Farberscheinungen als Ganzes konsistent beschreibbar.

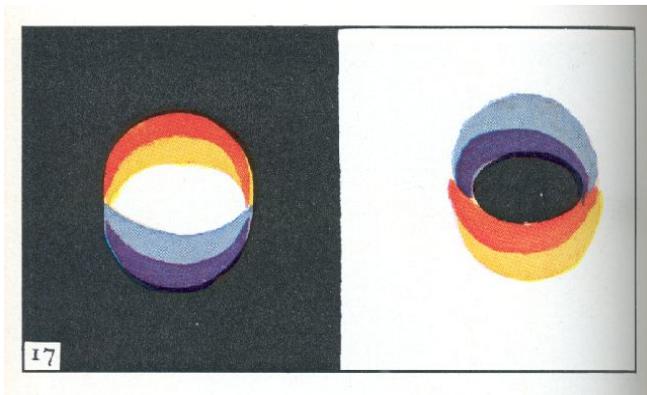


Abb. 5: Goethes Tafel zur Umkehr der Farbanordnungen¹⁴

Dass sich Goethe unermüdlich an Newton abgearbeitet hat, bezeugt allein der immense Umfang seiner Schriften zur Optik und Farbenlehre in denen er immer wieder explizit auf diesen Bezug nimmt. Die empirische Evidenz der von Goethe gegen die Theorie Newtons vorgebrachten Argumente und Versuche ist damit jedoch noch nicht praktisch erwiesen. Insofern lag es nahe, in die experimentelle Rekonstruktion der Prismenversuche Newtons auch einen experimentellen Nachvollzug der späteren Gegenposition Goethes einzubeziehen, und damit einen guten Teil der mit Goethe um 1800 erneut aufkommenden Diskussion über die

14 Goethe: *Schriften zur Farbenlehre*, Tafel 9, Fig.17.

grundsätzliche Geltung der inzwischen etablierten Theorie Newtons auch praktisch zu rekonstruieren.

4 Nachbau der Prismen erster Teil: Das Wasserprisma

Im ersten Schritt des Nachbaus bot sich zunächst der Rückgriff auf eine seinerzeit von Goethe vorgeschlagene pragmatische Lösung an: ein Wasserprisma. Newton hatte seinerzeit offenbar auch mit einem Wasserprisma experimentiert und bemerkt, dass die in seinen Versuchen beschriebenen Ergebnisse ebenso mit einem solchen erzeugt werden können.¹⁵ Da Newton jedoch keine näheren Angaben zu dem verwendeten Wasserprisma machte, sollte sich der Nachbau maßgeblich nach Goethes Angaben und Abbildungen im didaktischen Teil seiner Schriften zur Farbenlehre richten. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass Goethe mit der Auswahl des Wasserprismas neben dem Verweis auf praktische Gründe auch eine Experimentalsituation mit einem ganz bestimmten Ausgang im Blick zu haben scheint:

Ferner erscheinen auch wegen der weniger refrangierenden Kraft des Wassers die Ränder schmal gefärbt, und es ist also ein solches Prisma, obgleich von sechzig Graden, zu eben dem Endzwecke als ein spitzer gläserner Keil zu gebrauchen, obgleich dieser wegen der Reinheit sowohl der farbigen Ränder als des weißen Zwischenraums den Vorzug verdient. [...] Ein solches Gefäß ist zu allen prismatischen Versuchen brauchbar, [und] zu einigen unentbehrlich[...].¹⁶

Die im Gegensatz zu Vollglasprismen schwächere Brechkraft des Wasserprismas sollte also jenen Effekt verstärken, der für Goethes Argumentation gegen Newtons Theorie einen zentralen Stellenwert besitzt: das Auftreten eines weißen Zwischenraums zwischen farbigen Säumen statt eines kontinuierlichen Spektrums. Auf diese Besonderheit und deren experimentelle Umstände sollte daher im experimentellen Nachvollzug ein besonderes Augenmerk gelegt werden.

Das Wasserprisma bestand nach Goethes Angaben aus zwei Hauptteilen: dem Haltegestell und dem später mit Wasser gefüllten Prisma. Die Halterung wurde aus Holz gefertigt, und sollte ermöglichen, das Prisma um eine senkrecht zum Strahlengang liegende Drehachse zu neigen. Die Halterung bestand aus einer rechteckigen Grundplatte und zwei Ständerhölzern, die zusammen mit zwei dreieckigen Haltewangen das Drehgestell bildeten. Das eigentliche Prisma bestand seinerseits aus zwei rechteckigen Glasplatten, welche durch zwei dreieckige Bleiplatten zu einem prismatischen, nach oben offenen Körper verbunden wurden. Der Winkel über der offenen Hypotenuse sollte nach Goethe größer als

¹⁵ Newton: *Optik*, S. 21.

¹⁶ Goethe: *Beiträge zur Chromatik*, S. 31.

60° gewählt werden, was mit einem Winkel von rund 68° großzügig eingehalten wurde. Das in Goethes Schrift abgebildete Prisma hatte eine längliche Form, die Breite verhielt sich in der Abbildung zur Höhe in etwa wie 2:1. Diese Proportion kam uns sehr gelegen, um der länglichen Form der von Newton verwendeten Glasprismen so nah wie möglich zu kommen, außerdem drohte das Prisma andernfalls sehr groß zu werden, da die dreieckigen Seitenteile des prismatischen Körpers praktisch gleichseitig ausgeführt werden sollten. Spätere praktische Erfahrungen im Umgang mit dem fertigen Wasserprisma haben jedoch gezeigt, dass eine Ausführung mit längeren Katheten deutlich mehr Freiheitsgrade für Variationen des Neigungswinkels zulassen. Bei der Ausführung mit relativ kurzen Katheten tritt ab einem gewissen Grenzwinkel Wasser über den Rand. Dies könnte nur durch länger gewählte Katheten wirksam verhindert werden, womit das Prisma dann jedoch nicht mehr den Proportionen in Goethes Abbildung entspräche. Für die gläsernen Seitenwände des Prismas wurden Glasplatten aus gewalztem Fensterglas von ca. 1900 verwendet, welche viele deutliche Schlieren und Luftblasen enthielten. Damit sollte den historisch um 1800 verfügbaren Glasqualitäten Rechnung getragen werden. Insgesamt wurden zwei Wasserprismen nach diesen Vorgaben angefertigt.



Abb. 6: Erster Nachbau eines Wasserprismas nach Goethe

5 Nachbau der Prismen zweiter Teil: Die Vollglasprismen

Im ersten Teil wurde beschrieben, wie die Wasserprismen nach Goethes Vorgaben nachgebaut worden sind. Mit den Wasserprismen Goethe'scher Bauart konnten sowohl die für die Theorie Newtons einschlägigen, als auch die von Goethe zu deren Widerlegung angeführten Prismenversuche nachgestellt werden. Wie zuvor bemerkt, sieht Newton in der Verwendung eines Wasserprismas zumindest keinen prinzipiellen Nachteil für den Ausgang der Experimente im Sinne einer Erzeugung

der von ihm avisierten Effekte. Um jedoch der Frage nachzugehen, welchen Einfluss die optische Qualität der verwendeten Vollglasprismen auf den Ausgang der Experimente zur Zeit Newtons gehabt haben könnte, sollten im zweiten Teil des experimentellen Nachvollzuges auch Apparate mit Vollglasprismen nachgebaut werden.

Nach den Ergebnissen der Untersuchungen von Dennis Nawrath¹⁷ lassen sich aus verschiedenen Gründen weder die genaue Beschaffenheit und chemische Zusammensetzung der von Newton verwendeten Prismen, noch die experimentellen Umstände eindeutig rekonstruieren. Die Reproduktion der Experimentalsituation hinsichtlich der verwendeten Materialien wie auch der Aufbauten war daher auf eine vage Annäherung an die von Newton gemachten Angaben verwiesen. Die optische Qualität der von Newton verwendeten Gläser ist jedoch, wie eingangs erwähnt, von diesem verbal beschrieben worden.

Folgt man Newtons Angaben, so hat dieser offensichtlich Vollglasprismen mit einem brechenden Winkel von $62,5^\circ$, $63,5^\circ$ und 64° verwendet. Die Prismen waren länglich und von verschiedener optischer Güte, wobei Newton ausdrücklich erklärt, dass die Güte des Prismas zumindest auf die Länge der farbigen Abbildung keinen entscheidenden Einfluss gehabt habe:

Das Glas hatte einige von einem Ende zum anderen durchziehende Adern, welche gewisse Theile des Sonnenlichts unregelmäßig zerstreuten, aber keinen merklichen Einfluss auf die Länge des Farbenspectrums hatten; denn ich stellte den nämlichen Versuch mit zwei andern Prismen an und hatte denselben Erfolg; und besonders mit einem von derartigen Adern gänzlich freien Prisma, dessen brechender Winkel $62\frac{1}{2}^\circ$ war [...].¹⁸

Um der Frage nachzugehen, inwieweit sich diese Aussagen Newtons im experimentellen Nachvollzug verifizieren lassen, galt es Gläser ohne Zuhilfenahme moderner Industriestandards und Fertigungsverfahren herstellen zu lassen, um bewusst eine gewisse Inhomogenität des Glases in Form von Schlieren, wie auch Einschlüssen von Luftblasen zu provozieren.

Die Vollglasprismen sollten aus historischen Glasresten eigens gegossen werden, und wurden bei Herrn Dr. Hamann von der Firma Glas-Partner in Ilmenau in Auftrag gegeben. Als Ausgangsmaterial dienten Glasreste in einer historisch überlieferten Gemengelage (chemischen Zusammensetzung) von Standardglas aus der Zeit um 1800. Diese Reste entstammten den von Heiko Weber im Zusammenhang mit der histori-

¹⁷ Vgl. dazu auch: Nawrath: *Die Analyse von Newtons Prismenexperimenten zur Untersuchung von Licht und Farben (1672) mit der Methode der Replikation - Ein Erfahrungsbericht*.

¹⁸ Newton: *Optik*, S. 21.

schen Rekonstruktion einer Elektrisiermaschine von A. Schmidt¹⁹ besorgten Schmelzversuchen nach historischen Vorgaben.²⁰ Die Glasorte entspricht einer sehr nahe am historischen Original liegenden Sorte, wie sie um 1800 im Thüringer Wald hergestellt und zeitgenössisch als Standardglas für Laborgeräte und dergl. verwendet wurde. Das Glas enthielt kein Blei, weshalb die zu erwartende Brechkraft im Vergleich zu bleihaltigem Glas eher gering ausfallen sollte. Die Untersuchungen Dennis Nawraths legen jedoch nahe, dass zu Newtons Zeit die Verwendung von Kron- (Glas ohne Bleianteil) als auch Flintgläsern (Gläser mit Bleianteil) durchaus üblich gewesen ist, und damit für den Fall der Gläser Newtons nicht ausgeschlossen werden kann. Daher sollten zusätzlich auch Gläser mit einem Bleianteil von ca. 24 % angefertigt werden, was einem üblichen Flintglas entspräche.

Das Schmelzen und Gießen des historischen Standardglases verlief nach einigen Anläufen ohne Probleme. Die fertig abgekühlten Rohprismen waren erwartungsgemäß grünlich gefärbt und hatten deutliche Luftpinschlüsse und massive Schlieren. Die Dichteerteilung des Glases war sehr inhomogen, sodass beim Durchsehen nur stark verschwommene Bilder erkennbar waren. Sehr große Probleme bereiteten dagegen die Versuche, aus dem Standardglas von 1800 durch nachträgliche Beimengung von Bleioxyd ein annähernd historisches Bleiglas zu erhalten. Erst nach vielen Versuchen gelang es, ein Prisma aus dem Glasbruch von Standardglas um 1800 mit nachträglich zugesetztem Bleioxyd anzufertigen. Das Prisma war jedoch derart stark inhomogen, dass optische Versuche damit nahezu unmöglich erschienen. Herr Hamann bot uns daraufhin an, aus anderem Glasbruch neue Bleiglasprismen zu gießen. Bei diesem Glasbruch handelte es sich um Produktionsabfälle der Firma Arnstadt Kristall, welche mit einem Bleianteil von mindestens 24% ein sehr gutes Flintglas abgeben sollten. Das Ergebnis nach dem Schmelzen waren nahezu farbneue Prismen, welche sehr wenig Schlieren und im Vergleich zu den anderen Prismen auch weniger Luftpinschlüsse aufwiesen.

6 Erste Versuche mit dem Wasserprisma

Die ersten Tests des Wasserprismas fanden unter freiem Himmel und ohne Lochblende statt. Die Sonne schien in einem ihrer Position über dem Horizont entsprechenden Winkel durch das Prisma und erzeugte auf der Leinwand ein Bild. Das Bild, welches sich in einem Abstand von ca. 1m zeigt, war rechteckig, an der Ober- und Unterkante von

¹⁹ Vgl. u.a.: Weber, Heiko: *Die Elektrisiermaschine von Georg Christoph Schmidt (1773)*.

²⁰ Dieses Projekt wurde ebenfalls im Rahmen und mit Mitteln des Sonderforschungsbereiches 482 *Ereignis Weimar – Jena. Kultur um 1800*, Teilprojekt E2.



Abb. 7: 1 + 2: erste Schmelzversuche mit Standardglas um 1800; 3: gelungenes Rohprisma; 4: Rohprisma geschliffen; 5: fertig auspoliertes Prisma

Farbsäumen umgeben und in der Mitte auf den ersten Blick überwiegend weiß. Die äußeren Ränder der Farbsäume zwar gezackt, aber relativ deutlich begrenzt. Die Farbverteilung zeigte sich von unten nach oben wie folgt: Rot, Orange, Gelb, Weiß, Cyan, Blau, Violett. (siehe Anhang, Abb. 8) Die überwiegend weiße Mitte war von vielen dunklen Flecken und Bändern durchsetzt, welche von farbigen Rändern gesäumt waren und offenbar von den zahlreichen Luftblasen und Schlieren im Glas der Seitenscheiben hervorgerufen wurden. In diesem Zusammenhang zeigte sich bei genauem Betrachten, dass an den durch die Schlieren und Blasen verursachten dunklen Flecken und Bändern im Bild die Farbsäume umgekehrt erschienen. Zeigte sich das ganze Bild an seinen Rändern von unten nach oben mit Rot, Orange, Gelb, Weiß; Cyan, Blau, Violett gesäumt, so waren die Ränder der Flecken und Bänder im Bild entsprechend umgekehrt gefärbt, nämlich in der Abfolge Violett, Blau, Cyan, Grau, Gelb, Orange, Weiß. An dieser Stelle lag die Vermutung nahe, dass sich die Flecken und Bänder im Glas der Seitenscheiben des Prismas wie in das Bild eingeführte Schatten verhielten. Damit konnte die Farbumkehr mit Goethes Ausführungen als Grenzflächenphänomen umgekehrter Wirkrichtung gedeutet werden. Wie zuvor gezeigt, stellt dies für Newton einen Fall dar, den er nur kurz und in gewisser Weise außerhalb seines Paradigma kommentiert. Dementsprechend gaben seine Bemerkungen in diesem Zusammenhang auch keine im Vergleich zu Goethe brauchbarere Deutung an die Hand.

Wurde der Abstand zwischen Prisma und Tafel sukzessive vergrößert, gingen die Farben mehr und mehr ineinander über, bis schließlich in einem Abstand von ca. 6m ein kontinuierliches Spektrum zu sehen war, wobei die weiße Mitte verschwand, und stattdessen Grün zwischen

Gelb und Cyan erschien. Interessanterweise waren in dieser Position auch die zuvor deutlich registrierten Schatten im Bild mit den umgekehrten Spektren nicht mehr erkennbar.

Goethe beschreibt im polemischen Teil seiner Farbenlehre in Bezug auf Newtons Versuch 3 ein Bild, wonach von der unteren, schwarzen Grenze zunächst Gelbrot und dann Gelb in das weiße Bild hinein streben. Daran angeschlossen sollte eine weiße Mitte folgen, welche dann als zweite Grenze für das aus dem Bild hinaus strebende Blau und Violett dient. Der untere Rand des Bildes, zwischen Gelbrot und Schatten, sowie der Rand zwischen Weiß und Blau sollten dabei scharf begrenzt erscheinen und so die Grenze des sogenannten inneren Bildes markieren.²¹ Im Experiment konnten weder die von Goethe beschriebene Farbverteilung, noch die charakteristischen Begrenzungen exakt nachvollzogen werden. Die Farbverteilung war bereits dicht hinter dem Prisma deutlich feiner abgestuft zu erkennen. Darüber hinaus waren aufgrund der Schlieren im Glas selbst in kurzem Abstand hinter dem Prisma alle Farben, Violett ausgenommen, in gleichem Maße unscharf begrenzt. Allerdings zeigte sich der untere Rand zwischen Rot und Hintergrund geringfügig besser konturiert als der obere, zwischen Violett und Hintergrund. Ein Umstand, der in großem Abstand zum Prisma sogar noch deutlicher wurde. Aufgrund des geringfügigen Unterschiedes der Konturen zwischen dem unteren roten und dem oberen Violetten Rand zum Hintergrund, konnte vor allem in kurzem Abstand tatsächlich der Eindruck nachempfunden werden, die Farben strebten von unten nach oben zunächst in das Bild hinein, und am oberen Ende hinaus in den Hintergrund. Die Grenze zwischen Weiß und Cyan war jedoch ebenfalls nicht scharf erkennbar. Zudem verschwammen die Grenzen mit steigendem Abstand vom Prisma generell in zunehmendem Maße, sodass auch der Effekt des Strebens ins Bild am Ende verloren ging. An dem Punkt, wo ein kontinuierliches Spektrum zu sehen war, ließ sich – um in Goethes Metapher zu bleiben – allenfalls erahnen, dass die Farben in alle Richtungen aus dem Bild zu streben schienen. Wie zuvor schon bemerkt, war Goethe jedoch sehr wenig daran gelegen, ein kontinuierliches Spektrum zu erzeugen, die für die Evidenz seiner Deutung wichtigen Effekte spielten sich an der weißen Mitte unmittelbar hinter dem Prisma ab.

Motiviert durch die Beobachtung, dass an den Rändern der Schatten im Bild hinter dem Wasserprisma in kurzem Abstand das Spektrum umgekehrt erschien, sollte auch jener Versuch nachvollzogen werden, den Newton gegen die Auffassung von temporären Modifikationen des Lichtes durch die Einwirkung von Licht und Schatten anführt. Dazu wurde das Prisma nach den Vorgaben Newtons in einem Abstand von

21 Goethe: *Zur Farbenlehre*, S. 406 f.

ca. 5,60m zur Lichtquelle aufgestellt. Dahinter kam im Abstand von 60cm eine Lochblende in den Strahlengang, hinter welcher in 1m Entfernung eine Projektionstafel aufgestellt wurde. Die Öffnung der Lochblende hinter dem Prisma lag mit ca. 0,85mm etwas über den Angaben Newtons. Auf dem Brett der Lochblende hinter dem Prisma wurde nun nach Newtons Anweisungen durch Drehen des Prismas die weiße Mitte auf den Durchlass der Lochblende selektiert. Auf dem Schirm hinter dem Prisma war dann ein sehr schmales, ovales und kontinuierliches Spektrum zu erkennen. Nun wurde vor dem Prisma ein schmaler Stab durch den Strahlengang geführt, welcher das Spektrum auf der Projektionstafel unterbrechen, und so beweisen sollte, dass die Farben auch unabhängig von der Einwirkung von Licht und Schatten entstehen (siehe Anhang, Abb. 9). Tatsächlich zeigte sich das Spektrum auf der Tafel von dem Schatten des Stabes unterbrochen, wobei die Farben des Spektrums auf der Tafel davon unberührt blieben, und lediglich vom Schatten des Stabes überdeckt wurden. Auf dem Brett der Lochblende vor der Tafel zeigte sich allerdings erneut, wie sich in kurzem Abstand an dem Schattenbild des Stabes die Farbreihenfolge umkehrte. Dieser Fall ist vor allem für Goethe interessant, weshalb auch umso klarer wird, warum dieser immer in einem kurzen Abstand hinter dem Prisma arbeitet. Für Newton ist es in diesem Versuch dagegen wichtig, dass die Farbentstehung an der Tafel nicht durch den in den Strahlengang gebrachten Schatten des Stabes beeinflusst wird, was experimentell erst auf der Projektionstafel mit großem Abstand zum Prisma nachvollzogen werden konnte (siehe Anhang, Abb. 10).

7 Nachvollzug des 3. Versuchs aus Newtons *Optik* mit Vollglasprismen

Die Versuche mit den Vollglasprismen wurden ebenfalls mit Tageslicht durchgeführt. Dazu wurde eine große, mattschwarz gebeizte Blende nach den Angaben Newtons mit einem Loch von $1/3$ Zoll (ca. 0,85cm) in einem Fenster mit Südausrichtung angebracht. Der Rest der Fensteröffnung wurde durch Rollläden abgeblendet, bzw. mit schwarzem Tuch abgehängt, wodurch das Zimmer angemessen abgedunkelt werden konnte. Dicht hinter der Lochblende wurde die Halterung mit dem Prisma auf das Fensterbrett gestellt, und die Prismen nacheinander ausgetauscht. Die Experimente fanden im August statt, und je nach Sonnenstand konnte ein Zeitfenster von 12.00 Uhr bis 14.00 Uhr für die Experimente genutzt werden. Das Bild wanderte sehr schnell mit dem Sonnenstand und änderte seine Lage sowohl horizontal als auch vertikal entsprechend der Bahn der Sonne. Gegen 13.00 Uhr fiel das Sonnenlicht nahezu parallel zur Fensterachse und damit rechtwinklig zum Prisma ein. Das farbige Bild wurde dann in einem Abstand von ca. 5,20m hinter dem Prisma knapp über dem Fußboden aufgefangen. Zunächst kam

ein Prisma aus Arnstädter Bleiglas zum Einsatz. Das Bild hinter dem Prisma war sehr kontrastreich, bunt und scharf begrenzt, die Farbverteilung entsprach den Angaben Newtons in aufsteigender Reihenfolge: Rot, Orange, Gelb, Grün, Cyan, Blau, Violett. Auch waren die Ränder der Farben sowohl zum Hintergrund, als auch zueinander als mehr oder weniger rund zu erkennen. Die Höhe des ovalen Bildes war mit ca. 20cm zwar etwas geringer als von Newton angegeben, die Breite kam dafür mit ca. 5cm in etwa auf das Maß Newtons. Das einzige brauchbare, aus Standardglas von 1800 unter Zusatz von Bleioxyd gefertigte Prisma, zeigte ebenfalls sehr kräftige Farben in vollem Umfang – Rot, Orange, Gelb, Grün, Cyan, Blau, Violett. Die Verteilung der Farben war dabei allerdings keineswegs so homogen, wie bei dem zuvor verwendeten Prisma aus Arnstädter Bleiglas. Die massiven Schlieren im Glas verursachten eine sehr starke Verzerrung des Bildes, welches in mehrere kleine Subspektren zerhackt erschien.

Die Standardglasprismen ohne Bleizusatz zeigten zwar prinzipiell dieselbe Farbverteilung, insgesamt allerdings ein deutlich flaueres Bild mit stark verwaschenen Übergängen. Auch erschien das Bild insgesamt größer, da die Übergänge zwischen den farbigen Anteilen und dem Hintergrund wesentlich undeutlicher verliefen. Darüber hinaus zeigte die Abbildung eine weiße Mitte, welche selbst im Abstand von 5,20m hinter dem Prisma noch zu erkennen war, zumal sich generell ein hoher Anteil weißen Streulichts in das gesamte Bild mischte (siehe Anhang, Abb. 11, 12, 13).

Aus den Versuchen mit den Vollglasprismen hatte sich gezeigt, dass die verwendete Glassorte offenbar den größten Einflussfaktor auf den Kontrast der Farben im Bild darstellte, wobei die stärksten Farbkontraste am Arnstädter Bleiglasprisma zu beobachten waren. So besaßen die Bleiglasprismen die höchste Brechkraft, gefolgt von den Prismen aus Standardglas um 1800 und am schwächsten war die Brechkraft des Wasserprismas. Entsprechend der Brechkraftverhältnisse variierte auch die Höhe der farbigen Bilder auf der Tafel, d.h. der horizontale Austrittswinkel der Strahlen aus dem Prisma veränderte sich in Abhängigkeit von den Glassorten der verwendeten Prismen. Die Schlieren und Blasenhäufungen hatten zwar keine Einfluss auf die Farbkontraste, verursachten jedoch zum Teil deutliche Störungen in der Symmetrie der Abbildung. Im Fall des aus Standardglas um 1800 unter Zusatz von Bleioxyd gefertigten Prismas war die Abbildung so stark gestört, dass die Evidenz der geometrischen Modellierung Newtons, wonach die Abbildung einer nach dem Grad ihrer Brechbarkeit geordneten Aufreihung verschiedenfarbiger verkleinerter Abbilder der Sonne entsprechen sollte, komplett fragwürdig erschien.

8 Nachvollzug des 6. Versuchs aus Newtons *Optik* mit Vollglasprismen

Auch in diesem Versuch kamen zunächst die Prismen aus Arnstädter Bleiglas zum Einsatz, danach die Wasserprismen. Newton macht für diesen Versuch hinsichtlich der Abstände zwischen den Elementen der Anordnung keine so genauen Angaben wie im dritten Versuch. Lediglich die Größe der Löcher in den Blenden zwischen den Prismen ist mit $\frac{1}{3}$ Zoll angegeben, (ca. 0,86cm), sowie der Abstand der beiden Lochblenden mit 12 Fuß, (ca. 3,40m). Die Größe der Öffnung im Fensterladen gibt Newton nur qualitativ mit „*viel größer*“²² an, jedenfalls groß genug, um ein möglichst großes Lichtbündel hindurch zu lassen. Die Größe des Lichtbündels sollte sich offenbar positiv auf die Erkennbarkeit der Effekte auswirken, immerhin sollte das Strahlenbündel ein zweites Mal gebrochen werden und verliert bei jedem Durchgang durch das jeweilige Prisma an Intensität. Dazu wurde das Loch in der Blende von 0,86 cm auf ca. 1,2 cm erweitert. Diese Größe erschien angesichts der nicht sehr großen Seitenlängen der Vollglasprismen als guter Kompromiss zwischen optimaler Ausleuchtung und Helligkeit des Bildes. Wäre das Loch größer gewählt worden, wäre das Strahlenbündel vor dem ersten Prisma so groß ausgefallen, dass der Strahlengang zum Teil über die Kanten hinaus am Prisma vorbei gegangen wäre, und so das Bild nur unnötig mit weißem Streulicht aufgehellt hätte.

Auf dem Brett der ersten Lochblende hinter dem ersten Prisma zeigte sich ein rundes Bild mit weißer Mitte und farbigen Rändern, welches deutlich größer war als das Loch in der Blende. Nachdem die Anordnung gemäß Newtons Vorgaben auf die Mitte des aus dem ersten Prisma austretenden Strahlenbündels ‚kalibriert‘ war, zeigte sich auf dem zweiten Brett das ovale Bild eines kontinuierlichen Spektrums. Nun wurden durch Drehen des ersten Prismas die jeweiligen Farbanteile so auf und ab bewegt, dass nur jene das zweite Loch passierten, die erwünscht waren. Je nach Drehung des ersten Prismas gingen nun die einzelnen Farbanteile durch die erste, dann durch die zweite Lochblende, und danach durch das zweite Prisma. Der Versuch war damit also prinzipiell durchführbar, ebenso zeigte sich die Behauptung Newtons bestätigt, dass die einzelnen Farbbestandteile nach der zweiten Brechung auch wieder verschiedene Orte auf der Tafel einnahmen. Allerdings musste man die Orte der Farben sehr genau memorieren, um einen Unterschied feststellen zu können. Besonders deutlich zeigten sich die Unterschiede, wenn man durch Drehung am ersten Prisma sehr schnell zwischen zwei spektral weit entfernten Farben, wie etwa Rot und Blau alternierte.

Insgesamt zeigten sich die Effekte an den Vollglasprismen jedoch vergleichsweise lichtschwach, da die kleinen Strahlenbündel beim

²² Newton: *Optik*, S. 31.

Durchgang durch den gesamten Aufbau relativ viel Intensität verloren. Kam es außerdem noch zu einer leichten Bedeckung der Sonne, so war der Versuch schnell nicht mehr darstellbar. Hinzu kam erschwerend, dass die schmalen Strahlenbündel nur wenige Toleranzen für einen Versatz des Strahlenganges durch den Lauf der Sonne, sowie das Verdrehen des ersten Prismas oder ein etwaiges Kippen der Prismen überhaupt gestatteten. Zum Teil musste die ganze Anordnung durch die Bewegung der Sonne immer wieder neu kalibriert werden, andernfalls verpasste z.B. der Strahlengang die zweite Lochöffnung, und traf so auch nicht das zweite Prisma. An dieser Stelle wurde aus dem Umgang mit dem ständig wandernden Sonnenlicht auch umso deutlicher, warum Newton zu diesem Versuch kommentiert: „Dann kehrte ich *schnell* zum ersten Prisma zurück [...]“²³.

Deutlich eindrucksvoller zeigten sich die Effekte im Nachvollzug des Experiments mit den beiden Wasserprismen. Die Wasserprismen hatten eine viel größere Seitenlänge, und damit größere Fläche. Dementsprechend konnte die Lochblende im Fensterladen deutlich größer gewählt werden, was ein sehr helles Bild ergab. Hinzu kam, dass das Wasserprisma verglichen mit den Vollglasprismen generell eine höhere Transmission zeigte.

9 Resümee aus dem Experimentellen Nachvollzug

Hinsichtlich der Frage, welchen Einfluss die Qualität der verwendeten Prismen auf die Reproduktion der von Newton angegebenen Experimente hatte, ließen sich verschiedene Einflussgrößen auf die Abbildung des Spektrums feststellen. Dabei hatten die Größe der Öffnung in der Lochblende und die Brechkraft des verwendeten Prismas offenbar den größten Einfluss auf den Kontrast der Farben im Bild. Die Schlieren und Blasen im Glas störten dagegen vor allem die Symmetrie der Abbildung, und hatten damit entscheidenden Einfluss auf die Evidenz der Modellierung Newtons. Gemäß dieser sollte die farbige Abbildung auf der Tafel als eine Reihe von Sonnenscheibchen verschiedener Farbe erscheinen, was anhand der Prismen mit stark inhomogenem Glas nicht nachvollzogen werden konnte. Newton spielt den Einfluss der optischen Qualität der Prismen in seinem Text zwar herunter, die historische Rekonstruktion hat jedoch in differenzierter Weise gezeigt, dass die Evidenz der experimentell ermittelten Ergebnisse zum Teil deutlich davon abhing. Da die optische Qualität der verfügbaren Glasprismen zu Newtons Zeiten noch nicht als standardisiert angesehen werden darf, muss darin offenbar ein wesentlicher Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse in der Reproduktion der Experimente durch seine Zeitgenossen gesehen werden.

²³ Newton: *Optik*, S. 31.

Die Frage, ob sich die zentralen Einwände Goethes gegen Newton experimentell nachvollziehen lassen, kann zum Teil bejaht werden. Der experimentelle Nachvollzug hat in diesem Zusammenhang gezeigt, dass sowohl Newton als auch Goethe unter bestimmten Randbedingungen operieren, welche für den jeweils erwünschten Ausgang ihrer Experimente notwendig sind. So hat sich gezeigt, dass Newton implizit immer in einem Bereich des Abstandes zwischen Prisma und Tafel operiert, der es ihm gestattet, mit einem kontinuierlichen Spektrum zu arbeiten, und die Aufspaltung der Farben deutlich erkennbar zu machen. Das mögliche Auftauchen eines weißen Keils in kürzerer Entfernung hat für ihn nur den Status einer Randerscheinung, welche er an anderer Stelle allerdings innerhalb seiner Theorie durchaus als beschreibbar ansieht. Auch Goethe gibt seinerseits Parameter vor, die einen bestimmten, für seine Argumentation gegen Newton günstigen Ausgang des Experimentes provozieren. Im Sinne seiner Argumentation ist es demnach nicht erwünscht, entweder durch die Wahl eines Vollglasprismas, oder einen zu großen Abstand zwischen Prisma und Tafel, die weiße Mitte zum Verschwinden zu bringen. Damit arbeitet er seinerseits auch ganz bewusst in einem bestimmten Bereich, um die Grenzflächenphänomene zwischen Licht und Schatten anhand der in diesem Bereich auftretenden weißen Mitte evident zu machen. Ungeachtet dessen hat sich jedoch gezeigt, dass Goethes zentrale Kritik an Newton, das Auftreten der weißen Mitte im Versuch 3 seiner Optik, eigentlich gar nicht den prekären Punkt trifft. Viel spannender erscheint bei genauerem Hinsehen der Umstand, dass an Schatten, welche in das Spektrum gebracht wurden, die Farben umgekehrt erschienen. Dieses Phänomen markiert für Newton offenbar tatsächlich einen Sonderfall, der ihm dazu nötigt, sein Paradigma zu verlassen, und sich auf eine merkwürdige Deutung zu verlegen.

Goethe hat dagegen keine Probleme, dieses Phänomen innerhalb seiner Deutung konsistent zu beschreiben. Allerdings sollte es in dem vorliegenden Aufsatz nicht darum gehen, die Frage zu klären, wer von beiden Recht hat. Primäres Ziel war es vielmehr, den experimentellen Umständen ausgewählter optischer Versuche durch praktische Rekonstruktion in historisch angemessener Weise näher zu kommen. In diesem Zusammenhang hat der Nachvollzug vor allem gezeigt, wie vielschichtig die Probleme einer instrumentellen Praxis werden können, welche bereits zu Newtons Zeiten lange als umstritten galt, und nach ihrer mühsamen Etablierung fast einhundert Jahre später mit Goethe auf ganz andere Weise erneut in Frage stand.

10 Literatur

Breibach, Olaf: *Goethes Naturverständnis*. Paderborn: Fink, 2011.

- Fischer, Johann Carl: *Physikalisches Wörterbuch oder Erklärung der vornehmsten zur Physik gehörigen Begriffe und Kunstwörter so wohl nach atomistischer als auch nach dynamischer Lehrart betrachtet ...* Göttingen: Dieterich, 1798-1827.
- Goethe, Johann Wolfgang von: *Beiträge zur Chromatik*. In: Goethe, Johann Wolfgang von; Steiner, Rudolf; Ott, Gerhard; Proskauer, Heinrich O: [Vorarbeiten und Nachträge zur Farbenlehre]. 7. Aufl., ungekürzte Ausg. Stuttgart: Verl. Freies Geistesleben (*Farbenlehre*, Bd. 2), 2003.
- Goethe, Johann Wolfgang von: *Schriften zur Farbenlehre*, II. Gesamtausgabe der Werke und Schriften in zweiundzwanzig Bänden. Zweite Abteilung: Schriften. Stuttgart: J. G. Cotta, 1787-1797.
- Goethe, Johann Wolfgang von: *Zur Farbenlehre*; Tübingen 1810, in: Goethes Werke. 13 Bde. Tübingen: J. G. Cotta, 1806-1810.
- Goethes Werke. Weimarer Ausgabe; auf CD-ROM (1995). Cambridge: Chadwyck-Healey.
- Nawrath, Dennis: *Die Analyse von Newtons Prismenexperimenten zur Untersuchung von Licht und Farben (1672) mit der Methode der Replikation - Ein Erfahrungsbericht*. In: Breidbach, Olaf; Heering, Peter; Müller, Matthias; Weber, Heiko (Hg.): *Experimentelle Wissenschaftsgeschichte*. München: Fink (Laboratorium Aufklärung, 3), 2010.
- Newton, Isaac: *Optik oder Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts*; I., II. und III. Buch (1704). 2., Aufl., Repr. der Ausg. Leipzig, Engelmann, 1898. Thun: Deutsch (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, 96), 1996.
- Priestley, Joseph: *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. Zween Theile. Mit Kupfern. Leipzig: Johann Friedrich Junius, 1775-1776.
- Schaffer, Simon: *Glass works: Newton's Prisms and the Uses of experiment*. In: Gooding/ Pinch/ Schaffer (Hg.): *The uses of experiment. Studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993, S. 67-104.
- Weber, Heiko: *Die Elektrisiermaschine von Georg Christoph Schmidt (1773)*. In: Breidbach, Olaf; Heering, Peter; Müller, Matthias; Weber, Heiko (Hg.): *Experimentelle Wissenschaftsgeschichte*. München: Fink (Laboratorium Aufklärung, 3), 2010.

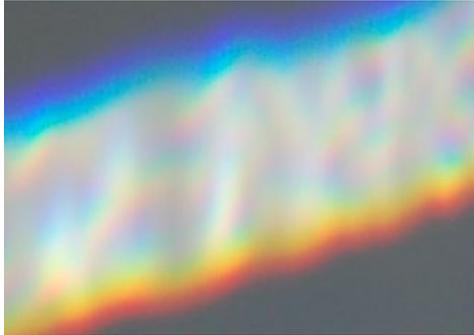
11 Anhang

Abb. 8: Ausschnitt des Bildes hinter dem Wasserprisma

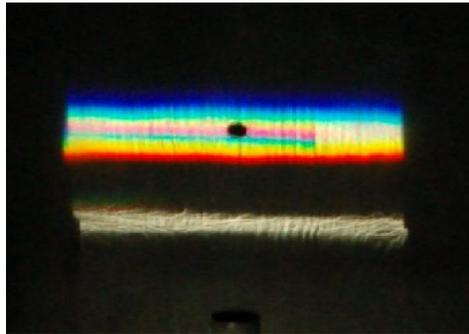


Abb. 9: Schatten des Stabes auf dem Brett der Lochblende

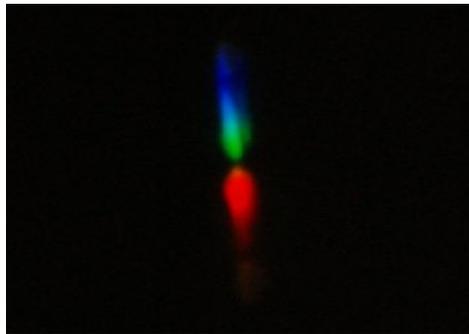


Abb. 10: Unterbrochenes Spektrum auf der Tafel



Abb. 11: Arnstädter Bleiglas



Abb. 12: Standardglas um 1800



Abb. 13: Standardglas um 1800