

Farben

Betrachtungen aus Philosophie
und Naturwissenschaften

Herausgegeben
von Jakob Steinbrenner
und Stefan Glasauer

Suhrkamp

Olaf L. Müller
Goethes philosophisches Unbehagen
beim Blick durchs Prisma

I. Einleitung

Muß man sich von den Errungenschaften und Methoden der modernen Naturwissenschaft lossagen, wenn man Goethes Farbenlehre¹ nicht einfach als Irrweg eines genialen Poeten abtun will, der besser bei seinen Dichtungen hätte bleiben sollen? Wer diese Frage versöhnlich beantworten möchte, wer also Goethe *und* unserer Wissenschaft mit Sympathie gegenübersteht, der mag in einem ersten Anlauf versucht sein, aus Goethes Schriften über die Farben allerlei Punkte auszugraben, mit denen Goethe moderne Forschungsergebnisse vorweggenommen hat.²

Aber man kommt Goethe nicht weit genug entgegen, wenn man ihn nur dafür lobt, etwa die neuronale Codierung der Gegenfarben

1 Ich zitiere die mehrteilige Farbenlehre von 1810 nach Goethes Originaltiteln, also den didaktischen Teil als »Goethe, *Entwurf einer Farbenlehre*« (1810b), den polemischen Teil als »Goethe, *Enthüllung der Theorie Newtons*« (1810c) und den historischen Teil als »Goethe, *Materialien zur Geschichte der Farbenlehre*« (1810d). Bei den ersten beiden Teilen verweise ich auf Goethes Paragraphenzahlen, die sich so auch in späteren Ausgaben wiederfinden, die Goethe aber im historischen Teil leider nicht verwendet hat – hier beziehe ich mich auf die Seitenzahlen der Leopoldina-Ausgabe. (Alle Goethe-Zitate folgen der Schreibweise dieser Ausgabe.) Zum Bestand der (nie vollendeten) Farbenlehre gehören zudem eine »Anzeige und Übersicht des Goethischen Werkes zur Farbenlehre« (1810e), ein »Vorwort« (1810a) und ein separat erschienenes Bändchen »Goethe, *Die Tafeln zur Farbenlehre und deren Erklärungen*« (1810f).

2 Literatur dazu in der nächsten Fußnote. Nur im Vorübergehen nenne ich kurz andere Reaktionsmöglichkeiten auf Goethes Farbenlehre, die ich hier nicht weiter erörtern möchte. Erstens könnte man behaupten, Goethe habe nicht verstanden, wie neuzeitliche Naturwissenschaft funktioniert (siehe z. B. Helmholtz 1884). Zweitens könnte man behaupten, Goethe habe die Methoden der neuzeitlichen Naturwissenschaft abgelehnt; und zwar habe er das entweder mit bedenkliehen, naiven Gründen getan, wie wissenschaftsfreundliche Goethe-Kritiker meinen werden (siehe z. B. Schöne 1987) – oder mit bedenkbaren, guten Gründen, wie Kulturkritiker meinen werden, denen die Rolle der Naturwissenschaft in unserer Gesellschaft zu weit geht (siehe z. B. Muschg 1986).

oder die Erfindung des Farbfernsehers geahnt zu haben.³ Goethe wollte mehr als ein paar wissenschaftliche Einzelerfolge. Er wollte den Triumph über Newtons Theorie des Lichts und der Farben: über eine Theorie, die von fast allen Physikern der Goethezeit akzeptiert wurde und die bis heute in ihren wesentlichen Punkten unser Denken über Licht und Farben formt. Es ist der kompromißlose Widerstand gegen diese wohletablierte wissenschaftliche Theorie, der Goethes dreiteilige Farbenlehre in Gang bringt, antreibt und zusammenhält. Für Versöhnung zwischen Goethe und unserer Wissenschaft scheint mithin wenig Spielraum zu bestehen.

Ich möchte trotzdem den Versuch wagen, auf dem methodologischen Terrain unserer Naturwissenschaft eine Lanze für Goethes Newton-Kritik zu brechen. Wenn ich recht liege, dann hat Goethe in Newtons methodologischen Ansprüchen Mängel entdeckt, die heutzutage jedem Kenner der naturwissenschaftlichen Methode unangenehm ins Auge springen dürften. Damit möchte ich nicht sagen, daß Newtons Ergebnisse allesamt falsch wären und verworfen werden müßten. Mit etwas Glück kann man trotz unzulänglichem Methodenbewußtsein sehr wohl zu brauchbaren Ergebnissen vorstoßen. Umgekehrt kann einen die beste Methodenreflexion in wissenschaftsgeschichtliche Sackgassen leiten – wenn man Pech hat. Ob Newton einfach mehr Glück als Goethe gehabt hat, werde ich offenlassen. Ich werde nur darauf bestehen, daß Goethe auf dem Gebiet der Farben methodisch solide naturwissenschaftliche Arbeit geleistet hat: sowohl in seinem eigenen Entwurf der Farbenlehre als auch in seiner Kritik an Newton.

Anders als oft behauptet wird, wußte Goethe sehr genau, wie empirische Wissenschaft funktioniert und was sie leistet; er hat das tiefer durchdacht als Newton. Hier liegt meiner Ansicht nach Goethes bleibendes Verdienst. Mit Hilfe seiner Newton-Kritik können wir an einem exemplarischen Fall das überschäumende Selbstbewußtsein der modernen Naturwissenschaften eindämmen und in ein angemessenes Selbstverständnis verwandeln. Nicht die Ergebnisse und Methoden unserer Naturwissenschaften stehen also zur Debatte, sondern die unkritische Haltung zu diesen Ergebnissen und Methoden,

3 Zur neuronalen Codierung der Gegenfarben siehe Mausfeld (1996), S. 23-24. (Mausfeld gibt zu, daß sich Goethe gegen die Vereinnahmung durch moderne Gehirnwissenschaftler gewehrt hätte, siehe S. 27.) Der Hinweis auf den Farbfernseher findet sich ohne weitere Erläuterung bei Hegge (1987), S. 202.

die auf Newton und seinesgleichen zurückgeht und die immer noch weit verbreitet ist. Für die naturwissenschaftliche Arbeit selber muß es keine große Rolle spielen, ob ihre Vertreter sie auf einer höheren Reflexionsebene angemessen einschätzen – sowenig, wie ein Vogel beim Fliegen gut über Aerodynamik informiert zu sein braucht oder ein Tangotänzer über die Geometrie seiner Schritte. Dennoch dient die Reflexion, die Goethe uns nahebringen will, einem wichtigen Zweck. Sie hilft, uns selber besser zu verstehen in einer mehr und mehr von Naturwissenschaft geprägten Welt.

2. Zwei mögliche Ebenen des Streites

Worum sich der Streit dreht, habe ich eben recht abstrakt umrissen. Um die Angelegenheit anschaulicher zu fassen, springen wir ins Zentrum der Kontroverse und betrachten die Frage nach der Natur des (weißen) Sonnenlichts. Newtons Position zu diesem Thema lautet im großen und ganzen wie folgt:

Die prismatischen Experimente (die Newton im Detail beschreibt und auf die wir zurückkommen werden) *beweisen*, daß das Sonnenlicht eine heterogene Mischung ist und aus Lichtstrahlen verschiedener Farben besteht.

Genau besehen, umfaßt Newtons Position zwei Teilbehauptungen. Die erste Teilbehauptung betrifft die Natur des Lichts und nennt das wissenschaftliche Resultat, zu dem Newton gelangt ist (und das wir bis heute akzeptieren). Diese Teilbehauptung liegt sozusagen auf der Sachebene.⁴ Die zweite Teilbehauptung (deren entscheidendes Wort ich kursiv hervorgehoben habe) steht auf einer höheren Ebene und betrifft den Status der ersten Teilbehauptung: Die Heterogenität des weißen Lichts ist, so Newton, ein *experimentell erwiesenes Faktum*.⁵

4 In unserer oben eingetrickten Formulierung geht diese Teilbehauptung auf Goethes Zusammenfassung der Newtonschen Position zurück (vgl. Goethe 1810c, § 17). Sie ergibt sich aus Newtons ersten beiden Theoremen (Newton 1704, S. 17, 21).

5 Beispielsweise lautet der erste offizielle Satz der *Optics* (im ersten Teil des ersten Buchs, unmittelbar nach den Vorwörtern): »My design in this Book is not to explain the Properties of Light by Hypotheses, but to propose and *prove them by reason and experiments*« (Newton 1704, S. 1, mein Kursivdruck). Ein kleiner Blick in den weiteren Verlauf der *Optics* zeigt, daß Newton mit diesem Anspruch Ernst machen wollte: Das Buch enthält (neben Definitionen und Axiomen) Theoreme und Be-

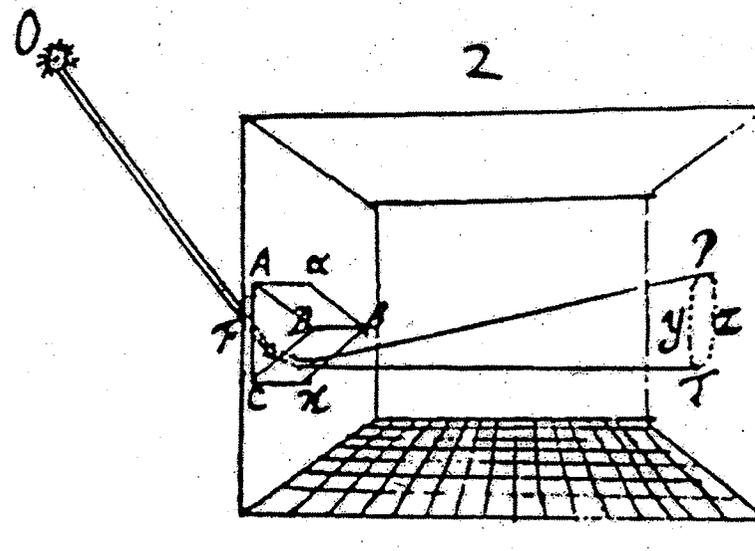


Abb. 1: Newton entdeckt die Heterogenität des Lichts. Sonnenstrahlen werden durch ein Prisma (links) gebrochen. Rechts in der Dunkelkammer fängt Newton das Spektrum auf. Am stärksten vom Weg abgelenkt werden violette Lichtstrahlen, sie finden sich im oberen Teil des aufgefangenen Spektrums. (Die Abbildung stammt aus Newtons Notizbüchern und ist abgedruckt in Lohne 1965.)

Es ist diese unkritische Haltung Newtons zu den eigenen wissenschaftlichen Ergebnissen, die Goethe attackiert hat; und zwar mit Recht, wie ich zeigen möchte. Ich möchte nachzuweisen versuchen, daß Goethe in seiner Auseinandersetzung mit Newton zu der folgenden korrekten Einsicht vorgedrungen ist:

Die prismatischen Experimente *beweisen nicht*, daß das Sonnenlicht eine heterogene Mischung ist und aus Lichtstrahlen verschiedener Farben besteht.

Das klingt zwar wie das komplette Gegenteil der Position Newtons, die ich oben eingerückt habe, bietet aber in Wirklichkeit nur die Ver-

weise. Nach der Formulierung eines Theorems kündigt Newton stets einen experimentellen Beweis an. So heißt es z. B. an der Stelle, die für uns einschlägig ist: »THEOR. II. *The Light of the Sun consists of rays differently Refrangible. The Proof by Experiments. Exper. 3. [...]*« (Newton 1704, S. 21, Hervorhebungen im Original; Zeilenumbrüche weggelassen).

neinung seiner zweiten Teilbehauptung. Wer bestreitet, daß die Anklage mit ihrer Beweisführung gegen den Gärtner Erfolg hat, kann trotzdem der Meinung sein, daß der Gärtner der Mörder war. Und wer bestreitet, daß die prismatischen Experimente die Heterogenität des weißen Lichts beweisen, kann trotzdem an die Heterogenität glauben und also Newtons erster Teilbehauptung beipflichten: Das ist die Position, die ich wissenschaftsfreundlichen Anhängern von Goethe anbieten möchte.

Nun hat Goethe ganz sicher auch Newtons erster Teilbehauptung nicht beipflichten wollen; der Widerspruch gegen die Heterogenität des weißen Lichts durchzieht Goethes Farbenlehre wie ein roter Faden. Da ich nicht an den Ergebnissen der modernen Naturwissenschaft rütteln möchte und da die Heterogenität des weißen Lichts zum Kernbestand ihrer Ergebnisse zählt, werde ich Goethes Widerspruch in dieser Sache herunterspielen. Meiner Ansicht nach können wir Goethes Newton-Kritik in den wesentlichen Punkten folgen, ohne dadurch auf ein Urteil für oder wider die Heterogenität des weißen Lichts festgelegt zu sein.

Mehr noch: Wenn wir Goethe folgen, werden wir Gelassenheit lernen und sehen, daß es am Ende gar nicht so wichtig ist, ob wir sagen, daß das weiße Licht *wirklich* aus Lichtstrahlen verschiedener Farben zusammengesetzt sei. Oft wirken zwar Goethes eigene Formulierungen hierüber alles andere als gelassen. Aber das läßt sich erklären. Goethe unterscheidet nicht immer scharf zwischen den beiden Ebenen, die wir vorhin bei Newton auseinanderdividiert haben, etwa zwischen Behauptungen über die Natur des Lichts und Behauptungen über den *Status* dieser Behauptungen. Wo immer ohne Gewalt möglich, werde ich Goethes Formulierungen auf die übergeordnete Ebene heben; dadurch gewinnt seine Sache an Plausibilität und Schärfe. Daß diese Lesart Goethes erklärten Ansichten entgegenkommt, wird vielleicht deutlicher, wenn wir hören, was Goethe an herausgehobener Stelle über den Status seines Protests gegen Newtons Ergebnisse zu sagen hat:

Wir bilden uns also keineswegs ein, zu beweisen, daß Newton unrecht habe.⁶

Dies Zitat hängt zwar unmittelbar nur mit Goethes Widerspruch gegen Newtons erste Proposition zusammen, kann aber als Ankündi-

⁶ Goethe (1810c), § 31.

gung einer generellen Zurückhaltung verstanden werden (die Goethe um der Kürze willen nicht jedesmal aufs neue auszusprechen wünscht). Denn Goethe hält seine Überlegungen im Umfeld des Zitats bewußt allgemein. Sie stehen unter der Überschrift »Beweis durch Experimente« und beginnen so:

Wir möchten nicht gern gleich von Anfang unsre Leser durch irgend eine Paradoxie scheu machen, wir können uns aber doch nicht enthalten, zu behaupten, daß sich durch Erfahrungen und Versuche eigentlich nichts beweisen läßt.⁷

Nun wächst freilich der Verdacht, daß Goethe die experimentelle Methode der Naturwissenschaften abgelehnt hätte. Anders als eingangs versprochen, bliebe uns dann kein Weg offen, um Goethes Farbenlehre mit den Errungenschaften und *Methoden* moderner Wissenschaft zu versöhnen. Doch der Verdacht ist unbegründet, denn Goethe fährt fort:

Die Phänomene lassen sich sehr genau beobachten, die Versuche lassen sich reinlich anstellen, man kann Erfahrungen und Versuche in einer gewissen Ordnung aufführen.⁸

Genau damit macht Goethe Ernst. Er beschreibt in seiner Farbenlehre eine beeindruckende Vielzahl von Versuchen, die er allesamt selber durchgeführt hat – und er ermuntert seine Leser, es ihm gleichzutun. Das ist kein Lippenbekenntnis: Auf den der Farbenlehre beigefügten Tafeln finden sich Figuren, die nicht so sehr der *Illustration* von Experimenten dienen sollen, sondern von jedermann bequem als *Bestandteil* eigener Experimente verwendet werden können.⁹ Wer diese Figuren durch ein Prisma anschaut, kann selber die wichtigsten Erfahrungen nachvollziehen, von denen in Goethes Farbenlehre die Rede ist.

⁷ Ebd., § 30.

⁸ Ebd.

⁹ »Entbehren konnten auch wir der Tafeln nicht; doch haben wir sie so einzurichten gesucht, daß man [...] gewisse derselben als einen Teil des nötigen Apparats ansehen kann« (Goethe 1810a, S. 9-10).

3. Wie Goethe Newtons ersten Versuch vermannigfacht

Die sorgfältige Beobachtung der Phänomene hat für Goethe eine erzieherische, ja: aufklärerische Funktion. Wenn man sich in Ruhe mit den Phänomenen vertraut gemacht hat, ist man gegen voreilige Schlüsse gefeit und hütet sich vor der Gefahr, weitergehende Hypothesen mit dem zu verwechseln, was man wirklich mit eigenen Augen gesehen hat. Dieser Gefahr sind laut Goethe die meisten Leser Newtons erlegen, und zwar nicht durch Zufall. Goethe wirft Newton an vielen Stellen vor, er stelle seine Versuche unnötig hermetisch und verworren dar, so daß dem Leser deren Wiederholung und Überprüfung schwermacht werde.¹⁰ Einerlei, ob Newton seine Darstellungen mit böser Absicht verdunkelte oder nicht, es besteht kein Zweifel: In Sachen Klarheit, Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit schlagen Goethes Versuchsbeschreibungen die von Newton haushoch. Und daraus ergibt sich nicht allein, wer von beiden der überlegene Stilist war – sondern auch, wem Experimente und Beobachtungen stärker am Herzen lagen. Die stilistischen Gegensätze zwischen Goethe und Newton spiegeln einen tieferen methodologischen Gegensatz wider. Um es überspitzt zu formulieren: Gerade weil Goethe die experimentelle Methode der Naturwissenschaften beim Wort nahm, mußte er in Widerspruch mit Newton geraten. Denn Goethe fiel auf, daß Newton nur eine kleine Bandbreite der möglichen prismatischen Versuche heranzieht: und zwar ausgerechnet diejenigen, die wie ein Beweis seiner Theorie wirken.

Sehen wir uns die Beweiskraft des bekanntesten dieser Experimente genauer an.¹¹ An einem schönen Sonnentag schließt Newton alle Türen und Fensterläden eines nach Süden gelegenen Zimmers, löscht sämtliche Lichter, bohrt in einen der Fensterläden ein winziges kreisrundes Loch, bringt unmittelbar hinter diesem Loch ein Glasprisma an und fängt mit einer weißen Tafel zweiundzwanzig Fuß hinter dem Prisma an geeigneter Stelle alles Licht auf, das vom sonnenbeschienenen Fensterladenloch durchs Prisma gefallen ist und dabei (gemäß den Brechungsgesetzen) seine Richtung verändert hat. New-

¹⁰ Ein schlagendes Beispiel für Goethes Stilkritik an den Newtonschen Versuchsbeschreibungen findet sich in seiner Diskussion des ersten Versuchs (Goethe 1810c, §§ 35, 37, 39, 41).

¹¹ Für das folgende siehe Newton (1672), S. 68-71. Vgl. auch Abb. 1 auf S. 67.

ton beobachtet zweierlei. Der aufgefangene Lichtfleck ist nicht weiß, sondern regenbogenbunt, und nicht rund, sondern fünfmal so lang wie breit. An seinem einen Ende ist dieser Farbstreifen orange, am entgegengesetzten Ende violett; dazwischen gelb, grün und blau.¹²

Durch sorgfältige Messung und Berechnung findet Newton heraus, daß die Breite des aufgefangenen Farbstreifens den Erwartungen entspricht, so wie sie sich aus dem Radius des Fensterladenlochs, dem Abstand der Tafel vom Prisma usw. berechnen läßt. Überraschend ist die Länge des Farbstreifens – und seine Farbigkeit. Wenn man sich nun den buntgefärbten Streifen der Länge nach zusammengesetzt denkt, und zwar als Nebeneinander aus einem violetten, einem blauen, einem grünen, einem gelben und einem orangenen Farbfleck, dann drängt sich der Verdacht auf, daß verschiedenfarbige Lichtstrahlen das Prisma in leicht unterschiedlicher Richtung verlassen haben müssen. Das Prisma hat also den farblosen Lichtstrahl (aus dem Fensterladenloch) in verschiedenfarbige Lichtstrahlen zerlegt, indem es dessen violetten Anteil stärker vom Weg abgelenkt hat als den blauen, den blauen stärker als den grünen, den grünen stärker als den gelben und den gelben stärker als den orangenen. Kurz, das weiße Licht der Sonne ist eine Mischung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen, die auf dem Weg durchs Prisma verschieden stark gebrochen werden.¹³

So weit Newton. Darf man Newtons Gedankengang als Beweis bezeichnen? Zwingt uns das dargestellte Experiment zu dem Schluß, daß das weiße Licht der Sonne aus Lichtern verschiedener Farben zusammengesetzt ist und daß diese verschiedenfarbigen Lichter unterschiedlich stark gebrochen werden? Goethe bestreitet das; er hält Newtons Ergebnis für eine theoretische Hypothese, die über das hinausgeht, was man im Experiment sehen kann.

¹² Ob die beobachteten Farbstreifen übereinander liegen oder nebeneinander, hängt von der Position des Prismas ab; in meiner Darstellung habe ich mich für die zweite Möglichkeit entschieden. Goethe und Newton hatten oft die erste Möglichkeit vor Augen (siehe z. B. Newtons Skizze in Abb. 1 auf Seite 67); um der Einheitlichkeit willen werde ich ihre Überlegungen stets an meine Art der Darstellung anpassen, ohne jedesmal eigens darauf hinzuweisen.

¹³ Siehe Abb. 1 nach Seite 190. – Streng genommen genügt es nicht, nur fünf verschiedenfarbige Lichtstrahlen zu betrachten. Denn es dürfte zwischen den fünf genannten Farben beliebig feine Abstufungen geben. Ich bleibe hier und im folgenden trotzdem bei der Rede von fünf verschiedenen Farben, um die Darstellung nicht unnötig kompliziert zu machen.

Natürlich bestreitet Goethe nicht die Existenz des länglichen Farbstreifens zweiundzwanzig Fuß hinter dem Prisma. Er bestreitet die Beweiskraft dieses Farbstreifens. Und zu diesem Zweck stellt er sich nicht bloß stur, indem er etwa darauf beharrt, daß ein farbiger Streifen auf irgendeiner Tafel nichts über die Zusammensetzung des Lichts besagt, das irgendwo anders durch ein Fensterladenloch fällt: Goethe bleibt nicht wie der ewige Skeptiker nörgelnd im Lehnstuhl sitzen, sondern er springt auf und wiederholt Newtons Experiment unter wechselnden Bedingungen – er »vermannigfacht« die Beobachtungen, wie er das nennt.¹⁴ Er schiebt die Tafel näher ans Prisma heran, vergrößert den Radius des Fensterladenlochs, verändert den Prismenwinkel und zeichnet alle Beobachtungen mit Akribie auf. In der Tat, wenn jemand von der experimentellen Methode besessen war, so war es Goethe.¹⁵

Das wichtigste Ergebnis der experimentellen Exerzitien ist niederschmetternd. Newtons Farbspektrum ist ein extremer Sonderfall.¹⁶ Die Farbenreihe

orange, gelb, grün, blau, violett

zeigt sich nur, wenn man die Abstände zwischen Tafel, Prisma und Fensterladenloch sehr fein auf den Radius des Fensterladenlochs abstimmt. Rückt man etwa die Tafel zu nah ans Prisma heran (oder wählt man eine übergroße Öffnung im Fensterladen), so fehlt die grüne Mitte aus Newtons Farbspektrum; an deren Stelle sieht man eine farblose weiße Lücke, die auf der einen Seite an den gelben Teil aus Newtons Spektrum grenzt und auf der anderen Seite an dessen blauen Teil:

orange, gelb, *weiß*, blau, violett.

Und diese weiße Lücke in der Mitte wird (im Verhältnis zum farbigen Teil des aufgefangenen Streifens) um so größer, je näher wir

¹⁴ Dieser Ausdruck taucht oft auf; siehe z. B. Goethe (1810c); §§ 56, 168.

¹⁵ Friedrich Steinle (2002) hat herausgearbeitet, daß Goethes Versuche einen Fall des explorativen Experimentierens darstellen, wie es in der Geschichte der Naturwissenschaft oft vorgekommen ist.

¹⁶ »Die seit einem Jahrhundert herrschende Newtonische Theorie hingegen gründete sich auf einen *beschränkten Fall* und bevorteilte alle die übrigen Erscheinungen um ihre Rechte, in welche wir sie durch unsern Entwurf wieder einzusetzen getrachtet. Dieses war nötig, wenn wir die hypothetische Verzerrung so vieler herrlichen und erfreulichen Naturphänomene wieder ins gleiche bringen wollten« (Goethe 1810e, S. 7; meine Hervorhebung).

die Tafel zum Prisma hinbewegen. Was haben wir – angesichts dieser Beobachtung – von Newtons Behauptung zu halten, daß das weiße Sonnenlicht unter anderem grüne Lichtstrahlen enthalte? Warum kann man dieses grüne Licht nicht unmittelbar hinter dem Prisma auffangen?

Es ist wichtig zu sehen, daß Newtons Lehre hierauf eine Antwort parat hat: Die weiße Lücke im Farbstreifen unmittelbar hinter dem Prisma läßt sich als Überlagerung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen deuten, die parallel vom Fensterladenloch zum Prisma gelangt sind und (trotz unterschiedlicher Ablenkung auf dem Weg durchs Prisma) noch nicht weit genug voneinander entfernt sind, um getrennt aufgefangen werden zu können.¹⁷

Anders als oft behauptet wird,¹⁸ hat Goethe diese Antwort gekannt.¹⁹ Wenn er sich mit ihr trotzdem nicht zufriedengeben wollte, so beruht das nicht auf seinem mangelnden Verständnis der Newtonschen Lehre. Denn Goethe braucht nicht zu bestreiten, daß sich die weiße Lücke (im Farbstreifen unmittelbar hinter dem Prisma) mit Newtons Heterogenität des weißen Lichts vereinbaren läßt. Wie wir gesehen haben, will Goethe nicht *beweisen*, daß Newton unrecht habe; die Beobachtung der weißen Lücke dient ihm nicht der experimentellen Widerlegung Newtons. Er argumentiert auf einer höheren Ebene und führt die weiße Lücke zielsicher gegen Newtons Anspruch ins Feld, die Heterogenität bewiesen zu haben. Die weiße Lücke entlarvt – laut Goethe – Newtons Heterogenität als bloße Hypothese. Daß dieser Vorwurf nur zu berechtigt ist: das ist die Behauptung, die ich in den nächsten Abschnitten begründen möchte.

4. Die Lücke in Newtons Beweis

Hypotheses non fingo: Das war Newtons stolzer Wahlspruch.²⁰ Eine Hypothese ist weniger als ein Beweis. Sie mag zu den Phänomenen mehr oder minder gut passen; aber selbst im günstigeren Fall ergibt

¹⁷ Siehe Newton (1704), S. 102; vgl. Newtons *figure 12* (auf dem Extrablatt LIB. I PAR. II TAB. III). Es fällt auf, daß Newton dies Thema nur sehr beiläufig behandelt.

¹⁸ So schon Mollweide im Jahr 1811. (Zitiert nach Höpfner 1990, S. 33.)

¹⁹ Siehe Goethe (1810f), S. 31, S. 34-37.

²⁰ Dieser Wahlspruch findet sich an herausgehobener Stelle in den *Principia*, nämlich im vorletzten Absatz ganz am Ende dieses monumentalen Werks (im allgemei-

sie sich nicht zwangsläufig aus den Phänomenen, läßt sich aus ihnen nicht eindeutig ablesen. Wie steht es also in dieser Hinsicht mit Newtons Satz, daß das weiße Licht eine heterogene Mischung sei und unter anderem grünes Licht enthalte?

Nachdem Goethe die Experimente vermannigfacht hat, liegen uns zwei gleichberechtigte Gruppen von Phänomenen vor. Wir haben prismatische Experimente mit grünem Fleck im aufgefangenen Farbstreifen und prismatische Experimente ohne grünen Fleck. Diktieren uns diese Phänomene eine Entscheidung über die Zusammensetzung des weißen Lichts? Zwingen sie uns insbesondere zu der Behauptung, daß weißes Licht einen grünen Anteil enthalte?

Nein. Solange wir keinen Grund dafür auf tun, die eine Gruppe an Phänomenen vor der anderen auszuzeichnen, solange haben wir die Wahl. Wir können uns dafür entscheiden, die prismatischen Experimente mit grünem Anteil zum Ausgangspunkt zu machen. Dann geraten wir auf Newtons Weg und erklären die grünlosen Experimente unter Voraussetzung von Behauptungen, die wir anhand der grünhaltigen Experimente gewonnen haben. Aber das ist nicht die einzige Möglichkeit. Ebenso gut können wir uns dafür entscheiden, bei den grünlosen Experimenten anzusetzen und die dort gewonnenen Resultate zur Erklärung der grünhaltigen Experimente heranzuziehen. In dieser Sicht der Dinge entsteht die grüne Mitte des weiter entfernten Spektrums als Überlagerung der schon nah am Prisma entstehenden gelben und blauen Farberscheinungen (die sozusagen unmittelbar aus dem Prisma hervorgegangen sind, sich dort aber noch nicht überlappen und sich demzufolge erst nach längerem Weg vermischen können).²¹

Angesichts dieser symmetrischen Lage hat Goethe zwei Vorwürfe gegen Newton, die ins Schwarze treffen. Erstens fällt Newton bei der Auswahl der in Anspruch genommenen Phänomene (bzw. bei der Festlegung der Reihenfolge ihrer Behandlung) eine Entscheidung, die er nirgends als Entscheidung ausweist. Und zweitens ver-

nen Scholion, das zum ersten Mal in der zweiten Auflage erscheint, siehe Newton (1687), S. 174. Daß Newton dem Leitspruch auch in optischen Angelegenheiten zu folgen gedachte, belege ich in den Fußnoten 5 und 22.

21 So Goethe in seiner eigenen Diskussion des prismatischen Experiments, siehe Goethe (1810b), §§ 330, 214, 216. (Die letzten beiden Fundstellen beziehen sich auf die subjektive Fassung des Experiments; siehe dazu unten Abschnitt 6, insbes. Fußnote 35.)

säumt er es, diese Entscheidung zu begründen. Kurz, in Newtons anspruchsvollem Beweisgang klafft eine empfindliche Lücke.

Wir brauchen nicht darüber zu befinden, ob sich Newton dieser Lücke bewußt war oder ob er sie übersehen hat. Statt dessen wollen wir fragen: Hätte Newton die Lücke schließen können? Hätte er zwingend begründen können, warum er seinen Beweis ausgerechnet auf jene prismatischen Experimente stützt, bei denen sich in der Mitte des aufgefangenen Farbstreifens ein grüner Fleck blicken läßt? Vielleicht könnte Newton abermals darauf aufmerksam machen, daß sich die so gewonnenen Ergebnisse auch angesichts der anderen (grünlosen) prismatischen Experimente bewähren. Aber um diesen zugestanden Punkt zugunsten seines Beweis-Anspruchs auszubehaupten, müßte Newton mehr zeigen. Er müßte zeigen, daß das umgekehrte Vorgehen, aufs Ganze gesehen, weniger erfolgreich ist. Das heißt, er müßte den Erfolg seines Vorschlags mit dem Erfolg konkurrierender Vorschläge vergleichen – und genau das möchte Newton nicht tun. Denn er will uns den Satz von der Heterogenität des weißen Lichts nicht als mehr oder minder erfolgreiche Hypothese verkaufen, sondern als experimentell erwiesene Wahrheit.²²

Wenn Newton diesen hohen Anspruch aufrechterhalten will, muß er sich nach einem stärkeren Grund für seine Bevorzugung der grünhaltigen prismatischen Experimente umsehen. Oder er muß versuchen, die grünlosen Experimente als entarteten Sonderfall herunterzuspielen. Auf den ersten Blick stehen die Aussichten dafür schlecht. Seine eigene Wahl des Abstandes zwischen Prisma und weißer Tafel wirkt willkürlich. Warum fängt Newton den Farbstreifen ausgerechnet zweiundzwanzig Fuß hinter dem Prisma auf – und nicht drei Zoll oder fünfzig Fuß vom Prisma entfernt? Als Goethe die Tafel näher ans Glasprisma heranschob, so tat er das nicht grund- und ziellos, bloß um die Phänomene zu vermehren. Sondern er wollte sehen, was sich direkt hinter dem Prisma abspielt, aus dem ja angeblich das in Farben zerlegte, ehemals weiße Licht entspringen sollte. Wenn man beweisen will, daß das weiße Licht einen grünen Anteil enthält, den das Prisma entfaltet, dann muß man diesen grünen Anteil sozusa-

22 Siehe oben Fußnote 5. Daß Newton es mit diesem Anspruch ernst meint, geht an unzähligen Stellen aus den *Optics* hervor, siehe z. B. die Zusammenfassung des Erreichten unmittelbar nach Newtons Formulierung seiner »PROPOSITION 7. THEOREM 5« (Newton 1704, erstes Buch, zweiter Teil). Weitere Belege aus anderen Newton-Schriften bringt Fierz (1983), S. XIV-XV. Siehe auch Shapiro (1996).

gen schon am Ort des Geschehens dingfest machen, nicht erst zweiundzwanzig Fuß später. Und das spricht eindeutig gegen Newtons Versuchsanordnung.

Doch damit ist dieser Strang der Überlegung noch nicht zu Ende. Newton könnte versuchen, unsere Aufmerksamkeit vom Abstand zwischen Prisma und Tafel abzulenken, indem er einen anderen Parameter der prismatischen Experimente für wesentlich erklärt: den Durchmesser des Lochs im Fensterladen. Wenn wir das Loch verkleinern, so können wir mit der Tafel näher ans Prisma heranrücken, ohne den gewünschten grünen Fleck aus dem Farbspektrum zu verlieren.²³ Angesichts dieses Zusammenhangs bietet es sich für Newton an, den prismatischen Phänomenen, die sich bei verschwindend kleiner Öffnung im Fensterladen zeigen, einen bevorzugten Platz unter den prismatischen Phänomenen insgesamt einzuräumen.

Was könnte Newton zugunsten der Verkleinerung des Fensterladenlochs anführen? Er könnte sagen, daß er Lichtstrahlen untersuchen möchte, die nicht von benachbarten Lichtstrahlen gestört werden: je kleiner das Fensterladenloch, desto geringer die Störeinflüsse. Das klingt verführerisch. Und genau vor dieser verführerischen Idee wollte uns Goethe warnen. Erstens erschwert die Verkleinerung des Fensterladenlochs die gesamte Beobachtung; bei verschwindend kleiner Öffnung im Fensterladen wird man überhaupt nichts sehen.²⁴ Zweitens: Beim wirklichen Experimentieren wird man auch mit verkleinertem Fensterladenloch *unmittelbar* hinter dem Glasprisma keinen grünen Fleck im Farbstreifen auffangen. Wenn dieses grünlose Phänomen in die zweite Reihe gewiesen werden soll, so bleibt das weiterhin eine Sache der Entscheidung, die uns von den Phänomenen selber nicht abgenommen wird.

Diese beiden Punkte wecken den Verdacht, daß es Newton gar nicht so sehr um ein wirkliches Experiment zu tun sein konnte, als er einzelne Lichtstrahlen (und verschwindend kleine Fensterladenlöcher) ins Spiel brachte. Vielleicht wollte Newton sagen: Wenn man das Loch im Fensterladen so klein machen *könnte*, daß nur ein einziger weißer Lichtstrahl hindurchkäme, dann würde dieser Lichtstrahl vom Prisma so sauber in seine verschiedenfarbigen Bestandteile zer-

²³ Siehe Goethe (1810c), § 115-118.

²⁴ So sagt Goethe an einer ähnlichen Stelle der Debatte: »Warum war die Öffnung so klein? Doch nur daß die Beobachtung schwerer und jeder Unterschied unbemerklicher wäre« (Goethe 1810c, § 255).

legt, daß man unmittelbar hinter dem Prisma ein komplettes farbiges Spektrum auffangen würde (das allerdings viel zu schwach wäre, um mit menschlichem Auge wahrgenommen werden zu können).

In gewisser Hinsicht gebührt dem so beschriebenen Sachverhalt eine Sonderstellung im Vergleich zu all jenen Phänomenen, die sich bei größerem Fensterladenloch und in verschiedenen Abständen vom Prisma zeigen. Nur: Dieser herausgehobene Sachverhalt gehört ganz sicher nicht zu den Phänomenen, die sich beobachten lassen. Er entsteht durch Idealisierung und enthält eine abstrakte Hypothese, nämlich die Hypothese von beliebig dünnen Lichtstrahlen. Die beobachtbaren Phänomene zwingen uns nicht, in Richtung auf Newtons Hypothese zu idealisieren.²⁵

Nun ist es nicht verboten, zu idealisieren und Hypothesen zu bilden.²⁶ Die moderne Naturwissenschaft ist voll von Idealisierungen und Hypothesen. Newton wollte das nicht wahrhaben und vermeinte, auf festerem Grund vorankommen zu können. Wenn ihn Goethe daran erinnert, daß seine vermeintlichen Beweise hypothetische Elemente enthalten, so sollte man Goethe nicht vorwerfen, den idealisierenden und hypothetischen Charakter moderner Naturwissenschaft verkannt zu haben; vielmehr sollte man ihm Respekt dafür zollen, daß er früher als andere einen empfindlichen Widerspruch zwischen dem methodologischen Selbstverständnis führender Naturwissenschaftler und ihrer tatsächlichen Praxis gesehen hat.

Wie sollen wir diesen Widerspruch auflösen? Wenn ich Goethe richtig verstehe, will er das *Selbstverständnis* der Naturwissenschaften zurechtrücken; sein Angriff zielt nicht auf die hypothetische und idealisierende *Praxis* in den Wissenschaften. Wie wir im nächsten Abschnitt sehen werden, kann Goethe die mathematische Idealisierung der prismatischen Phänomene zulassen, ohne seinen Hauptpunkt preiszugeben: Er kann darauf beharren, daß die so gewonnenen Resultate keinen Anspruch auf Objektivität erheben dürfen.

²⁵ Goethe sagt: »Niemals findet man Strahlen, man erklärt nur die Erscheinungen durch Strahlen [. . .]. Daß Newton und seine Schule dasjenige mit Augen zu sehen glauben, was sie in die Phänomene hinein theoretisiert haben, das ist es eben, worüber man sich beschwert« (Goethe 1810c, § 217). Siehe auch Goethe (1810b), § 310.

²⁶ Bei seiner elften Tafel gibt Goethe eine brillante Diskussion geometrisch abstrakter Hilfsmittel, die von den Lehrbüchern verwendet werden, um die Gesetze der Brechung zu verdeutlichen, siehe Goethe (1810f), S. 50-53.

5. Idealisierung, Mathematik und Objektivität

Ich habe im letzten Abschnitt leichthin behauptet, daß uns die prismatischen Experimente nicht dazu zwingen, in Richtung auf Newtons Hypothese zu idealisieren. In einer trivialen Hinsicht ist das sicherlich richtig. Die Phänomene zwingen uns überhaupt nicht zur Idealisierung. Wenn wir uns dafür entscheiden, immer ganz eng bei den beobachtbaren Phänomenen zu bleiben, dann können uns die Phänomene natürlich nicht zu ihrer idealisierenden Überwindung zwingen. (Wie sollten sie das?)

Wie eine Naturwissenschaft aussehen soll, die ohne Idealisierungen auskäme, ist schwer vorstellbar. Es wäre eine Naturwissenschaft ohne Mathematik; oder zumindest eine Naturwissenschaft, in der die Mathematik eine völlig andere Rolle spielen würde, als wir es gewohnt sind. Spekulationen in dieser Richtung mögen ihren wissenschaftsphilosophischen Reiz haben; auf Goethe sollte man sich dabei aber besser nicht berufen. Zwar kommen in Goethes Farbenlehre keine mathematischen Berechnungen vor. Aber das bietet keinen Grund, Goethe für die Vision einer mathematikfreien Naturwissenschaft zu preisen – oder zu verdammen. Denn die Mathematikfreiheit der Farbenlehre beruht auf zwei eher zufälligen Faktoren. Einerseits traut sich Goethe selber keinen gewinnbringenden Einsatz mathematischer Methoden zu.²⁷ Er hat sein Projekt bewußt für die Mitarbeit von Mathematikern offengehalten.²⁸ Und er zeigt der Mathematik an unzähligen Stellen Hochachtung.²⁹ Andererseits glaubte Goethe (und im großen und ganzen mit Recht, wie ich meine), die

27 Siehe Goethe (1810b), § 723.

28 Goethe: »[...] der Mathematiker wird gern, besonders die physische Abteilung der Farbenlehre, mit bearbeiten helfen« (Goethe 1810b, S. 23). Siehe auch Goethe (1810b), § 727.

29 Goethe verlangt: »[...] so müßte man keine der menschlichen Kräfte bei wissenschaftlicher Tätigkeit ausschließen. Die Abgründe der Ahndung, ein sicheres Anschauen der Gegenwart, *mathematische Tiefe*, physische Genauigkeit, Höhe der Vernunft, Schärfe des Verstandes [...], nichts kann entbehrt werden« (Goethe 1810d, S. 77, meine Hervorhebung). Und dort, wo Goethe vor der Mathematik warnt, da warnt er vor ihrem Mißbrauch. Z.B. warnt er vor dem Kurzschluß, eine Theorie über die Welt allein aufgrund ihrer mathematischen Exaktheit als erwiesenermaßen wahr anzusehen, siehe z.B. Goethe (1810b), § 724; sowie Goethe (1810c), § 7.

selbstgesteckten Hauptziele der drei Teile seiner Farbenlehre auch ohne Mathematik erreichen zu können. Erstens: Für die unvoreingenommene und übersichtliche Darstellung der Farbphänomene aus dem *Entwurf einer Farbenlehre* (dem didaktischen Teil) genügen *qualitative* Vokabeln. Zweitens betrifft der Angriff auf Newton aus der *Enthüllung der Theorie Newtons* (dem polemischen Teil) Fragen, die sich so gut wie ohne Einsatz mathematischer Mittel entscheiden lassen (wie sich hoffentlich im Lauf meiner Überlegungen gezeigt hat und noch zeigen wird). Und drittens läßt sich die geschichtliche Entwicklung des Denkens über die Farben – die das Thema der *Materialien zur Geschichte der Farbenlehre* (des historischen Teils) bildet – allemal mathematikfrei darstellen.

Man mag fragen: An welcher Stelle hätten denn dann die Mathematiker ansetzen sollen, die Goethe vergeblich zur Mitarbeit eingeladen hat? Goethe äußert sich dazu nicht deutlich, aber meiner Ansicht nach liegt die Antwort auf der Hand. Man könnte etwa Meßreihen durchführen, um eine Formel aufzustellen, mit deren Hilfe sich (in Abhängigkeit vom Radius des Fensterladenlochs sowie von Winkel und Position des Glasprismas) voraussagen läßt, in welcher Entfernung vom Prisma man auf der weißen Tafel zum ersten Mal einen grünen Fleck im aufgefangenen Farbstreifen finden wird.³⁰ Die Formel würde auf Idealisierungen beruhen: Sobald man eine mathematisch anständige Kurve durch tatsächlich ermittelte Meßpunkte zu legen wünscht, muß man das Gemessene beschönigen; hiergegen könnte Goethe kaum protestieren wollen.

Gehen wir einen Schritt weiter. Unsere Formel gibt uns nicht nur über Fälle Auskunft, die wir schon beobachtet haben oder noch beobachten werden. Rein formal handelt sie auch von Extremfällen, die wir nicht einmal im Prinzip beobachten *können*: Was passiert zum Beispiel, wenn wir den Parameter für den Radius des Fensterladenlochs gegen Null streben lassen? Selbst wenn uns die Formel darauf eine Antwort gibt, wenn sie etwa (Newton zuliebe) sagt, daß der grüne Farbfleck bei verschwindend kleinem Fensterladenloch bereits unmittelbar hinter dem Prisma auftaucht, sollte man sich hierdurch nicht dazu verleiten lassen, zu behaupten, man habe einen einzelnen

30 Zugegeben, für die Aufstellung einer solchen Formel wären keine Mittel aus den Gefilden der Höheren Mathematik nötig. Aber was schadet das? Auch die Mathematik aus Newtons *Optics* ist eher bodenständig – etwa im Vergleich mit Newtons Gebrauch der Mathematik in den *Principia*.

weißen Lichtstrahl beobachtet und dessen prismatische Zerlegung in das komplette Farbspektrum experimentell nachgewiesen.

Die tatsächlich beobachtbaren Phänomene bleiben hinter dem bloß mathematischen Extremfall zurück: Der mathematische Extremfall gehört ins Reich der Hypothese, die Phänomene ins Reich der Fakten. Solange man idealisierend gewonnene Hypothesen nicht mit den Fakten verwechselt, solange hat Goethe allerdings keine grundsätzlichen Einwände gegen Idealisierungen.

Ein Mißverständnis droht an dieser Stelle Goethes Punkt zu verwässern. Man könnte versucht sein, die Angelegenheit als Streit um Worte herunterzuspielen. Vielleicht redet Goethe einfach nur strenger als Newton und verbannt, rein verbal, wissenschaftliche Ergebnisse immer noch ins unsichere Reich der Hypothese, wenn wir die Sache vernünftigerweise längst für entschieden erklären? Könnten wir nicht einfach sagen, daß wir ein wissenschaftliches Ergebnis dann als erwiesenes Faktum bezeichnen wollen, wenn sich das fragliche Ergebnis *per Idealisierung* zwingend aus den Beobachtungen ergibt? Der Vorschlag paßt gut zum Selbstverständnis vieler Naturwissenschaftler, die sich ihrer eigenen Idealisierungen sehr wohl bewußt sein können, ohne auf die Rede von wissenschaftlich erwiesenen Fakten verzichten zu wollen oder zu müssen. Aber der Vorschlag verdeckt ein entscheidendes Problem – ein Problem, das Goethe mit bewundernswerter Schärfe gesehen hat und das Newton gänzlich verborgen geblieben ist:

Die Phänomene lassen sich in völlig unterschiedliche Richtungen idealisieren. Selbst wenn wir uns ein für allemal fürs Idealisieren (und damit für *exakte* Naturwissenschaft) entschieden haben, diktieren uns die Phänomene den weiteren Weg nicht. Immer wieder stehen wir vor der Wahl zwischen verschiedenen theoretischen Optionen. Welche dieser Optionen wir weiterverfolgen, hängt nicht allein von den Phänomenen und von mathematischer Stringenz ab, sondern auch von Gesichtspunkten, die auf unseren Vorlieben beruhen, etwa auf Gesichtspunkten der Eleganz, Einfachheit, Sparsamkeit, Allgemeinheit, Anschlußfähigkeit an bereits etablierte Theorien usw.³¹ Nicht immer weisen alle diese Gesichtspunkte in ein und dieselbe Richtung. Es könnte beispielsweise vorkommen, daß wir eine ontologisch sparsame Theorieoption von hoher Allgemeinheit nicht weiter-

31 Siehe z. B. Quine und Ullian (1978), S. 66-80.

verfolgen, weil sie zu unübersichtlich wird. Und solche Abwägungen müssen kein eindeutiges Resultat liefern. Unsere Kriterien für die Theorienwahl bilden keinen Algorithmus, der nach Einspeisung der beobachteten Daten eine Rangfolge unter den zur Wahl stehenden Theorien auswirft.³²

Was ich im letzten Absatz skizziert habe, kann man als Minimalkonsens einer Mehrheit unter den Wissenschaftstheoretikern des 20. Jahrhunderts ansehen. Goethe hat diesen Konsens vorweggenommen – wenn auch nicht in allen Details und in nicht genau den Worten, die sich jetzt dafür eingebürgert haben.³³ Und er hat gleichsam nebenbei zu einer Frage Stellung genommen, die uns der skizzierte Minimalkonsens der neueren Wissenschaftstheorie aufdrängt und die immer noch kontrovers diskutiert wird: Gibt es echte Beispiele für überzeugende Alternativen zu unseren wohletablierten Theorien, oder besteht diese Möglichkeit nur im Prinzip – d. h. nur auf dem Papier der Wissenschaftstheoretiker?

Wenn es Beispiele für solche Alternativ-Theorien geben sollte, dann wären unsere tatsächlichen Theorien auf weit dramatischere Weise hypothetisch, als bislang herausgekommen ist. Bislang haben wir zum Beispiel Newtons Satz von der Heterogenität des weißen Lichts als Hypothese bezeichnet, weil es keinen stringenten empirischen Beweis für diesen Satz gibt, weil wir also nicht vollkommen sicher sein können, daß der Satz zutrifft. Das braucht uns nicht weiter zu beunruhigen, solange wir daran festhalten dürfen, daß der Satz die am besten begründete Hypothese zu den prismatischen Experimenten ausspricht, die wir kennen. Beunruhigend wäre es, wenn uns tatsächlich eine alternative Hypothese über den Weg liefe, die – aufs Ganze gesehen – ebensogut zu den prismatischen Experimenten paßt wie Newtons Satz. Newtons Satz wäre dann nicht bloß mangels vollkommener *Gewißheit* hypothetisch, sondern hypothetisch, weil ohne abgestützten Anspruch auf *Objektivität*. Denn wenn wir uns im Schatten einer gleichberechtigten Alternativ-Hypothese immer noch für Newtons Satz aussprechen, dann können wir nicht ehrlicherweise beanspruchen, mit dem Satz eine von uns unabhängige Welt zu treffen;

32 So z. B. Holm Tetens in seiner Berliner Antrittsvorlesung »Folgen die Wissenschaften methodologischen Regeln?« (Tetens 1996).

33 Er spricht z. B. von »Vorurteilen« statt von theoretischen Vorlieben, siehe Goethe (1810c), § 30.

der Satz ginge ja in diesem Fall auf eine willkürliche Entscheidung unsererseits zurück – und genau nicht auf die Welt.

Wo Goethe Newtons Satz von der Heterogenität des Lichts aus dem Reich der Fakten zu vertreiben sucht, da ist es ihm um Objektivität im eben beleuchteten Sinn zu tun. Er meint nicht nur, daß Newtons Heterogenität unsicher ist, weil es an Beweisen fehlt, sondern daß sie willkürlich ist, weil sie sich gegenüber Alternativen nicht objektiv behaupten kann. Und der Vorwurf sticht, weil Goethe dem Satz Newtons über die Heterogenität des Lichts in der Tat eine völlig gleichberechtigte Alternative entgegensetzen kann: die Hypothese von der Heterogenität der Finsternis.

6. Die Heterogenität der Finsternis

Goethe will diese Hypothese nicht selber verfechten, sondern nur als entscheidenden Trumpf gegen Newtons Objektivitätsansprüche ins Spiel bringen. Sie gehört zum faszinierendsten und scharfsinnigsten Bestand der gesamten Farbenlehre.³⁴ Goethe stützt sich bei der Formulierung der Hypothese auf ein prismatisches Experiment, das wir noch nicht erwähnt haben und das ihm bei der Vermannigfachung der Beobachtungen sofort ins Auge gesprungen ist. In den bislang beschriebenen Experimenten sind wir von einem hell beschienenen Fensterladenloch in ansonsten dunklem Zimmer ausgegangen – von einem Lichtfleck in dunkler Umgebung. Goethe kommt auf den originellen Gedanken, die Rollen von Licht und Finsternis zu vertauschen. Er möchte sehen, welche prismatischen Phänomene ein dunkler Fleck in lichter Umgebung zum Vorschein bringt.

Das gewünschte Experiment läßt sich am einfachsten anstellen, wenn man zum Auffangen etwaiger Farbstreifen anstelle der weißen Tafel die Netzhaut unseres Auges einsetzt. Das heißt, wir schauen direkt durchs Prisma – statt auf eine Tafel zu schauen, die ihrerseits registriert, was durchs Prisma kommt. Ohne die Tafel als Zwischenglied geraten wir sozusagen in unmittelbarerem Kontakt mit den Phänomenen und verlieren weniger Nuancen.

Schon die bislang betrachteten prismatischen Versuche lassen sich

³⁴ Für das folgende siehe Goethe (1810f), S. 42-43. Siehe auch Goethe (1810c), § 132.

auf diese Weise preisgünstig wiederholen.³⁵ Wenn wir etwa bei gutem Tageslicht durchs Prisma auf einen winzigen weißen Fleck vor schwarzem Hintergrund blicken, so sehen wir Newtons bekannte Farbenreihe:

orange, gelb, grün, blau, violett.

Und wenn wir den Fleck vergrößern oder den Abstand zwischen Fleck und Prisma verkleinern, tut sich anstelle des grünen Flecks abermals eine weiße Lücke in der Mitte der Farbenreihe auf, genau wie vorhin bei den Experimenten mit weißer Tafel:

orange, gelb, *weiß*, blau, violett.

Jetzt kommt Goethe mit seinem neuen Experiment. Er dreht den Spieß um und sieht sich durchs Prisma einen winzigen *schwarzen* Fleck vor weißem Hintergrund an.³⁶ Die Überraschung ist groß. Wieder entsteht eine Farbenreihe. Sie ist zwar nicht weniger deutlich und zeigt keine andere Größe als die ursprüngliche Farbenreihe – falls man in beiden Fällen jeweils einen Fleck derselben Größe mit demselben Prisma aus derselben Entfernung ansieht. Aber die neue Farbenreihe führt uns – zum Teil neue – Farben in völlig ungewohnter Ordnung vor. Anstelle der Reihe

orange, gelb, grün, blau, violett

aus dem ursprünglichen Experiment (beim Blick auf einen weißen Fleck vor dunklem Grund) sehen wir nun (beim Blick auf einen dunklen Fleck vor weißem Grund):

blau, violett, rot, orange, gelb.

Nirgends in der neuen Farbenreihe kommt Grün vor; d. h., die Mitte der alten Farbenreihe fehlt. Die neue Farbenreihe setzt sozusagen rechts von der Mitte der alten Reihe an (»blau, violett«) und springt dann zu deren linkem Teil (»orange, gelb«), wobei sie diesen Sprung in der Mitte durch Einfügen einer neuen Farbe abmildert: Rot.

Für das unvoreingenommene Auge sind die beiden Farbenreihen gleichwertig. Sie sind gleich hell, gleich deutlich, gleich groß und

³⁵ Aus naheliegenden Gründen bezeichnet Goethe die hier zuerst besprochenen Experimente als »objektive Versuche«, und die Versuche, bei denen der Experimentator selber durchs Prisma blickt, heißen »subjektive Versuche«. Die subjektiven und die objektiven Versuche stehen in einer eindeutigen Beziehung zueinander; siehe Goethe (1810b), § 299-305. Auch bei Newton kommen subjektive Versuche vor (allerdings nicht unter dieser Bezeichnung); schon sein erstes Experiment aus den *Optics* ist ein subjektiver Versuch (siehe Newton 1704, S. 17-18).

³⁶ Siehe Goethe (1810b), § 215. Vgl. auch die Abb. II nach Seite 190.

gleichermaßen bunt. Es gibt bis auf weiteres nicht den geringsten Grund, die eine Farbenreihe vor der anderen Farbenreihe auszuzeichnen.³⁷ Und das bedeutet: Wenn Newton berechtigt war, aus dem ursprünglichen Experiment (mit weißem Fleck auf dunklem Grund) abzuleiten, daß sich beim Weg durchs Prisma *Licht* in seine Bestandteile

orange, gelb, grün, blau, violett aufgespalten hat, dann muß es ebenso erlaubt sein, aus dem neuen Experiment (mit dunklem Fleck auf weißem Grund) abzuleiten, daß sich *Finsternis* beim Weg durchs Prisma in seine Bestandteile

blau, violett, rot, orange, gelb aufgespalten hat; und genau das ist die Hypothese von der Heterogenität der Finsternis.³⁸ Finsternis und Schwärze sind dieser neuen Sicht zufolge zusammengesetzte Phänomene; sie entstehen durch Überlagerung der Farben Blau, Violett, Rot, Orange und Gelb – sozusagen durch Überlagerung verschiedenfarbiger Finsternis-Strahlen.

Das ist schon auf den ersten Blick eine extravagante Hypothese, gegen die sich lauter Einwände aufdrängen; wir werden gleich auf zwei dieser Einwände eingehen. Doch bevor wir uns in den Streit um die Hypothese von der Heterogenität der Finsternis vertiefen, möchte ich daran erinnern, daß Goethe diese Hypothese nicht in eigener Sache vertritt. Goethe will unseren instinktiven Widerstand gegen die Heterogenität der Finsternis in Widerstand gegen Newtons Heterogenität des Lichts ummünzen. Beide Hypothesen sind extra-

37 Daß sich an diesem Sachverhalt auch nichts durch Rückwendung zu den objektiven Versuchen ändert, zeigt Goethe anhand eines parallelen Experiments mit Wasserprisma, siehe Goethe (1810b), § 331. Die Ergebnisse dieses objektiven Experiments kann man besonders deutlich auf Goethes sechster Tafel verfolgen (Goethe 1810f, S. 27-28). Es lohnt sich, diese Tafel mit der fünften Tafel (ebd., S. 24-26) zu vergleichen, in der das ursprüngliche objektive Experiment Newtons dargestellt ist: Abgesehen von unterschiedlichen Farben bieten beide Tafeln genau dasselbe Bild.

38 Goethe: »Diese Phänomene gingen mir also völlig parallel. Was bei Erklärung des einen recht war, schien bei dem andern billig; und ich machte daher die Folgerung, daß wenn die Schule behaupten könne, das weiße Bild auf schwarzem Grunde werde durch die Brechung in Farben aufgelöst, getrennt, zerstreut, sie eben so gut sagen könne und müsse, daß das schwarze Bild durch Brechung gleichfalls aufgelöst, gespalten, zerstreut werde« (Goethe, 1810f, S. 42). Der Ausdruck »Heterogenität der Finsternis« stammt nicht von Goethe.

vagant und gleichermaßen unglaubwürdig, meint Goethe. Der einzige Unterschied: An Newtons Heterogenität des Lichts haben wir uns seit langem gewöhnt, während die Heterogenität der Finsternis ein ungewöhnlich neuer Gedanke ist.

Der erste Einwand gegen diesen neuen Gedanken, der hier zur Sprache kommen soll, besagt, daß Finsternis im Gegensatz zum Licht nicht durch Prismen gesandt werden kann; nur Lichtstrahlen bewegen sich im Raume. Wenn man die überkommene Theorie der optischen Phänomene voraussetzt, ist das sicherlich richtig. Aber die Rede von Lichtstrahlen ist hypothetisch und steckt voller theoretischer Annahmen. Wer hat je einen Lichtstrahl gesehen? Man kann zwar in dem, was sich unserem Auge darbietet, allerlei Lichtstrahlen vermuten.³⁹ Man kann aber dem sich darbietenden Bild ebenso gut Finsternis-Strahlen entnehmen. Unmittelbar zu beobachten ist weder das eine noch das andere.⁴⁰

7. Die Newtonsche Erklärung des komplementären Farbspektrums

Der zweite Einwand gegen die Heterogenität der Finsternis macht uns wortreich darauf aufmerksam, daß diese Hypothese überflüssig ist. Um den (neuen) Farbstreifen zu erklären (der sich beim Blick

39 Siehe Goethe (1810c), § 217.

40 Siehe Goethes Kepler-Übersetzung, die er mit Zustimmung vorträgt (Goethe 1810d, S. 157 f.). – Geert Keil hat mich herausgefordert zu erklären, was Finsternis-Strahlen sein sollen. Meine Antwort liegt nahe: Der Begriff der Finsternis-Strahlen ist ein theoretisches Konzept – genau wie der Begriff des Lichtstrahls. Weder Lichtstrahlen noch Finsternis-Strahlen lassen sich beobachten (siehe oben Fußnote 25). Sehen kann man nur (in mindestens zwei Dimensionen ausgedehnte) Flecken: weiße, rote, gelbe Flecken genauso wie schwarze Flecken. Diese Flecken kann man – muß man aber nicht – mit Hilfe von Lichtstrahlen theoretisch erklären (wobei man schwarze Flecken durch Abwesenheit von Lichtstrahlen erklären wird). Man kann die weißen, roten, gelben und schwarzen Flecken aber auch mit Hilfe von Finsternis-Strahlen erklären. In diesem Fall wird man weiße Flecken durch Abwesenheit von Finsternis-Strahlen erklären. Wenn wir z. B. ein buntgeflecktes Bild mit schwarzen und weißen Farbtupfern mittels einer Camera obscura anschauen, so sehen wir dasselbe Bild (allerdings seitenverkehrt): buntgefleckt mit schwarzen und weißen Flecken. Liegt es nicht nahe, die dort aufgefangenen schwarzen Flecken als Wirkung von Finsternis-Strahlen aufzufassen, die durch die Öffnung der Camera Obscura gelangt sind?

durchs Prisma auf einen schwarzen Fleck zeigt), genügt Newtons Heterogenität des Lichts. Denn die von der weißen *Umgebung* des schwarzen Flecks herkommenden Lichtstrahlen haben ganz verschiedene Farben und werden auf dem Weg durchs Prisma verschieden stark gebrochen. So treffen an verschiedenen Punkten unserer Netzhaut ganz unterschiedliche Farbkombinationen aufeinander; und deren Überlagerung liefert genau die beobachtete Farbenreihe:

blau, violett, rot, orange, gelb.

So weit beruht der Einwand auf einem ungedeckten Scheck: auf dem Versprechen einer Erklärung, die allererst durchbuchstabiert werden muß. Gehen wir den ersten Schritt dieser Erklärung im einzelnen durch!

Betrachten wir zum Beispiel den Punkt in unserer Netzhaut, wo die violette Komponente eines Lichtstrahls auftrifft, der ein gutes Stück links vom schwarzen Fleck seinen Ausgang nahm. (Siehe Abb. III nach Seite 190, oberste Farbenzeile.) Die andersfarbigen Komponenten dieses Lichtstrahls werden vom Prisma weniger stark nach rechts abgelenkt als seine violette Komponente und müssen daher den betrachteten Netzhautpunkt verfehlen. Trotzdem kommen in diesem Netzhautpunkt weitere gebrochene Lichtstrahlen an: etwa die blaue Komponente eines Lichtstrahls, der direkt links neben dem schwarzen Fleck entspringt, also weniger weit links entstanden ist als der zuerst betrachtete violette Lichtstrahl, und mithin durchs Prisma nicht so stark vom Weg abgelenkt zu werden braucht, um genau am betrachteten Netzhautpunkt aufzutreffen (Abb. III nach Seite 190, zweite Zeile). Nach Newton wird blaues Licht weniger stark als violettes Licht beim Weg durchs Prisma abgelenkt.

Käme nun grünes Licht aus dem durchs Prisma angeschauten dunklen Fleck selber, so würde dies grüne Licht gleichfalls im betrachteten Netzhautpunkt auftreffen; grünes Licht würde noch weniger weit nach rechts vom Weg abgelenkt werden als die weiter links entstandenen – und stärker abgelenkten – blauen bzw. violetten Lichtstrahlen. Aber der Fleck aus unserem Experiment ist schwarz und entsendet kein grünes Licht; er entsendet überhaupt kein Licht (Abb. III nach Seite 190, dritte Zeile).

Erreicht also nur blaues und violettes Licht den betrachteten Netzhautpunkt? Nein. Denn bislang hatten wir nur die linke Umgebung des schwarzen Flecks (und diesen Fleck selber) im Auge. Direkt rechts neben dem schwarzen Fleck entspringt aber ein Lichtstrahl

mit einer gelben Komponente, die noch weniger stark nach rechts abgelenkt wird als die zuvor erwähnten Lichter und die daher gleichfalls an Ort und Stelle ins Ziel geht (Abb. III nach Seite 190, vierte Zeile). Und von noch weiter rechts aus der Umgebung des schwarzen Flecks gelangt dorthin sogar orangenes Licht (Abb. III nach Seite 190, fünfte Zeile).

Damit ist die Geschichte für den betrachteten Netzhautpunkt komplett. Alle übrigen farbigen Lichtstrahlen aus der Umgebung des schwarzen Flecks werden auf ihrem Weg durchs Prisma entweder nicht weit genug abgelenkt, um den besagten Netzhautpunkt zu erreichen – oder sie schießen über dies Ziel hinaus. Aus Newtons Spektrum sind also alle Farben außer Grün an der fraglichen Stelle ins Ziel gelangt. Und wenn sich dort demzufolge Lichtstrahlen mit den Farben

orange, gelb, –, blau, violett

übereinanderlagern, dann entsteht: Rot. (Siehe Abb. III nach Seite 190 unterste Zeile, fünfte Spalte von links.)

So weit die Newtonsche Erklärung der roten Mitte des Farbenstreifens, den wir beim prismatischen Blick auf einen schwarzen Fleck zu sehen bekommen. Für die anderen Farben jenes Streifens lassen sich entsprechende Erklärungen angeben. So treffen ein kleines Stück neben dem eben durchdeklinierten Netzhautpunkt alle Farben außer Blau ein. (Blau würde diesen benachbarten Netzhautpunkt nur erreichen, wenn vom durchs Prisma angeschauten dunklen Fleck blaues Licht ausginge; doch der Fleck ist schwarz und entsendet überhaupt kein Licht). Wenn man nun alle Newtonschen Farben außer Blau übereinanderlegt:

orange, gelb, grün, –, violett,

so ergibt sich: Orange. Und in der Tat sieht man in unserem Experiment unmittelbar neben der roten Mitte einen orangenen Streifen.

Fazit: Es scheint zu stimmen, daß Newton jede einzelne Farbe aus dem neuen Farbenstreifen

blau, violett, rot, orange, gelb

als komplizierte Überlagerung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen erklären kann – als Überlagerung von Lichtstrahlen, die aus der weißen Umgebung des schwarzen Flecks herkommen. Newtons Hypothese von der Heterogenität des weißen Lichts ist stark genug, um mit der neuen Farbenreihe fertigzuwerden. Die neue Farbenreihe verlangt nicht nach einer extravaganten neuen Hypothese; sie verlangt

nicht nach der Hypothese von der Heterogenität der Finsternis. Und das scheint zu bedeuten, daß die Hypothese von der Heterogenität der Finsternis überflüssig ist: So lautet jedenfalls der zweite Einwand gegen die Hypothese, dessen Darstellung wir hiermit abschließen.

Goethe wischt diesen Einwand mit grandioser Geste vom Tisch. Ihm kommt die Newtonsche Erklärung des neuen Farbstreifens zu verzwickelt vor, um zu überzeugen. Er polemisiert und macht sich nicht die Mühe, den Gegner mit dessen eigenen Waffen zu schlagen.⁴¹ Damit will ich sagen, daß Goethe dem Einwand tiefgreifender hätte begegnen können, als er es für nötig gehalten hat. Er hat zwar wieder und wieder darauf hingewiesen, daß die prismatischen Farben beim Blick auf einen schwarzen Fleck genau so behandelt werden sollten wie Newtons prismatische Farben beim Blick auf einen weißen Fleck. Aber in unserem augenblicklichen Zusammenhang hat er versäumt, der Parallele zwischen den beiden Phänomenen weit genug zu folgen.

8. Was Goethe hätte erwidern können

Um dem im letzten Abschnitt auseinandergesetzten Einwand gegen die Heterogenität der Finsternis zu begegnen, hätte Goethe diesen Einwand einfach vom Kopf auf die Füße stellen und gegen Newtons Heterogenität des Lichts ins Feld führen können. Er hätte sagen können, daß Newtons Hypothese von der Heterogenität des Lichts überflüssig ist, weil sich das Newtonsche Spektrum

orange, gelb, grün, blau, violett,

das beim prismatischen Blick auf einen weißen Fleck zum Vorschein kommt, als komplizierte Überlagerung von *Finsternis*-Strahlen erklären läßt, die aus der *schwarzen Umgebung* jenes weißen Flecks herkommen.

So treffen einen bestimmten Netzhautpunkt im Auge des Beobachters einerseits die stärker von ihrem Weg abgelenkten gelben und orangenen Finsternis-Strahlen (die aus der linken Umgebung des weißen Flecks herkommen), andererseits die viel weniger weit

⁴¹ Goethe: »Die Nachwelt wird mit Erstaunen ein solches Musterstück betrachten, wie gegen Ende des achtzehnten Jahrhunderts in den Naturwissenschaften verfahren worden, deren sich das dunkelste Mönchtum und eine sich selbst verwirrende Scholastik nicht zu schämen hätte« (Goethe 1810f, S. 47).

vom Weg abgelenkten blauen und violetten Finsternis-Strahlen (die aus der rechten Umgebung des weißen Flecks herkommen). Verfehlt wird dieser Netzhautpunkt nur von den roten Finsternis-Strahlen, die stärker als die blauen und violetten, aber weniger stark als die gelben und orangenen Finsternis-Strahlen vom Weg abgelenkt werden und die deshalb fehlen, weil sie genau aus dem angeschauten weißen Fleck herkommen müßten, um an der besagten Stelle auf der Netzhaut des Beobachters aufzutreffen. Und aus der Überlagerung der Finsternis-Strahlen

blau, violett, –, orange, gelb

ergibt sich der Farbeindruck, den wir in der Mitte des Spektrums finden, wenn wir wie Newton durchs Prisma auf einen weißen Fleck schauen: Grün.

Diese Erklärung der grünen Mitte des – ursprünglich entdeckten – Newtonschen Farbspektrums mit Hilfe der Hypothese von der Heterogenität der Finsternis funktioniert genauso gut und folgt demselben Muster wie die Newtonsche Erklärung des – später entdeckten, komplementären – Farbspektrums. Und nach diesem Muster lassen sich natürlich auch die anderen Farben des Newtonschen Spektrums auf die Hypothese von der Heterogenität der Finsternis zurückführen. (Siehe Abb. IV nach Seite 190.)

Das bedeutet: Die Hypothese von der Heterogenität der Finsternis und die hierauf aufbauenden unorthodoxen Erklärungen bieten das exakte Spiegelbild der Newtonschen Hypothese von der Heterogenität des Lichts und der darauf aufbauenden Erklärungen.

Die Newtonianer halten die Farbenreihe:

orange, gelb, grün, blau, violett

für grundlegend, leiten aus ihr die Heterogenität des weißen Lichts ab (Abb. I nach Seite 190) und behaupten:

Auf dem Weg durchs Prisma werden violette Lichtstrahlen stärker als blaue, blaue stärker als grüne, grüne stärker als gelbe und gelbe stärker als orangene Lichtstrahlen gebrochen.

Hieraus und aus bestimmten Annahmen über die Ergebnisse der Überlagerung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen (s. u.) erklären die Newtonianer die Farbenreihe:

blau, violett, rot, orange, gelb,

die sich beim prismatischen Blick auf einen schwarzen Fleck zeigt (Abb. III nach Seite 190).

Ihre unorthodoxen Gegner gehen umgekehrt vor, halten die zu-

letzt erwähnte Farbenreihe für grundlegend, leiten aus ihr die Heterogenität der Finsternis ab (Abb. II nach Seite 190) und behaupten:

Auf dem Weg durchs Prisma werden gelbe Finsternis-Strahlen stärker als orangene, orangene stärker als rote, rote stärker als violette und violette stärker als blaue Finsternis-Strahlen gebrochen.

Hieraus und aus bestimmten Annahmen über die Ergebnisse der Überlagerung verschiedenfarbiger Finsternis-Strahlen erklären die Newton-Gegner die Farbenreihe:

orange, gelb, grün, blau, violett,

die sich beim prismatischen Blick auf einen weißen Fleck zeigt (Abb. IV nach Seite 190).

Ich habe diese unorthodoxe Sicht der Dinge vorhin als exaktes *Spiegelbild* der Newtonschen Sicht bezeichnet. Doch da ein Spiegelbild immer dieselben Farben zeigt wie das Original, führt diese Rede-weise in die Irre. Treffender wäre es gewesen, die unorthodoxe Sicht als exaktes *Farbnegativ* der Newtonschen Sicht zu bezeichnen. Denn so, wie sich beim Abzug eines Farbbildes von seinem Negativ alle Farben in ihre Gegenfarben verwandeln, so läßt sich die unorthodoxe Sicht der prismatischen Phänomene durch Farbkomplementierung aus der Newtonschen Sicht gewinnen. Wenn man die Rollen der Farben

Violett und Gelb,

Blau und Orange,

Grün und Rot,

Weiß und Schwarz

vertauscht und die Rede von Lichtstrahlen durch die von Finsternis-Strahlen ersetzt, so geht die Newtonsche Geschichte in ihr unorthodoxes Gegenstück über. Beide Geschichten haben dieselbe Struktur. (Aber die beiden Geschichten widersprechen einander!)

Und das bedeutet, daß die beiden konkurrierenden Geschichten in Sachen Eleganz, Ökonomie, Einfachheit und Sparsamkeit *genau* gleich gut dastehen. Wir haben mit Goethes Hilfe ein Beispiel für zwei konkurrierende Theorien aufgetan, zwischen denen sich nicht mit Anspruch auf Objektivität entscheiden läßt. Weder können die prismatischen Phänomene eine materiale Entscheidung zwischen den beiden Theorien erzwingen – noch ergibt sich die Entscheidung, wenn wir uns zusätzlich auf strukturelle Eigenschaften der zur Wahl stehenden Theorien zu stützen versuchen.

9. Ein neues Experiment gegen die Heterogenität der Finsternis?

Ich habe im letzten Abschnitt unter anderem behauptet, daß Goethes unorthodoxe Heterogenität der Finsternis empirisch genauso gut zu den prismatischen Phänomenen passe wie Newtons Heterogenität des weißen Lichts. Stimmt das wirklich? Es stimmt ganz sicher bei den prismatischen Experimenten, die wir bislang behandelt haben: bei den (subjektiven) Experimenten, in denen entweder wenig weißes Licht und viel Dunkelheit oder viel weißes Licht und wenig Dunkelheit durchs Prisma angeschaut werden – und bei deren objektiven Entsprechungen.⁴²

Nun kann man mit Prismen mehr Experimente anstellen, als bislang zur Sprache gekommen sind. Daher müssen wir uns fragen, ob wir nicht irgendwelche anderen prismatischen Experimente aushecken können, die den Streit zwischen der Heterogenität der Finsternis und der des weißen Lichts doch noch zu entscheiden vermögen.

Eric Oberheim hat sich ein solches Experiment ausgedacht; sein Experiment zielt darauf ab, die Heterogenität der Finsternis empirisch zu widerlegen. Ich möchte zunächst die Grundidee schildern, die Eric Oberheim zu seinem neuen Experiment geleitet hat. Goethes Experiment des komplementären Spektrums (das sich beim prismatischen Blick auf einen schwarzen Fleck vor weißem Hintergrund zeigt, wie in Abschnitt 6 vorgeführt) erweckt den *Anschein*, als steckten die Farben des komplementären Spektrums in dem schwarzen Fleck – in Wirklichkeit kommen sie aus dessen lichter Umgebung und beruhen auf Newtons Heterogenität des Lichts aus dieser Umgebung. Um nun zu zeigen, daß in dem schwarzen Fleck selber keinerlei Farbspektrum steckt, schlägt Eric Oberheim vor, das Experiment in einer Umgebung mit homogenem Licht zu wiederholen – zum Beispiel in einer Umgebung, deren einzige Lichtquelle homogenes *grünes* Licht ausstrahlt.⁴³ Das ist das neue Experiment, das ich im vorliegenden Abschnitt behandeln möchte: Wir betrachten in ho-

⁴² Den Unterschied zwischen objektiven und subjektiven Experimenten habe ich in Fußnote 35 erläutert.

⁴³ Es spielt für die weiteren Überlegungen keine Rolle, ob wir in ihnen – wie oben – homogenes grünes Licht verwenden oder irgendeine andere homogene Lichtsorte, etwa blaues oder gelbes homogenes Licht.

mogen grün beleuchteter Dunkelkammer einen schwarzen Fleck auf einer weißen Tafel.

Bevor wir das Prisma zum Auge führen, wird in dieser Konstellation die (bei normalem Licht) weiße Tafel unseres schwarzen Flecks grün erscheinen (da diese Tafel nur grünes Licht reflektieren kann); der schwarze Fleck erscheint weiterhin schwarz. Was passiert nun, wenn wir dies Bild durchs Prisma betrachten? Die Antwort liegt auf der Hand: Auch dann sehen wir einen schwarzen Fleck vor grün erscheinendem Hintergrund (und zwar verschoben gemäß den bekannten Brechungsgesetzen). Diese Beobachtung wird jedenfalls von Newtons Theorie vorausgesagt. Laut Newton werden im augenblicklichen Experiment alle grünen Lichtstrahlen bei ihrem Weg durchs Prisma gleich stark gebrochen und ändern dabei ihre Farbe nicht; der schwarze Fleck sendet keine Lichtstrahlen aus – dort, wo er im prismatischen Bild auf der Netzhaut des Beobachters hingehört, spielen sich keine optischen Prozesse ab, und das dortige Fehlen solcher Kausalprozesse wird vom Beobachter schwarz wahrgenommen.

Ich will nicht bestreiten, daß das Experiment zu der Beobachtung führt, die Newtons Theorie verlangt – obwohl ich es nicht selber ausprobiert habe und obwohl es zu Newtons oder Goethes Zeit nicht hätte ausprobiert werden können.⁴⁴ Der Beobachter hinter dem Prisma sieht also einen schwarzen Fleck vor grünem Hintergrund. Klarerweise brauche ich diesen Versuchsausgang nicht zu bestreiten, da ich ja nicht behaupte, daß Newtons empirische Prognosen falsch

44 Damals konnte man nicht genug homogenes Licht einer Farbe *produzieren*. Immerhin konnte man schon damals *überprüfen*, ob irgendwelches Licht (wie auch immer produziert) nach Newton »homogen« genannt zu werden verdient. Das ist dann der Fall, wenn es im Finstern einer Dunkelkammer beim Weg durchs Prisma stets gleich stark gebrochen wird und sich dabei nicht in mehrere Farben aufspaltet. Ein Anhänger der unorthodoxen Heterogenität der Finsternis würde dies Testverfahren tendenziös finden, da er sich weigert zu glauben, daß die Finsternis in der Dunkelkammer keine eigenen optischen Prozesse auslöst. Dennoch könnte er Newtons Test durchführen und vielleicht (im Fall des verlangten Testausgangs) von »scheinbarer Homogenität à la Newton« reden. Denn das Testkriterium für die *wahre* Homogenität (aus Sicht der unorthodoxen Lehre) funktioniert genau entgegengesetzt: In der Lehre von der Heterogenität der Finsternis heißt ein Strahl genau dann »(unorthodox) homogen«, wenn er *bei Tageslicht* auf seinem Weg durchs Prisma stets gleich stark gebrochen wird und sich dabei nicht in mehrere Farben aufspaltet. Man macht sich leicht klar, daß alle Newtonschen homogenen Strahlen unorthodox heterogen sind und umgekehrt.

sind; ich behaupte nur, daß diese Prognosen genauso gut zur unorthodoxen Lehre von der Heterogenität der Finsternis passen.

Eric Oberheim sieht das anders. Seiner Ansicht nach paßt das augenblickliche Experiment nicht zur unorthodoxen Lehre, und zwar aus folgendem Grund: *Wenn* in der Finsternis, die von unserem schwarzen Fleck ausgeht, wirklich alle Farben des komplementären Spektrums stecken sollten (statt im lichten Hintergrund aus Goethes ursprünglichem Experiment, Abschnitt 6), dann müßten sie auch im augenblicklichen Experiment zum Vorschein kommen. In diesem Experiment zeigt sich aber genau kein buntes Spektrum – sondern nur das Grün, das schon ohne Prisma zu sehen ist. Und mithin ist (so Eric Oberheims Ergebnis) die Heterogenität der Finsternis empirisch widerlegt.

Diese Konklusion halte ich für voreilig. Um das zu begründen, möchte ich vorführen, wie sich das Experiment mit Hilfe der Heterogenität der Finsternis erklären läßt. Laut den Anhängern dieser Theorie ist Newtons angeblich homogenes grünes Licht in Wirklichkeit eine heterogene Mischung aus

blauen und violetten sowie orangenen und gelben Finsternis-Strahlen.⁴⁵ Diese Finsternis-Strahlen sind divers refrangibel (wobei die gelben Finsternis-Strahlen am weitesten auf ihrem Weg durchs Prisma abgelenkt werden und die blauen am wenigsten weit). Der schwarze Fleck sendet einerseits alle diese Finsternis-Strahlen aus:

blau, violett, –, orange, gelb, und andererseits *rote* Finsternis-Strahlen (die im heterogenen Grün ganz fehlen). Zusammengenommen betrachtet unser Beobachter also durchs Prisma ein Bild, das *überall* blaue, violette, orangene und gelbe Finsternis-Strahlen aussendet und an einer *einzigen* Stelle (am Ort des schwarzen Flecks) auch noch rote Finsternis-Strahlen bietet.

Da beim Weg durchs Prisma keine Finsternis-Strahlen verlorengehen und da sie auf ihrem Weg nur abgelenkt werden, nicht aber ihre Farbe ändern, werden auf der Netzhaut des Betrachters überall blaue, violette, orangene und gelbe Finsternis-Strahlen ankommen; und an genau eine Stelle werden zusätzlich die roten Strahlen gebrochen. Ge-

45 Siehe oben Abschnitt 8 sowie vorige Fußnote. Im Lichte der vorigen Fußnote müßte ich diese Mischung als »*unorthodox* heterogenes Grün« bezeichnen; um der Kürze willen werde ich das hier kursiv gesetzte Epitheton von nun an weglassen.

nau an dieser Stelle wird der Betrachter einen schwarzen Fleck wahrnehmen, denn hier und nur hier sind alle finsternen Bestandteile der Schwärze versammelt (nämlich blaue, violette, orangene, gelbe und rote Finsternis-Strahlen); an allen anderen Stellen auf seiner Netzhaut treffen lediglich blaue, violette, orangene und gelbe Finsternis-Strahlen auf – und deren optische Summe liefert das Grün, das der Betrachter in der Umgebung des schwarzen Flecks auch tatsächlich wahrnimmt.

Damit ist die unorthodoxe Erklärung des Phänomens vollständig. Auch im Rahmen der Theorie von der Heterogenität der Finsternis läßt sich Eric Oberheims Experiment erklären. Ich behaupte, daß wir eine solche unorthodoxe Erklärung für alle prismatischen Experimente aus Newtons *Optics* finden können. Sollte das stimmen, so hat Goethe recht, wenn er (wie eingangs dargetan) gegen Newton einwendet:

Die prismatischen Experimente beweisen nicht, daß das Sonnenlicht eine heterogene Mischung ist und aus Lichtstrahlen verschiedener Farben besteht.

10. Zwei Denkfiguren zugunsten empirischer Äquivalenz

Daß Newtons Theorie über Lichtstrahlen und ihre unorthodoxe Alternative über Finsternis-Strahlen empirisch gleichwertig sind, daß sie – wie eben behauptet – gleich gut zu *allen* prismatischen Phänomenen passen, kann ich hier nicht in allen Einzelheiten nachweisen; das würde unseren Rahmen sprengen. Ich kann mich nur auf den bereits vorgeführten Beginn dieses Nachweises berufen und anhand einiger Andeutungen illustrieren, wie der Nachweis fortzusetzen wäre.⁴⁶

⁴⁶ Folgende weiterführende Frage werde ich hier nicht behandeln können: Wenn sich (wie ich behaupte) keines der Newtonschen Experimente *mit Prismen* gegen die Heterogenität der Finsternis ins Feld führen läßt: Welche anderen Experimente gegen diese Hypothese könnte Newton aufbieten? Wie steht es z. B. mit Experimenten zur energetischen Wirkung von Licht oder mit Experimenten zu Reflexion und Absorption? Und: Mit Hilfe welches Experiments, das wir *heutzutage* durchführen können, läßt sich die Heterogenität der Finsternis am einfachsten widerlegen?

Der Nachweis würde auf zwei einander ergänzenden Denkfiguren beruhen. Einerseits auf der *unorthodoxen Erklärung* weiterer prismatischer Phänomene, die bislang immer nur im Rahmen der Newtonschen Orthodoxie erklärt worden sind – andererseits auf der *komplementären Vermehrung* der Phänomene: Zu jedem scheinbar für Newtons Theorie sprechenden Phänomen wäre ein komplementäres Phänomen anzugeben, das gleichsam dessen Farbnegativ bildet und daher genauso deutlich für die unorthodoxe Theorie spricht wie das ursprüngliche Phänomen für Newtons Theorie.

Um die beiden Denkfiguren zumindest grob zu illustrieren, ziehen wir Newtons Weiß-Synthese heran. Das ist ein weiteres prismatisches Experiment, das beim ersten Hinsehen für Newtons Heterogenität des weißen Lichts spricht. Angesichts unserer beiden Denkfiguren wird sich dieser Eindruck verflüchtigen. Wir werden das Farbnegativ des Experiments kennenlernen (die Schwarz-Synthese) und im Anschluß daran die unorthodoxe Erklärung des ursprünglichen Experiments ins Visier nehmen.

Bei der Weiß-Synthese wird ein im Dunklen aufgefächertes prismatisches Farbspektrum:

orange, gelb, grün, blau, violett

durch erneute Brechung (in entgegengesetzter Richtung) wieder so zusammengebündelt, daß man im Ergebnis einen weißen Lichtfleck auffängt.⁴⁷ Die Schwarz-Synthese funktioniert genau umgekehrt. Hier erzeugen wir einen schwarzen Fleck durch Bündelung eines im Hellen aufgefächerten komplementären Farbspektrums:

blau, violett, rot, orange, gelb.

Wenn die Weiß-Synthese für die Heterogenität des Lichts spricht, so spricht die Schwarz-Synthese für die Heterogenität der Finsternis. Nun können wir nicht beide Hypothesen gleichzeitig für wahr halten. (Die eine Hypothese kann ihre Erklärungslasten nur tragen, wenn die andere falsch ist: Newtons Erklärungen beruhen auf der Annahme, daß man schwarze Umgebungen ignorieren darf, weil sie keine kausale Kraft entfalten; die unorthodoxen Erklärungen seiner Konkurrenz beruhen auf der entgegengesetzten Annahme, daß man weiße Umgebungen ignorieren darf, weil sie keine kausale Kraft entfalten. Kurz, die beiden Hypothesen heben sich gegenseitig auf.)

Natürlich kann unsere neue Überlegung zugunsten der Hetero-

⁴⁷ Siehe Newton (1672), S. 79.

genität der Finsternis nur überzeugen, wenn die Schwarz-Synthese wirklich funktioniert. Aber interessanterweise brauchen wir nicht in der Welt nachzusehen, ob das beschriebene zweite Experiment den gewünschten schwarzen Fleck zutage fördert. *Denn Newtons Theorie verlangt diesen Ausgang des Experiments.*

Skizze der Begründung: In der roten Mitte des zusammenzubündelnden komplementären Spektrums stoßen zwei Gruppen von Lichtstrahlen aufeinander, die laut Newton nicht zusammengehören und die bei Brechungen weit auseinandergerissen werden: Auf dem Weg durchs Prisma wird rot-violettes Licht sehr weit, rot-oranges Licht dagegen am wenigsten weit abgelenkt. Dadurch reißt sozusagen eine lichtlose Lücke im aufgefangenen Bild auf.

Wenn das richtig ist, dann fordert Newtons Theorie Phänomene, die sich zwar à la Newton erklären lassen, die aber genauso deutlich für die Heterogenität der Finsternis sprechen. Mehr noch, wir haben nun sogar einen Ansatzpunkt für die andere Denkfigur, auf die ich meine Behauptung der empirischen Gleichwertigkeit der beiden Theorien stützen kann. Denn wenn man die Newtonsche Erklärung der Schwarz-Synthese Wort für Wort in ihr komplementäres Gegenstück überträgt, so erhält man daraus die unorthodoxe Erklärung der Newtonschen Weiß-Synthese!

Und das bedeutet, daß man die Weiß-Synthese nicht unbedingt mit Newtons Heterogenität des weißen Lichts verheiraten muß; die Weiß-Synthese paßt genauso gut zur Heterogenität der Finsternis. Beide Theorien sind immer noch empirisch gleichwertig.

II. Zurück zu Goethe

Wir können den Vergleich der beiden Theorien hier nicht vertiefen. Zu weit haben wir uns schon von dem entfernt, was Goethe zu diesem Thema beizusteuern hat. Für die lästigen Details des Vergleichs hat sich Goethe nicht interessiert. Ihm genügte die verblüffende Symmetrie zwischen Newtons Farbspektrum und dessen komplementärem Gegenstück, um intuitiv zu sehen, daß die Phänomene kein eindeutiges Votum für Newtons Theorie hergeben. Unsere Auseinandersetzung mit den Details bestätigt Goethes Einsicht. Vermutlich hätte er sich gegen meine Behauptung gesperrt, daß Newtons Heterogenität des weißen Lichts und deren unorthodoxe Alternative

(von der Heterogenität der Finsternis) angesichts der prismatischen Phänomene gleich *gut* dastehen; er hätte gesagt, daß beide Hypothesen gleich *schlecht* dastehen. (Und das erklärt, warum er sich nicht in die Details ihres Vergleichs vertiefen mochte.)

Die verblüffenden Symmetrien im Reich der Phänomene haben Goethe so sehr beeindruckt, daß ihn keine Theorie hätte überzeugen können, in der sich diese Symmetrien nicht wiederfinden.⁴⁸ Newtons Theorie von der Heterogenität des Lichts verfälscht diese Symmetrien, insofern sie das ursprüngliche Farbspektrum zum Ausgangspunkt macht und völlig anders behandelt als sein komplementäres Gegenstück; die unorthodoxe Alternativtheorie von der Heterogenität der Finsternis macht denselben Fehler – nur mit umgekehrten Vorzeichen.

Um den Fehler zu vermeiden, um also die Symmetrien der Phänomene auch theoretisch abzubilden, muß man Licht und Finsternis gleichwertig behandeln. Goethes eigene Theorie ist ein konsequenter Versuch in dieser Richtung.⁴⁹ Es ist wichtig zu sehen, daß sich Goethe seinen Weg in diese Richtung nicht von den Phänomenen hat diktieren lassen – sondern von der eigenen Vorliebe zugunsten bestimmter Symmetrien. Wenn man so will, verlangte Goethe von der Theorie der Farben eine ganz bestimmte Struktur; pathetischer gesagt: er verlangte nach Schönheit.

Das ist nichts Anrühiges. Weltberühmte Physiker des 20. Jahrhunderts haben sich von einem ähnlichen Verlangen nach Schönheit treiben lassen.⁵⁰ Und die Wissenschaftsphilosophie des 20. Jahrhunderts kam nicht darum herum, ästhetische Gesichtspunkte in den Kanon der respektierten Kriterien für die Theorienwahl aufzunehmen.

Wie gut Goethes eigene Theorie die anderen Kriterien aus diesem Kanon erfüllt, kann ich hier nicht im einzelnen erörtern. Goethes Theorie dürfte empirisch genauso gut zu den prismatischen Phänomenen passen wie Newtons Theorie und deren komplementäres Gegenstück; das läßt sich allerdings nicht leicht zeigen, da sie sich von diesen beiden spiegelbildlichen Alternativen strukturell stark unterscheidet. Aus demselben Grund kann man Goethes Theorie nur schwer in Hinblick auf Einfachheit mit den beiden Alternativen ver-

⁴⁸ Siehe Goethe (1810c), § 506.

⁴⁹ Siehe Goethe (1810b), § 696 ff.

⁵⁰ Zum Beispiel Paul Dirac, siehe Putnam (2003), S. 31.

gleichen. Daß Goethes Theorie ontologisch weniger sparsam ist als Newtons lichte Theorie und deren finsternes Gegenstück, liegt dagegen auf der Hand: Sie setzt Licht *und* Finsternis voraus, bezahlt also einen ontologischen Preis für die angestrebte Symmetrie zwischen Licht und Finsternis. Andererseits ist sie weniger abstrakt, da sie den Rückgriff auf (unendlich dünne) Licht- bzw. Finsternis-Strahlen vermeidet.

12. Schluß

Ich möchte offenlassen, ob wir alles in allem gute objektive Gründe haben, Newtons über Goethes Theorie zu stellen. Für die Zwecke dieses Aufsatzes genügt der zuvor geführte Nachweis, daß wir keine guten objektiven Gründe haben, Newtons Theorie über deren farb-negatives Gegenstück zu stellen. Mir war es darum zu tun, Goethes Argumente gegen Newtons Objektivitätsansprüche stark zu machen. Diese Argumente sind selbst dann überzeugend, wenn wir Goethes eigener Theorie über die Farben nicht folgen.

Und wir haben Anlaß genug, Goethes Theorie nicht zu folgen. Sie wäre ein störender Fremdkörper im Gewebe unserer augenblicklichen physikalischen Theorien. Daß es sich so verhält, ist natürlich nicht Goethe anzulasten. Als er die Farbenlehre schrieb, hatte sich aus Newtons Theorie des Lichts noch nicht viel weitergehende Physik entwickelt.⁵¹ Goethe hoffte nicht ganz ohne Berechtigung, daß sich seine Sicht der Dinge in umfassendere physikalische Theorien einfügen lassen würde. Hier hat ihm die spätere Entwicklung der Physik einen Strich durch die Rechnung gemacht.

Doch was beweist das? Wenn feststünde, daß sich die Physik auf festen objektiven Bahnen vorwärtsbewegt, dann spräche die spätere Entwicklung der Physik objektiv gegen Goethes Theorie der Farben. Nun hat unsere Betrachtung der prismatischen Experimente ernste Zweifel an der Hoffnung auf wissenschaftliche Objektivität geweckt. Als die wissenschaftliche Welt für Newtons Theorie des Lichts votierte, konnte von Objektivität dieses Votums keine Rede sein. (Ob das ein Sonderfall oder die Regel ist, haben wir nicht entscheiden können). Wenn die nachträgliche Erfolgsgeschichte gut zu jenem Vo-

⁵¹ Siehe Sepper (1987), S. 179.

tum paßt, so beweist dies nicht, daß ein anderes Votum weniger erfolgreiche Wissenschaft nach sich gezogen hätte. Vielleicht passen Goethes Theorie des Lichts oder die Theorie von der Heterogenität der Finsternis bloß deshalb nicht zur gegenwärtigen Physik, weil die gegenwärtige Physik auf dem *Entschluß* beruht, allein Newtons Theorie weiterzuverfolgen. Da sich dieser Entschluß einstweilen bewährt, brauchen wir ihn nicht zurückzunehmen. Trotzdem täten wir nicht gut daran, in den Entschluß mehr Objektivität hineinzulegen, als wirklich abgesichert ist.

Goethe hat nichts gegen den Versuch, die Welt mit Hilfe idealisierender, ja: abstrakter Theorien zu beschreiben. Aber er empfiehlt uns, mit unseren Theorien gelassener umzugehen:

Ist es doch eine höchst wunderliche Forderung, die wohl manchmal gemacht, aber selbst von denen, die sie machen, nicht erfüllt wird: Erfahrungen solle man ohne irgend ein theoretisches Band vortragen [. . .]. Denn das bloße Anblicken einer Sache kann uns nicht fördern. Jedes Ansehen geht über in ein Betrachten, jedes Betrachten in ein Sinnen, jedes Sinnen in ein Verknüpfen, und so kann man sagen, daß wir schon bei jedem aufmerksamen Blick in die Welt theoretisieren. Dieses aber mit Bewußtsein, mit Selbsterkenntnis, mit Freiheit, und um uns eines gewagten Wortes zu bedienen, mit Ironie zu tun und vorzunehmen, eine solche Gewandtheit ist nötig, wenn die Abstraktion, vor der wir uns fürchten, unschädlich, und das Erfahrungsergebnis, das wir hoffen, recht lebendig und nützlich werden soll.⁵²

Newton ging die Gewandtheit ab, die Goethe hier fordert; es fehlte ihm am Bewußtsein für die eigenen freien Entscheidungen, die bei seinem Sprung von den Phänomenen zur Theorie mit im Spiel waren – ja schlimmer: er war sich nicht einmal der Lücke zwischen Erfahrung und Theorie bewußt, die er zu überspringen hatte. Goethes Kritik an dieser unreflektierten Haltung ist bis heute aktuell. Der bekannte Poet und Geheime Rat war ein begnadeter Wissenschaftsphilosoph.⁵³

⁵² Goethe (1810a), S. 5.

⁵³ Ich danke Christa Krüger, Felix Mühlhölzer, Eric Oberheim und Friedrich Steinle für wertvolle Anregungen und deutliche Kritik zu früheren Fassungen dieser Überlegungen. Zudem danke ich dem Wiener Künstler Ingo Nussbaumer; er hat mich kurz vor der Durchsicht der Fahnen auf eine Serie von prismatischen Experimenten aufmerksam gemacht, die verblüffend gut mit meinen Überlegungen harmonieren – z.B. auf die Schwarzsyntaxe.

Literatur

- Fierz, M. (1983), »Einleitung«, in: *Isaac Newton, Optik oder Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts*, hg. v. W. Abendroth, Braunschweig: Vieweg, S. xiii-xvi.
- Goethe, J. W. von, *Die Schriften zur Naturwissenschaft. Erste Abteilung, Band 4-7*, hg. v. R. Matthaei und D. Kuhn, Weimar: Hermann Böhlaus Nachfolger 1955-1958 [= Leopoldina-Ausgabe, nachfolgend abgekürzt als LA I 4 bis LA I 7].
- (1810a), »Vorwort«, in: LA I 4, S. 3-10.
 - (1810b), *Entwurf einer Farbenlehre. Des ersten Bandes erster, didaktischer Teil*, in: LA I 4, S. 11-266.
 - (1810c), *Enthüllung der Theorie Newtons. Des ersten Bandes zweiter, polemischer Teil*, in: LA I 5.
 - (1810d), *Materialien zur Geschichte der Farbenlehre. Des zweiten Bandes erster, historischer Teil*, in: LA I 6.
 - (1810e), »Anzeige und Übersicht des Goethischen Werkes zur Farbenlehre«, in: LA I 7, S. 1-17.
 - (1810f), *Die Tafeln zur Farbenlehre und deren Erklärungen*, Ausg.: Frankfurt/M.: Insel 1994.
- Hegge, H. (1967/1972), »Theory of science in the light of Goethe's science of nature«, zit. nach: *Goethe and the sciences: A reappraisal*, hg. v. F. Amrine, F. J. Zucker und H. Wheeler, Dordrecht: Reidel 1987, S. 195-218.
- Helmholtz, H. von (1853), »Über Goethes naturwissenschaftliche Arbeiten«, in: ders. (1884), *Vorträge und Reden, Band I*, Braunschweig: Vieweg, S. 1-24.
- Höpfner, F. (1990), *Wissenschaft wider die Zeit. Goethes Farbenlehre aus rezeptionsgeschichtlicher Sicht*, Heidelberg: Winter.
- Lohne, J. A. (1965), »Isaac Newton: The rise of a scientist 1661-1671«, in: *Notes and Records of the Royal Society of London* 20, S. 125-139.
- Mausfeld, R. (1996) »'Wär' nicht das Auge sonnenhaft ... Goethes Farbenlehre: Nur eine Poesie des Chromatischen oder ein Beitrag zu einer naturwissenschaftlichen Psychologie?«, in: *ZiF: Mitteilungen* 4/96, S. 3-27.
- Muschg, A. (1986), *Goethe als Emigrant. Auf der Suche nach dem Grünen bei einem alten Dichter*, Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Newton, I. (1672), »The new theory about light and colors«, in: *Newton's philosophy of nature. Selections from his writing*, hg. v. H. S. Thayer, New York: Hafner 1953, S. 68-81.
- (1687), *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, hg. v. A. Koyré und I. B. Cohen, Cambridge: Harvard University Press, 1972.
 - (1704), *Optics: or, A treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light*, in: *Opera quae extant omnia, Tom. IV* v. I. Newton, Stutt-

gart: Friedrich Frommann Verlag 1964, S. 1-264. [Faksimile-Neudruck der Ausgabe von S. Horsley, London, 1779-1785].

- Putnam, H. (2003), *The Collapse of the Fact/Value Dichotomy*, Cambridge/Mass.: Harvard University Press.
- Quine, W. V. O., Ullian, J. S. (1970), *The web of belief*, New York: Random House 1978.
- Schöne, A. (1987), *Goethes Farbentheologie*, München: Beck.
- Sepper, D. L. (1987), »Goethe against Newton: Towards saving the phenomenon«, in: *Goethe and the sciences: A reappraisal*, hg. v. F. Amrine, F. J. Zucker und H. Wheeler, Dordrecht: Reidel, S. 175-193.
- Shapiro, A. E. (1996), »The gradual acceptance of Newton's theory of light and color, 1672-1727«, in: *Perspectives on Science* 4, S. 59-140.
- Steinle, F. (2002), »Das Nächste ans Nächste reihen: Goethe, Newton und das Experiment«, in: *Philosophia Naturalis* 39, S. 141-172.
- Tetens, H. (1996), »Folgen die Wissenschaften methodologischen Regeln?« (Antrittsvorlesung an der Freien Universität Berlin am 13. 6. 1996. Unveröffentlichtes Manuskript).