

**mk** MARSILIUS  
KOLLEG

SCHRIFTEN  
DES  
MARSILIUS-KOLLEGS  
Band 16



Universitätsverlag  
WINTER  
Heidelberg



UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG  
ZUKUNFT  
SEIT 1386

Das Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg ist eine Einrichtung, die das Gespräch und die Zusammenarbeit zwischen den Wissenschaftskulturen fördert. Im Mittelpunkt steht der Brückenschlag zwischen den Natur- und Lebenswissenschaften einerseits und den Geistes-, Sozial- und Rechtswissenschaften andererseits. Die Erträge werden mit den Schriften des Marsilius-Kollegs der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

# Anthropologie der Wahrnehmung

Herausgegeben von

MAGNUS SCHLETTE

THOMAS FUCHS

ANNA MARIA KIRCHNER

Universitätsverlag  
WINTER  
Heidelberg

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet  
über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-8253-6756-5

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.  
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes  
ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt ins-  
besondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen  
und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2017 Universitätsverlag Winter GmbH Heidelberg  
Imprimé en Allemagne · Printed in Germany  
Druck: Memminger MedienCentrum, 87700 Memmingen  
Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem  
und alterungsbeständigem Papier.

Den Verlag erreichen Sie im Internet unter:  
[www.winter-verlag.de](http://www.winter-verlag.de)

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	9
Einleitung <i>Magnus Schlette und Thomas Fuchs</i> Anthropologie als Brückendisziplin .....	11
Teil I Annäherungen	
<i>Magnus Schlette und Anna Maria Kirchner</i> Einführung .....	49
<i>Stefan Glasauer/Frederike Petzschnr</i> Wahrnehmung als Inferenz .....	61
<i>Stefanie Höhl</i> Wahrnehmung und Kategorisierung von Gesichtern in der frühen Entwicklung .....	89
<i>Thomas Fuchs</i> In Kontakt mit der Wirklichkeit. Wahrnehmung als Interaktion	109
<i>Matthias Jung</i> Ausdruck, Wahrnehmung und symbolische Distanz .....	141
<i>Jürgen Trabant</i> Symbolische Artikulation und Wahrnehmung .....	161
<i>Sonja Rinofner-Kreidl</i> Emotionales Engagement und praktische Identität. Zur Phänomenologie moralischer Wahrnehmung .....	183

<i>Peter Bexte</i>	
Fokussierte Wahrnehmungen. Von Himmelsblicken zu Bildbetrachtungen .....	221
<i>Stephan Günzel</i>	
Wahrnehmung im Computerspiel. Genealogie der Zeit und Ästhetik des Raums .....	245
<i>Olaf L. Müller</i>	
Goethes größte wissenschaftliche Entdeckung. Über eine verblüffende Symmetrie bei den Spektralfarben .....	269
Teil II	
Erwiderungen	
<i>Magnus Schlette und Anna Maria Kirchner</i>	
Einführung .....	321
<i>Thomas Arnold</i>	
Blinzlers Erben – Warum Wahrnehmung kein Schätzvorgang sein kann Kommentar zu Stefan Glasauer und Frederike Petzschnner .....	325
<i>Christian Tewes</i>	
Frühkindliche Gesichtswahrnehmung aus der Perspektive des Verkörperungsparadigmas Kommentar zu Stefanie Höhl .....	331
<i>Selin Gerlek</i>	
Der Leib als Subjekt der Lebenswelt. Kommentar zu Thomas Fuchs .....	339
<i>Basil Wiese</i>	
Lebenswelt oder <i>Primary Frameworks</i> ? Kommentar zu Thomas Fuchs .....	345
<i>Nadine Schumann</i>	
Komplementarität oder Ergänzungsverhältnis? Kommentar zu Matthias Jung .....	351

<i>Tobias Endres</i>	
Merleau-Ponty und das Problem der Repräsentation Kommentar zu Jürgen Trabant .....	355
<i>Larissa Berger</i>	
Moralische und ästhetische Wahrnehmung Kommentar zu Sonja Rinofner-Kreidl .....	361
<i>Joachim Raich</i>	
Der wandernde Blick und sein Schatten Kommentar zu Peter Bexte .....	367
<i>Alexander Nicolai Wendt</i>	
Das Computerspiel als Problemlösen Kommentar zu Stephan Günzel .....	373
<i>Matthias Rang</i>	
Deskription und Ontologie bei Newton und Goethe Kommentar zu Olaf L. Müller .....	377
Teil III	
Ergänzungen	
<i>Magnus Schlette und Anna Maria Kirchner</i>	
Einführung .....	389
<i>Daniel Beis, Richard Paluch, Joachim Raich</i>	
Raumwahrnehmung und <i>a priori</i> -Raum. Anmerkungen zum interdisziplinären Diskurs .....	395
<i>Pia Schneider, Christopher Milde</i>	
Das Potenzial empirischer Befunde zu aberranten Körperwahrnehmungen und -kognitionen für die philosophische Theorienbildung .....	423
<i>Mansoorah Khalilizand</i>	
Vom phänomenalen Leib zum Organischen. Husserls Überlegungen zur Somatologie als Wissenschaft vom Leib .....	453

*Jonas Etten*

Henri Bergson – Vorläufer einer ökologisch-  
phänomenologischen Anthropologie? ..... 469

*Christoph Behrens*

Wahr-Nehmend Lesen: Literarische Performativität und  
soziokulturelle Praxis ..... 489

*Stephanie Marchal*

Visualisierte Empfindung und verkörperte Wahrnehmung.  
Julius Meier-Graefe und die anthropologischen Konturen  
seiner kunstkritischen Praxis ..... 505

*Sonja Frohoff*

Wahrnehmungswelt und kreativer Ausdruck –  
ein Beispiel aus der Kunsttherapie ..... 523

Schlusswort ..... 543

**Anhang**

Personenregister ..... 551

Sachregister ..... 555

Autoren- und Herausgeberverzeichnis ..... 561

**Vorwort**

Der hier vorgelegte Sammelband ist das Ergebnis einer Kooperation zwischen dem Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg und der Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft (FEST), Institut für interdisziplinäre Forschung, in Heidelberg. Eine intensive personelle Vernetzung zwischen dem Forschungsprojekt „Verkörperung“ als Paradigma einer evolutionären Kulturanthropologie“ des Marsilius-Kollegs und der Arbeitsgruppe „Anthropologie der Wahrnehmung“ an der FEST bildete die Grundlage für die Marsilius-Sommerakademie 2015 zum Thema der Anthropologie der Wahrnehmung. Ziel der Sommerakademie war es, Natur- und Geisteswissenschaften in ein wechselseitig fruchtbares Gespräch über die disziplinär unterschiedlichen Perspektiven auf einen gemeinsamen Gegenstandsbereich zu bringen. Dabei sollte die zentrale Forschungsfrage des Marsilius-Projekts, inwiefern die spezifische Geistigkeit und Kulturfähigkeit des Menschen in Strukturen seiner Leiblichkeit begründet liegen, die sich evolutionär herausgebildet haben und dabei umgekehrt von der Kulturentwicklung beeinflusst wurden, auf das Thema der menschlichen Sinneswahrnehmung bezogen werden. Darüber hinaus sollte das Format der Sommerakademie gewährleisten, nicht nur in ihren Arbeitsfeldern bereits bewährte Wissenschaftler als Referenten für das Thema zu gewinnen, sondern sie auch in einen Austausch mit Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern zu bringen, die bereit wären, ihre eigenen Forschungsarbeiten im Lichte der Fragestellung einer Anthropologie der Wahrnehmung zu reflektieren.

Der hier vorgelegte Band dokumentiert die Bemühungen der Sommerakademie. Der erste Teil des Bandes versammelt die überarbeiteten Vorträge der Referenten, die beiden nachfolgenden Teile sind Teilnehmern an der Sommerakademie vorbehalten. Die Hauptbeiträge des ersten Teils, allesamt disziplinspezifische Annäherungen

- Morris, Sue: *First-Person-Shooters. Ein Computerspiel-Apparatus*, hg. von Karin Bruns und Ramón Reichertaus, aus dem Englischen von Susanna Noack, in: *Reader Neue Medien. Texte zur digitalen Kultur und Kommunikation*, Bielefeld: Transcript 2008, S. 422-441 [engl. 2002].
- Pias, Claus: *Computer Spiel Welten*, München: Sequentia 2002.
- Schmitt, Carl: *Der Begriff des Politischen. Text von 1932 mit einem Vorwort und drei Corollarien*, Berlin: Duncker & Humblot 1991<sup>3</sup> [1963].
- Schwingeler, Stephan: *Die Raummaschine. Raum und Perspektive im Computerspiel*, Boizenburg: vwh 2008.
- Virilio, Paul: *Die Sehmaschine*, aus dem Französischen von Gabriele Ricke und Ronald Voullié, Berlin: Merve 1989 [frz. 1988].

Die Abbildungen stammen aus dem Archiv des Autors.

Olaf L. Müller

## Goethes größte wissenschaftliche Entdeckung. Über eine verblüffende Symmetrie bei den Spektralfarben

### I. Einleitung

Goethe wollte den Triumph über Newtons Theorie des Lichts und der Farben: über eine Theorie, die von fast allen Physikern seiner Zeit 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* ingang bringt, antreibt und zusammenhält. Aus heutiger Sicht wirkt Goethes Kampf gegen Newton fast schon bizarr; historisch interessant vielleicht, aber unter systematischen Gesichtspunkten nicht ernst zu nehmen.

Ich möchte trotzdem den Versuch wagen, auf dem methodologischen Terrain gegenwärtiger Wissenschaftsphilosophie 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 hier

offenlassen.<sup>1</sup> Ich werde nur darauf bestehen, dass Goethe in seiner Kritik an Newton methodisch solide Arbeit geleistet hat.

Anders als oft behauptet wird, wusste Goethe sehr genau, wie empirische Wissenschaft funktioniert und was sie leistet.<sup>2</sup> Er hat das tiefer durchdacht als Newton und kam dabei zu einem Ergebnis, mit dem er seiner Zeit weit voraus war. Wie ich zeigen möchte, findet sich bei Goethe so gut wie alles, was man braucht, um sich exemplarisch für die These von der empirischen Unterbestimmtheit naturwissenschaftlicher Theorien auszusprechen.<sup>3</sup> Diese These ist anderthalb Jahrhunderte später von Quine verfochten worden, und sie wurde während der letzten Jahrzehnte in vielen verschiedenen Fassungen diskutiert.<sup>4</sup> Die Fassung der These, die sich mit Goethes Mitteln an-

<sup>1</sup> Vgl. aber Olaf L. Müller: *Mehr Licht – Goethe mit Newton im Streit um die Farben*, Frankfurt am Main: Fischer 2015, Teil III.

<sup>2</sup> Dass Goethe jede Kenntnis wissenschaftlicher Methode abgehe, wurde bereits in frühen Verrissen der *Farbenlehre* behauptet (vgl. Carl Brandan Mollweide: *Tübingen, b. Cotta – Zur Farbenlehre, von v. Göthe*, in: *Allgemeine Literatur-Zeitung* 30-32 (1811), S. 233-234). Diese Behauptung war seinerzeit öfter zu hören, wurde aber nicht von allen Physikern geteilt. Zwar heißt es in der Literatur zur Wirkungsgeschichte der *Farbenlehre* wieder und wieder, dass die Fachwissenschaftler der Goethezeit dessen Newton-Kritik nahezu einhellig widersprochen hätten (z. B. Horst Zehe in Johann Wolfgang von Goethe: *Leopoldina-Ausgabe: Goethe – Die Schriften zur Naturwissenschaft*, 30 Bände in drei Abteilungen, hg. von Dorothea Kuhn et al., Weimar: Böhlau, 1947 ff, II.5A, S. 220-221, 234). Doch dem ist nicht so; vielmehr sprach sich knapp die Hälfte gegen Goethe aus, ein gutes Drittel für Goethe, der Rest urteilte ambivalent (vgl. Olaf L. Müller: *Goethe und die Physik seiner Zeit – Wider einige Vorurteile zur zeitgenössischen Wirkungsgeschichte der Farbenlehre*, in: *Goethe und ...*, hg. von Manfred Leber und Sikander Singh, Saarbrücken: universaar – Universitätsverlag des Saarlandes 2016, S. 143-169).

<sup>3</sup> In seiner eigenen Terminologie, die von der heute üblichen stark abweicht, kam Goethe der Unterbestimmtheitstheese am nächsten in einem kurzen Text aus dem Jahr 1815, der 1822 veröffentlicht wurde (vgl. Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.8, S. 182).

<sup>4</sup> Ein *locus classicus* ist Willard Van Orman Quine: *On Empirically Equivalent Systems of the World*, in: *Erkenntnis* 9/3 (1975), S. 313-328.

steuern lässt, ist bodenständiger und wissenschaftsgeschichtlich realistischer als Quines. Der war in der ihm eigenen Kühnheit so weit gegangen, seine These auf *vollständige* Theorien des *gesamten* Universums anzuwenden.<sup>5</sup> Über so weitreichende Ansprüche kann man kaum kontrolliert diskutieren.

Im Folgenden möchte ich Quines Überlegungen weder interpretieren noch auswerten; das haben genug Philosophen getan.<sup>6</sup> Vielmehr werde ich einige neue Denkanstöße für die systematische Debatte über Unterbestimmtheit dartun und verteidigen, die von Goethe stammen. Sein origineller und äußerst scharfsinniger Beitrag in Sachen Unterbestimmtheit wurde in der modernen Debatte bislang nicht berücksichtigt – was auch daran liegt, dass die Debatte überwiegend

Die früheste Fassung der These gibt Willard Van Orman Quine: *Word and Object*, Cambridge (MA): Harvard University Press 1960, S. 78.

<sup>5</sup> Vgl. Quine: *On Empirically Equivalent Systems*, Anm. 4, S. 313.

<sup>6</sup> Vgl. Larry Laudan: *Demystifying Underdetermination*, in: *Beyond Positivism and Relativism – Theory, Method, and Evidence*, hg. von Larry Laudan, Boulder: Westview Press 1996, S. 29-54; Larry Laudan und Jarrett Leplin: *Empirical Equivalence and Underdetermination*, in: Ebd., S. 55-73; Carl Hofer und Alexander Rosenberg: *Empirical Equivalence, Underdetermination, and Systems of the World*, in: *Philosophy of Science* 61/4 (1994), S. 592-607; André Kukla: *Studies in Scientific Realism*, New York und Oxford: Oxford University Press 1998; P. D. Magnus: *Underdetermination and the Problem of Identical Rivals*, in: *Philosophy of Science* 70/5 (2003), S. 1256-1264; Samir Okasha: *The Underdetermination of Theory by Data and the „Strong Programme“ in the Sociology of Knowledge*, in: *International Studies in the Philosophy of Science* 14/3 (2000), S. 283-297; Richard Dawid: *Underdetermination and Theory Succession from the Perspective of String Theory*, in: *Philosophy of Science* 73/3 (2006), S. 298-322; Lars Bergström: *Quine, Underdetermination, and Scepticism*, in: *The Journal of Philosophy* 90/7 (1993), S. 331-358; Lars Bergström: *Underdetermination of Physical Theory*, in: *The Cambridge Companion to Quine*, hg. von Roger F. Gibson, Cambridge: Cambridge University Press 2004, S. 91-114. In letzter Zeit hat Stanford mit neuen Beispielen frischen Wind in die Debatte gebracht, siehe Anm. 38.

auf Englisch stattfindet und dass Goethes Überlegungen bislang nicht vollständig in diese Sprache übersetzt worden sind.<sup>7</sup> Wer sich mit der gegenwärtigen Debatte auskennt, wird staunen, wie viele neue Impulse ihr Goethes Farbforschung zu geben vermag. Insbesondere könnte er sich über ein neues, konkretes Beispiel aus der Wissenschaftsgeschichte freuen, mit dessen Hilfe sich die Unterbestimmtheitstheorie sowohl illustrieren als auch starkmachen lässt. Dies Beispiel hat Goethe nicht am grünen Tisch erfunden. Vielmehr beruht es auf seiner größten wissenschaftlichen Entdeckung, die ich im Abschnitt III erörtern werde. Zuvor muss ich jedoch eine wichtige Unterscheidung treffen.

## II. Zwei Ebenen der Auseinandersetzung

Worum sich der Streit zwischen Newtonianern und Goethe dreht, habe ich im vorigen Abschnitt recht abstrakt und in allzu modernen Begriffen umrissen. Um die Angelegenheit anschaulicher zu fassen, springen wir ins Zentrum der Kontroverse und betrachten die Frage nach der Zusammensetzung des (weißen) Sonnenlichts. Newtons Position zu diesem Thema lautet im Großen und Ganzen wie folgt:

<sup>7</sup> Goethes *Farbenlehre* besteht aus drei Hauptteilen und allerlei Zusätzen (wie Widmung, Vorwort, Tafelbeschreibungen). Die Originaltitel der drei Hauptteile lauten: *Entwurf einer Farbenlehre*, bekannt als didaktischer Teil (Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.4); *Enthüllung der Theorie Newtons*, bekannt als polemischer Teil (ebd., I.5); *Materialien zur Geschichte der Farbenlehre*, bekannt als historischer Teil (ebd., I.6). Während sich meine Überlegungen zuallererst auf den polemischen Teil stützen, wurde nur der didaktische Teil auf Englisch veröffentlicht, und zwar gleich zweimal, aber nicht überall mit der wünschenswerten Genauigkeit (vgl. Johann Wolfgang von Goethe: *Goethe's Theory of Colours*, übers. von Charles Lock Eastlake, Cambridge: MIT Press 1970; Johann Wolfgang von Goethe: *Theory of Color – Didactic Section*, in: *Scientific Studies – The Collected Works. Volume 12*, hg. von Douglas Miller, Princeton: Princeton University Press 1995, S. 157-302).

Die prismatischen Experimente (die Newton im Detail beschreibt und auf die ich zurückkommen werde) *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 Eigenschaften des Lichts und nennt das wissenschaftliche Resultat, zu dem Newton gelangt ist (und das wir bis heute akzeptieren). Diese Teilbehauptung liegt auf der Sachebene.<sup>8</sup> 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*.<sup>9</sup> Was Newton auf der Sachebene behauptet, ist seiner Ansicht nach durch die empirischen Daten eindeutig bestimmt, bietet also (laut Newton, aber in moderner Redeweise) kein Beispiel für eine empirisch unterbestimmte Theorie.

Es ist diese unkritische Haltung Newtons zu den eigenen wissenschaftlichen Ergebnissen, die Goethe attackiert hat; und zwar mit Recht, wie ich zeigen möchte.<sup>10</sup> Ich möchte nachzuweisen versu-

<sup>8</sup> Sie ergibt sich aus Newtons ersten beiden Theoremen (vgl. Isaac Newton: *Opticks – Or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*, New York: Dover 1979, S. 20 und 26).

<sup>9</sup> Vgl. H. W. Turnbull: *The Correspondence of Isaac Newton, Volume 1, 1661-1675*, Cambridge: Cambridge University Press 1959, S. 96-97, 142, 173-175, 177, 209; H. W. Turnbull: *The Correspondence of Isaac Newton, Volume 2, 1676-1687*, Cambridge: Cambridge University Press 1960, S. 79-80; Newton: *Opticks*, Anm. 8, S. 158-159. Siehe auch Isaac Newton: *Draft Comments on Rizzetti (1722)*, Cambridge University Library MSS Add 3970, f. 481 v, zitiert nach Alan E. Shapiro: *The Gradual Acceptance of Newton's Theory of Light and Color, 1672-1727*, in: *Perspectives on Science* 4/1 (1996), S. 119.

<sup>10</sup> Zwar haben schon vor Goethe andere Denker die methodologische Ambition Newtons kritisiert, etwa Newtons Zeitgenosse Hooke. Doch wie ich in Anm. 35 skizzieren werde, geht Hookes Kritik weniger tief als Goethes; sie scheitert am *experimentum crucis*.

chen, dass Goethe in seiner Auseinandersetzung mit Newton zu einer korrekten Einsicht vorgedrungen ist, die für Verfechter der Unterbestimmtheitstheese von hohem Interesse sein dürfte:

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

Das klingt zwar wie das glatte Gegenteil der Position Newtons, die ich oben eingerückt habe, bietet aber in Wirklichkeit nur die Verneinung seiner zweiten Teilbehauptung.

Nun hat Goethe 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 seiner Newton-Kritik in den wesentlichen Punkten folgen, ohne dadurch auf ein Urteil für oder wider die Heterogenität des weißen Lichts festgelegt zu sein.

Zugegeben, oft klingt es so, als kämpfe sich Goethe auf der Sachebene ab: auf der Ebene der Physik. Aber das lässt sich erklären. Goethe unterscheidet nicht immer scharf zwischen den beiden Ebenen, die ich vorhin bei Newton auseinanderdividiert habe, etwa zwischen Behauptungen über Eigenschaften des Lichts und Behauptungen über den *Status* dieser Behauptungen. Wo immer 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 er 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.“<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.5, § 31.

Zwar bezieht sich Goethe hier nur auf Newtons erstes Theorem.<sup>12</sup> Doch das Zitat kann als Ankündigung einer generellen Zurückhaltung verstanden werden (die Goethe um der Kürze willen nicht jedes Mal aufs Neue auszusprechen wünscht). Denn im Kontext des Zitats verallgemeinert Goethe seine Überlegungen auf die ganze Optik, ja auf die gesamte Physik. 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.“<sup>13</sup>

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 Goethe als Vorreiter moderner Wissenschaftsphilosophie zu deuten, dem die Methoden experimenteller Naturwissenschaft am Herzen lagen. 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.“<sup>14</sup>

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: Einerseits zertrte Goethe alle Freunde und Bekanntschaften in sein Farblabor – Schiller, die Brüder Humboldt, Ritter, Fichte, Schelling, Hegel, Schopenhauer und viele andere haben oft und lange durch Goethes Prismen geschaut. Andererseits finden sich auf den der *Farbenlehre* beigefügten Tafeln viele Figuren, die nicht so sehr der *Illustration* von Experimenten dienen

<sup>12</sup> Newton: *Opticks*, Anm. 8, S. 20.

<sup>13</sup> Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.5, § 30.

<sup>14</sup> Ebd., I.5, § 30.

sollen, sondern von jedermann bequem als *Bestandteil* eigener Experimente verwendet werden können. Er schreibt:

„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.“<sup>15</sup>

Wer die Bildfiguren der fraglichen Tafeln durch ein Prisma anschaut, kann selber die wichtigsten Erfahrungen nachvollziehen, von denen in Goethes *Farbenlehre* die Rede ist.

### III. Wie Goethe Newtons ersten Versuch vermannigfalt

Newton hat eine Reihe von Experimenten durchgeführt, die seiner Ansicht nach für seine Theorie von der Heterogenität des weißen Lichts sprechen. Sehen wir uns mithilfe von Abb. 1 die Beweiskraft eines der einfachsten und bekanntesten dieser Experimente genauer an.<sup>16</sup> 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 (knapp sieben Meter) hinter dem Prisma an geeigneter Stelle alles Licht auf, das vom sonnenbeschienenen Fensterladenloch durchs Prisma gefallen ist und dabei (gemäß Brechungsgesetz) seine Richtung verändert hat. Newton beobachtet zweierlei: Der aufgefangene Lichtfleck ist nicht weiß, sondern regenbogenbunt, und nicht rund, sondern fünfmal so lang wie breit. An seinem einen Ende ist der Farbstreifen rot, am entgegengesetzten Ende blau; dazwischen gelb, grün und türkis. Dies Versuchsergebnis bezeichnen wir heute als Newton-Spektrum.

<sup>15</sup> Ebd., I.4, 9-10.

<sup>16</sup> Für die folgende Darstellung orientiere ich mich an Newtons erster Veröffentlichung aus dem Jahr 1672 (vgl. Turnbull: *Correspondence 1*, Anm. 9, S. 92-94).

Durch sorgfältige Messung und Berechnung findet Newton heraus, dass die Breite des aufgefangenen Farbstreifens den Erwartungen entspricht, so wie sie sich aus der Größe der Sonnenscheibe am Himmel, der Winzigkeit des Fensterladenlochs, dem Abstand der Tafel vom Prisma, der Orientierung des Prismas usw. berechnen lässt.

Überraschend ist die Länge des Farbstreifens – und seine Farbzigkeit. Wenn man sich nun den buntgefärbten Streifen der Länge nach zusammengesetzt denkt, und zwar als Nebeneinander aus einem blauen, einem türkisen, einem grünen, einem gelben und einem roten Farbkleck, 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 blauen Anteil stärker vom Weg abgelenkt hat als den türkisen, den türkisen stärker als den grünen, den grünen stärker als den gelben und den gelben stärker als den roten. Kurz, das weiße Licht der Sonne ist eine Mischung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen, die auf dem Weg durchs Prisma verschieden stark gebrochen werden (Abb. 2). Streng genommen genügt es nicht, nur fünf verschiedenfarbige Lichtstrahlen zu betrachten. Man kann zwischen den fünf genannten Farben viele feine Abstufungen ausmachen. Ich bleibe hier und im Folgenden trotzdem bei der Rede von fünf verschiedenen Farben, um die Darstellung nicht unnötig kompliziert werden zu lassen.

Darf man Newtons Gedankengang als *Beweis* bezeichnen?<sup>17</sup> *Zwingt* uns das dargestellte Experiment zu dem Schluss, dass das weiße Licht der Sonne aus Lichtern verschiedener Farben zusam-

<sup>17</sup> In seiner ersten Publikation aus dem Jahr 1672 schrieb Newton dem Experiment keine durchschlagende Beweiskraft zu; den Beweis sollte dort das *experimentum crucis* liefern (vgl. Turnbull: *Correspondence 1*, Anm. 9, S. 94-95). Diese Tatsache schadet meinen Überlegungen nicht. Erstens lassen sie sich auf das *experimentum crucis* ausdehnen, wodurch sie lediglich etwas komplizierter werden (dazu Anm. 35). Und zweitens schrieb Newton dem fraglichen einfacheren Experiment in den *Opticks* sehr wohl Beweiskraft zu (vgl. Newton: *Opticks*, Anm. 8, S. 26-33).

mengesetzt ist und dass diese verschiedenfarbigen Lichter unterschiedlich stark gebrochen werden? Goethe bestreitet das, und zwar zu Recht; er hält Newtons Ergebnis für eine theoretische Hypothese, die über das hinausgeht, was man im Experiment sehen kann. Aber Newton wollte keine Hypothesen erfinden.<sup>18</sup>

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 einfach 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 „vermannigfaltigt“ die Beobachtungen, wie er das nennt.<sup>19</sup>

Ich werde hier nur eine einzige Variation des newtonischen Experiments diskutieren, mit deren Hilfe Goethe eine besonders scharfe Kritik an Newton gelingt. Und zwar kommt er auf den originellen Gedanken, die Rollen von Licht und Finsternis zu vertauschen. Er möchte sehen, welche prismatischen Phänomene ein dunkler Fleck in lichtheller Umgebung zum Vorschein bringt. Das führt ihn zu seiner größten Entdeckung (die mich dazu verleitet hat, diesem Aufsatz einen etwas reißerischen Titel zu geben).

Das gewünschte Experiment lässt sich am einfachsten anstellen, wenn man zum Auffangen etwaiger Farbstreifen anstelle der weißen Tafel die Netzhaut des Auges einsetzt. Das heißt, wir schauen direkt durchs Prisma – statt auf eine Tafel zu schauen, die ihrerseits registriert, was aus dem Prisma kommt. Newtons prismatische Versuche lassen sich auf diese Weise preisgünstig wiederholen.<sup>20</sup> Wenn wir

<sup>18</sup> Ebd., S. 369-370.

<sup>19</sup> Dieser Ausdruck taucht oft auf; siehe z. B. Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.5, § 56, § 168.

<sup>20</sup> 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 „subjek-

z. B. bei Tageslicht durchs Prisma auf einen winzigen weißen Fleck vor schwarzem Hintergrund blicken, so sehen wir Newtons bekannte Farbenreihe:

Rot, Gelb, Grün, Türkis, Blau.

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.<sup>21</sup> Die Überraschung ist groß (Abb. 3). Wieder entsteht eine Farbenreihe. Sie ist 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 – z. T. neue – Farben in völlig ungewohnter Ordnung vor:

Türkis, Blau, *Purpur*, Rot, Gelb.<sup>22</sup>

tive Versuche“. Die subjektiven und die objektiven Versuche stehen in einer eindeutigen Beziehung zueinander (vgl. Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.4, § 299-305). Auch bei Newton kommen subjektive Versuche vor (allerdings nicht unter dieser Bezeichnung); schon sein erstes Experiment aus den *Opticks* ist ein subjektiver Versuch (vgl. Newton: *Opticks*, Anm. 8, S. 20-23).

<sup>21</sup> Vgl. Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.4, § 215.

<sup>22</sup> Wie ich in der kommenden Anmerkung ausführen werde, lassen sich alle subjektiven Experimente, um die es mir hier zu tun ist, objektiv wiederholen. Gleichwohl bleibe ich im Haupttext bei den subjektiven Experimenten. Denn sie wurden früher durchgeführt als ihre objektiven Gegenstücke. Sogar Newton wusste von ihren allerersten Versionen; sie finden sich in zwei Briefen des Jesuiten-Paters Lucas (der sie offenbar noch nicht hat objektivieren können): Zunächst in einem Brief vom 17.5.1776 (vgl. Turnbull: *Correspondence* 2, Anm. 9, S. 8-12, siehe Punkt 7 auf S. 11); dieser Brief erreichte Newton durch Vermittlung Oldenburgs, des damaligen Sekretärs der *Royal Society*. Newton beantwortete den Brief in einer Briefserie, ohne dort allerdings auf den Punkt 7 und das dort beschriebene Experiment einzugehen (ebd., S. 8). Eine stärkere Form des

Diese neue Farbenreihe bezeichne ich als Goethe-Spektrum. Fürs unvoreingenommene Auge sind die beiden Farbenreihen – das altbekannte Newton-Spektrum und das neue Goethe-Spektrum – gleichwertig (Abb. 4). Sie sind gleich leuchtstark, gleich deutlich, gleich groß und gleichermaßen bunt. In der Tat hängen die beiden Farbenreihen visuell eng miteinander zusammen: Jede Farbe an irgendeiner Stelle der einen Farbenreihe ist die Komplementärfarbe derjenigen Farbe, die sich in der anderen Reihe an derselben Stelle zeigt. (Das heißt: Wenn Sie für einige Sekunden auf einen Ausschnitt des Newton-Spektrums starren, etwa auf dessen grüne Mitte, und wenn Sie danach eine neutrale weiße Fläche betrachten, dann entsteht dort ein Nachbild in der Komplementärfarbe zu Grün: ein purpurnes Nachbild. Und zwar zeigt es sich in genau derjenigen Farbe, die sich in der Mitte des Goethe-Spektrums findet).

Es gibt bis auf Weiteres nicht den geringsten Grund, die eine Farbenreihe vor der anderen Farbenreihe auszuzeichnen.<sup>23</sup> Goethe

Experiments findet sich in Lucas' Brief vom Februar 1677/8 (ebd., S. 249). Der Brief erreichte Newton *via* Hooke (Oldenburgs Nachfolger) und wurde am 5.3.1677/8 beantwortet (ebd., S. 254-260). Newtons Reaktion auf das Experiment findet sich dort auf S. 257. In den *Opticks* zeigt und erklärt Newton dasselbe (subjektive) Experiment abermals (vgl. Newton: *Opticks*, Anm. 8, S. 165).

<sup>23</sup> Dass sich an diesem Sachverhalt auch nichts durch Rückwendung zu den objektiven Versuchen ändert, zeigt Goethe anhand eines parallelen Experiments mit Wasserprisma (vgl. Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.4, § 331). Die Ergebnisse dieses objektiven Experiments kann man besonders deutlich auf Goethes sechster Tafel verfolgen (ebd., I.7, S. 69). Es lohnt sich, diese Tafel mit der fünften Tafel zu vergleichen, in der das ursprüngliche objektive Experiment Newtons dargestellt ist (ebd., I.7, S. 65). Abgesehen von unterschiedlichen Farben bieten beide Tafeln genau dasselbe Bild. Goethes Beobachtungen dieser komplementären Verhältnisse sind von Physikern (in objektiven Experimenten) oft repliziert worden (vgl. Torger Holtsmark: *Newton's Experimentum Crucis Reconsidered*, in: *American Journal of Physics* 38/10 (1970), S. 1229-1235; Matthias Rang und Johannes Grebe-Ellis: *Komplementäre Spektren – Experimente mit einer Spiegel-Spalt-Blende*, in: *Mathema-*

schlussfolgert: 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:

Rot, Gelb, Grün, Türkis, Blau,

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:

Türkis, Blau, Purpur, Rot, Gelb,

aufgespalten hat. Diese neue Sichtweise bezeichne ich als Theorie von der Heterogenität der Finsternis. Zwar benutzt Goethe den suggestiven Ausdruck nicht selbst, aber in der Sache äußert er sich deutlich genug:

„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 [newtonische] 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.“<sup>24</sup>

Finsternis und Schwärze sind dieser neuen Theorie zufolge zusammengesetzte Phänomene; sie entstehen durch Überlagerung der Farben Türkis, Blau, Purpur, Rot und Gelb – durch Überlagerung verschiedenfarbiger Finsternis-Strahlen (Abb. 3).

*tisch-naturwissenschaftlicher Unterricht* 62/4 (2008), S. 227-230; August Kirschmann: *Das umgekehrte Spektrum und seine Farben sowie seine Bedeutung für die optische Wissenschaft*, in: *Licht und Farbe*, hg. von Felix Krüger und August Kirschmann, München: Beck (1926), S. 421-422; Ingo Nussbaumer: *Zur Farbenlehre – Entdeckung der unordentlichen Spektren*, Wien: Edition Splitter 2008, S. 177-178).

<sup>24</sup> Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.7, S. 86.

Das ist schon auf den ersten Blick eine extravagante Theorie, gegen die sich lauter Einwände aufdrängen; ich werde gleich auf zwei dieser Einwände eingehen. Doch bevor wir uns in den Streit um die Theorie von der Heterogenität der Finsternis vertiefen, möchte ich daran erinnern, dass Goethe diese Theorie nicht *in eigener Sache* vertritt. Goethe will unseren instinktiven Widerstand gegen die Heterogenität der Finsternis in Widerstand gegen Newtons Heterogenität des Lichts ummünzen. *Beide* Theorien sind extravagant 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 ungewöhnlicher, 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 durch den Raum. Wenn man die überkommene Theorie der optischen Phänomene voraussetzt, ist das 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.<sup>25</sup> Man kann aber dem sich darbietenden Bild ebenso gut Finsternis-Strahlen entnehmen. Unmittelbar zu beobachten ist weder das eine noch das andere.<sup>26</sup> Sehen kann man nur (in mindestens zwei Dimensionen ausgedehnte) Flecke: weiße, rote, gelbe Flecke genauso wie schwarze Flecke. Diese Flecke kann man – muss man aber nicht – mithilfe von Lichtstrahlen theoretisch erklären (wobei man schwarze Flecke durch Abwesenheit von Lichtstrahlen erklären wird). Man kann die weißen, roten, gelben und schwarzen Flecke aber auch mithilfe von Finsternis-Strahlen erklären. Kurzum, der Begriff der Finsternis-Strahlen ist ein theoretischer Begriff – genau wie der Begriff der Lichtstrahlen.

<sup>25</sup> Vgl. ebd., I.5, § 217.

<sup>26</sup> Siehe Goethes Kepler-Übersetzung, die er mit Zustimmung vorträgt (vgl. ebd., I.6, S. 157-158).

Darauf könnte man entgegnen: Dieweil wir Lichtstrahlen unterbrechen und dadurch *schwarze* Schatten eines undurchsichtigen Gegenstandes erzeugen können, gibt es keine gleichartige Unterbrechung von Finsternis-Strahlen – undurchsichtige Gegenstände müssten dann ja einen *weißen* Schatten werfen! Antwort: Es gibt weiße Schatten, wie Abb. 5 dokumentiert.

Wie steht es mit den Energie-Wirkungen von Lichtstrahlen? Immerhin transportieren sie z. B. Wärmeenergie – beweist das nicht ihre kausale Wirkkraft, also auch ihre Existenz? Nein; sogar diese Wirkungen lassen sich komplementär umkehren. (Siehe Abschnitt VII).

#### IV. Die newtonische Erklärung des komplementären Farbspektrums

Laut zweitem Einwand gegen die Heterogenität der Finsternis ist diese Theorie überflüssig. Um den neuen Farbstreifen zu erklären (der sich beim Blick durchs Prisma auf einen schwarzen Fleck zeigt), genügt Newtons Heterogenität des Lichts. Denn die von der weißen Umgebung des schwarzen Flecks herkommenden Lichtstrahlen haben verschiedene Farben und werden auf dem Weg durchs Prisma verschieden stark gebrochen. So treffen an verschiedenen Punkten der Netzhaut ganz unterschiedliche Farbkombinationen aufeinander; und deren Überlagerung liefert genau die beobachtete Farbenreihe:

Türkis, Blau, Purpur, Rot, Gelb.

So weit beruht der Einwand auf einem ungedeckten Scheck: auf dem Versprechen einer Erklärung, die noch durchbuchstabiert werden muss. Gehen wir den ersten Schritt dieser Erklärung im Einzelnen durch! Betrachten wir z. B. den Punkt auf der Netzhaut, wo die blaue Komponente eines Lichtstrahls auftrifft, der ein gutes Stück links vom schwarzen Fleck seinen Ausgang nahm. (Siehe Abb. 6, oberste Farbenzeile, ganz links). Die andersfarbigen Komponenten dieses Lichtstrahls werden vom Prisma weniger stark nach rechts abgelenkt als seine blaue Komponente und müssen daher den betrachteten Netzhautpunkt verfehlen. Trotzdem kommen in diesem Netzhaut-

punkt weitere gebrochene Lichtstrahlen an: z. B. die türkise Komponente eines Lichtstrahls, der direkt links neben dem schwarzen Fleck entspringt, also um eine Einheit weniger weit links entstanden ist als der zuerst betrachtete blaue Lichtstrahl und mithin durchs Prisma nicht so stark vom Weg abgelenkt zu werden braucht, um genau am betrachteten Netzhautpunkt aufzutreffen (Abb. 6, zweite Zeile). Nach Newton wird türkises Licht weniger stark als blaues Licht beim Weg durchs Prisma abgelenkt.

Käme nun grünes Licht aus dem durchs Prisma angeschauten dunklen Fleck selbst, 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 – türkisen bzw. blauen Lichtstrahlen. Aber der Fleck aus unserem Experiment ist schwarz und entsendet kein grünes Licht; er entsendet überhaupt kein Licht (Abb. 6, dritte Zeile).

Erreicht also nur türkises und blaues Licht den betrachteten Netzhautpunkt? Nein. Denn bislang hatten wir nur die linke Umgebung des schwarzen Flecks (und diesen Fleck selbst) 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. 6, vierte Zeile). Und von noch weiter rechts aus der Umgebung des schwarzen Flecks gelangt dorthin sogar rotes Licht (Abb. 6, 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 *aufßer Grün* an der fraglichen Stelle ins Ziel gelangt. Und wenn sich dort demzufolge Lichtstrahlen mit den Farben:

Rot, Gelb, –, Türkis, Blau,

übereinanderlagern, dann entsteht: Purpur. (Siehe Abb. 6, unterste Zeile, fünfte Spalte von links).

So weit die newtonische Erklärung der purpurnen Mitte des Farbstreifens, den wir beim prismatischen Blick auf einen schwarzen Fleck zu sehen bekommen.<sup>27</sup> Für die anderen Farben jenes Streifens lassen sich entsprechende Erklärungen angeben. Die neue Farbenreihe verlangt nicht nach einer extravaganten neuen Theorie; sie verlangt nicht nach der Theorie von der Heterogenität der Finsternis. Und das scheint zu bedeuten, dass diese Theorie überflüssig ist: So lautet jedenfalls der zweite Einwand gegen die Theorie, dessen Darstellung ich hiermit abschließe.

Goethe wischt diesen Einwand mit grandioser Geste vom Tisch. Ihm kommt die newtonische Erklärung des neuen Farbstreifens zu verzwickt vor, um zu überzeugen. Er polemisiert und macht sich nicht die Mühe, den Gegner mit dessen eigenen Waffen zu schlagen:

<sup>27</sup> Ob Newton die purpurne Mitte des Goethe-Spektrums selber so erklärt hätte, lässt sich aus zwei Gründen nicht ohne weiteres sagen. Erstens taucht das Purpur in seinem Farbkreis an einer Stelle „D“ auf, und zwar ohne jede Ausdehnung, also gleichsam wie ein idealisierter Grenzwert; dieser Grenzwert wäre eine Mischung aus Violett und Rot (Newton: *Opticks*, Anm. 8, S. 154-156). Zweitens haben weder Newton noch Lucas ausdrücklich eine purpurne Mitte im umgekehrten Spektrum beschrieben; sie drücken sich eher so aus, als zeige dies Spektrum einfach die Farben des Newton-Spektrums, nur in umgekehrter Reihenfolge. (In der Tat kann es bei ungünstig erzeugten Spektren so aussehen, als kämen keine neuen – komplementären – Farben hinzu: ein Beobachtungsfehler. Umgekehrte Reihenfolge von Farben ist nicht dasselbe wie farbliche Komplementarisierung; Goethes Purpur kommt nirgends in Newtons Spektrum vor). Alle diese Feinheiten betreffen meine Hauptthese nicht. Denn die Newtonianer der Goethe-Zeit beriefen sich ausdrücklich auf die Mischungsregeln, die ich eingesetzt habe, etwa in einem anonymen Verriss der *Beyträge zur Optik* (Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.3, S. 6-37), den Goethe ausführlich zitiert (vgl. ebd., I.7, S. 89).

„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.“<sup>28</sup>

Ich möchte dartun, dass Goethe dem Einwand tiefgreifender und weniger polemisch hätte begegnen können, als er es für nötig gehalten hat.<sup>29</sup> 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.

#### V. 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 Theorie von der Heterogenität des Lichts überflüssig ist, weil sich das newtonische Spektrum als komplizierte Überlagerung von Finsternis-Strahlen erklären lässt, die aus der schwarzen Umgebung jenes weißen Flecks herkommen (siehe Abb. 7, die zur Abb. 6 deckungsgleich ist). So kann man die grüne Mitte des Newton-Spektrums als Überlagerung aller Finsternis-Strahlen mit Ausnahme der purpurnen erklären.

<sup>28</sup> Ebd., I.7, S. 89.

<sup>29</sup> Gegen Missverständnisse: Wenn ich hier Goethes Polemik unnötig nenne, so möchte ich mich damit nicht der verbreiteten Kritik am polemischen Teil der *Farbenlehre* anschließen. Weder dessen philosophische noch dessen physikalische Verdienste sind bislang angemessen gewürdigt worden, nicht einmal in Horst Zehes Stellenkommentar aus der *Leopoldina-Ausgabe* (ebd., II.5A, S. 269-270 *et passim*).

Diese unorthodoxe Erklärung folgt der newtonischen Erklärung des komplementären Spektrums strukturell bis ins kleinste Detail. Die Heterogenität der Finsternis und die hierauf aufbauenden unorthodoxen Erklärungen bieten das exakte Spiegelbild der newtonischen Heterogenität des Lichts und der darauf aufbauenden Erklärungen. Die Newtonianer halten die ursprüngliche Farbenreihe

Rot, Gelb, Grün, Türkis, Blau,

für grundlegend, leiten aus ihr die Heterogenität des weißen Lichts ab und behaupten:

Auf dem Weg durchs Prisma werden blaue Lichtstrahlen stärker als türkise, türkise stärker als grüne, grüne stärker als gelbe und gelbe stärker als rote Lichtstrahlen gebrochen (Abb. 2).

Hieraus und aus bestimmten Annahmen über die Ergebnisse der Überlagerung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen erklären die Newtonianer die neue Farbenreihe:

Türkis, Blau, Purpur, Rot, Gelb,

die sich beim prismatischen Blick auf einen schwarzen Fleck zeigt (Abb. 6). Ihre unorthodoxen Gegner gehen umgekehrt vor, halten die zuletzt erwähnte Farbenreihe für grundlegend, leiten aus ihr die Heterogenität der Finsternis ab und behaupten:

Auf dem Weg durchs Prisma werden gelbe Finsternis-Strahlen stärker als rote, rote stärker als purpurne, purpurne stärker als blaue und blaue stärker als türkise Finsternis-Strahlen gebrochen (Abb. 3).

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

Rot, Gelb, Grün, Türkis, Blau,

die sich beim prismatischen Blick auf einen weißen Fleck zeigt (Abb. 7).

Wie man sagen kann, haben wir hier das exakte Farbnegativ der newtonischen Sichtweise. Denn so, wie sich in den Windjammer-Tagen der chemischen Farbfotografie beim Abzug eines Farbbildes von seinem Negativ alle Farben in ihre Komplementärfarben verwandelten, so lässt sich die unorthodoxe Sicht der prismatischen Phänomene durch Farbumkehrung aus der newtonischen Sicht gewinnen. Wenn man die Rollen der Farben:

Blau und Gelb,  
Türkis und Rot,  
Grün und Purpur,  
Weiß und Schwarz,

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

Und das bedeutet, dass die beiden konkurrierenden Theorien nicht nur gleich gut zu jeder Beobachtung passen, die ich beschrieben habe. Darüber hinaus stehen sie in Sachen Eleganz, Ökonomie, Einfachheit und Sparsamkeit genau gleich gut da. Ich habe 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 empirische 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.

## VI. Ein neues Experiment gegen die Heterogenität der Finsternis?

Ich habe im vorigen 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? Es stimmt bei den prismatischen Experimenten, die wir bislang durchdacht 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 all ihren objektiven Gegenstücken mit Auffangschirm (anstelle der Retina).

Nun kann man mit Prismen mehr Experimente anstellen, als bislang zur Sprache gekommen sind. Ich behaupte, dass wir eine solche unorthodoxe Erklärung für alle prismatischen Experimente aus Newtons *Opticks* finden können. Damit habe ich nicht gesagt, dass Newtons Theorie von den Lichtstrahlen zu ihrer unorthodoxen Alternative von den Finsternis-Strahlen *insgesamt* empirisch äquivalent sei. Ich behaupte etwas weniger: Die beiden Theorien sind *prismatisch* äquivalent, sind also mit Blick auf alle Prismen-Experimente gleichwertig; genauer gesagt (in der Redeweise der Physik), sind die beiden Theorien im Bereich der geometrischen Optik empirisch äquivalent.<sup>30</sup>

Der Nachweis dieser Behauptung müsste unseren Rahmen sprengen.<sup>31</sup> Er würde auf zwei einander ergänzenden Denkfiguren beruhen. Einerseits auf der unorthodoxen Erklärung weiterer prismatischer Phänomene, die bislang immer nur im Rahmen der newtonischen Orthodoxie erklärt worden sind – andererseits auf der komplementären Vermehrung der Phänomene: Zu jedem scheinbar für Newtons Theorie sprechenden Phänomen wäre ein komplementäres Phäno-

<sup>30</sup> In letzter Zeit haben Physiker eine beeindruckende Zahl prismatischer Experimente umgekehrt und dadurch ein breites empirisches Fundament für die prismatische Äquivalenz der beiden Theorien gelegt (vgl. Holtsmark: *Experimentum Crucis*, Anm. 23; Rang et al.: *Komplementäre Spektren*, Anm. 23; Matthias Rang: *Der Hellraum als Bedingung zur Invertierung spektraler Phänomene*, in: *Elemente der Naturwissenschaft* 90/1 (2009), S. 46-79; Pehr Sällström: *Monochromatische Schattenstrahlen – Ein Film über Experimente zur Rehabilitation der Dunkelheit*, DVD, Stuttgart: Edition Waldorf 2010; Matthias Rang: *Phänomenologie der komplementären Spektren*, Berlin: Logos 2015).

<sup>31</sup> Details in Müller: *Mehr Licht*, Anm. 1, Kapitel II.4 und II.5.

men 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, möchte ich die newtonische Weißsynthese heranziehen. Das ist ein weiteres prismatisches Experiment, das beim ersten Hinsehen für Newtons Heterogenität des weißen Lichts spricht. Angesichts meiner beiden Denkfiguren wird sich dieser Eindruck verflüchtigen. Zuerst werden Sie das Farbnegativ des Experiments kennenlernen (die Schwarzsynthese) und im Anschluss daran die unorthodoxe Erklärung des ursprünglichen Experiments.

Bei der Weißsynthese (Abb. 8) wird ein im Dunklen aufgefächertes prismatisches Farbspektrum:

Rot, Gelb, Grün, Türkis, Blau,

durch erneute Brechung (in entgegengesetzter Richtung) wieder so zusammengebündelt, dass man im Ergebnis einen weißen Lichtfleck auffängt.<sup>32</sup> Die Schwarzsynthese funktioniert genau umgekehrt. Hier erzeugen wir einen schwarzen Fleck durch Bündelung eines im Hellem aufgefächerten komplementären Farbspektrums:

Türkis, Blau, Purpur, Rot, Gelb.

Wenn die Weißsynthese für die Heterogenität des Lichts spricht, so spricht die Schwarzsynthese für die Heterogenität der Finsternis. Aber beide Theorien können nicht gleichzeitig stimmen; sie widersprechen einander. (Die eine Theorie kann ihre Erklärungslasten nur tragen, wenn die andere falsch ist: Newtons Erklärungen beruhen auf der Annahme, dass man schwarze Umgebungen ignorieren darf, weil

<sup>32</sup> Vgl. Turnbull: *Correspondence 1*, Anm. 9, S. 100-101; John Theophilus Desaguliers: *An Account of Some Experiments of Light and Colours, Formerly Made by Sir Isaac Newton, and Mention'd in his Opticks, Lately Repeated before the Royal Society*, in: *Philosophical Transactions (1683-1775)* 29 (1714-1716), S. 442, Experiment V.

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 Theorien heben sich gegenseitig auf).

Natürlich kann die neue Überlegung zugunsten der Heterogenität der Finsternis nur überzeugen, wenn die Schwarzsynthese funktioniert. Dass sie funktioniert, ist kürzlich nachgewiesen worden und wird in der unteren Hälfte von Abb. 9 dokumentiert.<sup>33</sup>

Doch meine Hauptthese ließe sich sogar ohne diesen Nachweis halten. Im augenblicklichen Zusammenhang suchen wir nach Ressourcen, in deren Licht wir zwischen Newtons Theorie und ihrem unorthodoxen Widerpart entscheiden könnten. Und in diesem Zusammenhang 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*.

Warum? Einfach: In der purpurnen 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 blaues Licht sehr weit, rotes Licht dagegen am wenigsten weit abgelenkt. Dadurch reißt eine lichtlose Lücke im aufgefangenen Bild auf.<sup>34</sup>

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

<sup>33</sup> Vgl. Nussbaumer: *Zur Farbenlehre*, Anm. 23, S. 105, 156, 188 und Olaf L. Müller: *Farbspektrale Kontrapunkte – Fallstudie zur ästhetischen Urteilskraft in den experimentellen Wissenschaften*, in: *Rücknahme und Eingriff – Malerei der Anordnungen*, hg. von Ingo Nussbaumer, Nürnberg: Verlag für moderne Kunst 2010, S. 150-169, Abschnitt XV.

<sup>34</sup> Diese Betrachtung lässt sich verallgemeinern. Newtons Theorie sagt voraus, dass jedes seiner Experimente ein komplementäres Gegenstück haben muss. Beweis in Müller: *Mehr Licht*, Anm. 1, § II.5.22-II.5.31.

meine Behauptung der prismatischen Gleichwertigkeit der beiden Theorien stützen kann. Denn wenn man die newtonische Erklärung der Schwarzsynthese Wort für Wort in ihr komplementäres Gegenstück überträgt, so erhält man daraus die unorthodoxe Erklärung der newtonischen Weißsynthese! (Beweis: Übung für die Leserin und den Leser).

Und das bedeutet, dass man die Weißsynthese nicht unbedingt mit Newtons Heterogenität des weißen Lichts verheiraten muss; die Weißsynthese passt genauso gut zur Heterogenität der Finsternis. Beide Theorien sind immer noch prismatisch gleichwertig, zumindest gleichwertig mit Blick auf alle Experimente, die wir betrachtet haben.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Wie ich woanders gezeigt habe, lässt sich dies Ergebnis sogar auf das *experimentum crucis* verallgemeinern, mit dem Newton in seiner ersten Veröffentlichung Furore gemacht hat (vgl. Turnbull: *Correspondence 1*, Anm. 9, S. 94-95; das Experiment taucht detaillierter in den *Opticks* auf, aber ohne den Ehrentitel „experimentum crucis“ oder dessen englische Übersetzung, vgl. Newton: *Opticks*, Anm. 8, S. 45-48). Diese Verallgemeinerung ist aus folgendem Grund besonders aufschlussreich: Der frühe Newton-Kritiker Hooke meinte irrtümlicherweise, dass seine modifikationalistische Theorie empirisch genauso gut dastehe wie Newtons. Doch kam er ausgerechnet mit Newtons *experimentum crucis* nicht zurende (vgl. Timm Lampert: *Newton vs. Goethe – Farben aus Sicht der Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte*, in: *Trinkt, o Augen, was die Wimper hält, ...*, hg. von Hanspeter Bieri und Sara Margarita Zwahlen, Bern: Haupt 2008, S. 264-275). Daher behaupte ich, dass Goethe der erste Newton-Kritiker war, der verstanden hat, wie sich die Beobachtungen aus dem *experimentum crucis* mit einer Alternativ-Theorie vereinbaren lassen, nämlich genau mit der Theorie von der Heterogenität der Finsternis (vgl. Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I.5, § 132). Goethe hat das intuitiv verstanden; der Beweis ist neu (vgl. Müller: *Mehr Licht*, Anm. 1, II.5). Mehr noch, der Physiker Matthias Rang hat gemeinsam mit mir gezeigt: (i) Newtons Theorie impliziert, dass es ein komplementäres Gegenstück zum *experimentum crucis* geben muss; (ii) dies Gegenstück lässt sich empirisch realisieren (vgl. Matthias Rang und Olaf L. Müller: *Newton in Grönland – Das umgestülpte experimentum crucis in der Streulichtkammer*, in: *Philosophia Naturalis* 46/1

## VII. Unterbestimmtheit

Was folgt aus Goethes Farbforschung für die wissenschaftsphilosophische These von der Unterbestimmtheit naturwissenschaftlicher Theorien? Diese Frage ist in der Literatur nicht oft aufgeworfen worden.<sup>36</sup>

Quines Fassung der These ist extrem. Ihr zufolge gibt es zu jeder *umfassenden* Theorie (die *sämtlichen* Beobachtungen gerecht wird) *immer* gleich gute Alternativen. Es wäre utopisch, das durch

(2009), S. 61-114). Rang und Grebe-Ellis haben eine technisch aufbereitete Fassung dieses Experiments wieder und wieder vorgeführt, beginnend beim Workshop *experimentum lucis* (Berlin, 19. bis 22.9.2010). Unabhängig hiervon hat Ingo Nussbaumer am 17.6.2009 in meinem wissenschaftsphilosophischen Kolloquium an der Humboldt-Universität eine subjektiv/objektiv gekoppelte Umkehrung des *experimentum crucis* gezeigt. Schon fünfzig Jahre zuvor hatten skandinavische Physiker erste Erfolge in dieser Richtung gefeiert (vgl. André Bjerke: *Neue Beiträge zu Goethes Farbenlehre – Erster Teil. Goethe contra Newton*, übers. von Louise Funk, Stuttgart: Verlag Freies Geistesleben 1963, S. 32, 65-66, 85-88). Obgleich ihr theoretischer Unterbau in einem renommierten Physik-Journal veröffentlicht wurde (vgl. Holtsmark: *Experimentum Crucis*, Anm. 23), hat sich diese Tradition außerhalb Skandinaviens nicht weit verbreitet. In letzter Zeit sind die zugehörigen empirischen Nachweise in einem grandiosen Experimentalfilm dokumentiert worden (vgl. Sällström: *Monochromatische Schattenstrahlen*, Anm. 30).

<sup>36</sup> Soweit ich sehe, ist Marcum der einzige Philosoph, der Goethes Angriff auf Newtons *Opticks* mit Blick auf Fragen der Unterbestimmtheit diskutiert. Marcums Ergebnisse gehen wesentlich weniger weit als die meinen. Ihm zufolge verschwindet die Unterbestimmtheit der newtonischen Theorie, sobald wir hinreichend viele optische Experimente der damaligen Zeit einbeziehen. Weil ihm die umfassenden Symmetrien zwischen Helligkeit und Dunkelheit sowie den Komplementärfarben nicht vor Augen standen, glaubt er fälschlicherweise, dass das Unentschieden durch *Serien* prismatischer Experimente beendet werden könne (James Marcum: *The Nature of Light and Color: Goethe's „Der Versuch als Vermittler“ versus Newton's Experimentum Crucis*, in: *Perspectives on Science* 17/4 (2009), S. 478 *et passim*).

echte Beispiele aus der Wissenschaftsgeschichte illustrieren zu wollen.<sup>37</sup>

Daher passen Goethes Überlegungen besser zu bescheideneren Fassungen der Unterbestimmtheitsthese, die sich nur auf Beobachtungen aus einem vorgegebenen historischen Zeitraum beziehen.<sup>38</sup> Man könnte mit Goethes Hilfe folgende These verfechten: Zwischen Newtons erster Veröffentlichung aus dem Jahr 1672 und dem Erscheinen der *Farbenlehre* im Jahr 1810 gab es keine Daten aus pris-

<sup>37</sup> Dass es der gegenwärtigen Debatte an überzeugenden Beispielen für Unterbestimmtheit mangelt, beklagt z. B. P. Kyle Stanford: *Refusing the Devil's Bargain: What Kind of Underdetermination Should We Take Seriously?*, in: *Philosophy of Science* 68/3 (2001), S. 6. Nicht jeder hat sich an dieser unbestrittenen Tatsache gestoßen, wie Bergströms Überlegungen zeigen (vgl. Bergström: *Quine*, Anm. 6, S. 336-337, 341).

<sup>38</sup> Solche Thesen laufen heutzutage unter Überschriften wie wissenschaftliche, schwache oder vorübergehende Unterbestimmtheit („scientific underdetermination“ bei Dawid: *Underdetermination*, Anm. 6, S. 303; „weak underdetermination“ bei Paul Hoyningen-Huene: *Reconsidering the Miracle Argument on the Supposition of Transient Underdetermination*, in: *Synthese* 180/2 (2011), S. 176; „transient underdetermination“ bei Lawrence Sklar: *Methodological Conservatism*, in: *The Philosophical Review* 84/3 (1975), S. 380-381, bei Stanford: *Refusing the Devil's Bargain*, Anm. 37, S. 7, und bei Hoyningen-Huene: *Reconsidering the Miracle Argument*, Anm. 38, S. 176). Gleichwohl haben die von mir entfalteten Überlegungen nicht viel mit Stanfords Problem von den unentdeckten Alternativen zu tun („problem of unconceived alternatives“; vgl. Stanford: *Refusing the Devil's Bargain*, Anm. 37; P. Kyle Stanford: *Exceeding Our Grasp – Science, History, and the Problem of Unconceived Alternatives*, Oxford: Oxford University Press 2006). Denn die Theorie von der Heterogenität der Finsternis war keine *unentdeckte* Alternative zu Newtons Theorie. Sie wurde – unabhängig von Goethe – ernsthaft verfochten (vgl. Joseph Reade: *Experimental Outlines, for a New Theory of Colours, Light & Vision – With Critical Remarks, on Sir Isaac Newton's Opinions, and Some New Experiments on Radiant Caloric. Volume I*, London: Longman, Hurst, Rees, Orme and Browne 1816). Schlimmer noch, ihre Möglichkeit lag seit den Briefen des Paters Lucas in der Luft (siehe Anm. 22).

matischen Experimenten, die das empirische Unentschieden zwischen Newtons Theorie und ihrem komplementären Widerpart hätten auflösen können.<sup>39</sup>

Das für sich allein wäre noch nicht sonderlich spektakulär. Trivialerweise gibt es stets unzählige Möglichkeiten, um beliebige Theorien mit den Daten zu vereinbaren – notfalls durch innertheoretische Anpassungen *ad hoc*. Das mag kompliziert werden, ist aber stets möglich. Doch als Quine seine These einführte, gab er sich nicht mit *beliebigen* Theorien zufrieden:

„Nichts spricht für die Annahme, dass die Daten (...) nur eine einzige Theorie zulassen, die wissenschaftlich gesehen *besser oder einfacher* ist als alle denkbaren Alternativen.“<sup>40</sup>

Er verfocht also eine anspruchsvolle These – eine These, in der nicht allein vom empirischen Erfolg der betroffenen Theorien die Rede ist. Zwischen den konkurrierenden Theorien steht es nicht nur *empirisch* unentschieden, sondern auch im Lichte ihrer sonstigen Vorzüge (wie z. B. Einfachheit, Sparsamkeit oder Schönheit) – im Lichte dessen, was man in der Wissenschaftsphilosophie oft als außerempirische Tugenden von Theorien bezeichnet. So formuliert, ist Quines These weit anspruchsvoller und weit einschneidender, als man oft meint. Und ich behaupte, dass meinem optischen Fallbeispiel in dieser Hinsicht alle Eigenschaften zukommen, die sich Quine gewünscht hat.

Bergström glaubte, dass es keine solchen Beispiele geben könne. Ihm zufolge können wir niemals auf neutralem Boden entscheiden, ob zwei Theorien mit Blick auf Einfachheit, Sparsamkeit usw. exakt gleich gut dastehen. Warum nicht? Weil sich diese Kriterien nicht quantifizieren lassen, weil wir ihre jeweiligen Gewichte nicht ein-

<sup>39</sup> Zu Newtons erster Veröffentlichung vgl. Turnbull: *Correspondence 1*, Anm. 9, S. 92-102.

<sup>40</sup> Freie Übersetzung – hier das Originalzitat: „we have no reason to suppose that man's surface irritations even unto eternity admit of any one systematization that is scientifically *better or simpler* than all possible others“ (Quine: *Word and Object*, Anm. 4, S. 23; mein Kursivdruck).

deutig gegeneinander abwägen können, weil sie inkommensurabel sind, kurzum: Weil sie sich nicht in einen eindeutigen Algorithmus für die Theorienbewertung einspeisen lassen. Laut Bergström droht daher jede Unterbestimmtheits-These zu scheitern, die sich nicht nur auf empirische Passgenauigkeit stützt, sondern auch auf außerempirische Tugenden.<sup>41</sup>

Das ist vorschnell, wie sich aus der strukturellen Isomorphie der beiden Theorien ablesen lässt, die ich mit Goethes Hilfe eingeführt habe. Die beiden Theorien sind exakt gleich einfach, ontologisch genau gleich sparsam, ja sogar gleichermaßen elegant – um nur die drei prominentesten außerempirischen Tugenden zu nennen. Quine hatte in dieser Angelegenheit zuverlässige Intuitionen. Das zeigt die Fortsetzung des vorigen Zitats:

„Mit hoher Wahrscheinlichkeit dürften – *wenn auch nur aufgrund von Symmetrien und Dualitäten* – zahllose Alternativ-Theorien gleichermaßen berechtigt den ersten Platz für sich beanspruchen.“<sup>42</sup>

Gerade wegen derartiger Symmetrien und Dualitäten, die Goethe im Reich der Optik entdeckt hat, müsste Quine dessen Beitrag willkommen heißen. Denn mithilfe der goetheanischen Symmetrien hätte er Bergströms Protest gegen das Zitat entkräften können, der so lautet:

„Soweit ich sehe, kommt dieser Möglichkeit keine hohe Wahrscheinlichkeit zu. Im Gegenteil, sie ist höchst unwahrscheinlich. Empirische und methodologische (außerempirische) Erwägungen können keiner wissenschaftlichen Gemeinschaft den Schluss aufzwingen, dass zwei Theorien insgesamt exakt gleich gut sind.“<sup>43</sup>

<sup>41</sup> Vgl. Bergström: *Underdetermination*, Anm. 6, S. 98-100.

<sup>42</sup> Freie Übersetzung – hier das Originalzitat: „It seems likelier, if only on account of symmetries or dualities, that countless alternative theories would be tied for first place“ (Quine: *Word and Object*, Anm. 4, S. 23; mein Kursivdruck).

<sup>43</sup> Freie Übersetzung – hier das Originalzitat: „As far as I can see, this is not likelier. Rather, it seems very unlikely. Empirical and methodological considerations can never force the scientific community to conclude

Hiermit liegt Bergström sicher falsch – jedenfalls solange, wie wir intrinsische Tugenden von Theorien im Blick haben. Das sind Tugenden, deren Verwirklichung wir beurteilen können, indem wir lediglich die Theorie selbst und ihre Formulierung analysieren – also ohne Rücksicht auf irgendwelche Faktoren, die außerhalb der Theorie liegen. Wie steht es dagegen, wenn wir extrinsische Faktoren berücksichtigen, etwa die Tugend der Konservativität? Eine Theorie ist umso konservativer (und im Sinne dieser Tugend dann auch umso besser), je weniger sie von dem abweicht, was wir bislang für richtig gehalten haben. Ob eine Theorie in diesem Sinn tugendhaft ist, hängt von uns und unseren zufälligen Überzeugungen ab, nicht allein von der Theorie.

Ob derartige Tugenden für seine UnterbestimmtheitsThese einschlägig sind, hat Quine nicht ausdrücklich gesagt. Ob er es hätte sagen sollen, kann ich hier nicht abschließend klären. Ich muss mich auf einige Andeutungen beschränken, die mit meinem optischen Fallbeispiel zu tun haben.<sup>44</sup>

Die Heterogenität der Finsternis ist ein völlig neuer Gedanke, an den man sich nur schwer gewöhnen kann. Im Lichte konservativer Erwägungen sollten wir uns daher gegen diese neuartige Theorie entscheiden und stattdessen auf die altgewohnte Theorie Newtons setzen (bzw. auf deren moderne Nachfolgerinnen). Doch diese extrinsische Überlegung hängt entscheidend vom *zufälligen* Platz der The-

that two theories are tied for first place“ (Bergström: *Underdetermination*, Anm. 6, S. 100).

<sup>44</sup> Der wissenschaftliche Wert der Konservativität ist ein kniffliges Thema, das ich hier nicht eingehend behandeln kann; mehr darüber woanders (vgl. Müller: *Mehr Licht*, Anm. 1, IV.5). In einem klassischen Aufsatz behandelt Sklar ausdrücklich die Frage, ob sich Fälle von Unterbestimmtheit durch Rückgriff auf Konservativität ausschalten lassen; er erörtert eine Reihe von Einwänden gegen diesen Einsatz von Konservativität, vermag sie aber nicht alle zu entkräften (vgl. Sklar: *Methodological Conservatism*, Anm. 38, S. 388 ff). Zuguterletzt spricht er sich aufgrund wesentlich tieferer transzendentaler Überlegungen dafür aus, der Konservativität eine zentrale Rolle in unserer wissenschaftlichen Methodologie zuzubilligen (ebd., S. 395-400).

orie in der Ideengeschichte ab. Warum der rationale Wert der Theorie wegen solcher Zufälle steigen soll, ist schwer zu sehen. Was wäre gewesen, falls zufälligerweise die Heterogenität der Finsternis vor ihrem newtonischen Gegenstück auf den Plan getreten wäre? Wenn (wie dargetan) weder prismatische Daten noch intrinsische Tugenden gegen diese ungewohnte Theorie sprechen, dann ist es nichts als Zufall, dass vor einigen Jahrhunderten ausgerechnet Newtons Theorie das Feld beherrschte.

Hier drei Gesichtspunkte, aus denen sich das Ausmaß des Zufalls ersehen lässt. Erstens: Hätte Newton z. B. während des arktischen Sommers in einem weiß angestrahlten Iglu experimentiert statt in einer britischen Dunkelkammer, so wäre er mit einem kleinen Loch im Iglu-Fenster nicht weit gekommen. Spektralfarben hätte er nur mit einem Schattenwerfer vor dem Prisma erzeugen können; und dann hätte er von Anfang an die Farben des Goethe-Spektrums gesehen. Hätte er dann nicht auch von Anfang an die Theorie der Finsternis-Strahlen aufgestellt? Zweitens: Dasselbe hätte geschehen können, wenn er sich nicht dafür interessiert hätte, Fernrohre zu perfektionieren (deren lästige chromatische Aberrationen beim Blick auf *helle* Lichtpunkte am *dunklen* Nachthimmel er loswerden wollte). Was wäre gewesen, wenn er sich statt für Astronomie für Biologie interessiert, also mit *Mikroskopen* gearbeitet hätte statt mit Teleskopen? Beim Mikroskopieren vergrößert man *winzige dunkle* Gegenstände in *heller* Umgebung – und auch hier zeigen sich chromatische Aberrationen, nur diesmal mit entgegengesetzten Farben (mit den Farben aus Goethes Spektrum). Und drittens: Was wäre gewesen, wenn der schottische Augenarzt und Physiker Joseph Reade noch vor Newton gelebt hätte? Dann hätte er früher für die Theorie von der Heterogenität der Dunkelheit gekämpft, die er *de facto*, aber zufälligerweise erst 150 Jahre zu spät veröffentlichen konnte.<sup>45</sup>

In allen diesen Fällen wäre die Theorie von der Heterogenität der Dunkelheit vor Newtons Theorie prominent geworden; und dann hätte Newtons Theorie aus Gründen der Konservativität den Kürzeren gezogen.

<sup>45</sup> Vgl. Reade: *Experimental Outlines*, Anm. 38.

Kurzum, wer das Unentschieden zwischen den beiden Theorien lediglich durch Verweis auf die höhere Attraktivität der konservativeren newtonischen Theorie überwinden will, macht sich zur Geißel historischer Zufälle. Doch Newton wollte seine Theorie vernünftig beweisen.<sup>46</sup> Und Vernunft lässt sich nicht mit Zufälligkeiten abspesen.

Könnte die Unterbestimmtheit der newtonischen Theorie vielleicht (i) durch spätere Theorien oder (ii) aufgrund späterer Beobachtungen überwunden werden? Die erste Möglichkeit betonen (ohne Blick auf mein Fallbeispiel) Laudan und Leplin:

„Wenn sich eine Theorie, nicht aber ihre empirisch gleichwertige Alternative in eine umfassendere Theorie einbetten lässt, die in anderen Phänomenbereichen gut abgestützt ist, dann spricht das für die erste dieser beiden Theorien.“<sup>47</sup>

Nun entstehen umfassende Theorien im Normalfall später als ihre enger abgezielten Gegenstücke. Daher fragt sich: Welche umfassenden Theorien hätten wir heute, wenn sich ursprünglich eine aus heutiger Sicht unorthodoxe Theorie etabliert hätte, etwa die Theorie von der Heterogenität der Finsternis?

Zugegeben, wenn feststünde, dass die Physik auf starr vorgegebenen, eindeutigen, objektiven Pfaden vorwärtsschreitet, so spräche die spätere Entwicklung der Physik gegen die Heterogenität der Finsternis. Es gibt z. B. aus heutiger Sicht keine purpurnen Analoga zu grünwelligen Photonen. Doch die von Goethe angeregte Untersuchung hat ernste Zweifel an der Objektivität des wissenschaftlichen Fortschritts geweckt (oder jedenfalls an dessen eindeutiger Bestimmtheit durch Daten und außerempirische Theoretugenden). Als sich die wissenschaftliche Welt für Newtons Theorie entschieden hat, geschah

<sup>46</sup> Vgl. Newton: *Opticks*, Anm. 8, S. 1.

<sup>47</sup> Freie Übersetzung – hier das Originalzitat: „Thus one of two empirically equivalent hypotheses or theories can be evidentially supported to the exclusion of the other by being incorporated into an independently supported, more general theory that does not support the other, although it does predict all the empirical consequences of the other“ (Laudan et al.: *Empirical Equivalence*, Anm. 6, S. 67).

dies *an einer entscheidenden Wegmarke* nicht aufgrund objektiver, eindeutig bestimmter Kriterien. (Ob das eine Ausnahme oder der Normalfall war, habe ich nicht erörtert). Selbst wenn die spätere Entwicklung gut zu dieser Entscheidung passt, hätten andere Entscheidungen ebenfalls zu erfolgreicher Physik führen können. Vielleicht passt die Heterogenität der Finsternis nur deshalb nicht in unsere augenblickliche Physik, weil die nun einmal auf unserer Entscheidung zugunsten Newtons beruht. Insofern sich diese Entscheidung ausgezahlt hat, haben wir keinen Grund, sie zurückzunehmen. Nichtsdestoweniger sollten wir in die Entscheidung nicht mehr Objektivität hineinlesen, als die Sache hergibt.

Selbstverständlich würde sich die Lage dramatisch ändern, wenn wir theoriefreie Beobachtungen auf tun könnten, mit denen sich die Heterogenität der Finsternis nicht vereinbaren lässt. Diese Beobachtungen können nicht aus der geometrischen Optik kommen (deren Phänomene allesamt der Symmetrie zwischen Helligkeit und Dunkelheit unterliegen). Doch könnten wir uns z. B. auf nicht-optische Wirkungen von Lichtstrahlen stützen, etwa auf deren Wärmewirkung. So hat Herschel gezeigt, dass sich ein geschwärztes Thermometer in verschiedenen Bereichen des newtonischen Spektrums unterschiedlich stark erwärmt, in Abhängigkeit von der Spektralfarbe: Nachdem er das Thermometer im Dunklen außerhalb des Spektrums (ober- oder unterhalb der langen Grenzen des Newton-Spektrums) adjustiert hatte, stieg das Thermometer am stärksten im roten Ende des Spektrums, und der Temperaturanstieg wurde jenseits dieses Endes noch übertroffen (Abb. 10 unten) – dort, wo wir heute von infraroter Wärmestrahlung sprechen.<sup>48</sup>

Bislang hat keiner systematisch versucht, dieses klassische Experiment umzukehren. Doch auf meine Bitte hin wurden inzwischen die ersten Schritte in dieser Richtung unternommen, mit verblüffenden tentativen Ergebnissen (Abb. 10 oben). Wer das Thermometer zunächst im Hellen adjustiert (ober- oder unterhalb der langen Gren-

<sup>48</sup> Vgl. William Herschel: *Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat*, in: *Philosophical Transactions* 90/2 (1800), S. 293-326 und 90/3 (1800), S. 437-538.

zen des Goethe-Spektrums), der misst danach im türkisen Ende des Goethe-Spektrums einen merklichen Fall des Thermometers; und diese Absenkung der Temperatur wird jenseits dieses Endes noch unterboten – dort, wo man von infratürkiser Kältestrahlung sprechen könnte.<sup>49</sup>

Nehmen wir einmal an, dass sich diese tentativen Ergebnisse sauber replizieren lassen. Dann verstärkt das meine Antwort auf Laudan und Leplin: Zwar wurde Newtons Theorie im Verlauf der tatsächlichen Physikgeschichte in eine umfassendere Theorie des Lichts, der Farben *und der Wärmestrahlung* eingebettet. Aber dasselbe hätte mit der Theorie von der Heterogenität der Finsternis geschehen können. Sie hätte sich in eine Theorie der Kältestrahlung einbetten lassen können.

Schockierenderweise ist diese Kälthetheorie mehr als eine bloße Denkmöglichkeit aus den Gedankenspielen von Wissenschaftsphilosophen. Sie wurde um 1800 von Rumford verfochten; damals war es laut Hasok Changs brillanter Analyse empirisch unterbestimmt, ob nur Hitze oder nur Kälte eine echte Qualität sei.<sup>50</sup> Wie Sie sehen, hält die Wissenschaftsgeschichte um 1800 ein weiteres Fallbeispiel für Quines Unterbestimmtheitsthese bereit. Die zwei Fallbeispiele – Changs und meines – hängen eng miteinander zusammen; sie lassen sich verbinden. Wer die Heterogenität der Finsternis verfehlt, wird sich mit guten Gründen auf die abkühlenden Wirkungen der Finsternis-Strahlen konzentrieren, und von diesem Ausgangspunkt ist es nur noch ein kleiner Schritt zu sagen: Hitze gehört nicht zum Inventar des Universums und ist vielmehr nichts anderes als Abwesenheit von

<sup>49</sup> Matthias Rang und Johannes Grebe-Ellis: *Measurements of Temperature in Inverse Spectra*, erscheint in: *Journal for the General Philosophy of Science* (2017).

<sup>50</sup> Vgl. Hasok Chang: *Rumford and the Reflection of Radiant Cold – Historical Reflections and Metaphysical Reflexes*, in: *Physics in Perspective* 4/2 (2002), S. 135 *et passim*. – Anders als Rumford war sich Goethe darüber im Klaren, dass man sich nicht nur fragen kann, welche der Alternativ-Theorien richtig ist, sondern auch, ob vielleicht beide Alternativen gleich gut sind (siehe Anm. 3).

Kälte. (Demgegenüber verfolgte Herschel die komplementäre Strategie und konzentrierte sich auf die Wärmewirkungen newtonianischer Lichtstrahlen).

### VIII. Schluss

Anhand der erstaunlichen Symmetrie zwischen Newtons Spektrum und seinem komplementären Gegenstück wurde Goethe klar, dass die optischen Phänomene nicht eindeutig für Newtons Theorie sprechen. Meine weitergehende Untersuchung der Details hat Goethes Einsicht bestätigt. Er hätte sich nicht darauf eingelassen, dass Newtons Heterogenität des Lichts ebenso *gut* dasteht wie die Heterogenität der Finsternis; seiner Ansicht nach sind beide Theorien gleich *schlecht*. Das erklärt, warum er in seiner eigenen Lehre von den prismatischen Farben einen Mittelweg zwischen denjenigen beiden Theorien zu finden versuchte, die ich erörtert habe; der Versuch ist schwer zu verstehen (und hier nicht mein Thema), aber er ist auch aus heutiger Sicht gut motiviert: Eine ideale Lehre von den prismatischen Farben sollte die Symmetrie zwischen Helligkeit und Dunkelheit, die sich in den Experimenten zeigt, auch theoretisch abbilden, also Helligkeit und Dunkelheit gleichberechtigt behandeln.<sup>51</sup>

Wie dem auch sei, Goethe hat nichts gegen den Versuch, die Welt mithilfe idealisierender, ja, abstrakter Theorien zu beschreiben. Aber er empfiehlt uns, mit unseren Theorien souveräner, ja freier 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

<sup>51</sup> Vgl. Olaf L. Müller: *Goethe contra Newton on Colours, Light, and the Philosophy of Science*, erscheint in: *How Colours Matter for Philosophy – Proceedings of the 2nd International Colloquium on Colours and Numbers, Fortaleza, Brazil (2015)*, hg. von Marcos Silva.

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.“<sup>52</sup>

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.<sup>53</sup>

### Literatur

- Bergström, Lars: *Quine, Underdetermination, and Scepticism*, in: *The Journal of Philosophy* 90/7 (1993), S. 331-358.  
 Bergström, Lars: *Underdetermination of Physical Theory*, in: *The Cambridge Companion to Quine*, hg. von Roger F. Gibson, Cambridge: Cambridge University Press 2004, S. 91-114.

<sup>52</sup> Goethe: *Leopoldina-Ausgabe*, Anm. 2, I,4, S. 5.

<sup>53</sup> Dieser Text bietet Überlegungen, die ich am 17.9.2015 in Heidelberg vor der Marsilius-Sommerakademie *Anthropologie der Wahrnehmung* zur Diskussion gestellt habe; ich habe den kolloquialen Stil des Vortrags bewusst beibehalten. Einige Passagen dieses Textes habe ich fast unverändert übernommen aus Olaf L. Müller: *Goethes philosophisches Unbehagen beim Blick durchs Prisma*, in: *Farben*, hg. von Jakob Steinbrenner und Stefan Glasauer, Frankfurt am Main: Suhrkamp 2007, S. 64-101.

- Bjerke, André: *Neue Beiträge zu Goethes Farbenlehre – Erster Teil. Goethe contra Newton*, übers. von Louise Funk, Stuttgart: Verlag Freies Geistesleben 1963 (Erschien zuerst auf Norwegisch im Jahr 1961).
- Chang, Hasok: *Rumford and the Reflection of Radiant Cold – Historical Reflections and Metaphysical Reflexes*, in: *Physics in Perspective* 4/2 (2002), S. 127-169.
- Dawid, Richard: *Underdetermination and Theory Succession from the Perspective of String Theory*, in: *Philosophy of Science* 73/3 (2006), S. 298-322.
- Desaguliers, John Theophilus: *An Account of Some Experiments of Light and Colours, Formerly Made by Sir Isaac Newton, and Mention'd in his Opticks, Lately Repeated before the Royal Society*, in: *Philosophical Transactions (1683-1775)* 29 (1714-1716), S. 433-447.
- Goethe, Johann Wolfgang von: *Goethe's Theory of Colours*, übers. von Charles Lock Eastlake, Cambridge: MIT Press 1970 (Wiederabdruck der ersten Ausgabe von 1840).
- Goethe, Johann Wolfgang von: *Leopoldina-Ausgabe: Goethe – Die Schriften zur Naturwissenschaft*, 30 Bände in drei Abteilungen, hg. von Dorothea Kuhn, Rupprecht Matthaei, Irmgard Müller, Gisela Nickel, Thomas Nickol, Günther Schmid, Wilhelm Troll, Karl Lothar Wolf, Horst Zehe und anderen, Weimar: Böhlau, 1947 ff.
- Goethe, Johann Wolfgang von: *Theory of Color – Didactic Section*, in: *Scientific Studies – The Collected Works. Volume 12*, hg. von Douglas Miller, Princeton: Princeton University Press 1995, S. 157-302.
- Herschel, William: *Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat*, in: *Philosophical Transactions* 90/2 (1800), S. 293-326 und 90/3 (1800), S. 437-538.
- Hoefer, Carl und Alexander Rosenberg: *Empirical Equivalence, Underdetermination, and Systems of the World*, in: *Philosophy of Science* 61/4 (1994), S. 592-607.
- Holtmark, Torger: *Newton's Experimentum Crucis Reconsidered*, in: *American Journal of Physics* 38/10 (1970), S. 1229-1235.
- Hoyningen-Huene, Paul: *Reconsidering the Miracle Argument on the Supposition of Transient Underdetermination*, in: *Synthese* 180/2 (2011), S. 173-187.
- Kirschmann, August: *Das umgekehrte Spektrum und seine Farben sowie seine Bedeutung für die optische Wissenschaft*, in: *Licht und Farbe*, hg. von Felix Krüger und August Kirschmann, München: Beck (1926), S. 411-442.

- Kühl, Johannes, Nora Löbe und Matthias Rang (Hg.): *Experiment Farbe. 200 Jahre Goethes Farbenlehre*, Dornach: Goetheanum 2010.
- Kukla, André: *Studies in Scientific Realism*, New York und Oxford: Oxford University Press 1998.
- Lampert, Timm: *Newton vs. Goethe – Farben aus Sicht der Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte*, in: *Trinkt, o Augen, was die Wimper hält, ...*, hg. von Hanspeter Bieri und Sara Margarita Zwahlen, Bern: Haupt 2008, S. 259-284.
- Laudan, Larry: *Demystifying Underdetermination*, in: *Beyond Positivism and Relativism – Theory, Method, and Evidence*, hg. von Larry Laudan, Boulder: Westview Press 1996, S. 29-54.
- Laudan, Larry und Jarrett Leplin: *Empirical Equivalence and Underdetermination*, in: *Beyond Positivism and Relativism – Theory, Method, and Evidence*, hg. von Larry Laudan, Boulder: Westview Press 1996, S. 55-73.
- Lohne, Johannes A.: *Isaac Newton: The Rise of a Scientist 1661-1671*, in: *Notes and Records of the Royal Society of London* 20/2 (1965), S. 125-139.
- Magnus, P. D.: *Underdetermination and the Problem of Identical Rivals*, in: *Philosophy of Science* 70/5 (2003), S. 1256-1264.
- Maier, Georg: *Optik der Bilder*, Dürnau: Kooperative Dürnau 1986.
- Marcum, James A.: *The Nature of Light and Color. Goethe's „Der Versuch als Vermittler“ versus Newton's Experimentum Crucis*, in: *Perspectives on Science* 17/4 (2009), S. 457-481.
- Mollweide, Carl Brandan: *Tübingen, b. Cotta – Zur Farbenlehre, von v. Göthe*, in: *Allgemeine Literatur-Zeitung* 30-32 (1811), S. 233-251.
- Müller, Olaf L.: *Farbspektrale Kontrapunkte – Fallstudie zur ästhetischen Urteilskraft in den experimentellen Wissenschaften*, in: *Rücknahme und Eingriff – Malerei der Anordnungen*, hg. von Ingo Nussbaumer, Nürnberg: Verlag für moderne Kunst 2010, S. 150-169. [Im Netz zu finden unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:11-100180136>].
- Müller, Olaf L.: *Goethe contra Newton on Colours, Light, and the Philosophy of Science*, erscheint voraussichtlich 2017 in: *How Colours Matter for Philosophy – Proceedings of the 2nd International Colloquium on Colours and Numbers, Fortaleza, Brazil (2015)*, hg. von Marcos Silva.
- Müller, Olaf L.: *Goethe und die Physik seiner Zeit – Wider einige Vorurteile zur zeitgenössischen Wirkungsgeschichte der Farbenlehre*, in: *Goethe und ...*, hg. von Manfred Leber und Sikander Singh, Saarbrücken: uni-

- versaar – Universitätsverlag des Saarlandes 2016, S. 143-169 (Saarbrücker literaturwissenschaftliche Ringvorlesungen 5).
- Müller, Olaf L.: *Goethes philosophisches Unbehagen beim Blick durchs Prisma*, in: *Farben*, hg. von Jakob Steinbrenner und Stefan Glasauer, Frankfurt am Main: Suhrkamp 2007, S. 64-101.
- Müller, Olaf L.: *Mehr Licht – Goethe mit Newton im Streit um die Farben*, Frankfurt am Main: Fischer 2015.
- Newton, Isaac: *Draft Comments on Rizzetti (1722)*, Cambridge University Library MSS Add 3970, f. 481v, zitiert nach: Alan E. Shapiro: *The Gradual Acceptance of Newton's Theory of Light and Color, 1672-1727*, in: *Perspectives on Science* 4/1 (1996), S. 119.
- Newton, Isaac: *Opticks – Or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflexions & Colours of Light*, New York: Dover 1979 (zuerst erschienen 1952, basierend auf der 4. Aufl. der *Opticks* aus dem Jahr 1730).
- Nussbaumer, Ingo: *Zur Farbenlehre – Entdeckung der unordentlichen Spektren*, Wien: Edition Splitter 2008.
- Okasha, Samir: *The Underdetermination of Theory by Data and the „Strong Programme“ in the Sociology of Knowledge*, in: *International Studies in the Philosophy of Science* 14/3 (2000), S. 283-297.
- Quine, Willard Van Orman: *Word and Object*, Cambridge (MA): Harvard University Press 1960.
- Quine, Willard Van Orman: *On Empirically Equivalent Systems of the World*, in: *Erkenntnis* 9/3 (1975), S. 313-328.
- Rang, Matthias: *Der Hellraum als Bedingung zur Invertierung spektraler Phänomene*, in: *Elemente der Naturwissenschaft* 90/1 (2009), S. 46-79.
- Rang, Matthias: *Phänomenologie der komplementären Spektren*, Berlin: Logos 2015.
- Rang, Matthias und Johannes Grebe-Ellis: *Komplementäre Spektren – Experimente mit einer Spiegel-Spalt-Blende*, in: *Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht* 62/4 (2008), S. 227-230.
- Rang, Matthias und Johannes Grebe-Ellis: *Measurements of Temperature in Inverse Spectra*, erscheint in: *Journal for the General Philosophy of Science* (2017).
- Rang, Matthias und Olaf L. Müller: *Newton in Grönland – Das umgestülpte experimentum crucis in der Streulichtkammer*, in: *Philosophia Naturalis* 46/1 (2009), S. 61-114. [Im Netz zu finden unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:11-100187051>].
- Reade, Joseph: *Experimental Outlines, for a New Theory of Colours, Light & Vision – With Critical Remarks, on Sir Isaac Newton's Opinions, and*

- Some New Experiments on Radiant Caloric. Volume 1*, London: Longman, Hurst, Rees, Orme and Browne 1816.
- Sällström, Pehr: *Monochromatische Schattenstrahlen – Ein Film über Experimente zur Rehabilitierung der Dunkelheit*, DVD, Stuttgart: Edition Waldorf 2010.
- Shapiro, Alan E.: *The Gradual Acceptance of Newton's Theory of Light and Color, 1672-1727*, in: *Perspectives on Science* 4/1 (1996), S. 59-140.
- Sklar, Lawrence: *Methodological Conservatism*, in: *The Philosophical Review* 84/3 (1975), S. 374-400.
- Stanford, P. Kyle: *Refusing the Devil's Bargain: What Kind of Underdetermination Should We Take Seriously?*, in: *Philosophy of Science* 68/3 (2001), S. 1-12.
- Stanford, P. Kyle: *Exceeding Our Grasp – Science, History, and the Problem of Unconceived Alternatives*, Oxford: Oxford University Press 2006.
- Turnbull, H. W.: *The Correspondence of Isaac Newton, Volume 1, 1661-1675*, Cambridge: Cambridge University Press 1959.
- Turnbull, H. W.: *The Correspondence of Isaac Newton, Volume 2, 1676-1687*, Cambridge: Cambridge University Press 1960.

## Abbildungen

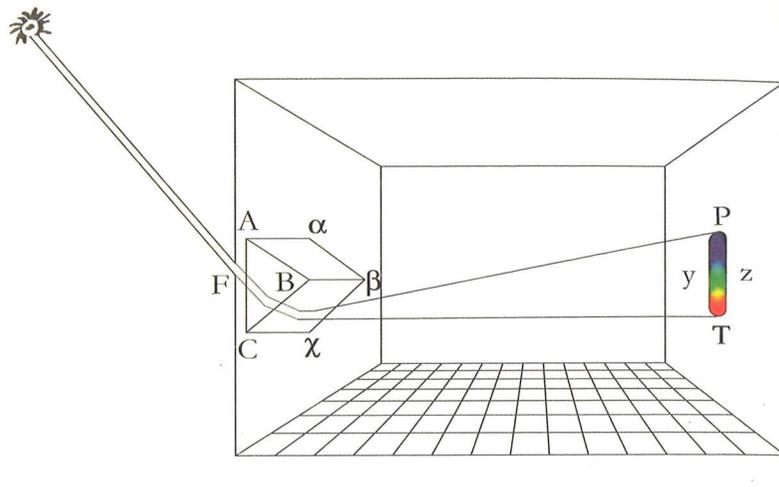


Abb. 1: Newton entdeckt die Heterogenität des Lichts. Sonnenstrahlen werden durch ein Prisma (links) gebrochen. Rechts in der Dunkelkammer fängt Newton das Spektrum auf. Am stärksten vom Weg abgelenkt werden blaue Lichtstrahlen, sie finden sich im oberen Teil des aufgefangenen Spektrums.<sup>54</sup>

<sup>54</sup> Die Abbildung wurde von Ingo Nussbaumer nachgezeichnet und geht auf eine Skizze aus Newtons Notizbüchern zurück. Vgl. Johannes A. Lohne: *Isaac Newton: The Rise of a Scientist 1661-1671*, in: *Notes and Records of the Royal Society of London* 20/2 (1965), S. 126-127, Figure 1.

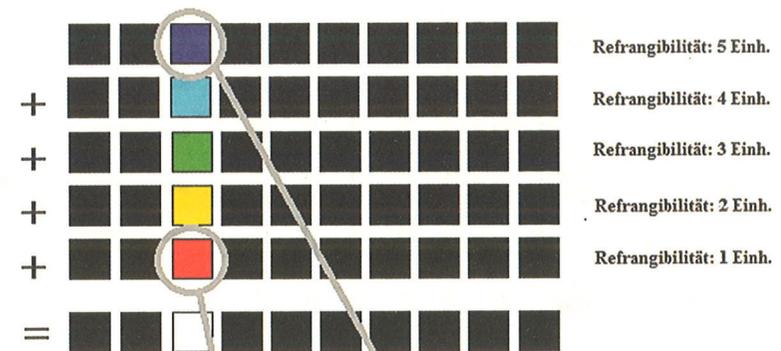
## Das Ausgangsbild für Erzeugung des Newton-Spektrums



## Versuchsergebnis nach Refraktion



## Orthodoxe Erklärung: Zusammensetzung des Ausgangsbilds vor Refraktion

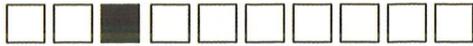


## nach Refraktion



Abb. 2: Vor dem Weg durchs Prisma erscheint der Lichtstrahl aus Newtons Experiment weiß (oberer Teil der Abbildung). Newton fasst diesen Strahl als Summe aus roten, gelben, grünen, türkisen und blauen Lichtstrahlen auf (Mitte der Abbildung). Der blaue Strahl wird (um ganze 5 Einheiten) am weitesten gebrochen, der rote Strahl am wenigsten weit (nur um 1 Einheit). Die schwarzen Kästchen symbolisieren fehlendes Licht; es wird in Newtons Erklärung ignoriert, weil es als kausal unwirksam gilt.

### Das Ausgangsbild für die Erzeugung des Goethe-Spektrums



### Versuchsergebnis nach Refraktion



### Unorthodoxe Erklärung: Zusammensetzung des Ausgangsbilds vor Refraktion

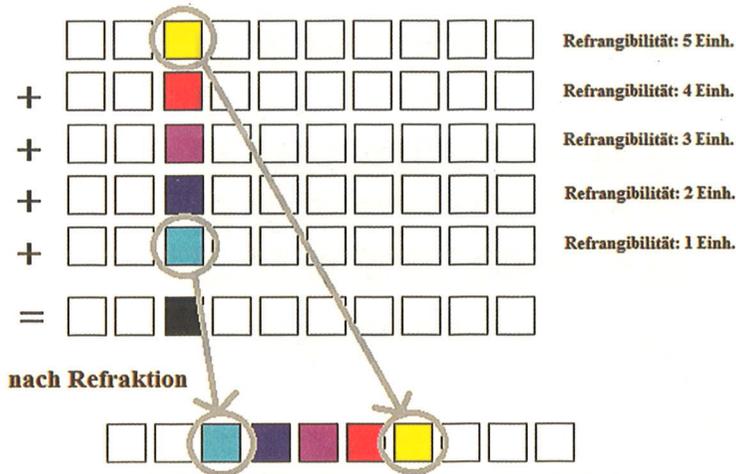


Abb. 3: In seinem neuen Experiment fängt Goethe das komplementäre Spektrum auf: Ein schwarzer Fleck erscheint beim Blick durchs Prisma bunt (oberer Teil der Abbildung). In der unorthodoxen Erklärung wird der schwarze Fleck als Summe aus türkisen, blauen, *purpurnen*, roten und gelben *Finsternis-Strahlen* aufgefasst (Mitte der Abbildung). Der gelbe Strahl wird (um ganze 5 Einheiten) am weitesten gebrochen, der türkise Strahl am wenigsten weit (nur um 1 Einheit). Die weißen Kästchen symbolisieren fehlende Finsternis; sie wird in dieser Erklärung ignoriert, weil sie als kausal unwirksam gilt.

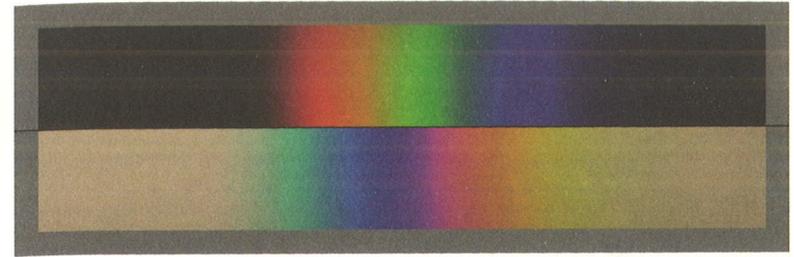


Abb. 4: Oben sieht man ein Newton-Spektrum, darunter dessen komplementäres Gegenstück, das sich dann zeigt, wenn man Newtons Lochblende in einen genau gleich großen Schattenwerfer verwandelt. [Foto von Ingo Nussbaumer].

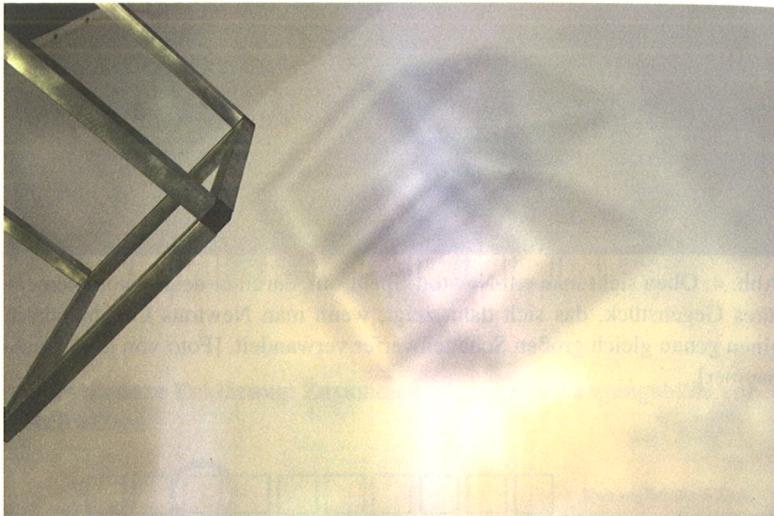
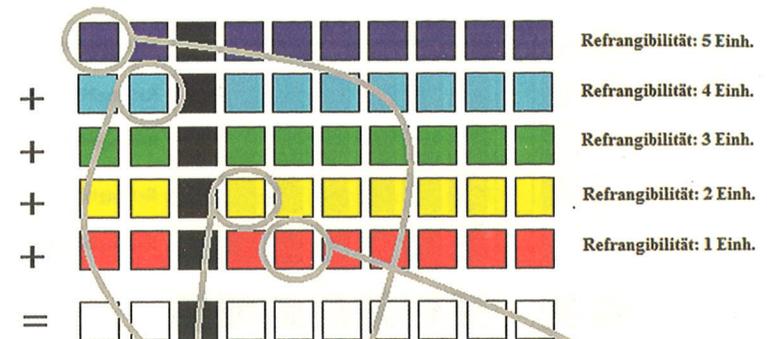


Abb. 5: In einem diffus weißen Raum hängt vor einem Projektionsschirm (rechts) ein Würfelgerippe aus Vierkant-Stäben (links), und vor diesem Würfel wiederum wird ein faustgroßes schwarzes Objekt plaziert – die Dunkelheitsquelle (hier nicht im Bild). In dem Augenblick, wo sie ins Spiel kommt, sieht man auf dem Schirm den weißen Schatten des Würfelgerippes. Wer die Dunkelheitsquelle hin- und herbewegt, erzeugt damit gegenläufige Bewegungen des weißen Schattens, genau wie beim schwarzen Schatten im Licht einer sich bewegenden Taschenlampe. Selbstverständlich muss man den weißen Schatten nicht als Unterbrechung von Finsternis-Strahlen deuten; in der orthodoxen Erklärung kann man sich auf das Fehlen des Fehlens von Lichtstrahlen berufen.<sup>55</sup>

<sup>55</sup> Details dazu in Müller: *Mehr Licht*, Anm. 1, § III.5.6. Foto-Dokumentation von Susanne Böttger. Vgl. Johannes Kühl, Nora Löbe und Matthias Rang (Hg.): *Experiment Farbe. 200 Jahre Goethes Farbenlehre*, Dornach: Goetheanum 2010, S. 126. Den meines Wissens ersten Verweis auf weiße Schatten bietet Georg Maier: *Optik der Bilder*, Dürnau: Kooperative Dürnau 1986, S. 148. Zum Abschluss der Buchpremiere zu *Mehr Licht* (Humboldt-Universität, 27. Mai 2015) hat Johannes Grebellis den weißen Schatten vorgeführt, im Film dokumentiert unter: [https://www.youtube.com/watch?v=EC5bV1rDVfc&list=PLHuVpXyZk\\_j68LnMya67XVO-Mq4amGK9mG&index=7](https://www.youtube.com/watch?v=EC5bV1rDVfc&list=PLHuVpXyZk_j68LnMya67XVO-Mq4amGK9mG&index=7).

## Orthodoxe Erklärung des Goethe-Spektrums

### Zusammensetzung des Ausgangsbilds vor Refraktion



### nach Refraktion

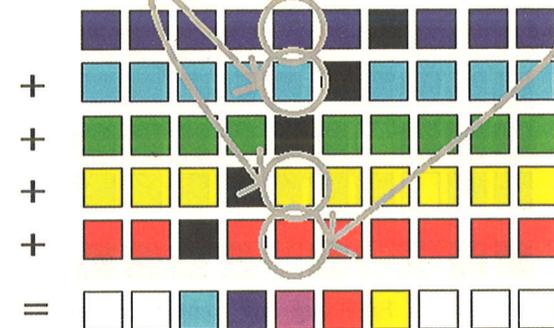
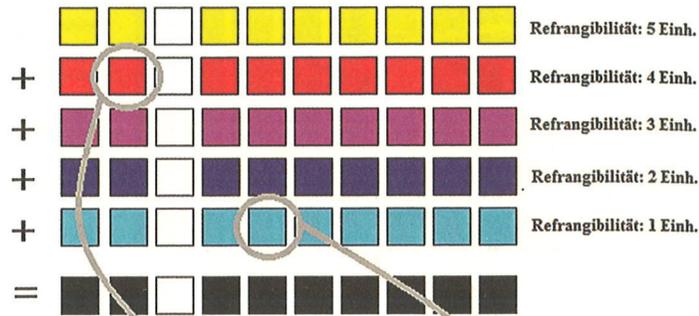


Abb. 6: Newton kann Goethes Experiment orthodox erklären. Abwesenheit von Licht im schwarzen Fleck gilt als kausal unwirksam, nur dessen weiße Umgebung sendet bunt zusammengesetzte Strahlen durchs Prisma, die nach den bekannten Regeln im Prisma verschieden stark gebrochen werden (die blauen Strahlen z. B. am weitesten, um 5 Einheiten). Wenn man das Ergebnis aufsummiert, lässt sich jede Farbe des komplementären Spektrums erklären (unterer Teil der Abb.): Purpur ergibt sich z. B. als Summe aus Blau, Türkis, Gelb und Rot – als Summe aus allen Farben außer Grün, dem Komplement von Purpur. (Purpur ergibt sich, indem Grün vom alle Farben umfassenden Weiß *abgezogen* wird).

### Unorthodoxe Erklärung des Newton-Spektrums

#### Zusammensetzung des Ausgangsbilds vor Refraktion



#### nach Refraktion

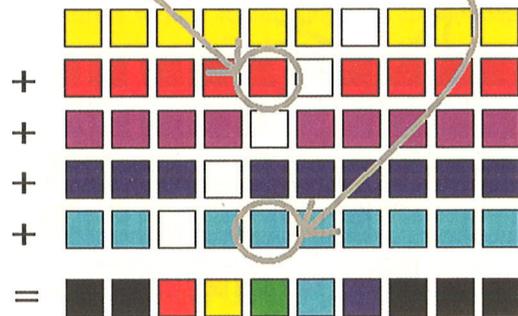


Abb. 7: Wenn man Newtons Erklärung des komplementären Spektrums (Abb. 6) umdreht, so erhält man die unorthodoxe Erklärung des Newton-Spektrums. Hierbei werden allerlei Finsternis-Strahlen beim Weg durchs Prisma verfolgt und dann aufsummiert.

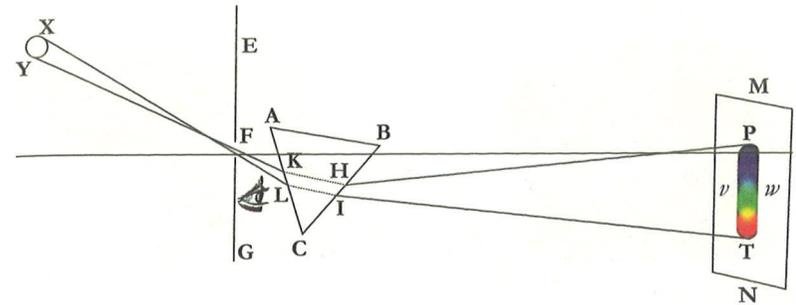


Abb. 8: In der newtonischen Weißsynthese nach Desaguliers (*An Account of Some Experiments*, Anm. 32, S. 442, Figure 15) schaut der Experimentator durchs brechende Prisma ABC auf den bunten Schirm PT (rechts farbig dargestellt) und sieht (hier nicht dargestellt) das Syntheseresultat: einen weißen Fleck, das Sonnenbild, nämlich die Mischung aller Farben aus dem Newton-Spektrum. Oben in der kommenden Abb. 9 finden Sie eine Fotodokumentation mit dem Licht eines Diaprojektors. [Zeichnung von Ingo Nussbaumer, zuerst veröffentlicht in Müller: *Farbspektrale Kontrapunkte*, Anm. 33, S. 157].

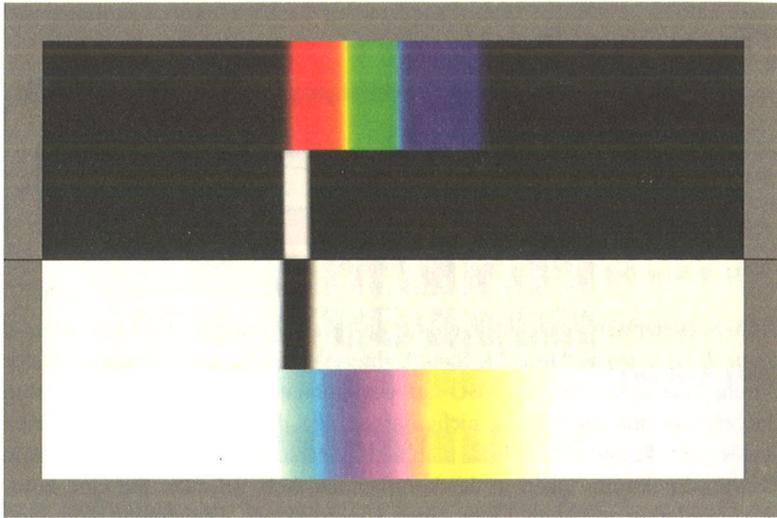


Abb. 9: Oben zeigt die Abbildung ein Foto des Newton-Spektrums, das aus einem hell beleuchteten Schlitz mit dem Licht des Diaprojektors mittels eines großen Wasserprismas erzeugt wurde (und direkt darunter das daraus zurückgewonnene Weiß, fotografiert durch dasselbe Wasserprisma); unten zeigt sie ein Foto des Komplementärspektrums (und direkt darüber das daraus zurückgewonnene Schwarz). [Foto von Ingo Nussbaumer, zuerst veröffentlicht in Müller: *Farbspektrale Kontrapunkte*, Anm. 33, S. 164].

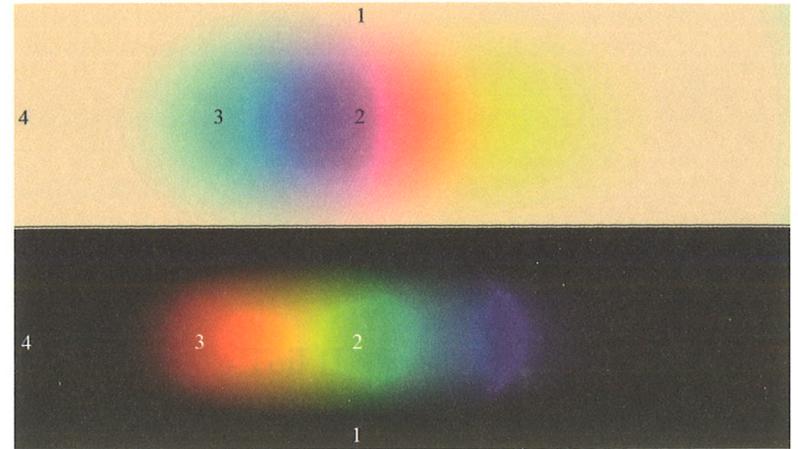


Abb. 10 unten: Herschel maß zuerst die Temperatur im Dunklen jenseits der langen Enden des Newton-Spektrums (in Position 1). Sobald er das Thermometer in die grüne Mitte des Newton-Spektrums schob (Position 2), stieg die gemessene Temperatur, und sie stieg umso stärker, je weiter er das Thermometer in den roten Bereich des Spektrums schob (Position 3). Als er das Thermometer in derselben Richtung aus dem Spektrum heraus weiterbewegte (Position 4), fand er das Temperaturmaximum; dort, wo wir heute von infraroter Wärmestrahlung sprechen.

Abb. 10 oben: In den ersten tentativen Durchläufen zur Umkehrung des vorigen Experiments zeigten sich umgekehrte Temperaturverhältnisse. Man messe zuerst die Temperatur *im Hellen* jenseits der langen Enden des Goethe-Spektrums (in Position 1). Sobald man das Thermometer in die purpurne Mitte des Goethe-Spektrums schiebt (Position 2), *sinkt* die gemessene Temperatur, und sie sinkt umso stärker, je weiter man das Thermometer in den blauen Bereich des Spektrums bringt (Position 3). Wer das Thermometer in derselben Richtung aus dem Spektrum heraus weiterbewegt (Position 4), findet dort das Temperaturminimum; dort, wo wir von infrarotischer Kältestrahlung sprechen könnten.